

Technische Aspekte der Zusammenschaltung in IP- basierten Netzen unter besonderer Berücksichtigung von VoIP

Autoren:

Klaus-D. Hackbarth
Gabriele Kulenkampff

Santander/Bad Honnef, 26.07.2006



Gliederung

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Executive Summary	1
2 Einführung	3
3 Netzarchitekturen für IP-basierte Dienste	7
3.1 Zusammenfassende Darstellung über die Entwicklung von Breitbandnetzen	7
3.2 Entwicklung der IP-Kernnetze	10
3.2.1 NGN und seine Vorläufer	12
3.2.2 Derzeitige IP-Netze und deren Evolution	19
3.3 Das öffentliche Internet und dessen Evolution	23
3.4 Vergleich der Netzarchitekturen aus Sicht der Leistungsbereitstellung	26
3.5 Vergleich der Netzarchitekturen aus Sicht der Kosten (CAPEX und OPEX)	29
4 Kommunikationsdienste in IP-basierten Netzen und deren Anforderungen	33
4.1 Beschreibung der Kommunikationsdienste und deren Klassifizierung	33
4.2 Leistungsmerkmale der Netze in Beziehung zu den Diensten	41
5 Leistungsmerkmale für Sprachdienste	49
5.1 Beschreibung der festen Leistungsmerkmale im PSTN/ISDN	49
5.2 Szenarien für Leistungsmerkmale in IP-basierten Netzen und deren Realisierung	51
5.2.1 Technische Realisierung im NGN und deren zugehörigen Kosten	55
5.2.2 Technische Realisierung in IP-Netzen eines ISP und deren zugehörige Kosten	59
5.2.3 Technische Realisierung im öffentlichen Internet	64
5.2.4 Kostentreiber der verschiedenen Realisierungsformen von VoIP	65
6 Aspekte der Zusammenschaltung mit IP-basierten Netzen	75
6.1 Bestehende Zusammenschaltregime und deren netztechnische Grundlagen	77
6.2 Zusammenschalt-Szenarien mit dem NGN und deren Vorläufern	82
6.3 Zusammenschalt Szenarien mit dem derzeitigen IP-Netzen von ISP	86
6.4 Hierarchische Struktur des NGN und deren Beziehung zur Zusammenschaltung	90

7	Schlussfolgerungen für ein Zusammenschaltregime mit IP-basierten Netzen	97
	Bibliographie	101
	Anhänge	107
AI	Studie zur Kapazitätsdimensionierung in IP-basierten Netzen unter verschiedenen QoS-Szenarien	107
	A.I.1 QoS-Management-Techniken	108
	A.I.2 QoS-Abschätzungen in einem Wartesystem	111
	A.I.2.1 WEB-Dienste	112
	A.I.2.2 VoIP-Dienste	117
	A.I.2.2 Integration von WEB- und VoIP-Diensten	120
	A.I.4 Einfluss der QoS-Management-Techniken auf eine Ende-zu Ende Verbindung	124
AII	FRAGEBOGEN zur Realisierung von Sprache in IP-basierten Netzen	127
A III	Auswertung der Rückmeldungen zum Fragebogen zur Realisierung von Sprache in IP-basierten Netzen	145
	A.III.1 Einleitung	145
	A.III.2 Auswertung der beantworteten Fragebögen	146
	A.III.2.1 Fragenkomplex 1: Angebot von Sprachtelefonie	146
	A.III.2.2 Fragenkomplex 2 und 3: Transport, Signalisierung und OAM	147
	A.III.2.3 Fragenkomplex 4: Zusammenschaltung von VoIP	148
	A.III.2.4 Fragenkomplex 5,6: Zuverlässigkeit und Sicherheit für VoIP	150
	A.III.2.5 Fragenkomplex 7: QoS für VoIP	150
	A.III.2.6 Fragenkomplex 8: Leistungsmerkmale aus dem PSTN	151
	A.III.2.7 Fragenkomplex 9 & 10: Gründe zur Einführung von VoIP und Zusatzkosten für differenzierte VoIP-Dienste	152

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	Funktionsmodell zur Beschreibung von Kommunikationsnetzen und deren Interkonnektivität	5
Abbildung 3-1	Einflussfaktoren auf die Entwicklung von IP-basierten Diensten.	11
Abbildung 3-2	Darstellung der Netzentwicklung unter Berücksichtigung von Verkehrsmigration	12
Abbildung 3-3	Vertikale Gliederung der Schichten im NGN-Konzept	15
Abbildung 3-4	Übersicht über die NGN-Kernnetzelemente	17
Abbildung 3-5	Konfiguration eines hybriden NGN, PSTN-Netzes in Verbindung mit den Funktionslayern aus dem NGN-Konzept.	18
Abbildung 3-6	Elemente eines sprach-datenintegrierten Unternehmensnetzes	20
Abbildung 3-7	Entwicklung von ISP IP-Plattformen in Richtung NGI und deren Verbindung mit der vertikalen Gliederung des NGN-Konzepts	22
Abbildung 3-8	Schematische Darstellung der Zusammenschaltung von IP-Domains zum öffentlichen Internet	24
Abbildung 3-9	Typische Endgerätekonfiguration eines Privat- bzw. SOHO -Nutzers	25
Abbildung 4-1	Maximal zulässiger Jitter für VoIP in Abhängigkeit vom Mittelwert der Laufzeitverzögerung.	38
Abbildung 4-2	Zeiten für das Herunterladen eines Videoclips mit 5MB	40
Abbildung 4-3	Schematische Darstellung des Zusammenhangs der QoS-Parameter für Paketflüsse, (nach [PNS-204])	43
Abbildung 4-4	Darstellung des kreisförmigen Zusammenhangs zwischen einer Dienstnachfrage, deren QoS-Werten, Kosten und Preisen	47
Abbildung 5-1	Kernnetzknotten eines überlagerten NGN und deren Verbindungen mit den Zugangsnetzen	56
Abbildung 5-2	SIP-Komponenten für die Integration von VoIP-Verkehr	60
Abbildung 5-3	Verkehrsführung für den Bearer- und Signalisierungsverkehr einer internen VoIP-Verbindung.	61
Abbildung 5-4	Beispiel für die Doppelung von Routereinrichtungen und Lastverteilung des Verkehrs	62
Abbildung 5-5	Schematischer Aufbau einer VoIP-Verbindung im ISP/ITP-Netz von AT&T (Quelle AT&T)	63
Abbildung 5-6	Verkehrsführung für den Bearer- und Signalisierungsverkehr einer VoIP-Verbindung eines ISP ohne eigene Infrastruktur	64

Abbildung 6-1	Hierarchische Gliederung des PSTN/ISDN im Zusammenhang mit Zusammenschaltungspunkten aus dem EBC Regime	78
Abbildung 6-2	Hierarchische Gliederung von IP-basierten Breitbandnetzen im Zusammenhang mit den Zugangspunkten zu Bitstrom Diensten (in der Abbildung hat der BRAS die Funktion des LER's integriert und der untere LSR befindet sich am gleichen Standort wie der BRAS/LER)	79
Abbildung 6-3	Schematischer Tageslastverlauf für die aus Breitbandinternetdiensten resultierende Netzlast	81
Abbildung 6-4	Darstellung der verschiedenen Verbindungen zwischen zwei nationalen PSTN/ISDN und IP-Netzbetreibern (der Einsatz möglicher externer TMGW zwischen einem PSTN/ISDN und einem IP-Kernnetz ist aus Übersichtsgründen nicht gezeigt)	84
Abbildung 6-5	Darstellung der verschiedenen Verbindungen zwischen einem NNB und einem ISP (der Einsatz möglicher externer TMGW zwischen einem PSTN/ISDN und einem IP-Kernnetz ist aus Übersichtsgründen nicht gezeigt)	88
Abbildung 6-6	Darstellung der verschiedenen Verbindungen zwischen einem NNB und einem RNO (der Einsatz möglicher externer TMGW zwischen einem PSTN/ISDN und einem IP-Kernnetz ist aus Übersichtsgründen nicht gezeigt)	89
Abbildung 6-7	Bandbreitenbelastungen in der HLP pro IP-Kernnetzstandort mit den Daten des kurzfristigen Szenarios	92
Abbildung A.I. 1	Mittelwert der Paketwartezeiten aus WEB-Diensten in einem M/M/1 System als Funktion der Systemauslastung für verschiedenen digitale Leitungsgruppen	114
Abbildung A.I.2	Statistische Daten eines Wartesystems mit begrenzten Wartespeichern K, die statistischen Werte für die Zufallsvariable T_w sind in ms angegeben	116
Abbildung A.I.3	Mittelwert der Paketwartezeiten aus WEB-Diensten in einem M/M/1 System als Funktion der Systemauslastung für verschiedenen digitale Leitungsgruppen	119
Abbildung A.I.4	Vergleich der Laufzeitverzögerung bei gemeinsamer Verkehrsführung mit und ohne Priorisierung in Abhängigkeit von der Systemauslastung	124
Abbildung A.I.5	Darstellung der Netzelemente auf einer Ende-zu-Ende-Verbindung zwischen einem VoIP- und einem PSTN-Telefon	125

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1	Entwicklung der Breitbanddienste für Privatkundenanschluss	8
Tabelle 3.2	Einsatz von ADSL-Typen und deren maximale Entfernung zwischen dem Endnutzermodem und dem DSLAM	9
Tabelle 3.3	Klassifizierung der IP-Kernetze und deren Betreibern	21
Tabelle 3.4	Schematischer Vergleich der zwischen dem NGN-und NGI-Konzept	29
Tabelle 4.1	Wichtigste statische Attribute für Kommunikationsdienste und zugehörige Werte	34
Tabelle 4.2	Attributwerte für einige ausgewählte Dienste	35
Tabelle 4.3	Beispiele für IP-basierte Breitbanddienste	41
Tabelle 4.4	Zusammenfassende Darstellung der QoS-Managementtechniken	48
Tabelle 5.1	Elemente der Netzsicherheit und angewendete Technologien	53
Tabelle 5.2	Übersicht über die Leistungsmerkmale für Sprachdienste unter der Migration vom PSTN/ISDN zum NGN bzw. NGI	55
Tabelle 5.3	Übertragungskapazitäten der PDH- und SHD-Übertragungssysteme und zugehörige Paketlaufzeit für verschiedene Paketgrößen	57
Tabelle 5.4	Zusammenfassende Darstellung der Elemente zum Aufbau einer VoIP-Infrastruktur und sich daraus ergebende Kostenrelationen	67
Tabelle 5.5	Schematische Verteilung des Integrationsgewinns von VoIP mit Best Effort Verkehr und Priorisierung des VoIP-Verkehrs (durch das Zeichen * und deren Anzahl werden Vorteile bei der Integration angezeigt und durch das Zeichen – Nachteile)	69
Tabelle 5.6	Daten eines Nutzerszenarios zur Untersuchung der Durchlaufzeiten über ein Netzelement in Form einer STM-4-Verbindung	70
Tabelle 5.7	Mittlere Paketdurchlaufzeiten über eine STM-4-Verbindung bei verschiedenen Integrationsverfahren	70
Tabelle 5.8	Relative Laufzeiten unter Verkehrspriorisierung und Verkehrsseparierung im Vergleich zu Überdimensionierung	71
Tabelle 5.9	Maximale Systemauslastung bei Vorgabe eines Maximalwertes für die mittlere Laufzeitverzögerung [im ms] pro Dienst	72
Tabelle 6.1	Vergleich der Netzhierarchie zwischen dem PST/ISDN und einem IP BBN (für die Bedeutung der Abkürzungen vergleiche das Abkürzungsverzeichnis, * Werte nach einer ersten groben Schätzung)	79
Tabelle 6.2	Vergleich der Dienste- und Verkehrsstruktur zwischen dem PSTN/ISDN und einem IP-Kernetz	82

Tabelle 6.3	Zusammenschaltungspunkte im zukünftigen 2CN von British Telecom (Quelle OFCOM- 2005)	90
Tabelle 6.4	Nutzer- und Bandbreitenszenarien für die Integration von Schmal- und Breitbanddiensten in einem IP-Kernnetz	91
Tabelle 6.5	Gerätekonfiguration eines IP-Kernstandort (ohne LSR) und deren Kapazitätsauslastung mit den Daten des kurzfristigen Szenarios	93
Tabelle 6.6	Gerätekonfiguration eines IP-Kernstandortes (ohne LSR) und deren Kapazitätsauslastung mit den Daten des mittelfristigen Szenarios	94
Tabelle 6.7	Gerätekonfiguration eines IP-Kernstandort (ohne LSR) und deren Kapazitätsauslastung mit den Daten des langfristigen Szenarios	95
Tabelle 6.8	Charakteristische Werte für einen IP-DSLAM Standort eines Ethernet BAN (alle Bandbreitenangaben beziehen sich auf die HLP)	96
Tabelle A.I.1	Berechnung von mittleren Paketwartezeiten in $E(T_w)$ [ms] mit einer Paketlänge von $L=1500$ bytes in einem M/M/1 System in Abhängigkeit der Systemauslastung und der Signalgruppe für den Pakettransport	113
Tabelle A.I. 2	Ergebnisse der Berechnung von detaillierten statistischen Größen für ein M/M/1/K+1 Wartesystem mit einer Paketlänge von $L=1500$ bytes, einem STM-1 Transport mit einer Auslastung von 80%, Werte für T_w in ms	114
Tabelle A.I.3	Charakteristische Werte für verschiedene Sprachkodierungsverfahren in VoIP	118
Tabelle A.I.4	Charakteristische Werte für ein Verkehrsszenario über eine STM-4 Leitungsgruppe bei Integration von Verkehren aus OAM, VPN, VoIP und Best Effort	122
Tabelle A.I.5	Laufzeitverzögerungen auf einer STM-4 Leitungsgruppe unter verschiedenen QoS-Management-Techniken	123
Tabelle A.III. 1	Liste der befragten Betreiber und ihre Kategorisierung	145

Abkürzungsverzeichnis

AMGW	Access Media Gateway
APE	abgesetzte periphere Einrichtung
ASB	Anschlussbereich
ASON	Automatic Switch Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ATM-Con	ATM Concentrator
ATM-TS	ATM Traffic Selector
B2B	Business to business
B2C	Business to costumer
BAN	Broadband access network
BAMS	Billing and Measurement Server
BAS	Bitstream access service
BBNu	Breitbandnutzer
BGP	Border gateway protocol
BHCA	Business hour call attempt
BRAS	Broadband remote access server
BSAN	Broadband subscriber access network
BVSt	Bereichs- Vermittlungsstelle
CAC	Call Admission Control
CBBIP	Controlled Broadband IP Network
CPP	calling party pays
CPN	Customer Private Network
DSLAM	DSL Access Multiplexer
EBC	element based cost
FGNGN	Focus Group Next Generation Network
FMI	fixed mobile integration
FoIP	Fax over IP
FR	Frame Relay
FTTCab	Fibre to the Cable-distributer
FTTEx	Fibre to the Exchange
GMPLS	Generalized Multiprotocol Label Switching
GoS	Grad of Service
HDTV	High quality digital Television
HLP	High load Period
HSIA	High Speed Internet Access
HVT	Hauptverteiler

IP BBN	IP-basiertes Breitbandnetz
IPCoN	IP core network
ISP	Internet service provider
ISP/ITP	Internet Service Provider / Internet Transport Provider
LAS	local access server
LER	Label edge router
LSR	Label switch Router
MAEN	Metro area Ethernet network
MEGACO	Media Gateway Control Protocol
MGWC	Media gateway controller
MOS	Mean option Score
MPLS	Multiprotocol label switching
NENO	New Entrant Network Operator
NGI	Next generation Internet
NGN	Next generation network
NNB	Nationaler Netzbetreiber
NNI	Network Node Interface
OSPF	Open shortest path first
OTN	Optical Transport Network
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality
PoP	Point of Presence
P2P	Peer to peer
PSTN/ISDN	Public switched telephone network / Integrated services digital network
READSL	Reduced ADSL
RFC	Request for Comments
RNO	regionaler Netzbetreiber
RSVP	Resource Reservation Protocol
RTP	Real Time Protocol
RTSP	Real Time Streaming Protocol
SAN	Subscriber access network
SBGWC	Session border control gateway
SBNu	Schmalbandnutzer
SDTV	standard digital Television
SIP	Session Initiation protocol
SLA	Service Level Arrangements
SLIC	Subscriber Line Interface Card
SMGWC	Session media gateway controller
TeS-MGWC	Telecom service media gateway controller
TDM	Time Division Multiplex
TGW	Trunk Gateway

TMGW	Trunk media gateway
TOS	Type of Service
TVSt	Teilnehmer Vermittlungsstelle
UNI	User Network Interface
VAD	Voice Activity Detection
VAS	Value added service
VPN	Virtual private network
VoIP	Voice over IP
VSt	Vermittlungsstelle
WFQ	Weighted fair Queuing
WiFi	Wireless fidelity
WiMAX	Worldwide interoperability for microwave access
WVSt	Weitverkehrs-Vermittlungsstelle

1 Executive Summary

Der vorliegende Forschungsbericht ist ein Beitrag zur Unterstützung der von der Bundesnetzagentur eingesetzten Arbeitsgruppe zum Thema „Rahmenbedingungen der Zusammenschaltung IP-basierter Netze“. Er fokussiert auf die technischen Grundlagen für die Realisierung von Voice over IP (VoIP) in integrierten Sprach- und Datennetzen und soll damit eine Grundlage zur Beantwortung von ökonomischen Fragestellungen bilden, mit denen sich die Arbeitsgruppe beschäftigt. Im Einzelnen sind in diesem Gutachten Fragen der Netzarchitektur, Netzstruktur (Standortanzahl im Kernnetz), Quality of Service (QoS) sowie die Realisierung von Leistungsmerkmalen des PSTN/ISDN mittels VoIP untersucht worden.

Die Integration von Daten und Sprache auf IP-Netzen wird sowohl von traditionellen Netzbetreibern vorgenommen (Next Generation Networks, NGN) als auch von ISP (Next Generation Internet, NGI). Während für NGNs die Dienstrealisierung mit einer zentralisierten Steuerung im Kernnetz einhergeht, lassen sich NGIs durch eine verteilte Intelligenz (vor allem in den Endgeräten) charakterisieren, wie sie bisher aus dem Internet bekannt ist. Mit Blick auf die Netzarchitektur und die Zugangsmöglichkeiten wurde im Gutachten herausgearbeitet, dass mit zunehmendem Leistungsumfang (in Anlehnung an die Leistungsmerkmale des PSTN/ISDN) selbst im NGI eine zentrale Steuerung der Dienste zu erfolgen hat. Mit Ausnahme der Abrechnungseigenschaften wird die Leistungsfähigkeit in einem NGN/NGI aus technischer Sicht als (mindestens) vergleichbar mit dem PSTN/ISDN eingeschätzt. In der Migrationsphase ist jedoch von Einschränkungen der Dienstgüte hinsichtlich Skalierung, Protokollstabilität, Sicherheit sowie GoS/QoS auszugehen.

Mit Blick auf die Zugangsmöglichkeiten alternativer Betreiber wurde herausgearbeitet, dass das für das NGN charakteristische zentralisierte und vom Betreiber kontrollierte Netzkonzept es nur begrenzt gestattet, dass Dienstanbieter in flexibler Weise und ohne detaillierte Abstimmung mit dem Betreiber ihre Dienste in die NGN-Plattform integrieren.

Eine Analyse der Kostentreiber für VoIP-Dienste ergab, dass sowohl für das NGN als auch die IP-Plattform eines ISP die Bereitstellung der Steuerungsplattform von zentraler Bedeutung ist. Dabei sind die Investitionen in diese Plattform im Wesentlichen verkehrsgetrieben.

Zur Analyse von Netzstrukturmerkmalen (Anzahl der Kernnetzstandorte) sowie der Bereitstellung von QoS in dienstintegrierten IP-Netzen wurden Beispielrechnungen auf Basis eines netzplanerischen Modells unter Anwendung netzplanerischer Kennziffern durchgeführt.

Bei der Analyse von QoS stand dabei die Frage im Vordergrund, welchen Ressourcenaufwand die Bereitstellung von QoS im Vergleich zu einem Best Effort-Netz verursacht. Dabei konnte gezeigt werden, dass die zusätzlichen Kosten der QoS-

Realisierung auch von dem Verhältnis der Verkehrsanteile aus Best Effort und Echtzeit abhängen. Sofern der Echtzeitverkehr nur einen geringen Anteil am gesamten – von Best Effort dominierten – Verkehrsvolumen ausmacht, ergeben sich deutlich geringere Dimensionierungsanforderungen als im umgekehrten Fall.

Hinsichtlich der Bewertung der verschiedenen Realisierungsformen für QoS wurde festgehalten, dass Priorisierung sowohl der Überdimensionierung als auch der Kapazitätsreservierung überlegen ist. Kapazitätsreservierung stellt sich als eine zu ressourcenintensive Strategie heraus. Überdimensionierung kann demgegenüber aufgrund ihrer mangelnden Differenzierung zwischen Best Effort und Echtzeit keinen hinreichenden Schutz vor Überlast gewährleisten. Auch vor dem Hintergrund einer netzübergreifenden Implementierung von QoS erscheint Priorisierung als die superiore Strategie und erfordert keine umfangreiche Abstimmung, wie sie beispielsweise bei der Kapazitätsreservierung vorzunehmen wären. Zu analysieren bleibt das Problem der Kostenzurechnung bei der Realisierung von QoS und die damit verbundenen Implikationen für Wettbewerbsverhalten und Marktstruktur.

Ausgangspunkt für die Analyse der Netzstruktur bildete die Frage nach der effizienten Zahl von Zusammenschaltungspunkten auf der untersten Ebene des IP-Kernetzes in der anschlussbezogenen Form, wie sie gegenwärtig über die 74 BRAS/ZISP-Standorte realisiert werden. Unter Verwendung von netzplanerischen Kennziffern wurde abgeleitet, dass langfristig nicht mehr als 100 IP-Kernetz-Standorte zu erwarten sind, was letztlich die Obergrenze für die Anzahl von Standorten für eine IP-basierte (OSI-Schicht) Zusammenschaltung bildet. Die Hierarchie und die Anzahl der Standorte in einem darunter liegenden Konzentratornetz sowie die Möglichkeiten einer OSI-Schicht-2-Zusammenschaltung konnten im Rahmen dieses Gutachtens nicht detailliert untersucht werden, da eine Beurteilung stark von der derzeitigen Entwicklung von „Carrier Ethernet Architekturen“ abhängt, die die bisherigen ATM basierten Konzentratornetze ergänzen und ggf. mittelfristig ablösen werden. Empfehlungen für ein Migrationsszenario für die Zusammenschaltungsstruktur konnten nicht gegeben werden, da dies eine ökonomische Analyse alternativer Migrationsszenarien und deren marktstruktureller Implikationen erfordert, die im Rahmen dieses technischen Gutachtens nicht geleistet werden konnte.

Eine dienstebezogene Verkehrsübergabe konnte im Rahmen dieses Gutachtens nicht untersucht werden. Um diesen Aspekt zu analysieren, ist zunächst zu klären, wie die Verkehrsführung in NGN bzw. NGI zur Dienste- und Kontrollplattform erfolgt und in welcher Weise einzelne Dienste ggf. auch vorzeitig an alternative Betreiber ausgeführt werden können. Eine Beantwortung dieser Fragen erfordert einen Dialog mit den entsprechenden Netzbetreibern über ihre Pläne zur Dienstrealisierung. Losgelöst von der Beantwortung dieser Fragen kann jedoch ein Fortbestehen des gegenwärtig bestehenden Zusammenschaltungssystems, das eine Übergabe der Sprachdienste an Wettbewerber nahezu auf jeder Hierarchieebene des Netzes ökonomisch sinnvoll erlaubt, für integrierte IP-Netze nicht realistisch erwartet werden.

2 Einführung

Mit wachsender Bedeutung DSL-basierter Internetzugänge ist und kommt der Sprachübertragung mittels des IP-Protokolls über Breitbandnetze zunehmende Bedeutung zu. In den letzten zwei Jahren haben sich verschiedene Anbieter etabliert, die ihre VoIP-Dienste auf die bestehende Infrastruktur des Internet aufsetzen und mittels der Bereitstellung zusätzlichen Equipments die Interkonnektivität mit dem traditionellen Telefonnetz ermöglichen. Gleichzeitig schreitet die Entwicklung und Implementierung sogenannter Next Generation Networks (NGNs) der etablierten Telefondienstleister voran, die ebenfalls auf IP-basierten Netzen ein integriertes Dienstangebot, inklusive Sprachdienst, realisieren wollen. Beide Entwicklungen lassen erwarten, dass zukünftig die Realisierung von Sprachdiensten über IP einen bedeutenden Anteil am gesamten Sprachdienstvolumen ausmachen wird.

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung kommt der Frage nach der Ausgestaltung des Zusammenschaltungsregimes für VoIP zunehmende Bedeutung zu.

Die vorliegende Arbeit ist vor dem Hintergrund der Erarbeitung eines neuen Zusammenschaltungsregimes für Sprachtelefonie auf Basis technischer und ökonomischer Erkenntnisse zu sehen. Aus ökonomischer und regulatorischer Sicht sind dabei die folgenden Aspekte von zentraler Bedeutung:

- Kostenstrukturen
- Kostentreiber
- Dienste und Kostenallokation
- Differenzierung von Terminierungsentgelten nach PSTN und IP
- Effiziente Netzstrukturen / Kosten effizienter Leistungsbereitstellung
- Realisierungsstrategien für QoS

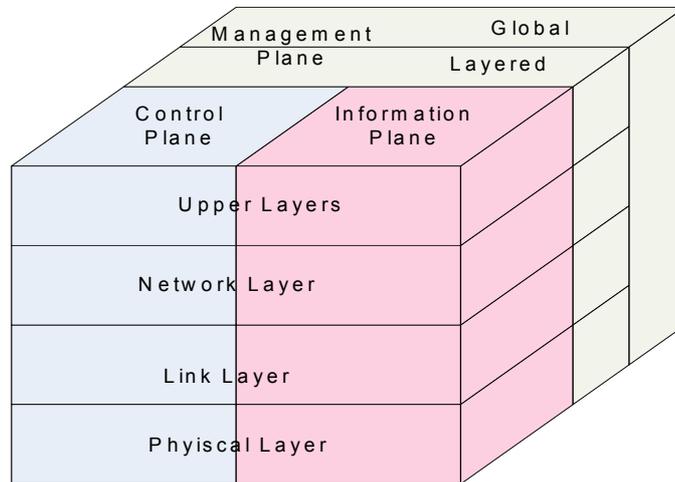
Die Kostenanalyse setzt jedoch ein grundlegendes Verständnis und Annahmen über die netztechnische Realisierung von VoIP-Diensten voraus. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher herauszuarbeiten, welche spezifischen technischen Charakteristika IP-basierter Netze für ein Zusammenschaltungsregime mit Blick auf die oben genannten (Kosten-)Aspekte von Bedeutung sind. Der Forschungsbericht ist dabei wie folgt aufgebaut: In einem ersten Abschnitt wird auf die Entwicklung von Netzarchitekturen für IP-basierte Dienste eingegangen. Dabei werden die Bestrebungen einer zentralisierten Dienstbereitstellung und –kontrolle (zusammengefasst unter dem Stichwort NGN) den Entwicklungen auf Basis des offenen Internetcharakters gegenüber gestellt (charakterisiert durch den Begriff Next Generation Internet, NGI). Im vierten Kapitel (Kommunikationsdienste in IP-basierten Netzen und deren Anforderungen) wird herausgearbeitet,

welche Anforderungen von (neuen bzw. zunehmend bedeutenderen) Diensten an IP-Netze gestellt werden. Im fünften Kapitel wird dann das Blickfeld auf die Leistungsmerkmale von Sprachdiensten verengt. Dabei wird zum einen auf die Leistungsmerkmale im PSTN/ISDN, zum anderen wird auf die Anforderungen der netztechnischen Realisierung eingegangen, welche insbesondere mit Blick auf Kostentreiber und Kostenstrukturen von Relevanz sind. Im sechsten Kapitel werden Aspekte der Zusammenschaltung mit IP-basierten Netzen behandelt. Ausgehend von dem bestehenden Zusammenschaltungsregime werden Zusammenschaltungs-Szenarien sowohl mit dem NGN (und Vorläufern) als auch mit derzeitigen IP-Netzen von ISP. Abschließend wird auf die hierarchische Struktur der IP- Kernnetze und deren Implikationen für eine Zusammenschaltung thematisiert.

Für allgemeine Betrachtung in Kommunikationsnetze, deren Interkonnektivität und den verkehrsabhängigen Kosten für die verschiedenen Dienste z.B. für VoIP wird ein allgemeines Beschreibungsmodell benötigt, das es gestattet, die Funktionen und deren Kostentreiber elementweise zu identifizieren. Dazu wird in dieser Arbeit ein von der ITU im Zusammenhang mit der Spezifizierung eines ATM B-ISDN Netzes entworfenes Funktionsmodell verwendet, das wegen seiner Bedeutung nachstehend kurz dargestellt wird und auf das sich verschiedene technische als auch wirtschaftliche Betrachtungen in dieser Arbeit beziehen.

Das ITU Funktionsmodell gliedert sich in drei Funktionsbereiche (im Model als Plane bezeichnet) und zwar für die Funktionen des Transport der Nutzinformation (Information Plane), für die Kontrollfunktionen zum Aufbau, Abbau und Überwachung bzw. Restaurierung von Verbindungen (Control Plane) und Funktionen zur Netzverwaltung (Management Plan). Die Funktionen in jedem dieser drei Bereiche werden nochmals nach Schichten unterteilt, wobei das OSI Schichtenmodell zur offenen Kommunikation herangezogen wird. Abbildung 2-1 zeigt in graphischer Weise den Aufbau des Modells. Dieses Modell gestattet es, die Funktionen und deren Realisierung bei der Verbindung von Kommunikations-Einrichtungen systematisch zu untersuchen. Diese Verbindungen können vom Nutzer zum Netzeingang reichen, innerhalb von Knoten eines Netzteiltes gleicher Architektur, zwischen den Knoten verschiedener Netzteile eines Betreibers oder gar zwischen zwei Netzen verschiedener Betreiber.

Abbildung 2-1 Funktionsmodell zur Beschreibung von Kommunikationsnetzen und deren Interkonnektivität



3 Netzarchitekturen für IP-basierte Dienste

In diesem Kapitel wird die Entwicklung der Netzarchitekturen betrachtet, ausgehend von den derzeitigen Netzen bis zu einem IP-basierten dienstintegrierten Breitbandnetz. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Untersuchung der Evolution des IP-Kernnetzes (IPCoN) unter Berücksichtigung der Sprachintegration. Für eine einheitliche Beschreibung der verschiedenen Netzfunktionen und deren Aufteilung wird in dieser Arbeit eine des im ersten Kapitel eingeführte Verallgemeinerung des B-ISDN-Referenzmodells verwendet, vergleiche Abbildung 2.1.

Der erste Abschnitt dieses Kapitels (Abschnitt 3.1) gibt eine globale Beschreibung über die Entwicklung der Breitbandnetze mit ihren zugehörigen Netzteilen. Im Abschnitt 3.2 wird die Entwicklung der Architekturen des IP-Kernnetzes zusammenfassend dargestellt. Dabei werden zwei grundsätzliche Wege unterschieden:

- die Integration eines PSTN/ISDN-Netzes mit der IP-Transportplattform eines nationalen Netzbetreibers, was als Next Generation Network (NGN) bezeichnet wird und
- die Evolution des IP-Netzes eines Internet Service und Transport Providers (ISP/ITP) zur Integration neuer Dienste, insbesondere Sprachdienste, was in Abgrenzung zum NGN als Next Generation Internet bezeichnet wird.

Beide Aspekte werden in den jeweiligen Unterabschnitten behandelt. Im Abschnitt 3.3 wird die Evolution des öffentlichen Internet unter dem Aspekt vermehrter Dienstintegration betrachtet. Im Abschnitt 3.4 werden die beiden Konzepte NGN und NGI aus technischer Sicht miteinander verglichen, während der Abschnitt 3.5 Kostenaspekte zum Aufbau und Unterhalt dieser Netze behandelt.

3.1 Zusammenfassende Darstellung über die Entwicklung von Breitbandnetzen

Derzeitige und zukünftige Breitbandnetze auf der Basis von IP-Paketen teilen sich – wie auch die leitungsvermittelten Schmalbandnetze PSTN/ISDN – auf in das:

- i. breitbandige Teilnehmeranschlussnetz (BSAN)
- ii. das breitbandige Zugangs- bzw. Accessnetz (BAN) und
- iii. das IP-basierte Kernnetz; Breitband Core Netz (IPCoN)

Im Gegensatz zum PSTN/ISDN sind die verwendeten Netzarchitekturen in den verschiedenen Netzteilen des Breitbandnetzes derzeit unterschiedlich und nur begrenzt

durch einheitliche Standards harmonisiert, vor allem unter dem Aspekt des Verkehrsmanagement, vergleiche [Lark-2002].

Das aktuelle BSAN basiert auf dem derzeitigen xDSL Standards ADSL, SDSL und HDSL und integriert sich in die Kupferdoppelader des schmalbandigen SAN. Dazu werden Ethernetrahmen übertragen, deren Inhalte in ATM-Zellen eingekapselt werden. Durch die Verwendung des Schmalband TIn-AN reicht das BSAN wie auch das schmalbandige SAN von der Schnittstelle beim Endkunden bis zum zugehörigen Hauptverteiler (i.d.R. DSLAM- Standort).

Das derzeitige BAN reicht vom DSLAM bis zum PoP des IP-basierten Kernnetzes, ist normalerweise dreistufig und derzeit auf der Basis von ATM-DSLAM, ATM-Konzentratoren und ATM-Switches aufgebaut. Dabei wird die unterste Stufe durch reine DSLAM-Standorte realisiert, während in der zweiten Stufe ein zusätzlicher ATM-Konzentrator eingerichtet wird, der die Verkehre aus allen angeschlossenen DSLAM-Standorten zusammenfasst und an seinen zugehörigen (angeschlossenen) ATM-Switch auf der obersten Ebene übergibt. Die ATM-Switches werden normalerweise an den Standorten eines IP-basierten IPCoN installiert, an denen sich Broadband Remote Access Server (BRAS) sowie Label Edge Router (LER) befinden.

Am BRAS werden im Upstream aus den ATM-Zellen die originären Ethernetrahmen und das zugehörige IP-Paket zusammengesetzt, im BRAS bzw. LER ausgewertet und im IP-basierten Transportnetz (IPCoN) zu seinem Ziel innerhalb der IP-Ebene geroutet, z.B. einem WEB oder Streaming Server. Im Downstream findet genau der umgekehrte Prozess statt. Derzeit sind IP-Kernnetze mit Routern ausgerüstet, deren Prozessorgeschwindigkeit im Gbps-Bereich liegt und die mit digitalen Leitungsgruppen auf der Basis von STM-N-Signalen (N=4,16,64) verbunden sind.

Die Entwicklung der drei Breitbandarchitekturen orientiert sich an der Entwicklung steigender Nachfragen aus den bestehenden IP-Breitbanddiensten, generell definiert als „High Speed Internet Access“, sowie neuen Breitbanddiensten, die die verschiedenen Betreiber in ihre Netzplattformen integrieren wollen. Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Dienste und ihre Merkmale mit Schwerpunkt auf Privatkunden.

Tabelle 3.1 Entwicklung der Breitbanddienste für Privatkundenanschluss

Name	Abk.	Dienstklasse	Bandbreite Mbps	Anzahl der über die AL parallel betreibbaren Dienste
TV mit hoher Bildauflösung	HDTV	Streaming	10	1
Standard digital TV	SDTV	Streaming	3	2
High speed Internet Access	HSIA	Best Effort	1 -2	1
Sprachdienste	VoIP	Real time	0,05 – 0,1	1-2

Demnach ist die Bandbreite der bisherigen BSAN, die Dienste im Spektrum von einer Grundversorgung im dreistelligen kbps-Bereich bis hin zum High Speed Internet Access im einstelligen Mbps-Bereich gewährleisten, auf etwa 20 Mbps auszuweiten. Allerdings setzt dies voraus, dass sich die maximale zulässige Länge der traditionellen Kupferdoppelader des SAN vom Endnutzer-Netzabschluss bis zum DSLAM verkürzt. Das bedeutet, dass auf Basis des bestehenden traditionellen SAN nicht mehr alle bisherigen PSTN/ISDN-Nutzer erreichbar wären, vergleiche [ALCT-2003] und Abbildung 2.1.

Tabelle 3.2 Einsatz von ADSL-Typen und deren maximale Entfernung zwischen dem Endnutzermodem und dem DSLAM

ADSL Type	READSL2	ADSL2	ADSLplus	VDLS
Max. BSAN Länge [km]	6	5	2,5	1
BW [Mbps]	0,2	1,5	20	30
Segment	Grundversorgung	Massenmarkt HSIA	Massenmarkt IP-TV	?

Um die Nutzerausdehnung zu erweitern, ist der Glasfaserzugang, der bisher am Hauptverteiler (HVT) liegt, (FTTEx) hin zum Kabelverzweiger (FTTCa) auszudehnen, und es sind entsprechende Einrichtungen nicht mehr am HVT, sondern typischerweise am Kabelverzweiger KVZ, der am Ende des Haupt- und Beginn der Verteilkabel des SAN liegt, zu installieren. Die bisherigen DSLAM-Einrichtungen sind durch IP-basierte IP-DSLAM zu ersetzen, deren Ausgangsschnittstelle auf der Basis von 1 GbitEthernet bzw. 10 GbitEthernet basiert, vergleiche [Poll-2005], [Weis-2005], [Nind-2006].

Damit stellt sich auch die Frage über die Abgrenzung des BSAN gegenüber dem bisherigen SAN. Liegt dieses, wie bisher, an dem HVT oder aber an dem vorgezogenem KVZ, zu dem nunmehr ein optisches Kabel reicht, vergleiche [Neum-2005], [KLei-2006]. Auf die damit in Zusammenhang stehenden regulatorischen Fragen auch unter Einbeziehung des PSTN/ISDN wird im Rahmen dieses Gutachtens jedoch nicht weiter eingegangen.

Die Entwicklung des breitbandigen Zugangsnetzes (BAN) verläuft von der bestehenden dreistufigen ATM-Struktur zu einem vergleichbaren zweistufigen Ethernet, das die ATM-Struktur zunächst ergänzt und später vollständig ersetzt. In der Ethernet Access Struktur werden in der ersten Stufe 1Gbps Ethernet-Verbindungen aus dem IP-DSLAM zu einem Metro-Ethernet-Standort in der zweiten Ebene geschaltet. Mehrere Metro-Ethernet-Standorte werden dann mittels Metro-Ethernet-Ringstrukturen zu einem Metro Area Ethernet (MAEN) in Form von Ringstrukturen zusammengefasst und einer der Standorte jeweils an einem IP-PoP des IP-Kernnetz zusammengeschaltet, vergleiche [ALCT-2003], [MFO-2003].

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Untersuchung der Evolution des IP-Kernnetz (IPCoN) unter Berücksichtigung der Sprachintegration, weshalb im folgendem Abschnitt die Entwicklung der IP-Kernetze ausführlich betrachtet wird.

3.2 Entwicklung der IP-Kernetze

Es kann beobachtet werden, dass die Entwicklung von WAN-Netzarchitekturen für IP-basierte Dienste in zwei Richtungen verläuft:

- Evolution des traditionellen PSTN/ISDN und dessen Integration in die IP-Plattformen der PSTN/ISDN-Netzbetreiber
- Evolution der IP-Netzdomains der ISP/ITP und des übergreifenden (offenen) Internet in Richtung eines dienstintegrierten IP-Netzes

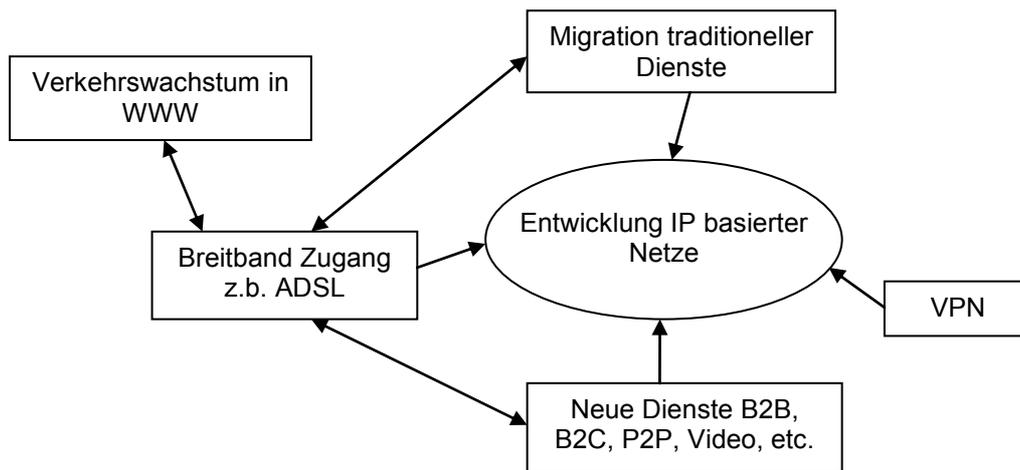
Die erste Evolution wird durch das sogenannte Next Generation Network (NGN)- Konzept unterstützt und wird im Unterabschnitt 3.2.1 dieses Kapitels behandelt. Die zweite Evolution wird bestimmt durch das Wachstum der Virtuellen Privaten Netze (VPN), die die ISP/ITPs in ihre IP-Netzdomains integrieren, aber auch netzübergreifend implementieren. Mit dieser Evolution werden kapazitätsverwaltete virtuelle Unternetze in das Best Effort Internet integriert. Dieser Prozess wird im Unterabschnitt 3.2.2 näher betrachtet. Die Evolution in Richtung eines dienstintegrierten Internet in Form einer offenen Plattform, die vielfältige Dienste mit unterschiedlichen Leistungsanforderungen integriert, wird im folgenden als Next Generation Internet bezeichnet und damit vom NGN-Konzept abgegrenzt. Die Evolution des derzeitigen Best Effort Internet in Richtung NGI wird im Unterabschnitt 3.2.3 behandelt.

Beide oben genannten Evolutionsszenarien (NGN, NGI) werden u.a. durch folgende Aspekte bestimmt:

- i. Quantitative Verkehrszunahme bei bestehenden Diensten, z. B. www, aber vor allem P2P
- ii. Wachstum bei Breitbandzugängen zum Internet
- iii. Nachfrage nach neuen Diensten, vor allem Breitbanddienste
- iv. Vermehrter Aufbau von privaten Netzen auf der Basis IP-basierter virtueller Netze, die die bisherigen Digital-Festverbindungen ablösen
- v. Migration traditioneller Dienste (VoIP)

Diese Aspekte sind nicht unabhängig, sondern auch miteinander korreliert, vergleiche Abbildung 3.1, wobei die Entwicklung des Breitbandzugangs von besonderer Bedeutung ist.

Abbildung 3-1 Einflussfaktoren auf die Entwicklung von IP-basierten Diensten.

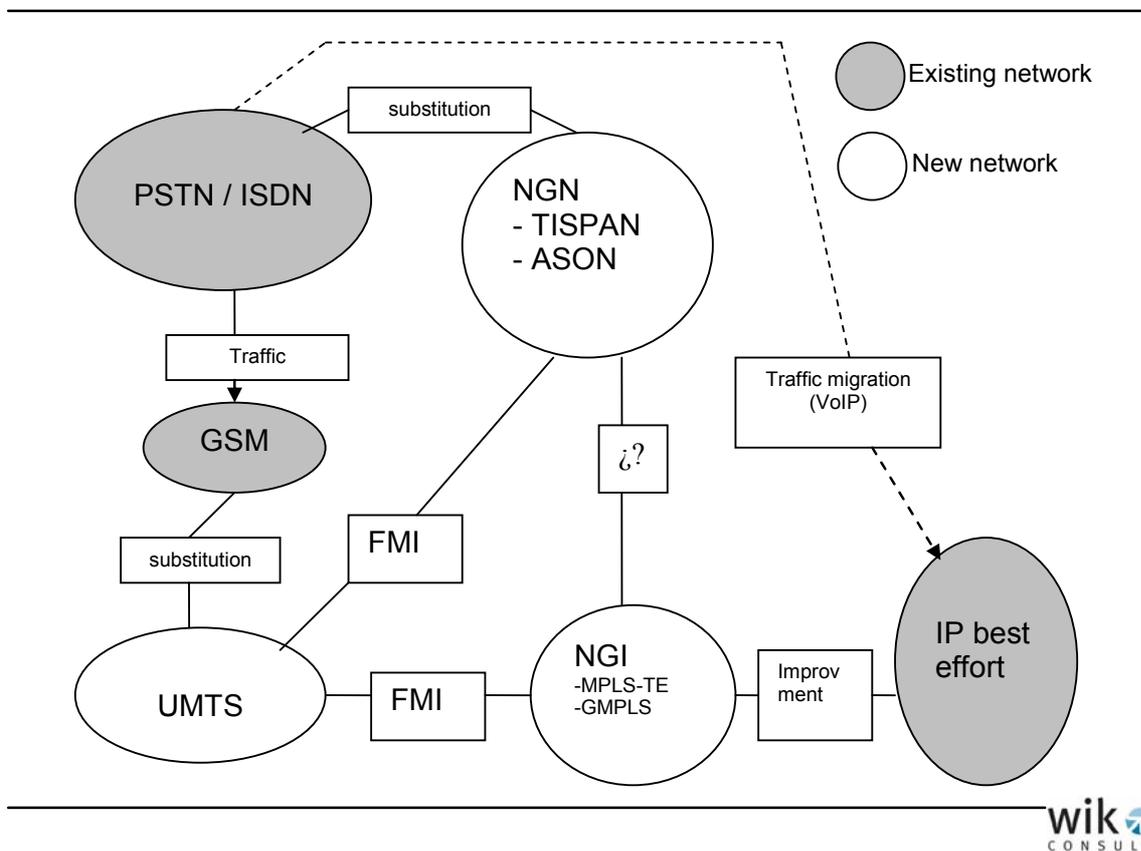


Aus der Integration neuer bzw. erweiterter Dienste im IP-Netz resultieren Verkehre, deren Anforderungen an das IP-Netz durch erweiterte Leistungsmerkmale bestimmt sind. Dies gilt sowohl für die zu unterstützenden Topologien der entsprechenden Verbindungen als auch für die Qualitätsanforderungen der Dienste und ihre zugehörigen Verkehrsströme. Dieser Sachverhalt wird im vierten Kapitel dieser Arbeit näher behandelt. An dieser Stelle sei nur zusammenfassend festgestellt, dass betreffs der Verbindungstopologien das derzeitige Konzept der Terminal-Server-Verbindungen durch vermehrte Ende-zu-Ende-Verbindungen zwischen zwei Terminals z.B. für VoIP, aber auch für Konferenzverbindungen, Multi- und Broadcast-Verbindungen (wie TV und Videothek Dienste) sowie Multiterminal-Multiterminal-Verbindungen (wie Peer-to-Peer-Verkehre) mit Hilfe entsprechender Netzarchitekturen zu unterstützen ist. Es ist auch zu erwarten, dass zukünftige WEB-basierte Multimedia-Dienste während einer Sitzung mehrere Verbindungsarten flexibel unterstützen müssen. Hinzu kommen vermehrte Sicherheits- und Zuverlässigkeits-Anforderungen an IP-basierte Netze vor allem für Business to Business (B2B), Business to Customer (B2C) aber auch für VPN und für VoIP-Dienste.

Ein vollständiges Bild der Entwicklung der Netze in Richtung NGN bzw. NGI muss auch die Entwicklung der Mobilfunk-Dienste und Netze und deren nahtlose Integration im Rahmen des Konzeptes „Fixed Mobile Integration (FMI)“ berücksichtigen. Von besonderer Bedeutung sind auch Marktstruktur- und Wettbewerbsfragen, die sich in grob ver-

einfacher Weise in der Entwicklung der beiden Netzszenarien, NGI durch ISP und NGN durch traditionelle Betreiber, widerspiegeln. Dieser Prozess wird aus den Verkehrsabflüssen aus den leitungsvermittelten Netzen sowohl in die IP-basierten Netze als auch in die Mobilfunknetze beschleunigt. Für die Untersuchungen in diesem Bericht ist vor allem die Migration traditioneller Dienste und dabei des leitungsvermittelten Sprachdienst und dessen Integration in IP-basierte Netze (VoIP) von besonderer Bedeutung. Abbildung 3.2 stellt diesen Sachverhalt zusammenfassend dar.

Abbildung 3-2 Darstellung der Netzentwicklung unter Berücksichtigung von Verkehrsmigration



3.2.1 NGN und seine Vorläufer

Wie in der Einleitung zu diesem Abschnitt dargestellt, findet derzeit eine Verkehrsmigration vor allem der Dienste aus dem PSTN/ISDN in Richtung anderer Netze statt. Diese Verkehrsmigration betrifft nicht nur den Sprachverkehr, sondern auch Datendienste, die bisher im leitungsvermittelten Netz bereitgestellt wurden. Hinzu kommt, dass schmalbandige Festverbindungen, die auch teilweise im leitungsvermittelten Netz ge-

schaltet wurden, durch die Einführen von VPN und deren Integration in die jeweiligen IP-Plattformen der jeweiligen Netzbetreiber ebenfalls an Bedeutung verlieren.

Obgleich die technischen Einrichtungen der meisten PSTN/ISDN, vor allem die digitalen Vermittlungsstellen, bei einer Vielzahl von Netzbetreibern zuverlässig und ohne nennenswerte Störungen arbeiten, haben verschiedene Netzbetreiber die Umstellung der leitungsvermittelten Netze und deren Integration in ein IP-basiertes Netz geplant. So hat AT&T seit Ende 1999 systematisch die Integration von VoIP-Plattformen in ihren Netzen untersucht und praktische Erfahrungen vor allem in ihren eigenen Unternehmensnetzen gewonnen, vergleiche [AT&T-2005], [Mend-2003].

Ziel dieser Integration ist es, die anspruchsvollen Leistungsmerkmale der PSTN/ISDN hinsichtlich Sprachqualität, Zuverlässigkeit und Netzsicherheit sowie die weltweite Zusammenarbeit dieser Netze nach Möglichkeit voll zu erhalten.

Auf internationaler Ebene wurde dazu in enger Zusammenarbeit von Netzbetreibern und Service Providern von der ITU das sogenannte „Next Generation Network“ (NGN)-Konzept entworfen. Eine zusammenfassende Übersicht über die Aufgabe des NGN-Projekts findet sich in [ITU-2004] und eine kurze Definition in der Box I. Die Arbeit der ITU wird durch andere Gruppen und Foren unterstützt bzw. durch Behandlung spezieller Aspekte ergänzt.

NGN and its relation with the PSTN/ISDN

Next Generation Network (NGN) refers to the IP-based network that could well supplant the PSTN network for providing telecommunication services. The NGN supports several multimedia services such as VoIP, videoconferencing, email, IM, etc. The ITU-T Recommendation Y.2001 defines NGN as follows:

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 offers unrestricted access by users to different service providers. It supports generalized mobility which will allow consistent and ubiquitous provision of services to users.

Box I NGN im Zusammenhang mit VoIP (Quelle, http://www.voipnow.org/2005/10/ngn_.html)

Im NGN-Konzept wird eine vertikale Gliederung der Netzfunktionen definiert, an deren Spitze die zu integrierenden Dienste stehen und an deren Ende sich die jeweiligen Benutzer mit ihren Endgeräten befinden. Die Dienste sind jeweils mit zugehörigen Kontrollfunktionen verbunden, die in Form sogenannter Media-Gateway-Controller (MGWC) realisiert werden. Der MGWC stellt das Bindeglied zwischen dem jeweiligen Dienst und dem Benutzer sowie der Transportfunktion dar.

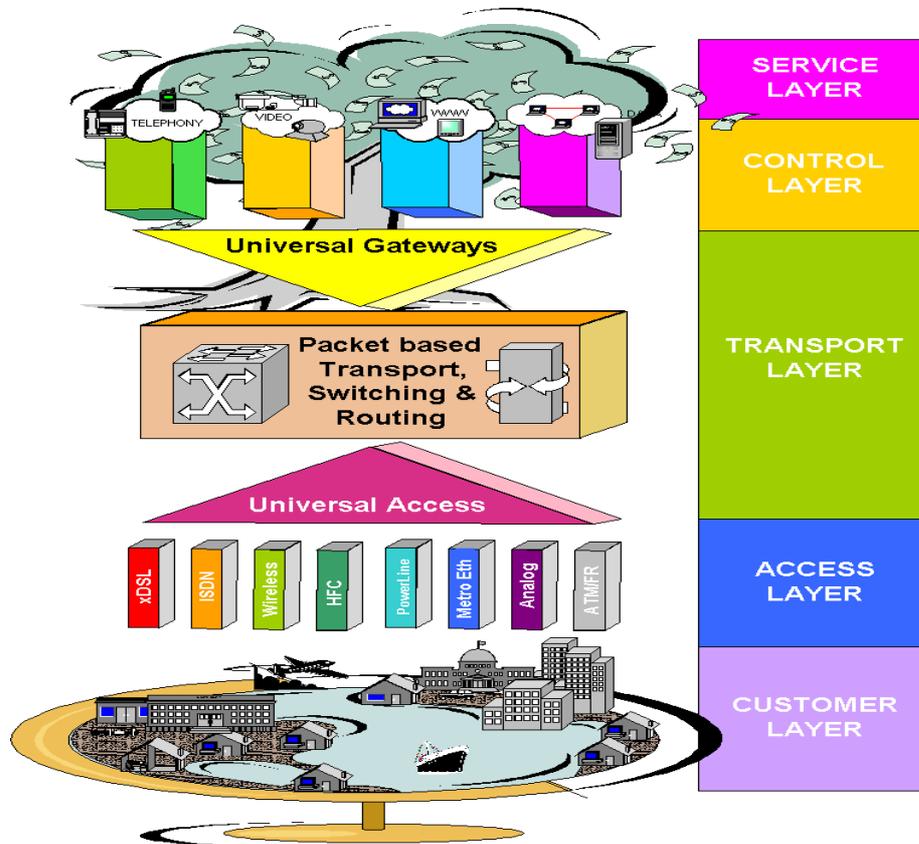
Die Aufgaben der MGWC lassen sich nach vier Aspekten klassifizieren, vergleiche [Hard-2002]:

- I. Dienstvermittlung und Zugang (Mediation)
- II. Verwaltung der Nutzerdisposition (Presence)
- III. Verwaltung der Ressourcen (Resource)
- IV. Verwaltung der Nutzermobilität

Die „Mediation“-Funktion vermittelt den Dienstzugang ggf. zu verschiedenen konkurrierenden Diensteanbietern und wird zukünftig vermutlich in Form einer „Portalseite“ aufgebaut sein. Die Verwaltung der Nutzerdisposition erweitert das vereinfachte Konzept „frei oder besetzt“ im traditionalem Telefon-Dienst. Die Verwaltung der Ressourcen stellt sicher, dass einem Dienst, der im Rahmen der Mediation-Funktion angenommen wurde, die entsprechenden Transportkapazitäten zugewiesen werden. Die Nutzermobilität gestattet es, dass ein Nutzer flexibel und unabhängig von seinem jeweiligen Aufenthalt Dienste in Anspruch nehmen kann – eine Funktion, die durch das Konzept der Fix Mobile Integration definiert wird.

Die Menge aller MGWC bildet die Kontrollplattform. Die Endnutzer erhalten ihren Zugang zum Netz über sogenannte Access Media Gateways AMGW, auch als Subscriber Access Media Gateway bezeichnet, die sich über die abzudeckende Geographie des Netzes verteilen. Die Zusammenschaltung von NGNs (aber auch eines NGN mit einem anderem Netz z.B. GSM/GPRS oder UMTS) wird durch sogenannte Trunk Media Gateways TMGW, auch als Transit Gateway bezeichnet, vorgenommen. Die Access- und Trunk Media Gateways werden durch die MGWC in Form eines „Master-Slave“-Prinzips kontrolliert. Als Transportplattform wird im NGN-Kernnetz ein IP-basiertes Netz verwendet (derzeit IPv4, später aber mit hoher Wahrscheinlichkeit IPv6). Die Benutzer erhalten im NGN-Konzept entweder direkten Zugang zum Kernnetz oder aber über verschiedene Konzentratornetze (sowohl drahtgebunden als auch drahtlos). Die jeweiligen Schnittstellen der Endgeräte werden im Konzentratornetz umgesetzt und die verschiedenen Konzentratornetze durch eine einheitliche Schnittstelle mit dem Kernnetz verbunden. Der integrierte Zugang verschiedener Endgerätetypen erlaubt es, dass ein Benutzer übergangslos erreichbar ist, wo immer er sich auch befindet. Abbildung 3-3 gibt eine Übersicht über die vertikalen Schichten im NGN.

Abbildung 3-3 Vertikale Gliederung der Schichten im NGN-Konzept



Wie Abbildung 3-3 zeigt, erfolgt der Zugang zu der universellen IP-Plattform im NGN-Konzept über verschiedene Zugangsnetze und die Wahl des Zugangsnetzes hängt vom Typ des Endgerätes (Customer Privat Equipment (CPE)) bzw. Benutzernetzes (Customer Private Network (CBN)) ab. Nach derzeitigem Stand der Technik ist die Anzahl der Standorte in einer universellen IP-Plattform auf nationaler Ebene auf wenige 100 Knoten begrenzt, und es ist daher erforderlich, die Verkehre aus der Fläche zu sammeln und über entsprechenden Konzentratornetze zuzuführen. D.h., dass sich die Zugangsnetze in das Teilnehmer-Access-Netz (SAN) und einem Konzentratornetz unterteilen. Im Bereich der Festnetze ist dazu zu betrachten:

- das traditionelle SAN aus dem PSTN/ISDN, dessen Kapazität mittels xDSL Modems zu einem Teilnehmer-Breitband-Access-Netz (BSAN) erweitert wird und
- einem derzeit ATM-basierten Breitband-Konzentratornetz (BAN) .

Der Einsatz von ATM im BAN ist aus Sicht von heutiger Technologie bereits überholt und wird bei Erweiterungen bzw. Neuaufbau durch die wesentlich kostengünstigere

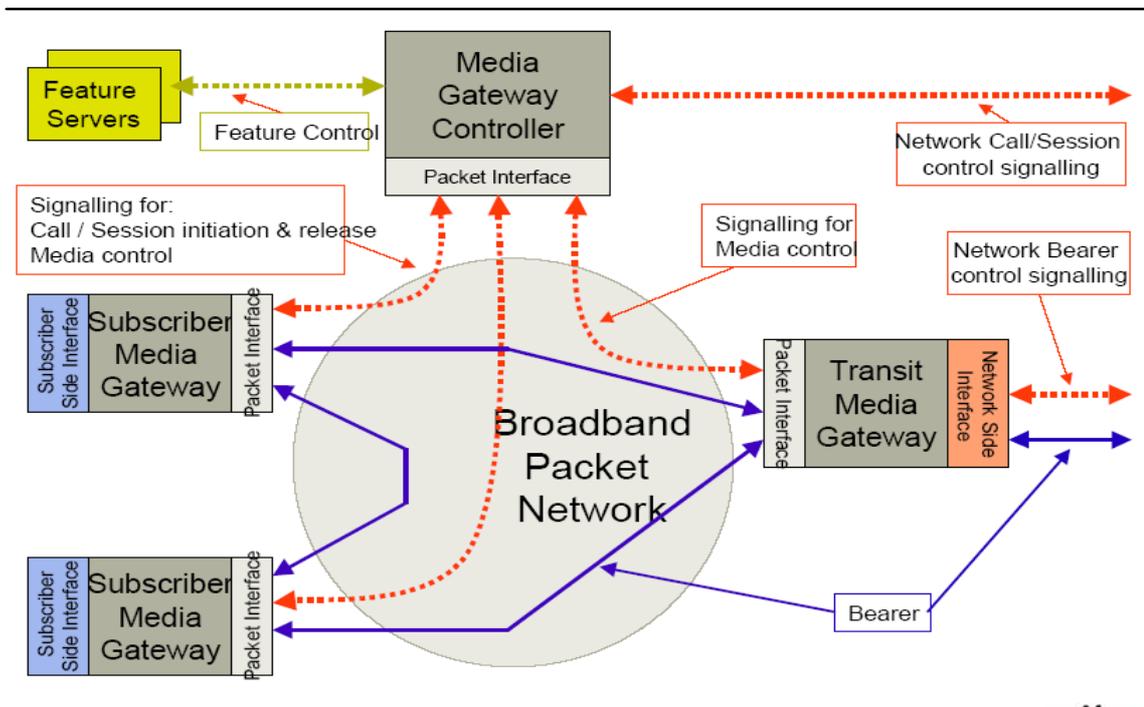
Ethernet-Architekturen abgelöst. Von besonderer Bedeutung ist dabei die sog. Metro-Ethernet-Architektur, mit der ausreichend Bandbreite zur Verfügung gestellt werden kann und deren geographischer Radius die bisherigen Begrenzungen von Ethernet überwindet. Inzwischen ist es auf Basis von Ethernet möglich, die Entfernung zwischen dem netzseitigem Abschluss des BSAN und dem PoP der IP-Plattform zu überbrücken, vergleiche auch [Gur-2002], [Nöll-2005], [Polla-2005]. Allerdings ist dabei zu beachten, dass derzeit Ethernet-Zugangsnetze noch nicht in allen Parametern über die Leistungsmerkmale von ATM/SDH-Netzen verfügen, vergleiche [Töll-2006].

Neben dem drahtgebundenen Breitbandzugang ist auch der Funkzugang von Bedeutung. Dabei kommen Mobilfunkarchitekturen des UMTS und Mikrowellenanbindungen durch WiFi and WiMax zum Einsatz. Die Einbindung von Mobilfunknetzen in die NGN-Architektur wird im Rahmen des Konzeptes „Fixe-Mobile Integration (FMI)“ bearbeitet, während WiFi-Netze lokal begrenzt sind und i.d.R. über eine xDSL-Schnittstelle mit dem BAN verbunden werden. WiMAX ist eine alternative Breitbandanschlusstechnologie, die entweder in ländlichen Gebieten eingesetzt werden kann, aber auch in City-Netzen als Alternative zur Kupferdoppelader des SAN dient .

Voice over IP im NGN

Bei der Implementierung von VoIP-Diensten im NGN werden die Anrufanforderungen der Benutzer mittels Signalisierungsnachrichten zu dem jeweils zugeordneten MGWC für Sprachdienste geführt und der MGWC nimmt alle Funktionen zum Aufbau der Verbindung, deren Kontrolle und Terminierung vor. Dazu werden von ihm ggf. auch die entsprechenden Kommandos an die IP-Router abgegeben, um die zugehörigen Kapazitäten bereitzustellen oder im Falle einer Überlast im Netz die Anrufanforderung zu blockieren. Aus dieser Beschreibung wird ersichtlich, dass im MGWC alle Funktionen konzentriert sind, die früher lokal in den jeweiligen Vermittlungsstellen vorgenommen wurden. Aus diesem Grunde werden die MGWCs auch Softswitch oder Call Agent genannt, vergleiche [Uebe-2001]. Damit können im NGN-Konzept unterschiedlichste Endgeräte integriert werden (angefangen von dem traditionellen passiven Telefon bis hin zu intelligenten VoIP-SIP-Telefonen). Abbildung 3-4 zeigt die verschiedenen Funktionselemente eines NGN, die den Aufbau einer Verbindung kontrollieren und überwachen.

Abbildung 3-4 Übersicht über die NGN-Kernnetzelemente



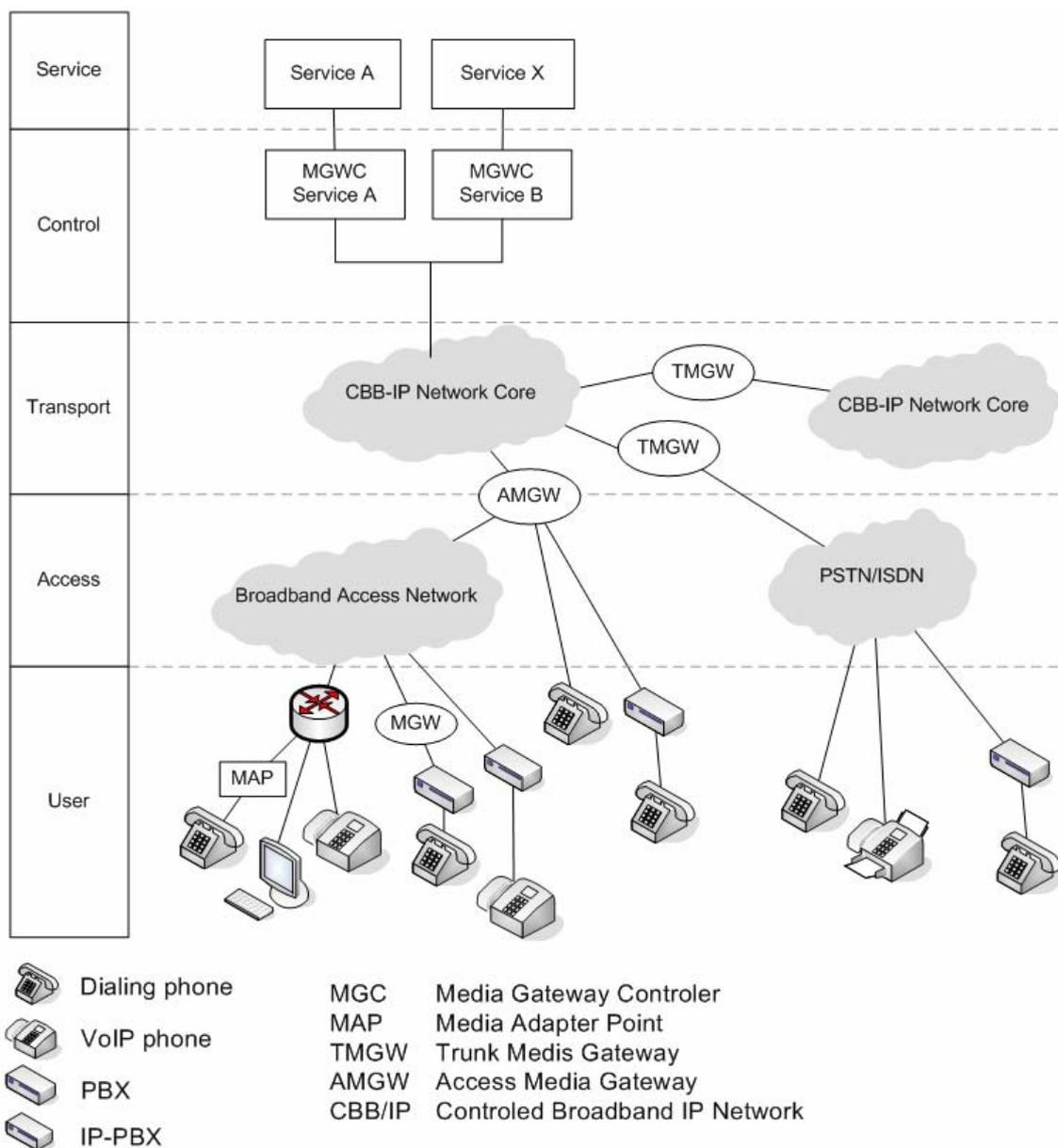
Quelle: ITU-2002

Durch die Verteilung der Access- und Zusammenschalt-Funktionen mittels der AMGWs und TMGWs und deren Kontrolle durch eine begrenzte Anzahl von zentralen MGWC ergibt sich eine hohe Flexibilität für das quantitative Wachstum der Netze, aber auch für die Integration neuer Dienste, die an den zentralen Standorten der MGWC stattfindet. Das zentralisierte Konzept gestattet auch, die hohen Sicherheitsstandards des bisherigen PSTN/ISDN zumindest konzeptionell aufrechtzuerhalten. Nach [Schi-2002] sind in NGN-Plattform-Verfügbarkeiten von 99,999% (d.h. 5 min. Ausfallzeit pro Jahr) zu erreichen. In der gleichen Arbeit werden auch Angaben über die möglichen Kapazitäten von Softswitches gemacht, wonach diese Rechnerleistung von bis $16 \cdot 10^6$ BHCA haben und mehrere Tausend AMGW bzw. TMGW steuern können.

Die Migration eines PSTN/ISDN-Netzes wird ebenfalls durch die Vielfalt der AMGWs unterstützt. So kann z.B. ein Netzbetreiber seine oberste PSTN/ISDN-Ebene nahtlos durch ein NGN ersetzen, ohne dass Änderungen beim Teilnehmer im SAN und im leitungsmitelsten Zugangnetz notwendig sind. Damit kann eine Netzintegration von oben nach unten stattfinden und die bisherigen IP-Netze der Betreiber mit dem PSTN/ISDN zusammengefasst werden, vergleiche [Uebe-2001]. Abbildung 3-5 zeigt die Integration von Diensten, die aus dem traditionellen PSTN bzw. einem Breitband Zugangnetz in das NGN migrieren, welches als ein bandbreitenkontrolliertes IP-Netz ausgelegt ist. Da die NGN-Core-Netze im Vergleich zu traditionellen PSTN/ISDN eine wesentlich geringere

gere geographische Erstreckung haben, ist deren Implementierung und entsprechende PSTN/ISDN-Integration mit begrenztem Einsatz möglich, sofern für den traditionellen Zugang aus dem PSTN/ISDN die bestehende Infrastruktur weiter verwendet werden kann. Neue Dienste können damit auch sofort flächendeckend angeboten werden, da davon ausgegangen wird, dass die BAN in den nächsten Jahren breit ausgebaut sein werden, vergleiche. [BNA-2005].

Abbildung 3-5 Konfiguration eines hybriden NGN, PSTN-Netzes in Verbindung mit den Funktionslayern aus dem NGN-Konzept.



Das NGN-Konzept wirft eine Reihe von Fragen auf, die in den entsprechenden ITU-Arbeitsgruppen zu Standardisierung bearbeitet werden. Dazu gehören normierte Schnittstellen für den Dienstzugang (UNI) als auch für die Zusammenschaltung von Netzen (NNI).

Für die interne Kommunikation der Funktionseinheiten, insbesondere zwischen den MGWCn und den AMGWs und TMGWs existieren mehrere Protokolle, wobei sich als Industriestandard das von der ITU und der IETF gemeinsam standardisierte H.248/MEGACO durchsetzen wird, vergleiche [KEYM-2005]. Das NGN sieht auch die Integration von Endgeräten basierend auf dem sog. Session Initiation Protokoll (SIP) vor, indem entsprechende SIP-Proxies in die Kontrollplattform integriert werden. Daraus ergibt sich, dass SIP und H.248/MEGACO keine konkurrierenden, sondern ergänzende Funktionen im NGN abdecken, vergleiche [KEYM-2005], [Gran-2002]. Für die Kommunikation zwischen den MGWC können verschiedene Protokolle je nach Hersteller eingesetzt werden, wobei in bisherigen NGN-Plattformen das „bearer independent carrier control protocol (BICC)“ angewendet wird (so z.B. in der ENGINE NGN-Plattform von Ericsson, vergleiche [Insu-2001]).

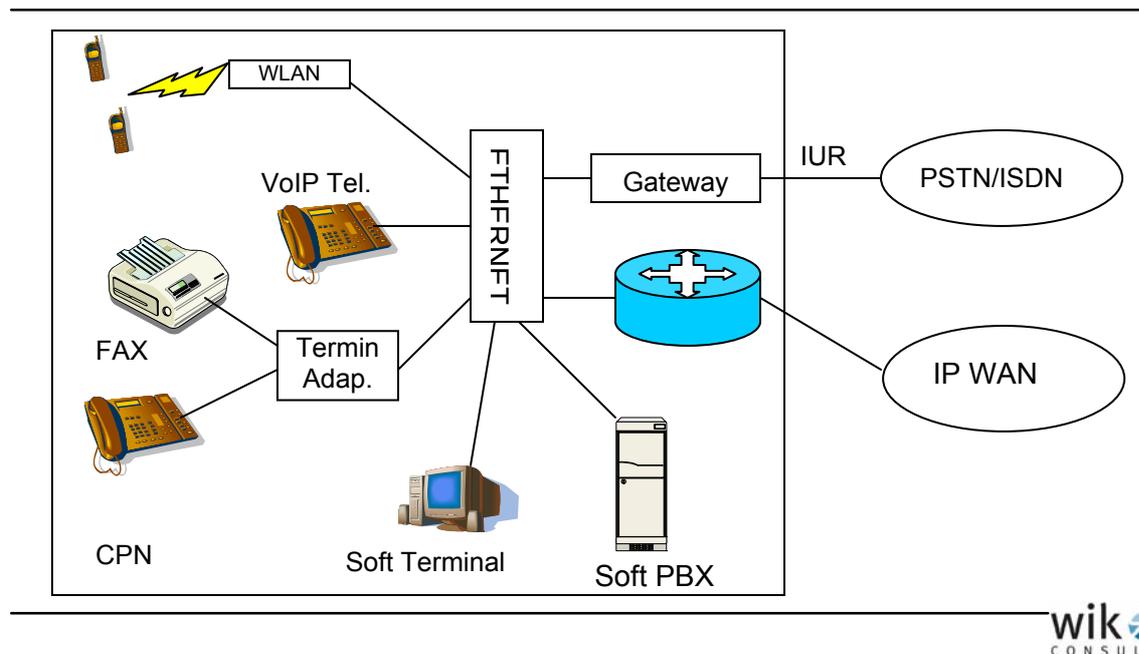
Die Vorteile des NGN-Konzept bringen auch einige Nachteile mit sich. Die Zentralisierung der Kontrollfunktionen steht im Gegensatz zum Konzept der verteilten Intelligenz im bisherigen Best Effort Internet. Die Einrichtungen sind auf Grund ihrer hohen Leistungsmerkmale und Zuverlässigkeitsparameter kostenaufwendig. Das zentralisierte und vom Betreiber kontrollierte Konzept gestattet es nur begrenzt, dass Dienstanbieter in flexibler Weise und ohne detaillierte Abstimmung mit dem Betreiber ihre Dienste in die NGN-Plattform integrieren. Für jeden neu zu integrierenden Dienst sind ggf. entsprechende Softwareergänzungen in die jeweiligen Media Gateways zu laden und ein entsprechender Call Agent einzurichten.

3.2.2 Derzeitige IP-Netze und deren Evolution

Die Evolution von IP-basierten Netzen in Richtung einer Sprach- und Datenintegration hat ihren Ausgangspunkt zunächst in Unternehmensnetzen an einem Standort (Inhouse oder Campus Netze). Dazu wird die traditionelle Nebenstellenanlage (PBX) durch eine IP-PBX ersetzt und deren Verkehr in das lokale Datennetz (typischerweise Ethernet) integriert. Aus heutiger Sicht ist bei Ablösung oder Neuanschaffung einer traditionellen PBX die Installation einer IP-PBX und deren Integration in das Inhouse-Netz sowohl von den Anschaffungs- (CAPEX) als auch von den Unterhaltskosten (OPEX) wirtschaftlicher, vergleiche [Nöll- 2005]. Bei Netzerweiterungen sind entsprechende Migrationsstrategien individuell zu betrachten. Als nächster Schritt wurden und werden diese integrierten IP-basierten Sprach-Datennetze verschiedener Unternehmensstandorte über öffentliche IP-Netze verbunden, womit geschlossene IP-basierte Unternehmens-

netze (Intranet) entstehen. Abbildung 3.6 zeigt den schematischen Aufbau eines sprach-datenintegrierten Unternehmensnetzes

Abbildung 3-6 Elemente eines sprach-datenintegrierten Unternehmensnetzes



Es ist allerdings zu beachten, dass die Kostenvorteile bei der Sprach-Datenintegration in Unternehmensnetzen mit einem teilweisen Verlust von Leistungsmerkmalen traditioneller leitungsvermittelter Unternehmensnetze verbunden sind, was im vierten Kapitel ausführlicher dargestellt wird.

Es zeigt sich damit eine Parallelentwicklung wie sie in der Vergangenheit auch in der Entwicklung von leitungsvermittelten Netzen zu beobachten war, nämlich dass Neuentwicklungen sich zunächst in Inhouse-Netzen durchsetzen, danach in standortübergreifenden Unternehmensnetzen und am Ende in öffentlichen Netzen.

IP-Kernnetze werden von verschiedenen Internet Transport Providern (ITP) implementiert. Je nach geographischem Umfang werden sie in drei Typen klassifiziert, vergleiche Tabelle 3.3. In der Regel sind die jeweiligen ITP gleichzeitig Internet Service Provider (ISP) oder aber mit einem ISP eng verflochten. Diese IP-Kernnetze transportieren die Information aus im Wesentlichen zwei Dienstklassen: (1) Best Effort und (2) Dienste mit Kapazitätsgarantie. Letztere werden vor allem für Geschäftskunden in Form von VPN eingerichtet bzw. für Transportdienste von ISP ohne bzw. mit nur begrenzter eigener Infrastruktur. Netztechnisch werden dazu getunnelte Verbindungen zwischen den Zugangspunkten der jeweiligen Kunden eingerichtet, wobei aktuell diese Tunnel durch das MPLS-Protokoll realisiert werden.

Tabelle 3.3 Klassifizierung der IP-Kernetze und deren Betreibern

Type	Geographische Ausdehnung	Betreiber Typen	Beispiele
Tier 1	International	Internationale Betreiber	Cable&Wireless, AT&T
Tier 2	National	NNB, NENO	DTAG, Telefónica Deutschland
Tier 3	Regional	NENO	Hansenet

Es kann davon ausgegangen werden, dass große ISP/ITP über zentrale Steuerelemente verfügen, mit denen die Kapazitäten verwaltet werden. Im Unterschied zum NGN-Konzept muss allerdings die steuernde Intelligenz nicht in einem oder wenigen Funktionselementen konzentriert werden, sondern kann stärker über die jeweiligen Netzelemente verteilt werden. So werden unter anderem für die Zusammenschaltung mit Netzen von Kooperationspartnern sogenannte Session Boarder Gateways Controller (SMGWC) eingesetzt, die die Transport- und Kontrollfunktion vereinen. Dieses Konzept ergibt sich aus der Entwicklung des Internet als einem offenen und flexibel zusammenschaltbarem Netz¹ mit allen ihren Vorteilen hinsichtlich Flexibilität, Wachstum, Einführung neue Dienste etc., aber auch den sich daraus ergebenden und hinlänglich bekannten Problem hinsichtlich Dienste-QoS, Zuverlässigkeit und Sicherheit.

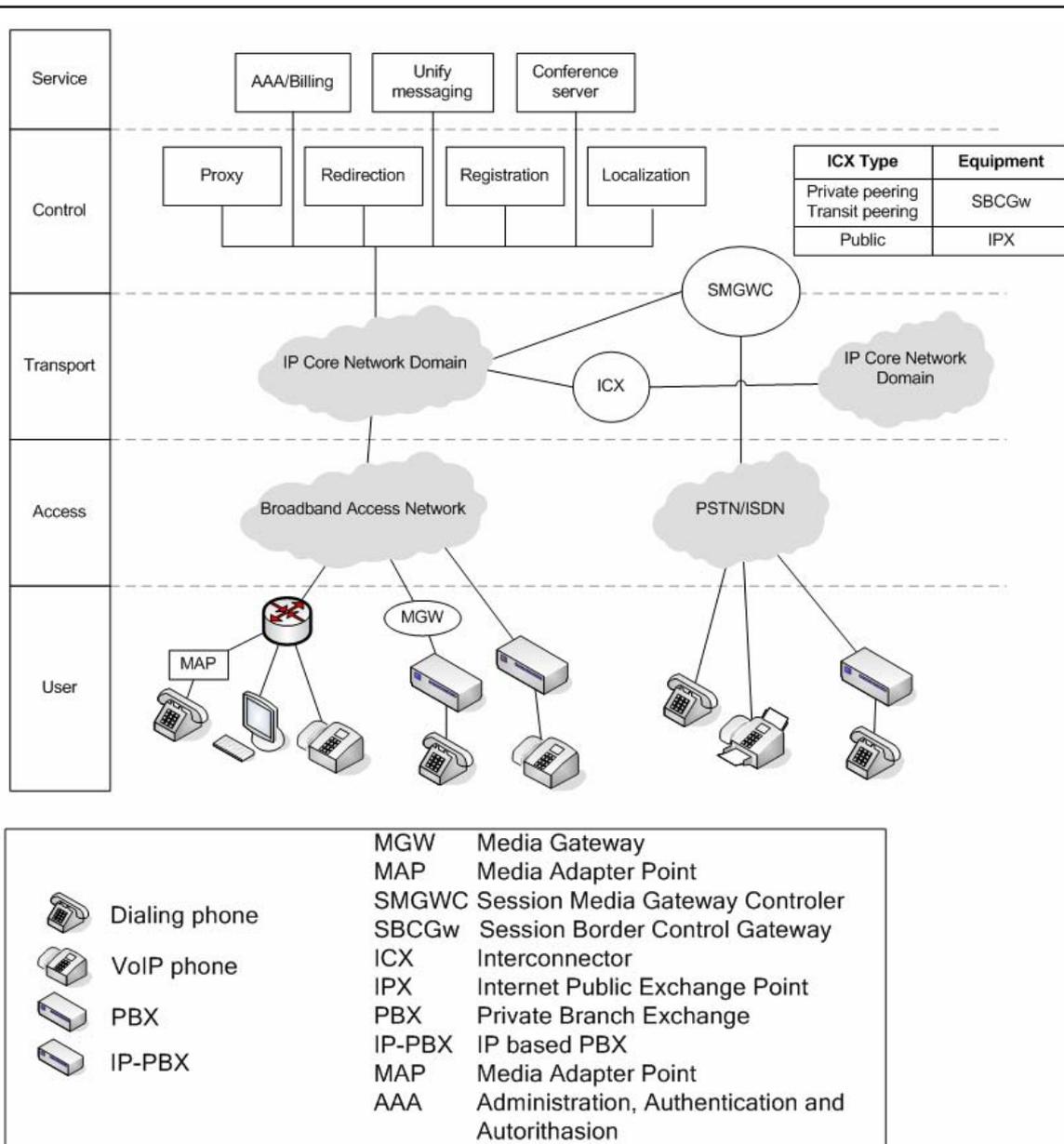
VoIP und andere Multimediadienste wie Unified Messaging werden in dieser Umgebung eingeführt, indem sowohl in den Endgeräten als auch den Schnittstellen vom Netz des Nutzers zum öffentlichen Breitbandnetz entsprechende Funktionen mittels Soft- bzw. Hardware implementiert werden. Dabei werden einige Funktionen durch gemeinsame Funktionselemente implementiert, deren Zuordnung zum Funktions-Schichtenmodell in der Kontrollschicht liegt. Zur Implementierung von VoIP- und Multimediadiensten wird derzeit vorwiegend das von der IETF unterstützte Session Initiation Protokoll (SIP) verwendet, welches sowohl in den Endgeräten in Form von IP-Telefonen zu implementieren ist als auch in den gemeinsamen Funktionselementen angewendet wird .

Im einfachsten Fall verwendet der Endnutzer als Dienstschnittstelle zum Netz seine normale offene Internetschnittstelle, die sich aus seiner IP-Adresse und einer der jeweiligen SIP-Verbindung zugeordneten Portnummer zusammensetzt. Der Anschluss von PSTN-Endgeräten erfolgt über Media Adapter und der Anschluss von traditionellen Nebenstellenanlagen (PBX) über Media-Gateways, die jeweils beim Nutzer zu installieren sind. Gemeinsame Funktionselemente werden entweder zentral oder aber verteilt über das Netz als periphere Elemente angeschlossen. Diese Funktionselemente implementieren in der Regel Kontrollfunktionen wie Benutzerberechtigung, Registrierung, Adressumwandlung der SIP-Adresse in die jeweilige IP-Adresse etc. Die Zusammenschaltung mit anderen Netzen kooperierender Partner finden in gesicherter Form über SMGWC statt, während die Zusammenschaltung mit dem öffentlichen Internet ungesi-

¹ Hier sei auf die Ausführungen des nächsten Abschnitts verwiesen.

chert über öffentliche Zusammenschaltungspunkte IXP/NAP erfolgt. Abbildung 3.7 zeigt die Entwicklung eines IP-Netzes zur Integration von Sprach- und Multimediadiensten.

Abbildung 3-7 Entwicklung von ISP IP-Plattformen in Richtung NGI und deren Verbindung mit der vertikalen Gliederung des NGN-Konzepts



Auf dieser Grundlage implementieren große ISP – aber auch einige traditionelle Netzbetreiber – oft zwei VoIP-Dienste, gesicherte Dienste mit QoS-Garantie und ungesicherte Dienste ohne QoS-Garantie.

3.3 Das öffentliche Internet und dessen Evolution

Aus historischer Sicht sind IP-Netze durch stark vereinfachte Zusammenschaltstrukturen zum sog. öffentlichen Internet zusammengewachsen. Diese IP-Netze wurden zum Transport von Best Effort Diensten in Form von offenen Netzen spezifiziert und implementiert, vergleiche [Clark-1988]. Die Benutzerschnittstelle zu einem Dienst wurde, und wird, nur in sehr vereinfachter Weise in Form der IP-Adresse und der zugehörigen Portnummer unterstützt. Das Netz enthält keine oder nur sehr verminderte Kontrollfunktionen für den Zugang zu einem Dienst, d.h. es ist dienstoffen oder dienstneutral.

Das Netz stellt auch nur sehr verminderte Funktionen zur Kapazitätszuweisung bereit. Um eine Überlast im Netz zu vermeiden bzw. zu verwalten, wird das Transport Control Protokoll (TCP) auf der Basis der beiden End-Nutzer einer Verbindung angewandt (typischerweise einer Client-Server-Beziehung). Mittels des TCP wird der Zufluss von IP-Paketen in das Netz lastabhängig gesteuert. IP-Netze transportieren die IP-Pakete in Form von sog. Datagramen. D.h. es wird nicht wie im PSTN erst eine Verbindung aufgebaut und dann gesendet und empfangen, sondern alle gesendeten IP-Pakete werden zunächst vom IP-Netz angenommen, aber nur im Falle von ausreichenden Kapazitäten bis an ihr Ziel transportiert. D.h. IP-Netze haben, ausgenommen von der Login-Funktion und der damit verbundenen Benutzerzugangskontrolle, im Gegensatz zum PSTN und PSDN keine spezifische „Call Admission Connection (CAC)“-Funktion.

Die Philosophie des Internet und ihrer Standardisierungsorganisationen gibt einfachen und schnellen Lösungen den Vorzug gegenüber aufwendigen Spezifikationen und Implementierungen, vergleiche [Lark-2002]. Soweit wie möglich werden Funktionserweiterungen, die durch neue Dienste entstehen, in den Endeinrichtungen (Client and Server) abgebildet und implementiert. Im Gegensatz zur ITU, die umfangreiche und stabile Dienste- und Netzschnittstellen spezifiziert, steht in den IP-Netzen das Zusammenwirken von Einrichtungen von verschiedenen Fabrikanten im Vordergrund. Dabei ist dieses Zusammenwirken i.d.R. nicht durch entsprechende Modelle gesichert, sondern wird in Form von Testkonfigurationen (sog. Testbeds) kontrolliert. Die Vorgehensweise in der Internet-Welt hat dazu geführt, dass in das Internetkonzept zahlreiche neue Protokolle in Form punktueller Lösungen eingeführt wurden, die einer systematischen Weiterentwicklung des Internet im Wege stehen und zu Inkompatibilitäten zwischen verschiedenen Protokollen innerhalb der Internet Protokoll Familie führen.

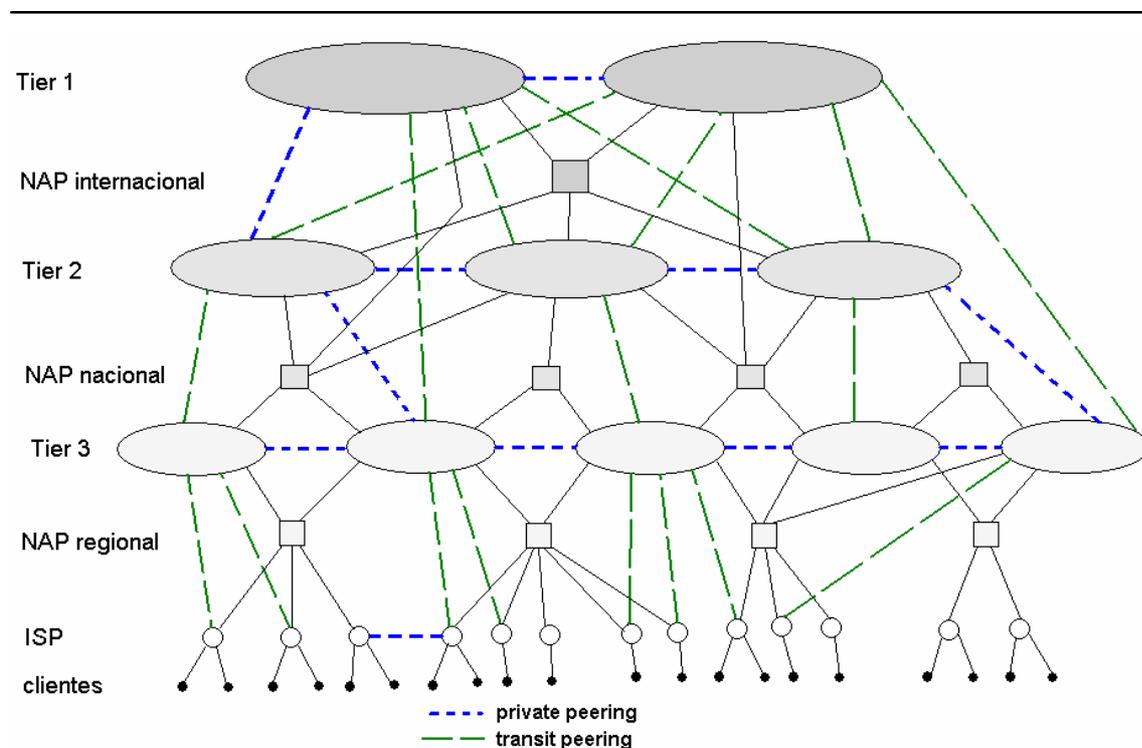
Der offene Zugang zu IP-Netzen sowohl für Dienstanbieter als auch für Nutzer, sowohl die stark vereinfachte Dienstschnittstelle als auch die reduzierten Netzfunktionen gestatten eine vergleichbar einfache Zusammenschaltung von IP-Netzen. Diese Zusammenschaltung wird i.d.R. durch drei Transaktionsformen realisiert und zwar:

- über sog. öffentliche Zusammenschaltungspunkte IXP,
- bezahltes Transit Peering

- privates Peering zwischen zwei IP-Netzen ohne Verrechnung

Dadurch entsteht eine „informelle“ und nicht zentral geplante Zusammenschaltung von verschiedenen IP-Netz-Domains, die es gestatten, dass ein IP-Paket zwischen zwei Endnutzern über vielfältige Wege geführt werden kann und statistisch gesehen i.d.R. auch sein Ziel erreicht. Abbildung 3.8 zeigt schematisch die Struktur des öffentlichen Internet bestehend aus IP-Domains und verschiedenen Zusammenschaltformen.

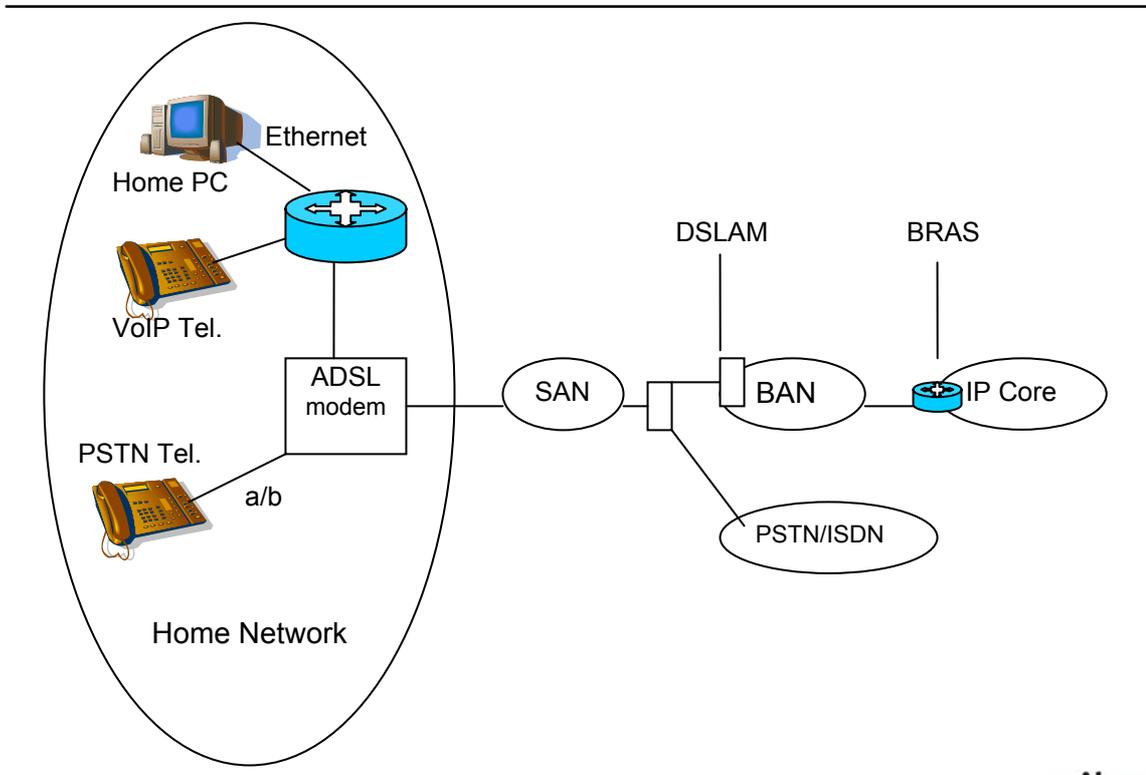
Abbildung 3-8 Schematische Darstellung der Zusammenschaltung von IP-Domains zum öffentlichen Internet



Quelle: Elix-2002

Der vereinfachte Dienst- und Netzzugang sowie der offene Charakter des Internet gestatten es, dass sich reine Dienstanbieter dieser Transportplattform bedienen. Eine Vielzahl von VoIP-Diensten basiert auf diesem Konzept: Vonage, Skype etc. Eine aktuell typische Konfiguration eines lokalen „Home“-Netzes und dessen Verbindung mit den öffentlichen Netzen zeigt Abbildung 3.9.

Abbildung 3-9 Typische Endgerätekonfiguration eines Privat- bzw. SOHO - Nutzers



VoIP-Diensteanbieter unterstützen Verbindungen zwischen ihren Kunden und u.U. auch den Kunden ihrer Kooperationspartner häufig ohne Gebühren. Sie bieten allerdings auch abgehende, ankommende oder Verbindungen in beiden Richtungen mit PSTN-Teilnehmern kostenpflichtig an. Für ankommende Verbindungen ist dazu eine E.164-Rufnummer zuzuteilen und vom VoIP-ISP eine entsprechende Umsetzung in die SIP-Nummer vorzunehmen. Die Zusammenschaltung von VoIP-Verbindungen aus dem Internet mit dem PSTN wirft eine Reihe von technischen, marktwirtschaftlichen und legalen Fragen auf, die in den nächsten Kapiteln behandelt werden. Eine zusammenfassende Beschreibung sowie eine Liste der wichtigsten VoIP-Anbieter ist in [TIF-2004] enthalten.

Die Implementierung von VoIP-Diensten durch ISP mit keiner oder nur begrenzter Infrastruktur kann in verschiedener Form erfolgen, die sich zwischen zwei Eckpunkten bewegt, stark zentralisierte Funktionselemente (Vonage) bzw. stark verteilte Funktionselemente bis hin in die Endgeräte (Skype), vergleiche [TIF-2004].

Die gezeigte Entwicklung des Internet und deren Abweichung von dem ursprünglichen Netz-Architekturkonzept und die Entwicklung des derzeitigen Best Effort Internet in

Richtung eines Netzes, welches auch gesicherte Dienste und QoS-Verwaltung gestattet, erforderte eine Revision der ursprünglichen Netzarchitektur. Zu diesem Zweck wurden in den 90ziger Jahren zahlreiche Projekte unter Titeln wie „Future Generation Internet“, „Third Generation Internet“ bzw. „Next Generation Internet“ eingeleitet, vergleiche [Kum-1999], [Brad- 2000], [Dagi-2001], [Clar-2003]. Ursprünglich wurde darunter die Ablösung des bisher verwendeten Schicht drei-Protokoll IPv4 durch das IPv6 Protokoll verstanden, welches neben einer Erweiterung des Adressraumes gesicherte Verbindungen über IPsec gestattet und Funktionen für das Kapazitätsmanagement und QoS-Verwaltung bereitstellt. Der Begriff wurde danach erweitert und umfasst heute R&D-Aktivitäten, die das Internet in Richtung der vom IPv6 Protokoll umfassten Funktionen entwickeln sollen.

Auf europäischer Ebene sind zahlreiche Projekte im Umfeld von NGI angestoßen worden, nicht zuletzt das europäische Exzellenz Netzwerk EURO-NGI. Die Implementierung von IPv6 in öffentlichen Netzen hat sich verzögert, nicht zuletzt durch Verbesserung in der Verwaltung des Adressraums von IPv4 und der Einführung von Zusatzprotokollen auf der Schicht 4 bzw. der Anwenderschicht, die teilweise vorgesehene Funktionen aus dem IPv6 abdecken. Aufgrund dieser Entwicklung ist es fragwürdig, ob IPv6 kurz- bzw. mittelfristig eingeführt wird. Derzeit wird IPv6 – wenn überhaupt – in geschlossenen Unternehmensnetzen (Intranet) angewendet, wobei bei der Verbindung über öffentliche IP-Netze die IPv6 Pakete in IPv4 Pakete eingekapselt werden, vergleiche [Kur-2003]. Damit können in Unternehmensnetzen die Nachteile bedingt durch die verminderten Leistungsmerkmale von öffentlichen IP-Netzen gegenüber traditionellen Netzen ausgeglichen werden – allerdings um den Preis erhöhter Kosten für die Investitionen und den Unterhalt der Netze.

3.4 Vergleich der Netzarchitekturen aus Sicht der Leistungsbereitstellung

Dieser Abschnitt vergleicht das NGN mit dem NGI-Konzept hinsichtlich der Leistungsmerkmale, die diese Netzkonzepte i.A. den zu integrierenden Diensten zur Verfügung stellen. Eine detaillierte Betrachtung dieser Leistungsmerkmale für VoIP-Dienste wird im vierten Kapitel dieser Arbeit vorgenommen.

Eine systematische Beschreibung von Leistungsmerkmalen von Telekommunikationsdiensten wurde erstmalig im Rahmen des ISDN-Konzepts vorgenommen. Dabei ergibt sich, dass diese Leistungsmerkmale über im Wesentlichen drei Funktionseinheiten verteilt werden, nämlich (1) den Endgeräten, (2) dem eigentlichen Kommunikationsnetz mit der Transport- und Kontrollschicht sowie (3) den an das Netz angeschlossenen Dienstservern. D.h. die Implementierung eines Telekommunikationsdienstes bedarf einer sachgerechten Aufteilung der Funktionen über die drei Funktionseinheiten. Im ISDN-Konzept wurde erstmals eine systematische Klassifikation der Telekommunikationsdienste vorgenommen und die vom Netz bereitgestellten Leistungsmerkmale durch ein

Modell von statischen und dynamischen Attributen definiert. Bei der Dienstklassifizierung wird zwischen Basis- und Telediensten unterschieden, wobei Basisdienste die OSI-Schichten 1-3 und die Teledienste die OSI-Schichten 1-7 umfassen. Daneben werden für beide Dienstklassen Zusatzdienste (Value Added Service (VAS)) definiert, die nur im Zusammenhang mit einem Basis- bzw. Teledienst aufgerufen werden können. Eine zusammenfassende Darstellung findet sich in [Bock-1997].

Die wichtigsten von einem Netz bereitgestellten Leistungsmerkmale für Basisdienste in dienstintegrierten Netzen sind:

- Form und Zugang zu einem Dienst (Grade of Service (GoS))
- semantische und zeitliche Transparenz der Verbindung, beschrieben durch entsprechenden „Quality of Service“-Parameter
- Verfügbarkeit der Verbindung, zu unterscheiden nach Normalfall, Überlastfall und Störung durch Ausfall von Einrichtungen des Netzes
- Sicherheit des Dienstes gegen Störungen von außen, wie unbefugten Zugriff zum Abhören oder zur Verfälschung der übermittelten Informationen
- Palette der angebotenen Zusatzdienste (Value Added Services)
- Zusatzmerkmale eines Dienstes, oft durch entsprechende Vorschriften des Regulierers bestimmt wie Notrufdienste, Möglichkeit einer richterlich angeordneten Aufzeichnung.

Im welchem Umfang diese Merkmale vom NGN bzw. vom NGI-Konzept erfüllt werden, wird in den folgenden Kapiteln dieser Arbeit am Beispiel des VoIP-Dienstes ausführlicher untersucht. An dieser Stelle kann zu den beiden Entwicklungen folgendes allgemein angemerkt werden:

- Das NGN-Konzept wird die genannten Merkmale, bei sachgerechter Implementierung, durch seine stringente ITU-Empfehlungen sowohl innerhalb eines Betreiber-netzes als auch in der Zusammenschaltung von NGN-Netzen verschiedener Betreiber in klar definierter Weise einhalten können. Dies ergibt sich aus der Zielsetzung der ITU, dass die hohen Leistungsmerkmale des PSTN/ISDN beibehalten werden sollen. Diese Anforderungen sind dabei auch erforderlich, um bei Migrationsstrategien in der Übergangsphase in den hybriden PSTN/ISDN- und NGN-Netzen die PSTN/ISDN-Leitungsmerkmale vollständig zu erhalten.
- Der Ausgangspunkt für die Migration zum NGI ist das derzeitige Best Effort Internet mit seinem offenem und ungesichertem Zugang. Im Rahmen des NGI-Konzeptes werden Zug um Zug die Leistungsmerkmale verbes-

sert. Dies hängt u.a. damit zusammen, dass neue Dienste wie Multimedia und VoIP vor allem durch das SIP-Protokoll unterstützt werden. SIP wurde für Anwendungen innerhalb gesicherter (geschlossener) Netzumgebungen entwickelt, was seinen optimalen Einsatz ausmachte. In zahlreichen Untersuchungen wird aufgezeigt, dass der derzeitige Stand der Entwicklung in der SIP-Protokoll-Familie keinen massiven Einsatz von Sprachdiensten im öffentlichen best Internet mit vergleichbaren Leistungsmerkmalen wie im PSTN/ISDN zulässt, vergleiche [Cum-2003] und die Ausführungen im vierten Kapitel dieser Arbeit.

Verbesserungen in den Leistungsmerkmalen werden im NGI sowohl durch Protokollerweiterungen als auch durch Verbesserung der Hardwareeinrichtungen bzw. durch aufwändige Dimensionierung und Stand-by-Kapazitäten erreicht. Man beachte, dass Protokollerweiterungen in zahlreichen Fällen sowohl in den (notwendigerweise) intelligenten Endeinrichtungen der Nutzer als auch durch Hard- und Softwareerweiterungen in den Netzeinrichtungen vorgenommen werden müssen und damit die Endnutzer über prozessorbasierte Endgeräte verfügen müssen, die ein manuelles bzw. automatisches Softwareupload gestatten.

Das Konzept, Leistungsmerkmale zu verbessern, wird in der Migration von IP-Netzen zum NGI vor allem unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten und damit abhängig von der Nutzerklasse implementiert; d.h. Nutzer aus Unternehmensnetzen erhalten einen Vorrang bei der Verbesserung der Leistungsmerkmale z.B. in Form von Tunneln mit garantierten Leistungsmerkmalen, die durch sog. Service Level Arrangements (SLA) vereinbart werden. Die Entwicklung des Internet als Zusammenschaltung von zahlreichen Netzen, die jeweils eine IP-Domain umfassen unter Einhaltung erweiterter Leistungsmerkmale hinsichtlich GoS, QoS, Zuverlässigkeit, Sicherheit, ist derzeit noch völlig offen. Allerdings werden von großen ISP/ITP IP-basierte Lösungen mit hinreichenden Leistungsmerkmalen zum weltweiten Aufbau von Unternehmensnetzen angeboten. Dies wird durch entsprechende Kooperationsabkommen der beteiligten Partner und durch Abstimmung der Protokolle und der Implementierungen erreicht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass im Vergleich des NGN mit dem NGI das NGN eine Dienstintegration auf der Basis von hohen Leistungsmerkmalen auch für Massendienste konzeptionell erwarten lässt. Dagegen ist im NGI-Konzept u.U. eine größere Differenzierung auch innerhalb eines Dienstes bzw. einer Dienstklasse zu erwarten. Allerdings basieren beide Konzepte auf der Ebene des Transports auf einer vergleichbaren Transport-Infrastruktur. D.h. die Differenzen zwischen beiden Konzepten liegen vor allem im Bereich der Verbindungskontroll- und Netzverwaltungsfunktionen. Tabelle 3.4 fasst diese Zusammenhänge schematisch zusammen.

Tabelle 3.4 Schematischer Vergleich der zwischen dem NGN- und NGI-Konzept

Attribut	NGN	NGI
Zielnetz	FMI universelles Breitbandnetz	Erweitertes Internet mit QoS- und Kapazitätsmanagement
Funktionsverteilung	Zentrale Server	Verteilte Server und Endgeräte
Komplexität der Endgeräte	Gering bis mittel	Mittel bis hoch
Wichtigste Protokollinstitutionen	ITU, ETSI	IETF
Sprachdienste unter PSTN-Leitungsmerkmalen	Von Anbeginn	Nur Basismerkmale, die sukzessiv verbessert werden
Schicht 3 Netzprotokoll	IPv6	
Kernnetzelemente	Optische Terrabitrouter mit DWDM	
Kapazitätsmanagement	ASON	GMPLS
Innovationsschritte	Integration von PSTN und Datendiensten, neue Dienste	VoIP und Multimedia ins Internet, Evolution in Richtung NGI
Sprachdienste unter PSTN-Leitungsmerkmalen	Von Anbeginn	Nur Basismerkmale, die sukzessive erweitert werden

3.5 Vergleich der Netzarchitekturen aus Sicht der Kosten (CAPEX und OPEX)

Ein stabiler Vergleich der Kosten für die beiden Konzepte „Entwicklung des PSTN/ISDN in Richtung NGN und IP-Netze“ und „das öffentliche Internet in Richtung NGI“ ist derzeit nicht möglich, da die Implementierung dieser Konzepte sich erst in der Anfangsphase befindet.

Gegebenenfalls wäre es möglich, die Erfahrungen aus der Migration von leitungs-basierten Unternehmensnetzen für die Sprachdienste in Richtung integrierter Sprach-Datennetzen basierend auf der IP-Familie heranzuziehen, da hier die Migrationsstrategien schon weiter fortgeschritten sind. Dies hängt u.a. auch mit den kürzeren Lebenszyklen von Einrichtungen in Unternehmensnetzen gegenüber öffentlichen Netzen zusammen.

Es ist allerdings zu beachten, dass die Migration von Unternehmensnetzen einfacher zu implementieren ist als die Migration öffentlicher nationaler Netze, da sich hybride Unternehmensnetze immer auf die jeweiligen öffentlichen Plattformen abstützen können. So können z.B. Standorte von Unternehmensnetzen, an denen die Integration schon erfolgte, in einfacher Weise mit Standorten kommunizieren, an denen diese Umstellung noch nicht oder nur teilweise implementiert wurde, vergleiche Abbildung 3-6.

Die Migration von öffentlichen Netzen zum NGN kann wie auch frühere Migrationen durch zwei Strategien erfolgen, nämlich durch (1) Overlaynetze, die parallel implementiert werden oder aber (2) Inselnetze, die normalerweise in der Hierarchie entweder von

oben nach unten oder aber von unten nach oben implementiert werden. Aus dem hierarchischen Charakter sowohl des PSTN/ISDN als auch der derzeitigen IP- und Datenetze kann geschlossen werden, dass der Aufbau sich an der bestehenden Netzhierarchie orientiert, um die Netzübergänge einfach zu gestalten. Wie schon ausgeführt sind bei der Implementierung von Inselnetzen zwei Migrationsstrategien möglich: Substitution des PSTN/ISDN von oben nach unten (Top-Down) oder aber von unten nach oben (Bottom-Up).

- Die Substitution von oben nach unten hat den wirtschaftlichen Vorteil, dass die Einführung neuer Dienste und die Integration des PSTN/ISDN-Verkehrs in den großen Ortsnetzbereichen mit hoher Verkehrskonzentration beginnt und die PSTN/ISDN-Substitution in ländlichen Bereichen erst gegen Ende der Migrationsstrategie erfolgt. Abbildung 3-5 zeigt auch den schematischen Aufbau eines hybriden NGN-PSTN bei Substitution in der oberen Netzebene. Dabei werden Nutzer am Standort von NGN-Knoten direkt über Access Gateways angeschlossen und Nutzer außerhalb dieser Standorte erhalten Verbindung über BAN Cluster bzw. noch verbleibende PSTN/ISDN Cluster. Der Nachteil des Top-Down-Ansatz resultiert aus der Tatsache, dass die Netzknoten des PSTN/ISDN in der oberen Ebene (WVST und BVST) stark miteinander vermascht sind und diese Vermaschung in das IP-Core-Netz zu integrieren ist, wodurch PSTN/ISDN-Inseln entstehen, deren Verkehr über das IP-Core-Netz geführt werden muss.
- Beim Bottom-Up-Ansatz sind dagegen die PSTN-Teilnehmer von TVSt-Bereichen dem IP-Kernnetz zuzuführen und dort über AMGW zu integrieren. Da die TVSt nicht miteinander vermascht sind, bleibt der Netzzusammenhang des PSTN/ISDN länger erhalten.

Eine erfolgreiche Migrationsstrategie benötigt eine Abschätzung über das Zielnetz, um darauf basierend die jeweiligen Migrationsschritte zu bestimmen. Die Struktur des Zielnetzes hängt von der mittel- bis langfristigen Dienstentwicklung und den zur Verfügung stehenden Einrichtungen ab. Deren wichtigste Parameter zur Definition des Zielnetzes sind:

- die flächenmäßige Aufteilung in das Breitbandanschlussnetz, Breitbandzugangsnetz und das darüber liegende IP-Kernnetz.
- die verwendeten Netzarchitekturen in den drei Netzteilen und die Kapazitätsgrenzen der Einrichtungen und Übertragungssysteme
- die Netzstrukturen (logisch und physikalisch)

Die Untersuchung der Parameterwerte dieses Zielnetzes würde den Umfang und das Thema dieser Arbeit überschreiten und wegen der schnellen technologischen Entwick-

lung und der Entwicklung der Märkte für Breitband-Telekommunikationsdienste nur in einem breiten Spektrum z.B. durch Untersuchung verschiedenster Szenarien anzugeben sein. Eine globale Übersicht findet sich in [Hard-2002], [Schi-2002], [Sieg-2002].

Es lassen sich an dieser Stelle daher lediglich qualitative Aussagen zu den Kostenunterschieden der beiden Netzkonzepte ableiten.

- Infrastruktur- und Übertragungskosten (Verbund mit anderen IP-Diensten) lassen keinen Kostenunterschied zwischen NGN und NGI erwarten
- Kosten zur Implementierung der Kontrollebene dürften im NGN höher liegen, da auch nicht intelligente Endeinrichtungen wie traditionelle PSTN-Telefone oder Faxmaschinen weiter angeschlossen werden sollten und das Konzept der Kontrollebene ein zentralisiertes ist im Gegensatz zum Konzept der verteilten Intelligenz über Endgeräte und Proxis im NGI
- Inkrementelle Kosten von VoIP, hier ist ein Kostenunterschied (lediglich) bei gesicherter IP-Telefonie zu erwarten; Kostentreiber dürfte eher der Grad und die Form der QoS-Realisierung sein
- Inkrementelle Kosten der Zusammenschaltung von IP- und PSTN-Netzen, hier ist Kostenunterschied (lediglich) bei gesicherter IP-Telefonie zu erwarten; Kostentreiber dürfte eher der Grad und die Form der QoS-Realisierung sein

4 Kommunikationsdienste in IP-basierten Netzen und deren Anforderungen

Dieses Kapitel beschreibt die wichtigen Kommunikationsdienste, die in ein IP-basiertes Netz in Form des NGN oder NGI zu integrieren sind. Der Fokus liegt dabei vor allem auf den notwendigen QoS-Parametern. Dazu wird im ersten Abschnitt eine allgemeine Beschreibung von Kommunikationsdiensten und deren Klassifizierung vorgenommen. Darin werden zwei Klassifizierungsschemata angewendet und zwar eins aus dem ISDN- und B-ISDN-Konzept und ein Schema, das sich stärker an QoS-Merkmalen orientiert. Darauf aufbauend werden die Korrelationen zwischen diesen beiden Klassifizierungen abgeleitet. Diese Betrachtungen werden zunächst unabhängig von dem darunter liegenden Netz vorgenommen.

Im zweiten Abschnitt werden die Auswirkungen der von den Diensten nachgefragten Leistungen auf die Netze betrachtet. Dabei stehen wieder QoS-Aspekte im Vordergrund. Die Betrachtungen in diesem Kapitel werden allgemein und qualitativ vorgenommen. Deren Anwendung auf VoIP-Dienste, die in dieser Arbeit zu betrachten sind, werden im fünften Kapitel sowohl qualitativ untersucht als auch quantitativ abgeleitet. Dort werden auch weitere Leistungsmerkmale, die über die QoS-Aspekte hinausgehen, behandelt.

4.1 Beschreibung der Kommunikationsdienste und deren Klassifizierung

Eine grobe Unterteilung von Kommunikationsdiensten wurde von der ITU im Rahmen der Konzepte für das ISDN vorgenommen und später für das B-ISDN erweitert, vergleiche [ITU-1993]. Danach werden die Dienste unterteilt in

- 1) Interaktive Dienste
 - i) Konversationsdienste
 - ii) Messaging Dienste
 - iii) Retrieval Dienste
- 2) Verteildienste
 - i) ohne Endnutzerkontrolle
 - ii) mit Endnutzerkontrolle

Konversationsdienste sind Dienste, bei denen zwei oder mehr Endnutzer Informationen austauschen (Sprache, Daten etc.); Messaging Dienste sind Dienste, bei denen ein Endnutzer Information an einen u.U. abwesenden Endnutzer – oft unter Zwischenschaltung eines Servers – überträgt, ohne mit ihm in einen Dialog einzutreten. Retrieval-

dienste sind Dienste, bei denen ein Endnutzer Informationen aus einem Server abrufen. Z.B. ein Datenfile mittels FTP.

Weiterhin wurde im Rahmen des ISDN bzw. B-ISDN eine systematische Beschreibung der charakteristischen Parameter von Kommunikationsdiensten vorgenommen, vergleiche [Bock- 1997], [Händ-1998]. Danach werden Kommunikationsdienste durch ein sogenanntes Attributwertesystem klassifiziert und innerhalb der Attribute wird zwischen statischen und dynamischen unterschieden. Die statischen Attribute beschreiben die Merkmale der vom Netz für die Dauer des Dienstes bereitzustellenden Verbindungen, während mit den dynamischen Attributen die Form des Verbindungsaufbaus, -abbaus, Wiederherstellung bei Zusammenbruch etc. festgelegt wird. Tabelle 4.1 gibt die wichtigsten statischen Attribute wieder, die zur Beschreibung derzeitiger Dienste erforderlich sind.

Tabelle 4.1 Wichtigste statische Attribute für Kommunikationsdienste und zugehörige Werte

Attribut Name	Attribut Werte
Transport Modus	Fest zugeordneter Kanal FC
	Pakete über virtuellen Kanal VC
Bandbreite	fest mit Angabe des Wertes
	Variable spezifiziert durch den erforderlichen Minimalwert, Mittelwert und Maximalwert
Verbindungsaufbau	Bei Bedarf
	Mittels Vorabreservierung
	Dauerhaft
Symmetrie der Verbindung	Quelle- Ziele; Ziel Quelle symmetrisch
	Quelle- Ziele; Ziel Quelle asymmetrisch
	Quelle- Ziele (unidirectional)
Topologie der Verbindung	Quelle- Ziel (unicast)
	Quelle mehrere Ziele (multicast)
	Quelle alle Ziele (broadcast)
Art der zu übertragenden Information	Sprache
	Daten
	Audio
	Text
	Bild
	Video
	Multimedia
Zulässige zeitliche Verzögerung	Mittelwert, Jitter
Zulässiger Informationsverlust	Bit- bzw. Paketfehlerrate

Eine Anwendung dieses Modells auf einige für diese Arbeit wichtigen Dienste zeigt Tabelle 4.2. Dabei ist zu beachten, dass die Werte für die Attribute aus der Sicht des Dienstes und damit aus der Sicht der OSI-7-Schicht bzw. Anwendungsschicht im

TCP/IP-Model angegeben sind. Der Zusammenhang mit den Attributen der darunter liegenden Protokolle und der jeweiligen Verbindung in der IP-Transportplattform wird im Abschnitt 4.2 behandelt. So ergibt sich z.B. für das Herunterladen von Webseiten aus dem Internet eine zulässige Zeitverzögerung, die sowohl von der Geduld des Nutzers abhängt als auch von den „Timeout“-Parameterwerten des darunter liegenden Transportprotokolls (TCP). Bei Zugrundlegung einer mittleren Verzögerung von 6 sec und einer Webseite mit 12 KB ergibt sich als notwendige Geschwindigkeit aus Sicht der Anwendung ein Wert von 16 kbit/s². Der in der Tabelle angegebene Laufzeitjitter berechnet sich unter der Annahme einer gleichverteilten Laufzeitverzögerung zwischen minimal 1sec. und maximal 11 sec. Die zulässige Paketverlustrate der darunter liegenden Verbindung kann bis zu zwei Größenordnungen höher sein, da ein Paketverlust durch das TCP ausgeglichen wird.

Tabelle 4.2 Attributwerte für einige ausgewählte Dienste

Dienst	Sprache im PSTN/ISDN	Sprache im IP nach G.729 ohne VAD	www mit HTTP
Transportmodus	FC	VC	VC
Bandbreite	64 kbit/s	8 kbit/s	Variable typisch 16 kbit/s downlink
Verbindungsaufbau	Bei Bedarf	Bei Bedarf	Bei Bedarf
Symmetrie der Verbindung	symmetrisch	Symmetrisch	Asymmetrisch
Topologie der Verbindung	Point to Point	Point to Point	Point to Server
Art der zu übertragenden Information	Sprache	Sprache	Text, Bild
Zulässige zeitliche Verzögerung Mittelwert, Jitter	0,125 ms, 0 ms	100 ms, 8,3 ms	Variable typisch 6 seg./Seite, 1,4 seg./Seite
Zulässiger Informationsverlust	BER 10 ⁻⁶	PLR 10 ⁻³ - 10 ⁻⁴	PLR 10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁸

Bei der Integration von Diensten in IP-basierten Netzen ist die Unterscheidung nach der Art der Information von untergeordneter Bedeutung, da alle Dienste in Form von zugehörigen IP-Paketen mit einer jeweils angemessenen Anzahl von Byte übertragen werden. Dazu wird i.d.R. zwischen einer Quelle und einem Ziel unter Anwendung eines Transportprotokolls eine virtuelle Verbindung aufgebaut und zwar separiert von der Quelle zum Ziel und umgekehrt. Die Anzahl der Verbindungen und möglichen Standorte der Ziele der Dienste ergeben sich aus folgender Unterteilung:

- **Dialogdienste**, z.B. VoIP, bei denen zwei Endnutzer beteiligt sind, d.h. eine Quelle und ein Ziel, die sich über das Netz verteilen. Dazu wird normalerweise eine

² Die tatsächliche Bandbreite der darunter liegenden virtuellen Verbindung ist natürlich höher, da die Webseite über mehrere TCP-/IP-Pakete aufgeteilt wird, zu denen der Protokoll-Overhead aus dem TCP, dem IP und dem jeweiligem Schicht-2-Protokoll zuzuschlagen ist.

symmetrische virtuelle Verbindung zwischen den beiden Endnutzern aufgebaut (Point to Point).

- **Konferenzdienste** wie Dialogdienste, bei denen eine Quelle und mehrere Ziele in Form von Endnutzern beteiligt sind. Dabei ist es von Bedeutung, ob der Konferenzserver beim Endnutzer angesiedelt ist, z.B. Polycom³ für Videokonferenzen, oder aber ob ein zentraler Konferenzserver eines entsprechenden Konferenzdiensteanbieters verwendet wird, der sich üblicherweise an einem (oder mehreren) zentralen Netzknoten befindet. Im ersten Fall ergibt sich eine symmetrische Punkt-Mehrpunktverbindung von der Quelle zu den einzelnen Zielen und im zweiten Falle eine symmetrische sternförmige Verbindungstopologie vom Konferenzserver zu den beteiligten Endnutzern (Point to Multipoint).
- **Retrievaldienste** zwischen einem Endnutzer und einem Server, bei dem der Endnutzer Informationen vom Server abfordert. In diesem Fall ergibt sich normalerweise eine asymmetrische virtuelle Verbindung mit höherer (downstream) Bandbreite vom Server zum Endnutzer (Server to Point⁴). Die bekannteste und häufigste Anwendung ist das Navigieren im WWW sowie das Herunterladen von E-mails einschließlich ihrer Anhänge. Daneben treten aber auch Anwendungen auf wie sog. Streamingdienste, bei denen individuell solche Radioprogramme in Semi-Echtzeit empfangen werden können, die i.A. nicht im Paket der verteilten Broadcastingdienste enthalten sind.⁵
- **Deliverabledienste**, bei denen der Endnutzer einem Server Informationen übergibt. In dieser Point to Server-Verbindung wird i.A. eine höhere Bandbreite für den Upstream benötigt. Das bekannteste Beispiel ist das Übermitteln von E-Mail mit zusätzlichen Datenfiles im Anhang.
- **Selektive Verteildienste (Multicastdienste)**, bei denen einer Gruppe von Endnutzer Informationen gleichzeitig übermittelt wird. Im günstigsten Fall wird hierzu innerhalb des Netzes ein dynamischer Multicastbaum verwaltet, wodurch vermie-

³ Als Beispiel sei angeführt, dass der Fachbereich für Kommunikation der Universität von Kantabrien einen Polycom-Konferenzserver unterhält, mit dem PhD-Kurse unter der Beteiligung von fünf spanischen Universitäten abgehalten werden. Als Transportplattform wird die IP-Plattform des nationalen Forschungsnetzes „Red Iris“ verwendet. Die Integration dieses Servers in das europäische PhD-Programm des Excellence Network EURO-NGI ist geplant, um entsprechende Kurse zwischen den Partnern des Excellence Networks durchzuführen und dabei auch praktische Erfahrung bei der Anwendung von Echtzeitdiensten im Internet zu gewinnen.

⁴ Die Server to Point-Verbindung ist natürlich eine Ende-zu-Ende-Verbindung wie in den Dialogdiensten. Allerdings unterscheiden wir diese, da sich die Server normalerweise innerhalb der NGN- oder NGI-Hierarchie im IP-Kernnetz ansiedeln, oft auch dort an der oberen Netzebene, während die Point-to-Point-Verbindung sich zwischen Endnutzern ergeben, die sich an der untersten Ebene des BAN anschließen. Damit ergeben sich unterschiedliche Zielfaktoren, was bei der Dimensionierung der Netzelemente und damit auch für die Kostenberechnung bei der Zusammenschaltung von Bedeutung ist, vergleiche [ARC-2005].

⁵ Als Beispiel sei der BBC-Word Service angegeben, der mittels des Windows Media Players empfangen werden kann, <http://www.bbc.co.uk/radio/i/>.

den wird, dass vom Server zu jedem beteiligten Endnutzer eine individuelle unidirektionale Point-to-Server-Verbindung aufgebaut wird⁶.

- Verteildienste (**Broadcastingdienste**), bei denen i.A. allen Endnutzern die gleiche Information übermittelt wird, hierzu gehört vor allem die Verteilung von Radio- oder TV-Programmen.

Um die verschiedenen QoS-Klassen nach ihren zeitlich zulässigen Verzögerungen zu unterscheiden, werden die Dienste typischerweise in bis zu vier Kategorien unterteilt:

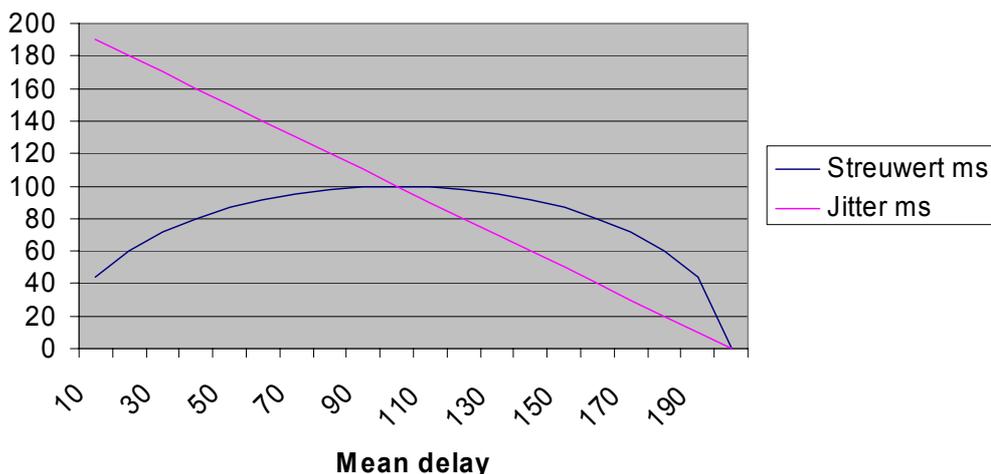
Echtzeitdienste, auch unelastische Dienste genannt, bei denen sowohl die mittlere Zeitverzögerung auf der virtuellen Ende-zu-Ende-Verbindung als auch der zugehörige Jitter begrenzt ist. Beide Werte sind allerdings miteinander korreliert, da bei einer Absenkung des Mittelwerts für die Zeitverzögerung ein entsprechender Jitter beim Ziel durch Jitterspeicher ausgeglichen werden kann. D.h. im Falle von kleinen Mittelwerten in der Laufzeitverzögerung können größere Jitterwerte kompensiert werden und umgekehrt bei erhöhten Mittelwerten ist nur ein begrenzter Jitterwert kompensierbar, weil anderenfalls die gesamte Laufzeiterhöhung den zulässigen Maximalwert überschreiten wird. Wir kommen auf diesen Punkt im fünften Kapitel zurück, wo QoS-Betrachtungen für verschiedene Dienste vorgenommen werden, unter der Bedingung einer gemeinsamer Nutzung der Kapazitäten, die von Netzelementen (Prozessoren in den Routern und Übertragungssysteme) bereitgestellt werden. Zur Illustration zeigt Abbildung 4.1 den Zusammenhang zwischen dem maximal zulässigen Jitter⁷ und der mittleren Laufzeitverzögerung für ein VoIP-Paket auf einer virtuellen Verbindung zwischen zwei Endnutzern. Echtzeitdienste sind in der Regel Dialogdienste, da ein flüssiger Dialog zwischen zwei Endkunden nur sehr geringfügige Laufzeitverzögerungen im Millisekundenbereich gestattet. Im Rahmen dieser Zeitgrenzen muss das unterlegte Netz der virtuellen Verbindung die erforderliche Bandbreite zuordnen, es können aber kurzfristige und begrenzte Schwankungen im Millisekundenbereich durch den Jitterbuffer ausgeglichen werden.

⁶ Einer der ersten und weit verbreiteten Multicastdienste ist das sogenannte (nichtkommerzielle) Multicast Backbone Netz (Mbone), welches vor allem in den nationalen Wissenschaftsnetzen, z.B. im deutschen Forschungsnetz (DFN) oder im spanischen Wissenschaftsnetz RedIris, implementiert ist und über das diverse Multicastübertragungen aller Art erfolgen, z.B. Konferenzen, aber auch Opernaufführungen im Red Iris, vergleiche www.bonde.de, www.rediris.es, www.dfn.de.

⁷ Jitter im Zusammenhang mit den Untersuchungen dieser Arbeit drückt die kurzzeitigen Laufzeit-schwankungen in Wartesystemen aus und wird durch den Koeffizient aus der Varianz der Laufzeit und deren Mittelwert beschrieben.

Abbildung 4-1 Maximal zulässiger Jitter für VoIP in Abhängigkeit vom Mittelwert der Laufzeitverzögerung.⁸

Estimation for the max. Jitter in relation with the mean delay of a VoIP source



Streamingdienste, auch semi-elastisch genannt, die eine größere mittlere Laufzeitverzögerung als Echtzeitsdienste gestatten, die aber immer noch in den Jitterwerten begrenzt sind. Dazu gehören vor allen Retrievaldienste, die Information mit Echtzeitcharakter abrufen, z.B. Video on Demand, individuelle Radioprogramme, Musik etc. Sie können auch höhere Laufzeitverzögerungen und Jitter durch größere Jitterbuffer im Endgerät ausgleichen und damit aus Sicht des Nutzers eine konstante Laufzeitverzögerung im Sekundenbereich erfahren. Wie auch bei Echtzeitsdiensten muss das Netz die erforderliche mittlere Bandbreite bereitstellen. Diese kann aber kurzfristig stärker schwanken, da dies durch den größeren Streamingbuffer aufgefangen werden kann. Als Beispiel benötigt ein Videoclip mit 5MB und einer Spieldauer von 5 Min. eine mittlere Bandbreite von 139 kbit/s⁹.

- ⁸ Die Berechnung erfolgte unter der extremen Annahme, dass ein VoIP-Paket entweder alle Wartespeicher leer findet und damit die minimale Laufzeitverzögerung erfährt oder aber auf der Strecke die maximal zulässige Laufzeitverzögerung erfährt. Dies erfolgt auf der Basis einer zweistufigen Markovkette, deren Zustand Null mit der minimalen Laufzeit moduliert ist, die sich ergibt, wenn ein VoIP-Paket mit $L=70$ bytes über eine Verbindung mit fünf Übertragungsabschnitten geführt wird und jeder Übertragungsabschnitt mit einem STM-1 ausgerüstet ist. Der Zustand Eins der Markovkette wird mit einer maximal zulässigen Laufzeit von 200 ms moduliert.
- ⁹ Die Berechnung unterstellt einen Protokollturm RTSP/RTP/UDP/IP/Ethernet und verwendet eine Segmentierung in Ethernetrahmen von 500 Bytes.

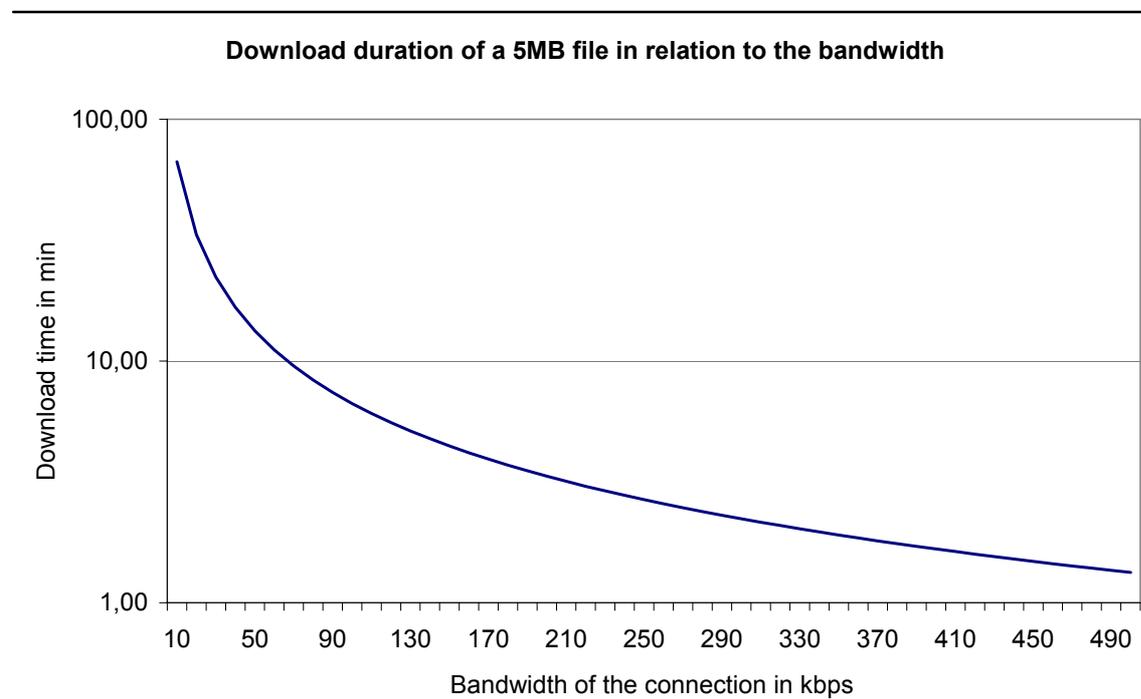
Datendienste, auch elastische Dienste genannt, bei denen die Laufzeitverzögerungen und deren Schwankungen nicht der kritische Faktor sind; sie können im Sekundenbereich liegen. Dafür sind bei Datendiensten durch entsprechende Ende-zu-Ende-Protokolle Paketfehler bzw. Verluste auszugleichen, typischerweise durch das Transport Control Protocol (TCP). Die erforderliche Bandbreite kann zeitlich schwanken aber bei Datendiensten werden i.d.R. Minimalwerte für die Bandbreite garantiert und Maximalwerte für deren Überschreiten festgelegt¹⁰.

Best Effort Dienste, aus technischer Sicht sind dies Dienste, die vor allem zum Einsatz kommen, wenn weder enge Grenzen für die Laufzeiten und deren Schwankung noch eine minimale Bandbreite während der gesamten Verbindung garantiert werden muss. Typische Dienste sind das Herunterladen von Datenfiles oder Dateien mit anderen Informationen wie Musik, Video etc. Schwankungen in der verfügbaren Bandbreite durch die Netzteile der Verbindung (typischerweise zwischen einem Server und einem Endnutzer) werden, in begrenztem Umfang, durch das TCP-Protokoll aufgegangen, und bei sehr hoher Netzbelastung kann auch der Fall auftreten, dass das TCP-Protokoll die Verbindung unterbricht (Timeout) und der Nutzer diese erneut aufbauen muss. Als Beispiel wird der oben angeführte Videoclip mit 5MB betrachtet, der vom Nutzer nicht im Streaming Mode, sondern lokal abgespielt wird und von daher vollständig herunterzuladen ist. Abbildung 4.2 zeigt die minimale Dauer in Beziehung zu der zur Verfügung stehenden Bandbreite¹¹.

¹⁰ Ein weitverbreiteter Datendienst ist unter dem Namen Frame Relay bekannt, welcher vor allem für die Zusammenschaltung von lokalen Netzen über ein WAN-Datennetz verwendet wird. Darin wird durch die Committed Information Rate (CIR) eine minimale Bitrate garantiert und durch die Extended Information Rate (EIR) ein Überschreiten der CIR gestattet, allerdings ohne Garantie für den Datentransport.

¹¹ Man beachte, dass die tatsächliche Dauer von den Wartezeiten der Pakete in den Wartespeichern der Router abhängt und damit wesentlich höher liegen kann, insbesondere wenn die Reihenfolge der Pakete durch Dienstpriorisierung bestimmt wird, Aspekte die im fünften Kapitel ausführlich behandelt werden.

Abbildung 4-2 Zeiten für das Herunterladen eines Videoclips mit 5MB



Wir können zusammenfassen, dass die drei bedeutenden QoS-Parameter (mittlere Laufzeitverzögerung, Jitter der Laufzeitverzögerung und Paketverlustrate) für die verschiedenen Dienste unterschiedliche Bedeutung haben. Dazu sind Schwankungen in der Bereitstellung der Bandbreite zu betrachten, die ebenfalls einen Einfluss auf die Qualität des Dienstes haben. Diese Schwankungen können unterteilt werden in kurzzeitig, d.h. in den Millisekundenbereich, und mittelzeitig, d.h. in den Sekundenbereich. Tabelle 4.3 zeigt dazu die Bedeutung der QoS-Parameter für verschiedene Dienste, die derzeit und zukünftig in IP-basierten Breitbandnetzen abgewickelt werden unter den oben aufgeführten Klassifikationen.

Tabelle 4.3 Beispiele für IP-basierte Breitbanddienste¹²

Dienst	VoIP	Videokonf.	Video on demand	Datenüber-Mittlung	www
Dienstklasse ITU	Dialog	Konferenz	Retrieval	Retrieval Delivery	Retrieval
Dienstklasse nach QoS	Echtzeit	Echtzeit	Streaming	Daten	Best Effort
PLR	unkritisch	kritisch	kritisch	unkritisch	unkritisch
Mittl. Laufzeit	kritisch	kritisch	unkritisch	unkritisch	unkritisch
Jitter	kritisch	kritisch	kritisch	unkritisch	unkritisch
Kurzfristige Bandbreitenschwankungen	kritisch	kritisch	unkritisch	unkritisch	unkritisch
Mittelfristige Bandbreitenschwankungen	kritisch	kritisch	kritisch	kritisch	Unkritisch
Topologie der Verbindung	Point to Point	Point to Multi-point	Server to Point	Server to Point Point to Server	Server to Point
Symmetrie	Symmetrisch	Symmetrisch	Asymmetrisch	Asymmetrisch	Asymmetrisch

4.2 Leistungsmerkmale der Netze in Beziehung zu den Diensten

Die in ein zukünftiges IP-basiertes Breitbandnetz zu integrierenden Dienste bestimmen die Anforderungen an diese Netze. Unter der derzeitigen Realisierung ergibt sich – wie schon im dritten Kapitel gezeigt – für die leitungsvermittelten Dienste mit Schwerpunkt des Sprachdienstes im PST/ISDN eine Implementierung, bei der die Anforderungen des Dienstes sowohl für den Aufbau und Abbau der Verbindungen als auch deren Überwachung während der Verbindungsdauer fast ausschließlich vom Netz durch zentrale entsprechende Einrichtungen vorgenommen wird, deren Funktion sich im Kontrollplan ansiedeln, vergleiche Abbildung 2-1. Daraus folgt, dass die entsprechenden Dienste mit Endeinrichtungen betrieben werden, die nur Basisfunktionen benötigen¹³. Zusammenfassend ergibt sich ein Netz mit zentralen Kontroll- und Intelligenzfunktionen und einfachen Endgeräten (Intelligent Network and dumb terminal).

Wie schon im dritten Kapitel gezeigt, baut das öffentliche Internet auf einer Umkehrung dieses Prinzips auf. Das ergibt sich vor allem aus den vom Internet bereitgestellten Diensten, die auf Best Effort Basis beruhen und, wie im letzten Abschnitt gezeigt, vor allem asymmetrische Server Point bzw. Point Server Verbindungen beschreiben¹⁴. Da-

¹² Man beachte, dass Datendienste aus Anwendersicht natürlich kritisch in der Datenverlustrate bzw. Datenfehlerrate sind, aber ein Paketverlust bzw. ein Datenfehler in einem Paket durch das TCP ausgeglichen wird. Von daher ist die Paketverlustrate aus Sicht der Datenübertragung im Netz unkritisch.

¹³ Der analoge Basistelefonanschluss benötigt ein Endgerät mit sehr stark reduzierten Funktionen, die eine Implementierung auf der Basis der Fernspeisung gestatten und damit die Verfügbarkeit des Dienstes unabhängig von der lokalen Stromversorgung machen. Bei ISDN-Geräten ist der Funktionsumfang schon erweitert und eine lokale Stromversorgung erforderlich, wobei der Basistelefondienst auch bei Stromausfall garantiert wird.

¹⁴ Server Point Verbindung bedeutet, dass eine entsprechende Bandbreitenanforderung für den Download vom Netz bereitgestellt werden muss, während die Bandbreite für die Verbindung vom Endgerät (Point) zum Server nur ein Bruchteil der Bandbreite der Downloadverbindung benötigt. Point Server

bei werden wichtige Leistungsmerkmale – vor allem die Reduktion der PLR – durch im Endgerät implementierte Protokolle vorgenommen (TCP, UDP, RTP, RTSP etc.) und standardisierte Anwenderprotokolle für die verschiedenen Dienste verwendet (http, FTP, SMTP etc.). Zusammenfassend ergibt sich, dass im Falle von derzeitigen IP-Netzen eine vereinfachte Transportplattform mit stark reduzierten Kontrollfunktionen bereitzustellen ist, auf die intelligente Endgeräte aufsetzen und damit die wesentlichen Kontrollfunktionen entsprechend des Modells aus Abbildung 2.1 Ende-zu-Ende-bezogen und ohne wesentliche Interventionen des bzw. der darunter liegenden Netze ausgeübt werden. (Intelligent Terminal and dump network). Auf dieser Basis könnten nach [Vog-2005] Zusammenschaltungsstrukturen in Form von NAP, private and Transitpeering als hinreichend interpretiert werden, vergleiche Abbildung 3.8.

Bei Diensten über leitungsvermittelte Netze wird die entsprechende Bandbreite vom Netz exklusiv für die Dauer der Verbindung zugewiesen, derzeit $n \cdot 64 \text{ kbit/s}$ im ISDN bzw. entsprechende ATM-Verbindungen unter AAL-1 im B-ISDN. Durch die Integration verschiedener Dienste ergibt sich daher keine Reduzierung in den benötigten Bandbreiten des Netzes, und eine Kosteneinsparung wird nur für die allerdings nicht unerheblichen bandbreiten-unabhängigen Kosten erreicht. Die Dienstintegration in IP-basierten Netzen erfolgt auf der Basis virtueller Verbindungen, bei der die totale Bandbreite einem Dienst „paketweise“ zur Verfügung gestellt wird. Dadurch kann eine Bandbreitenreduktion erreicht werden, die von den Verkehrscharakteristiken der Dienste bestimmt wird und deren Effekt auch als stochastisches Multiplexen bezeichnet wird. Dies ist vor allem bei dem im derzeitigen Internet *www* Best Effort Dienst der Fall, da die Nutzer die virtuelle Verbindung nur für Bruchteile der Zeit nutzen, um Informationen abzurufen und auszuwerten. Umgekehrt wird bei Echtzeitdiensten ein kontinuierlicher Signalstrom erzeugt, der in seinen Bandbreitenanforderungen entweder konstant ist (VoIP ohne Sprachpausenkompensation) oder aber schwankend (VoIP mit Sprachpausenkompensation, Videodienste mit variabler Bitratenanforderung). Die sich aus mehreren Verbindungen ergebenden überlagernden Paketflüsse erlauben in diesem Fall einen geringen bis hin zu einem verschwindenden stochastischen Multiplexeffekt als im Falle von traditionellen Internetdiensten wie *www*¹⁵.

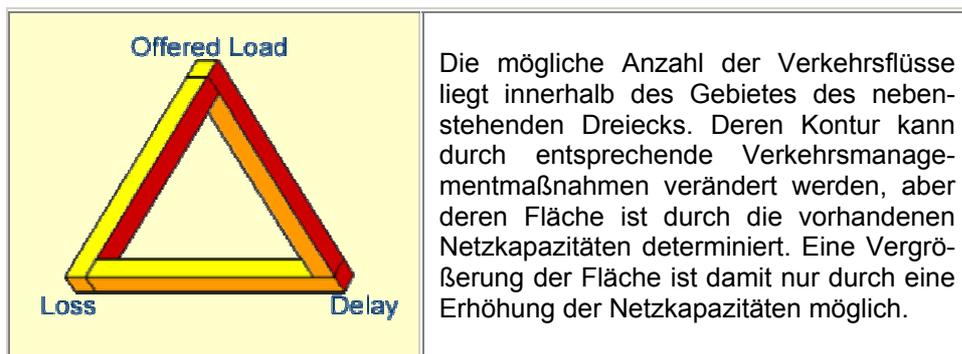
Dies bedeutet, dass bei der Integration der im letzten Abschnitt dargestellten Dienste die charakteristischen Parameter der von ihnen erzeugten Flüsse im Zusammenhang mit den von ihnen nachgefragten QoS-Werten vom Netz durch Verkehrsmanagementfunktionen zu berücksichtigen sind. QoS-Anforderungen aus der Sicht der Leistungsbereitstellung eines Netzes bedeutet, dass das Netz für diese Flüsse entsprechende Kapazitäten bereitstellen muss, um einen Transport der Information von der Quelle bis zum Ziel innerhalb der durch die QoS-Werte bestimmten Grenzen zu ermöglichen.

wird bei Deliverydiensten angewendet und erfordert genau die umgekehrte Charakteristik dieser asymmetrischen Verbindung.

15 Stochastisches Multiplexen bei „im Web Browsen“ bedeutet, dass ein Nutzer kurzfristig Bandbreitenwerte oberhalb seines Mittelwertes in Anspruch nehmen kann.

Im Abschnitt 4.2 wurden die drei wichtigsten Parameter bestimmt: Bandbreitenanforderung, zeitliche Transparenz (mittlere Verzögerung und Jitter) und Paketverlust (PLR). Es kann gezeigt werden, dass diese drei Parameter streng miteinander korreliert sind und unter Berücksichtigung vorhandener Kapazitäten nur begrenzt variierbar sind. Dies kann, wie Abbildung 4.3 zeigt, symbolisch durch die Fläche eines Dreiecks beschrieben werden, welches in den Eckpunkten die drei QoS-Parameter abbildet, vergleiche [PNS-2003]. So führt eine ansteigende Belastung der Kapazitäten des Netzes zunächst zu einer Erhöhung der Wartezeiten und bei weiter steigender Last zu Paketverlusten. Bei TCP-Diensten erzeugt der Paketverlust auf der einen Seite eine Erhöhung der Netzlast, durch das erneute Versenden auf der anderen Seite eine Reduzierung der Last; letzteres aber mit einer zeitlichen Verzögerung, wodurch u.U. kurzfristige Lastspitzen entstehen. Solche kurzfristigen Schwankungen in den Kapazitätsanforderungen an das Netz können durch Buffer am Netzeingang (oder aber auch schon im Endgerät, welches den Fluss erzeugt) ausgeglichen werden, was aber wiederum die zeitliche Verzögerung erhöht.

Abbildung 4-3 Schematische Darstellung des Zusammenhangs der QoS-Parameter für Paketflüsse, (nach [PNS-204])



Verkehrsmanagementmaßnahmen lassen sich vereinfacht in drei Kategorien unterteilen:

- (1) Überdimensionierung
- (2) Vereinfachte Dienstpriorisierung unter Verwendung des IP Precedence Part im ToS-Feld des IP-Kopfes¹⁶ bzw. Priorisierung durch Einführung des Diff-Serv¹⁷
- (3) Kapazitätsreservierung durch Separierung des VoIP-Verkehrs in eigenen Tunneln

¹⁶ Das TOS-Feld erlaubt in den ersten drei Bits eine Dienstklasse anzugeben und zwar bis zu maximal vier Klassen, vergleiche RFC1349.

¹⁷ In der neueren Form wird das ehemalige TOS-Feld als Dienstunterscheider verwendet, dazu werden 6 Bits als Differentiated Service Code Point verwendet, vergleiche RFC2474.

Überdimensionierung ist aus Sicht des QoS-Managements die einfachste Maßnahme, aber auch mit Nachteilen verbunden, vergleiche [Vog-2005]. Es müssen bei der Bereitstellung der Kapazitäten die jeweiligen QoS-Parameterwerte des Dienstes berücksichtigt werden, die die höchsten Anforderungen haben; i.A. ist dies die Laufzeitverzögerung der Echtzeitdienste. Da bei der Überdimensionierung allen Diensten dieselben QoS-Parameter angeboten werden, erhalten z.B. Best Effort Dienste reduzierte Laufzeitverzögerungen, die sie nicht unbedingt benötigen. Allerdings ist dieser unerwünschte Effekt zu vernachlässigen, wenn die Bandbreitenanforderungen der Echtzeitdienste bzw. Streamingdienste weit unterhalb der Bandbreitenanforderungen von Best Effort Diensten liegen. Weiterhin kann gezeigt werden, dass bei hohen Bandbreitenanforderungen aus allen Diensten mit einem geringen Bandbreitenanteil von Echtzeitdiensten eine für die Echtzeitdienste notwendige Überdimensionierung sowieso im Rahmen der von einem Betreiber vorgehaltenen Kapazitätsreserven erbracht wird.

D.h., eine hohe Verkehrsmenge von Best Effort Diensten begünstigt die Integration von Echtzeitdiensten. Damit wird die Aussage von Vogelsang, [Vog-2005], eingeschränkt, dass bei Überdimensionierung Kostenanteile an die Best Effort Dienste zuzuschlagen sind¹⁸.

(1) Überdimensionierung

Aus technischer Sicht ist Überdimensionierung sowohl innerhalb der Netzteile eines IP-basierten Breitbandnetzes (BAN und IP-Kernnetz), aber auch netzübergreifend (Zusammenschaltung) einfach zu implementieren, sofern zwischen den Zusammenschaltungspartnern Übereinstimmung über den Grad der Überdimensionierung erreicht werden kann. Die meisten Netzbetreiber halten ohnedies derzeit Reservekapazitäten vor und lasten ihre Systeme nur bis zu etwa 75% aus, um das schnelle und schwer vorherzusehende Verkehrswachstum aus den Internetdiensten aufzufangen. Hinzu kommt, dass derzeit zeitkritische Echtzeitdienste nur einen Bruchteil der Gesamtkapazitäten in Anspruch nehmen, die durch die Best Effort Internetdienste-Nachfrage bestimmt sind. Damit stellt Überdimensionierung aus technischer Sicht zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine brauchbare und wirtschaftlich vertretbare Lösung dar. Ob Überdimensionierung im Falle eines stagnierenden Verkehrswachstum wirtschaftlich vertretbar ist, bleibt noch zu untersuchen, dabei spielt die Höhe der Verkehrsanteile aus Echtzeitdiensten eine große Rolle, wobei zu beachten ist, dass Echtzeitdienste nach deren Sprachintegration ihren Verkehrsanteil u.U. im Rahmen neuer Multimediadienste wesentlich erhöhen können.¹⁹

¹⁸ Dies wird bei Anwendung der entsprechenden Formel deutlich ($\tau = ts/(1-\rho)$), wonach die mittlere Laufzeitverzögerung sich aus der Verarbeitungs- bzw. Übertragungsdauer eines Paketes mittlerer Länge dividiert durch Eins minus der relativen Auslastung ergibt, d.h.. bei gleicher Auslastung, z.B. $\rho=0,8$, sinkt die Laufzeitverzögerung, wenn die Prozessorgeschwindigkeit eines Servers oder die Übertragungsgeschwindigkeit einer digitalen Signalgruppe steigt.

¹⁹ Dies gilt nicht für reines VoIP, das sich aus der Integration der bisherigen Sprachdienste ergibt. Es ist aber zu erwarten, dass die Integration von Sprach- und Videodiensten zur Entwicklung völlig neuer Multimediadienste führen werden, in denen Echtzeitkomponenten integriert sind.

Überdimensionierung ist ein QoS-Mechanismus, der die QoS-Werte quantitativ verbessert, auch wenn dies nicht in allen Netzteilen einheitlich implementiert ist, da er in jedem Fall die Durchlaufzeit in dem von ihm angewendeten Netzteil vermindert. Allerdings kann dieser Effekt nahezu wirkungslos bleiben, wenn die Wartezeiten bzw. die Paketverluste in anderen Netzteilen durch Überlast stark ansteigen. Daraus folgt, dass u.U. Überdimensionierung nur auf die Netzteile einer Verbindung anzuwenden ist, in der häufig Überlast auftritt.

(2) Priorisierung

Priorisierung gestattet es, zeitkritischen Diensten einen Vorzug gegenüber anderen Diensten zuzuweisen. Im Rahmen der obigen Klassifizierung ergäbe sich ein System von vier Prioritäten (Echtzeitdienste, Streaming-Dienste, Datendienste, Best Effort Dienste). Darin können Lastschwankungen aus einem Dienst unterer Priorität, vor allem Best Effort Diensten, nur geringfügig die QoS-Parameterwerte eines Dienstes mit höher Kapazität beeinflussen. Allerdings führen Lastschwankungen und vor allem Überlast von Diensten hoher Priorität zu einer Verschlechterung der QoS-Werte von nachgelagerten Diensten im Extremfall bis hin zu einer wenn auch in der Regel zeitlich begrenzten vollständigen Verdrängung²⁰. Um diesen Effekt zu vermindern und auch den nachgelagerten Diensten ein Mindestmaß an Kapazitäten bereitzustellen, müssen zusätzliche Verkehrsmanagementmaßnahmen eingesetzt und mit der Dienstpriorisierung kombiniert werden. Im einfachsten Fall kann der Umfang der Wartespeicher vor allem für die höherwertigen Dienste entsprechend dem erwarteten Verkehrsaufkommen angepasst und damit begrenzt werden. D.h. eine nicht erwünschte Überlast eines höherwertigen Dienstes führt zu einem erhöhten Verlust seiner Pakete und belastet damit nicht mehr das Netz.²¹ Unter der Annahme, dass höherwertige Dienste in ihrem Verkehrsaufkommen und damit in den von ihnen in Anspruch genommenen Bandbreiten geringer sind als die darunter liegenden Dienste, vor allem Best Effort, ist der Effekt der Begünstigung eindeutig gegeben.

Als Konsequenz ergibt sich, dass bei Dienstpriorisierung die höherwertigen Dienste von den hohen Bandbreiten, die sich aus Best Effort Diensten ergeben, doppelt begünstigt werden: zum einen durch eine schnellere Übertragung bzw. Verarbeitung ihrer Pakete und zum anderen durch die Priorisierung eine verminderte Wartezeit auf Kosten der darunter liegenden Best Effort Dienste im Überlastfall.

²⁰ Dies gilt natürlich nur unter der Voraussetzung, dass auch zukünftig Dienstanfragen an ein Internet grundsätzlich, also auch im Überlastfall, angenommen werden.

²¹ Wir gehen dabei davon aus, dass höherwertige Echtzeitdienste mit dem vereinfachten UDP-Transportprotokoll abgewickelt werden, welches eine wiederholte Versendung verlorener Pakete nicht vorsieht.

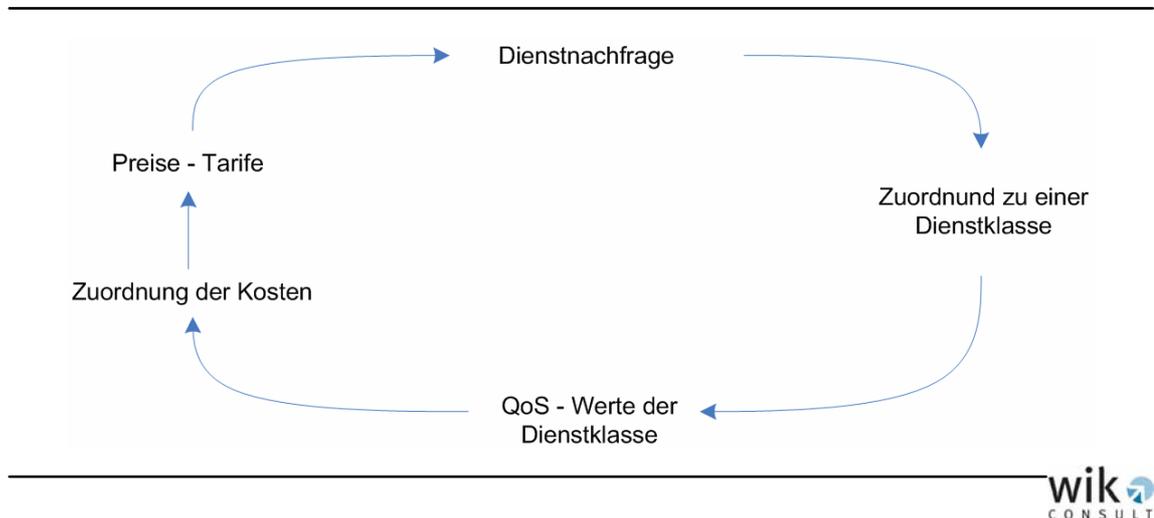
Aus technischer Sicht erfordert eine netzübergreifende Dienstpriorisierung eine Abstimmung der entsprechenden Protokolle und deren zugehörigen Parameterwerte sowohl zwischen den Netzteilen eines Netzes (BAN und IP-Core) sowie in der Zusammenschaltung zwischen Netzen, vor allem IP-Kernnetzen. Für die Abstimmung zwischen einem auf Ethernetbasis implementierten BAN und dem IP-Kernnetz sind z.B. entsprechende Standards des IEEE bzw. der IETF vorgesehen und kann innerhalb des Netzes eines Betreibers ohne Erweiterung der Hardware implementiert werden. Die Übernahme von der Information über die Priorisierung im Falle der Zusammenschaltung erfordert neben einer technischen Harmonisierung auch entsprechende Abstimmungen in den OAM und Verkehrsmanagementmechanismen beider Netze.²²

Dienstpriorisierung erfordert neben der Auswertung der zugehörigen Information, z.B. im TOS-Feld des IP-Paketes, zunächst eine Markierung. Diese Markierung, die die Priorität des Dienstes angibt, könnte im einfachsten Fall am Ursprung, d.h. beim Nutzer bzw. Server, der die Information erzeugt, vorgenommen werden. Es liegt dann am Nutzer, den Grad der Priorisierung zu bestimmen. Allerdings ist dieses Vorgehen sowohl aus netztechnischer als auch aus Sicht von entsprechenden Preismechanismen problematisch. Aus netztechnischer Sicht ist eine entsprechende Dimensionierung der Einrichtungen nur unter Kenntnis der Verkehrsnachfrage sämtlicher Nutzer unter Berücksichtigung der von ihnen nachgefragten verschiedenen Dienste möglich, was unter heutigen Bedingungen kaum gegeben ist. Es bleibt zu untersuchen, inwieweit eine Preisdifferenzierung nach Maßgabe der Übertragungsqualität durchgesetzt werden sollte und kann. Dies gilt auch für netzübergreifende Dienste und für die Preisdifferenzierung von priorisierten Diensten in Abgrenzung zu Best Effort Diensten.

Geht man davon aus, dass die verschiedenen im NGN bzw. NGI zu integrierenden Dienste auf Grund ihrer Merkmale festen Dienstklassen im Sinne der obigen vier Kategorien (Echtzeit-, Streaming-, Daten- und Best Effort-Dienste) zugeordnet werden können, kann die Umsetzung dieser QoS-Strategie bei zusammenzuschaltenden Netzen über die Markierung an der Netzseite der Nutzerschnittstellen UNI erfolgen. Dies kann innerhalb der Netzteile eines Betreibers ohne nennenswerte Schwierigkeiten implementiert werden, erfordert aber bei Zusammenschaltung eine Harmonisierung der Zuordnung von Diensten zu deren Klassen und innerhalb der Klassen eine Harmonisierung der QoS-Werte, die eingehalten werden sollen (vergleichbar mit den ITU-Empfehlungen für Sprachdienste). Damit ergibt sich der in Abbildung 4.4 dargestellte Kreislauf, von dem nicht mit Sicherheit zu erwarten ist, ob er im Rahmen des Wettbewerbs zu stabilen QoS-Werten führt, wobei im Rahmen dieser Arbeit die Frage, ob überhaupt und wenn bei welchen Diensten dies wünschenswert ist, nicht untersucht wird, für erste Ansätze zu einer systematischen Behandlung der Kosten vergleiche [Hack-2006].

²² Dazu gehört u.U., dass die verschiedenen Dienste netzübergreifend den gleichen Dienstklassen zuzuordnen sind und den jeweiligen Dienstklassen in beiden Netzen die gleiche Priorität zuzuweisen ist.

Abbildung 4-4 Darstellung des kreisförmigen Zusammenhangs zwischen einer Dienstnachfrage, deren QoS-Werten, Kosten und Preisen



(3) Kapazitätsreservierung

Die letzte der drei zu betrachtenden Verkehrsmanagementmaßnahmen ist Verkehrstrennung und -führung über Tunnel mit entsprechenden Kapazitäten. Dieser Mechanismus kann auf verschiedene Weise implementiert werden. Zum einen können Tunneln feste Bandbreiten zugeordnet werden bzw. mittels Paketmarkierung²³ und dem IntServ-Konzept virtuelle Tunneln aufgebaut und unterhalten werden. Zum anderen können auch wie bei der Dienstpriorisierung die Pakete in differenzierte Wartespeicher abgelegt werden und von diesen entsprechend der Bandbreitenzuordnung gewichtet bearbeitet werden; dies ist in der Literatur unter Weighted Fair Queuing (WFQ) bekannt, vergleiche [McD-2000].

Verkehrstrennung wird in derzeitigen IP-Netzen vor allem für den Aufbau und Unterhalt von virtuellen privaten Netzen (VPN) verwendet, mit denen Großunternehmen geschlossene IP-Netze implementieren, ohne eine eigene IP-Plattform zum Transport zwischen ihren Unternehmensteilen aufbauen zu müssen. D.h. innerhalb einer IP-Plattform werden damit virtuelle Unternetze gebildet, deren vereinbarte QoS-Werte durch Zuordnung der Bandbreiten eingehalten werden.

Von allen drei betrachteten Maßnahmen grenzt Verkehrstrennung die einer Dienstklasse zugewiesenen Kapazitäten gegenüber den anderen Diensten am sichersten ab und gestattet damit eine eindeutige Zuweisung der kapazitätsabhängigen Kosten zu den

²³ Gebräuchlich ist die Anwendung des sog. RSVP im Zusammenhang mit MPLS, vergleiche dazu RFC 2205: RSVP-Version 1 Functional Specification, RFC 2210: Use of RSVP with IETF Integrated Services, RFC3031; Multiprotocol Label Switching Architecture.

entsprechenden Dienstklassen. Der Nachteil der Verkehrsseparierung besteht darin, dass freie Kapazitäten einer Dienstklasse nicht von den Verkehren der anderen Dienstklassen verwendet werden können, auch nicht bei kurzfristigen Spitzenlasten. Damit ist dieses Konzept im Vergleich zu den anderen beiden Konzept als auch gegenüber Verkehrsschwankungen und Netzausbau bei Verkehrssteigerung weniger flexibel und teurer. Aus heutiger Sicht ist daher zu erwarten, dass Verkehrsseparierung mittels getrennter (fester oder virtueller) Tunnels sich auf VPNs beschränken wird und darüber hinaus nicht allgemein zum Einsatz kommt.

Zusammenfassend können die behandelten QoS-Managementtechniken nach dem Grad ihrer Separierung betrachtet und den jeweiligen Anwendungen zugeordnet werden. Dabei ergibt sich bei Überdimensionierung der höchste Grad der Verkehrsintegration, der virtuell bei Priorisierung abnimmt und bei fester Verkehrsseparierung schließlich keine Integration innerhalb der IP-Schicht aufweist. Tabelle 4.4 fasst die Betrachtungen zusammen.

Tabelle 4.4 Zusammenfassende Darstellung der QoS-Managementtechniken

Integrationsgrad	Verkehrsmanagement	Mechanismen	Protokolle	Anwendungen
Vollständige Verkehrsintegration	Überdimensionierung	Keine	Keine	Internetdienste
Hierarchische Verkehrsintegration	Verkehrspriorisierung	Priority Queuing	TOS-Feld, Diff-Serv	VoIP, Video, FoIP
Virtuelle bzw. feste Verkehrsseparierung	Verkehrstrennung	WFQ/TDM	RSVP, Int-Serv	VPN/ Mietleitung fester Bandbreite

Als Konsequenz ergibt sich aus den qualitativen Betrachtungen, dass Überdimensionierung die kurzfristige Integration von Sprachdiensten gestattet, vor allem wenn keine QoS-Merkmale im Sinne von SLA garantiert werden müssen. Bei netzübergreifenden Verbindungen ist der Grad der Überdimensionierung zwischen den Betreibern abzustimmen. Dienstpriorisierung erfordert ein weitreichendes Verkehrsmanagement und einen erhöhten Abstimmungsbedarf zwischen den Betreibern und ist mittelfristig der geeignete Kandidat um QoS-Werte für verschiedene Dienste bzw. Dienstklassen sowohl innerhalb des Netzes eines Betreibers als auch im Rahmen der Zusammenschaltung zu realisieren. Allerdings bleiben die Konsequenzen in der Kostenzuordnung qualitativ und quantitativ an jeweils konkreten Diensten bzw. Dienstklassen noch zu untersuchen.²⁴

²⁴ Vergleiche hierzu auch das fünfte Kapitel dieser Arbeit, in dem die Auswirkungen der Priorisierung bei VoIP behandelt werden.

5 Leistungsmerkmale für Sprachdienste

Sprachdienste haben eine Reihe von Leistungsmerkmalen zu erfüllen, die im Rahmen der leitungsvermittelten Netze (PSTN/ISDN) durch nationale und internationale Regelungen festgelegt sind²⁵. Für Sprachdienste über IP-basierte Netze liegen derzeit noch keine Regeln vor, aber die jeweiligen Realisierungen sowohl in den Endgeräten als auch in den Netzen gestatten es, entsprechende Rückschlüsse zu ziehen und einen Vergleich mit den Leistungsmerkmalen im PSTN/ISDN zu führen. Dieses Kapitel beschreibt daher zunächst die wichtigsten Leistungsmerkmale für Sprachdienste und deren Realisierung im PSTN/ISDN. Da, wie schon gezeigt, für Sprachdienste unterschiedlichste Realisierungen existieren, ergeben sich für die Leistungsmerkmale unterschiedliche Werte. Um dies vergleichend zu erfassen, wird eine begrenzte Anzahl von Szenarien mit entsprechenden Leistungsmerkmalen festgelegt und danach ihre Realisierung im NGN- bzw. NGI-Konzept untersucht.

Aus technischer Sicht ergeben sich für Sprachdienste folgende Merkmale:

- i. Zugang zum Sprachdienst (Grade of Service (GoS))
- ii. Qualität des Sprachdienstes (QoS)
- iii. Zuverlässigkeit der Verbindungen
- iv. Sicherheit der Verbindungen
- v. Zusatzdienste
- vi. Zusatzmerkmale wie Notrufdienste, richterlich angeordnete Abhörung

5.1 Beschreibung der festen Leistungsmerkmale im PSTN/ISDN

Der QoS-Wert der Sprachqualität ergibt sich objektiv aus der einer Verbindung zugewiesenen Bandbreite und der Laufzeitverzögerung. Die Bandbreite einer Sprachverbindung beträgt im PSTN/ISDN 64kb/s und die Laufzeitverzögerung ist konstant und wesentlich durch die Signalausbreitung bestimmt und damit in nationalen Verbindungen vernachlässigbar²⁶. Eine subjektive Messung der Sprachqualität auf einer Verbindung ist durch den sogenannten MOS-Wert auf einer Skala von 1-5 festgelegt, wobei die

²⁵ PSTN/ISDN-Leistungsmerkmale werden auf internationaler Ebene vor allem von der ITU durch entsprechende Empfehlungen festgelegt, die auch auf nationaler bzw. kontinentaler Ebene entsprechend umgesetzt werden (ETSI, ANSI). Nationale Regelungen obliegen dem jeweiligen nationalen Telekom-Regulierern, sie beschränken sich allerdings auf Universaldienste.

²⁶ Auf internationalen Verbindungen können Laufzeiten zwischen 100-200 ms auftreten, vor allem bei Einsatz von Verbindungen über geostationäre Nachrichtensatelliten. Um das vor allem störende Fern-echo zu unterdrücken, werden sog. Echokompensatoren eingesetzt.

Sprachqualität mit zunehmenden MOS-Werten steigt²⁷. Sprachdienste im PSTN/ISDN weisen für die QoS-Parameter hohe und feste Werte auf, da die für die Dauer der Verbindung zugewiesenen Kanäle mit fester Bandbreite realisiert werden; der MOS-Wert beträgt 4,5. Für VoIP wurde das PESQ-Verfahren entwickelt, um Ende-zu-Ende-Qualitätsmerkmale für die Sprachübertragung in IP-basierten Netzen objektiv, im Gegensatz zu den subjektiven MOS-Verfahren, zu messen. Das PESQ-Verfahren umfasst eine Skala von 4,5 bis -0,5 mit 4,5 als Bestwert und -0,5 als schlechtesten Wert²⁸.

Durch die Zuweisung von Kanälen mit fester Bandbreite ergibt sich im PSTN/ISDN, dass eine Verbindungsanforderung zurückgewiesen wird, wenn keine entsprechenden Kapazitäten vorliegen. Damit werden Sprachdienste im PSTN/ISDN durch ein sog. Verlustsystem beschrieben. Die mittlere Wahrscheinlichkeit, dass eine Verbindungsanforderung zu Verlust geht, wird als Dienstgüte beschrieben (Grade of Service (GoS)). Traditionelle Betreiber haben in der Vergangenheit ihre PSTN/ISDN so dimensioniert, dass im Mittel in der Hauptverbindungszeit (Busy Hour (BH)) diese Verlustwahrscheinlichkeit den Wert von 1% nicht überschreitet. Entsprechende Verfahren zur Messung und Festlegung der BH innerhalb eines Jahres wurden durch entsprechende ITU-Empfehlungen im Einvernehmen mit den nationalen Betreibern festgelegt. Diese Werte sind i.d.R. durch regelmäßige Messungen und Probeanrufe zu belegen, vergleiche [Wiel-2005].

Verbindungen im PSTN/ISDN weisen extrem hohe Zuverlässigkeitswerte auf. Dies wird durch den Einsatz von ausgereiften Einrichtungen für die Funktionen der Vermittlung, Signalisierung und Übertragung erreicht, für die die Hersteller hohe Zuverlässigkeitswerte garantieren. Zusätzlich haben traditionelle Netzbetreiber durch Verkehrslenkung, Nachfrageaufteilung auf verschiedene Übertragungswege und Stand-by-Kapazitäten das Netz gegen Überlast und Störung bzw. Ausfall von Einrichtungen geschützt. Durch alle diese Maßnahmen werden Zuverlässigkeitswerte von 99,999% bzw. von einem durchschnittlichen Ausfall von 5 Min. pro Jahr erreicht²⁹.

Endnutzer sind im PSTN/ISDN mit dem Netz hardwaremäßig durch eine genormte Schnittstelle verbunden.³⁰ Den Verbindungen werden feste Kanalkapazitäten zugewiesen, auf denen ausschließlich die Informationen der sie verbindenden Endgeräte transportiert werden. Damit ist ein hoher Sicherheitsstandard gegenüber dem Eindringen in die Verbindung zum Zwecke der Abhörung, Störung, Verfälschung usw. gegeben. Dergleichen sind Attacks gegen Netzeinrichtungen, wenn überhaupt, nur unter sehr ho-

²⁷ Das Mean Opinion Score-Verfahren (MOS-Verfahren) ermittelt die Sprachqualität anhand von Sprechproben, die von unterschiedlichen Personen beurteilt werden. Es ist in [ITU-1996] festgelegt, eine zusammenfassende Darstellung findet sich in [Nöll-2005], Abschnitt 4.6.

²⁸ Das Perceptual Evaluation of Speech Quality-Verfahren ist in [ITU-2001] festgelegt, es ist ebenfalls in [Nöll-2005] Abschnitt 4.6 zusammenfassend dargestellt.

²⁹ Ob das heute für alle PSTN/ISDN-Netzbetreiber gilt, ist nicht mit Sicherheit auszumachen, da diese Werte nur durch sehr umfangreiche Langzeittests nachweisbar sind bzw. durch Zuverlässigkeitsmodelle aus den Herstellerspezifikationen abzuleiten wären.

³⁰ Dies wird durch die feste Anschlussleitung und dem festen Eingang in der "Subscriber Line Interface Card" in der Vermittlungsstelle bzw. dem abgesetzten Konzentrator realisiert.

hem Geräte- und Kostenaufwand möglich und in jedem Fall identifizierbar. Das Einbringen von Softwareelementen in die Endgeräte ist praktisch nicht möglich.

Den Nutzern im PSTN/ISDN werden neben dem eigentlichen Dienst zur Sprachübertragung zahlreiche Zusatzdienste (Value Added Service (VAS)) angeboten. Im einfachsten Fall werden diese VAS in einem traditionellem PSTN-Telefon durch die Tastatur unter Einbezug der beiden Sondertasten gesteuert. Einige Implementierungen sehen Kombinationen mit Sprachsteuerung unter Einsatz von Spracherkennungsverfahren vor. Daneben sind die Betreiber durch nationale Festlegungen verpflichtet, Zusatzmerkmale im PSTN/ISDN anzubieten; die Wichtigsten sind der Notruf, der es einer Notrufzentrale ermöglicht die Nummer und den Standort des anrufenden Endgerätes zu identifizieren und Aufzeichnung der Gesprächsziele bzw. Inhalte durch richterliche Anordnung vorzunehmen. Man beachte, dass diese Zusatzdienste vom PSTN/ISDN-Netzbetreiber implementiert und oft auch von diesem angeboten bzw. abgerechnet werden, z.B. Anrufe an 900- bzw. 800-Nummern.

Sowohl für die Anbieter von Telefondiensten als auch für die jeweiligen Regulierer ist es von großer Bedeutung, ob die Sprachnetze die entsprechenden Leistungsmerkmale im laufenden Betrieb einhalten, vor allem die Verfügbarkeits- und QoS-Werte. Dazu nehmen die Netzbetreiber laufend Messungen innerhalb ihres Netzes vor bzw. senden Testanrufe. Für alternative Anbieter ist es auch von Bedeutung, die entsprechenden Werte für die Terminierung im Zielnetz eines dominanten Netzbetreibers zu kennen. Diese Aufgabe wird vor allem von kleineren Netzbetreibern an Firmen übertragen, die sich auf die Aufgabe zur Verfügbarkeits- und QoS-Messung in Sprachnetzen spezialisiert haben³¹. Diese Firmen zertifizieren zugleich die entsprechenden Qualitätsnachweise gegenüber dem Regulierer in Deutschland, der BNA nach § 32 TKV, vergleiche [Wiel-2005].

5.2 Szenarien für Leistungsmerkmale in IP-basierten Netzen und deren Realisierung

VoIP- oder auch IP-Telephonie ist der generische Name für eine Serie von Diensten in IP-basierten Netzen. Historisch hat sich VoIP zuerst in lokalen Unternehmensnetzen durchgesetzt durch die Integration der Sprachdienste in ihre Ethernetdatennetze in Form der IP-PBX oder auch Soft-PBX. Heute werden bei Neuinstallation praktisch nur noch IP-PBX eingesetzt und damit der Sprachdienst in die Datendienste integriert, vergleiche [Vrie-2005]. Damit konnten die traditionellen leitungsvermittelten PBX abgelöst werden; Abbildung 3.6 zeigt eine typische Konfiguration eines lokalen Unternehmens-

³¹ Ein Beispiel ist die Vierling Gruppe aus Ebersmannstadt, die sich auf Messaufgaben in Sprach- und Datennetzen spezialisiert hat, vergleiche http://www.vierling.de/www_vierling/vierling_home-de_1_1_0_f.htm.

netzes mit seinen Verbindungen zu öffentlichen Netzen. In den meisten Fällen ist eine Migrationsstrategie zu entwickeln, um bestehende PBX durch IP-PBX unter wirtschaftlich vertretbarem Aufwand sukzessive zu ersetzen.³²

Als nächster Schritt wurde VoIP in lokal übergreifenden Unternehmensnetzen eingesetzt, um bisherige Zusammenschaltungen von PBXs über digitale Mietleitungen abzulösen. Dazu werden von global operierenden ITP-IP-Tunnel zwischen den Unternehmensstandorten angemietet, wobei der ITP QoS-Garantien hinsichtlich Bandbreitelaufzeiten abgibt, mit festen Werten für die Bandbreite und statistischen Werten für die Laufzeit. Die Kapazitätszuordnung zu den jeweiligen internen Diensten kann dann vom Netzverwalter des Firmennetzes vorgenommen werden, sei es durch feste Untergliederung oder durch Prioritätsklassen für die jeweiligen Dienste. Die Leistungsmerkmale der sich daraus ergebenden Unternehmensnetze können entsprechend den Anforderungen an die verschiedenen Dienste sowohl lokal als auch standortübergreifend angepasst werden. Dazu haben ISP/ITP national als auch international entsprechende Netze aufgebaut, die es gestatten, die Leistungsmerkmale von Verbindungen in einem Unternehmensnetz flexibel bereitzustellen, vergleiche [Essi-2004], [Kant-2005].

Solche lokalen wie auch übergreifenden IP-basierten Unternehmensnetze können bei korrekter Dimensionierung und Netzverwaltung GoS- und QoS-Werte einhalten, die mit denen aus leitungsvermittelten Unternehmensnetzen vergleichbar sind. Hinzu kommt, dass in der Regel diese Netze mittels eines Gateways Zugang zum öffentlichem PSTN/ISDN haben und damit Verkehrsspitzen aus Sprachdiensten, für die keine eigenen Kapazitäten vorhanden sind, an öffentliche Netze abgegeben werden können. Damit werden sehr geringe Werte für die Anrufblockierung und damit eine sehr hohe Dienstgüte (GoS) erreicht.

Allerdings kann das Gleiche nicht für die Zuverlässigkeitswerte bzw. die Netzsicherheit garantiert werden, insbesondere wenn das Unternehmensnetz mit dem öffentlichen Internet verbunden ist. Um dies zu betrachten, ist zunächst der Begriff Netzsicherheit zu definieren. Netzsicherheit wird grob durch die sogenannten Big Three beschrieben, die auch mit C-I-A „Confidentiality, Integrity, Authentication“ abgekürzt werden, vergleiche [Howa-2001]. Tabelle 5.1 fasst die Funktion der C-I-A in Form einer Übersicht zusammen.

³² In [Nöll-2005] sind einige Grundlagen beschreiben und an Fallbeispielen erläutert. Wenngleich sich Migrationsstrategien für den Übergang vom PSTN/ISDN zum NGN anders gestalten werden, können die Grundsätzen und Modelle der Migrationsstrategie von Unternehmensnetzen, wenn auch in modifizierter Weise, zur Abbildung von Migrationsstrategien in öffentlichen Netzen herangezogen werden.

Tabelle 5.1 Elemente der Netzsicherheit und angewendete Technologien

Sicherheits- element	Sicherheits- technologie	Kurzbeschreibung
Geheimhaltung	Verschlüsselung	Die Information wird so verschlüsselt, dass nur der legitime Empfänger sie entschlüsseln und damit lesen kann.
Integrität	Nachrichtenmarken	Aus der Information werden wichtige Teile in Form von kryptographischen Fingerabdrücken erzeugt und eingefügt. Eine Verfälschung des Informationsinhalts führt zu einem Paketfehler.
Authentizität	Digitale Unterschrift	Moderne elektronische Schlüssel sind zweistufig, einem privaten Schlüssel und einem öffentlichem Schlüssel. Der Sender verschlüsselt seine Unterschrift mit dem privaten Schlüssel und der Empfänger kann den öffentlichen Schlüssel von einer zertifizierenden Institution abrufen und damit die Echtheit der Unterschrift feststellen.

Für VoIP wurden ausführliche Untersuchungen von nationalen Institutionen vorgenommen, die die Sicherheit und Zuverlässigkeit von IP-basierten PBX-Netzen getestet haben, vergleiche [BSI-2005] für eine Studie des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik und [Kuhn-2005] für eine Studie des National Instituts of Standards and Technology des U.S. Department of Commerce. Netzsicherheit in IP-basierten Netzen erfordert zusätzliche Maßnahmen sowohl in den Endgeräten als auch an den Netzübergängen im sog. „Firewall“, die zusätzlichen Prozessoraufwand erfordern und damit die QoS-Parameter negativ beeinflussen können³³. Die Studie des NIST weist auch auf die Instabilität der derzeitigen VoIP-Standards hin und die damit verbundene Einschränkungen für zukünftige Erweiterungen eines Unternehmensnetzes.³⁴ Zusammenfassend wird auf das noch bestehende Sicherheitsrisiko und die Unreife von VoIP hingewiesen.³⁵ Wenngleich diese Aussagen, die für VoIP-PBX gelten, nicht direkt auf die Entwicklung öffentlicher Netze übertragen werden können, ergeben sich dennoch Hinweise auf Maßnahmen, die auch in öffentlichen IP-basierten Netzen vorgenommen werden müssen, um die Sicherheit, Verfügbarkeit und die QoS-Werte für VoIP bereitzustellen. Dies wird auch durch erste Untersuchungen zur Anwendung des SIP-Protokolls für VoIP bestätigt. Diese finden sich in [Pose-2005] und bestätigen die Ergebnisse der Untersuchungen, die im Zusammenhang mit IP-basierten PBX durchgeführt wurden³⁶. Allerdings ist zu beobachten, dass diese Mängel durch entsprechende Weiterentwick-

³³ "... the implementation of various security measures can cause a marked deterioration in QoS...Because of the time critical nature of VoIP ... many security measures implemented in traditional data networks are simply not applicable to VoIP in their current form; firewalls, intrusion diction systems and other components must be specialized for VoIP", zitiert nach [Kuhn-2005].

³⁴ "VoIP is an emerging technology, so it is difficult to develop a complete picture of what a mature worldwide VoIP network will one day look like", zitiert nach [Kuhn-2005].

³⁵ "Today, VoIP systems are still maturing and dominant standards have not emerged .. the public switched telephone network is ultra- reliable. Internet service is generally much less reliable, and VoIP cannot function without Internet connections except in the case of large corporate or other users who may operate a private network. Essential telephone services, unless carefully planned, developed and maintained, will be at greater risk if based on VoIP", zitiert nach [Kuhn-2005].

³⁶ [Pose-2005] fassen ihre Ergebnisse wie folgt zusammen: "... many essential security requirements for providing voice services in public networks cannot be met by today's VoIP technologies".

lungen sukzessive verbessert werden. So ergeben z.B. Untersuchungen zur Problematik des Notrufes in öffentlichen IP-Netzen erste Lösungsansätze, vergleiche [Tric-2006] und [Trick-2006a].

Die Leistungsmerkmale für VoIP werden u.a. auch durch die Migrations- Szenarien bestimmt. Die Migration von Sprachdiensten in IP-basierten Netzen kann wie schon im zweiten Kapitel kurz dargestellt wie folgt vorgenommen werden:

- i. Integration von Sprach- und IP-basierten Datennetzen in einem IP-Breitbandnetz mit QoS-Management.
- ii. Aufrüstung eines IP-basierten Datennetz zur Sprachintegration und
- iii. Integration von Sprachdiensten im öffentlichen Internet

Das erste Konzept führt, wie schon gezeigt, zum sog. NGN, während das zweite und dritte Konzept bisherige IP-Netze in Richtung eines NGI weiterentwickeln. Beide Konzepte streben an, in der Endphase Sprachdienste mit gleichen oder u.U. sogar verbesserten Leistungsmerkmalen anzubieten. Es ist allerdings damit zu rechnen, dass in der Übergangsphase einige der Leistungsmerkmale nicht die gleichen Werte aufweisen wie im PSTN/ISDN, vor allem im Falle der Integration von Sprachdiensten in bestehende IP-Netze, vergleiche [Dagi-2001]. Danach ergibt sich:

- Der leitungsvermittelte Transport des digitalisierten Sprachsignals ergibt eine hohe Sprachqualität, die bei paketvermittelter oder gemischter Übertragung nur durch zusätzliche Maßnahmen im Verkehrsmanagement erreicht werden kann.
- Die Signalisierung auf der Anschlussleitung (DSS1) im PSTN/ISDN im Zusammenhang mit der Netzsignalisierung durch das CCSSn⁰⁷ beschreibt einen hohen Standard, der den weltweiten und sicheren Aufbau von Sprachverbindungen gestattet. Dagegen ist SIP ein neues und noch nicht ausgereiftes Protokoll. Zusätzlich ist zu beachten, dass SIP kein dienstspezifisches Signalisierungsprotokoll für Sprachverbindungen beschreibt, sondern lediglich Hilfsmittel zur Realisierung von allgemeinen Multimediadiensten bereitstellt. Es muss daher in seiner Anwendung auf einen spezifischen Dienst ggf. durch eine Reihe von zusätzlichen Protokollen ergänzt werden.
- Die Abrechnung von Gesprächsgebühren findet im PSTN/ISDN durch einen Zeittakt und entfernungsabhängig statt, was durch ausgereifte Einrichtungen vorgenommen wird. Abrechnungsschemen im NGN/NGI sind derzeit noch nicht einheitlich definiert und finden vielfach in Form von Pauschaltarifen statt. Die derzeit zu beobachtende Anwendung von Flatrate-Tarifen für Gespräche innerhalb eines IP-Netzes kann zu einem Missbrauch in Form von automatisierten SPAM-Anrufen führen. Hinzu kommt, dass es im Falle von reduzierten Sicherheitsmerkmalen

möglich ist, dass ein SIP-Teilnehmer unter der Nummer eines anderen Teilnehmers Gespräche absetzt.

- Im PSTN/ISDN ist durch das leitungsvermittelte Prinzip eine hohe Verfügbarkeit der Verbindung gewährleistet. In IP-basierten Netzen ist dies nur durch zusätzliche Maßnahmen im Verbindungsmanagement zu erreichen.

Tabelle 5.2 fasst in Form einer Übersicht die oben aufgeführten Aspekte zusammen.

Tabelle 5.2 Übersicht über die Leistungsmerkmale für Sprachdienste unter der Migration vom PSTN/ISDN zum NGN bzw. NGI

Leistungsmerkmal	PSTN/ISDN	Hybrid	NGI/NGN
Verbindungsmodus	Leitungsvermittelt	Gemischt	Paketvermittelt
Terminalsignalisierung	DSS1	SIP oder H.323	SIP
Netzsignalisierung	CCSS7	CCSS7-MEGACO-BICP SIP	SIP/MEGACO
Abrechnung	Zeittakt, Zone	Flatrate innerhalb IP, Zeittakt für hybrid	?
Verfügbarkeit der Verbindung	Hoch	Begrenzt	Hoch
Skalierung	Hoch	Begrenzt	Hoch
Protokollstabilität	Hoch	Begrenzt	Hoch
Sicherheit	Hoch	Eingeschränkt	Hoch
GoS/QoS	Hoch	Eingeschränkt	einstellbar

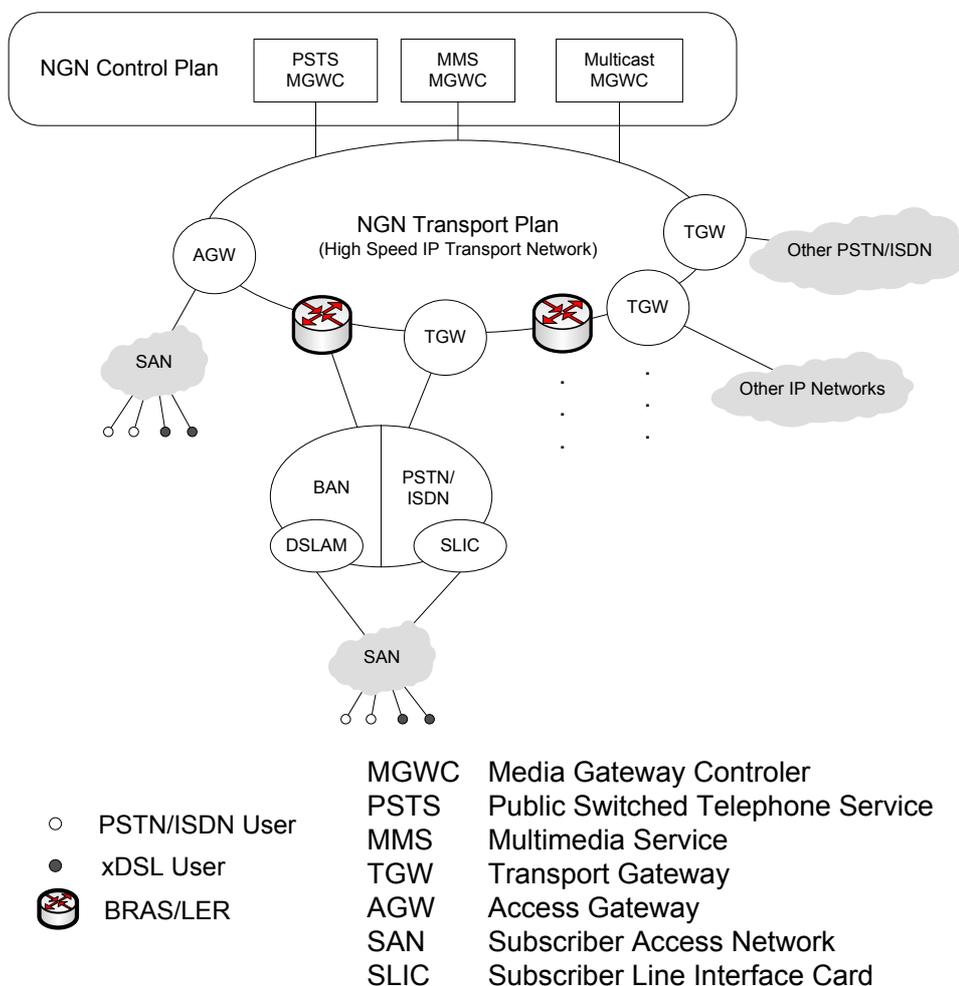
5.2.1 Technische Realisierung im NGN und deren zugehörigen Kosten

Die Migration von IP-basierten Datennetzen und den Diensten aus dem PSTN/ISDN in Richtung NGN kann – wie im Abschnitt 3.5 dargestellt – entweder in Form einer Top-Down- oder einer Bottom-Up-Migration erfolgen. Dabei ist von Bedeutung, dass im NGN-Konzept zwei Netze in ihrem logischen Teil sich in ein neues Netz, dem NGN, integrieren. Dabei kann die bisherige physikalische Netzebene, realisiert durch SDH-Einrichtungen und Glasfaserkabel, beibehalten werden bzw. nur lokal auf überlasteten Netzabschnitten durch neue Übertragungssysteme auf der Basis von DWDM erweitert werden. Dagegen ist zu erwarten, dass im Falle eines vollständigen Neuaufbaus des Netzes zumindest im Kernnetz der Einsatz von rein optischen Übertragungsnetzen (OTN) untersucht wird³⁷, wobei nach heutigem Stand die Architektur eines Optischen Transportnetzes entsprechend der ITU-Empfehlung G.709 implementiert wird, vergleiche [Möbi-2006].

³⁷ Dazu werden durch Einsatz optischer Hochgeschwindigkeitsroutern Paketströme in die gleiche Richtung in optische Signale zusammengefasst und in einem optischen Übertragungsnetz (OTN) transportiert, wobei die Einkapsulierung von IP-Paketen in das optische Signal durch das GMPLS erfolgt, was eine Verallgemeinerung des MPLS-Protokolls darstellt. Danach ergibt sich ein Protokollturm aus IP/GMPL/OTN/WDM, für eine zusammenfassende Darstellung vergleiche Kapitel 26 in [Hard-2002].

Es ist zu erwarten, dass ein Netzbetreiber zur Einführung von NGN im IP-basierten Kernnetz-Hochgeschwindigkeitsrouter auf der Basis von Terrabitroutern installiert. An den Übergängen vom BAN bzw. regionalen PSTN/ISDN-Netzteilen zur NGN-Transportplattform sind – wie schon in Abbildung 3.5 dargestellt – entsprechende Zugangsrouten in Form von LER, BRAS oder AGW vorzusehen. Um eine hohe Verfügbarkeit zu gewährleisten, sind die entsprechenden Einrichtungen wenigstens zweifach vorzusehen und die Verkehre sind paritätisch zu verteilen. Abbildung 5.1 zeigt schematisch den möglichen Aufbau eines Kernnetzknosens und deren Integration in eine NGN-Transportplattform.

Abbildung 5-1 Kernnetzknosens eines überlagerten NGN und deren Verbindungen mit den Zugangsnetzen



Bei den Verbindungen zwischen den Routereinrichtungen ist zwischen internen Verbindungen innerhalb eines Standortes und Verbindungen zwischen Standorten zu unter-

scheiden. Die Verbindungen innerhalb eines Standortes werden auf der Basis von Gigabit-Ethernet stattfinden und ergeben damit, wie im Anhang 1 gezeigt, interne Paketlaufzeiten im Bereich von 50 bis 80 μs für einen Ethernet Rahmen mit maximaler Länge von $L=1500$ bytes. Für Sprachpakete mit wesentlich kleineren Paketlängen ergeben sich entsprechend geringere Werte, d.h. bei der Untersuchung von Laufzeitverzögerungen einer Ende-zu-Ende-Verbindung können die Verzögerungen innerhalb eines Standortes vernachlässigt werden.

Die Kapazität der Verbindungen zwischen den Routern hängt von der Größe des IP-Netzes ab und der Menge des darin konzentrierten Verkehrs. Die Kapazitäten schwanken im Bereich von 2 Mbit/s für eine E1-Verbindung bis hin zu 2,5 Gbit/s für eine optische Verbindung auf der Basis von OC-48 (äquivalent zu STM-16). Tabelle 5.3 zeigt die verschiedenen digitalen Signalgruppen, die zur Paketübertragung zwischen Standorten verwendet werden, mit den zugehörigen Brutto- und Nettokapazitäten und den Übertragungszeiten für typische Best Effort Pakete bzw. VoIP-Pakete.

Tabelle 5.3 Übertragungskapazitäten der PDH- und SHD-Übertragungssysteme und zugehörige Paketlaufzeit für verschiedene Paketgrößen

Signalgruppe	E1	E3	STM-1	STM-4	STM-16	L [bytes]	Typischer Dienst
Brutto-Kapazität [Mbit/s]	2,048	34,348	155,52	622,08	2488,31		
Netto-Kapazität [Mbit/s]	2,048	32,768	149,76	599,04	2396,16		
ts in [μs]	5859,38	366,21	80,13	20,03	5,01	1500	FTP/WEB
ts in [μs]	1953,13	122,07	26,71	6,68	1,67	500	FTP/WEB
ts in [μs]	804,69	50,29	11,00	2,75	0,69	206	VoIP nach G.711
ts in [μs]	257,81	16,11	3,53	0,88	0,22	66	VoIP nach G.729

Aus den Werten der Tabelle ergeben sich Laufzeitverzögerungen pro Übertragungsstrecke von wenigen Mikrosekunden vor allem bei Anwendung der Übertragungsgruppen der SDH, wobei ohnedies davon auszugehen ist, dass PDH-Signalgruppen im NGN nicht eingesetzt werden. Zu dieser Laufzeitverzögerung ist noch die Wartezeit der Pakete in den Warteregistern zu addieren. Allerdings ergeben sich hier Gesamtlaufzeitverzögerungen selbst im Worst-Case von nur wenigen Millisekunden, ohne dass aufwändige QoS-Managementtechniken eingesetzt werden müssen³⁸. Es ist allerdings sicherzustellen, dass bei Überlast des im NGN geführten Best Effort Verkehrs dieser nicht den VoIP-Verkehr verdrängt. Entsprechende QoS-Managementtechniken werden im Anhang I diskutiert und es wird gezeigt, dass dies im einfachstem Fall durch Kapazitätsreservierung für VoIP-Pakete im Speicher der Warteschlangen erreicht werden kann

³⁸ Im Abschnitt 2.2 vom Annex I (AI.2.2) findet sich eine ausführliche Darstellung der Berechnungen.

oder aber noch wirkungsvoller durch Priorisierung der VoIP-Pakete gegenüber den Best Effort Paketen.

Zur Realisierung der Transportschicht im NGN können wesentliche Elemente des bisherigen IP-Netzes BRAS, LER und LSR und des SDH-Übertragungsnetzes, DX4/4, ADM, STM-N-Übertragungssysteme weiterverwendet werden. Falls Kapazitätsengpässe entstehen, sind entweder weitere Routereinrichtungen zu ergänzen oder aber bestehende Router verminderter Kapazität durch neue Routereinrichtungen höherer Kapazität zu substituieren. Letzteres ist mittel- bis langfristig vorzuziehen, um die Verwaltung des Netzes – vor allem die Kapazitätsverwaltung – zu vereinfachen. Es ist dabei zu beachten, dass solche Erweiterungen vor allem durch das hohe Wachstum von Daten- und Best Effort Diensten verursacht werden und damit nicht im unmittelbaren Zusammenhang mit der Integration von VoIP zum NGN stehen. In den Untersuchungen über die Netzhierarchie, die das sechste Kapitel behandelt, wird gezeigt, dass unter Zugrundelegung aktueller Verkehrswerte der durch die Sprachtelefonie verursachte Bandbreitenbedarf bei einer Integration im NGN oder NGI keine bedeutende Rolle spielt und mit wachsendem Verkehr aus neuen Diensten wie P2P in Zukunft reine Sprachtelefonie nur noch eine marginale Rolle einnehmen wird.

Beim Erstaufbau eines NGN ist vor allem die Kontrollschicht mittels der entsprechenden Einrichtungen zu implementieren. Dazu können die Anzahl der entsprechenden Standorte sukzessiv im Rahmen steigender Nachfrage für die Dienste erweitert werden. Auch sind aus Gründen der Verfügbarkeit von Anfang an in einem nationalen Netz zwei bis drei Standorte vorzusehen und je nach Verfügbarkeitsangaben der Hersteller ggf. auch wichtige Einrichtungen wie Softswitch an einem Standort zu doppeln, auch wenn sich dies durch die momentanen Kapazitätsanforderungen nicht rechtfertigt.

Schließlich ist zu beachten, dass die Einrichtungen in der Transportschicht über die entsprechenden Schnittstellen und internen Funktionen zur Verkehrsführung unter den Kommandos der Einrichtungen aus der Kontrollschicht verfügen, ggf. sind entsprechende Soft- und Hardwareergänzungen in den Einrichtungen vorzusehen.

Aus der Darstellung ergibt sich, dass das NGN-Konzept auch in seiner Migrationsphase über Funktionen verfügt, die im Bedarfsfall sicherstellen, dass die bisherigen Leistungsmerkmale für PSTN/ISDN-Teilnehmer weiter aufrechterhalten werden. Dies wird vor allem dadurch erreicht, dass Softswitch alle Signalisierungsfunktionen der bisherigen digitalen Vermittlungsstellen implementieren und die Sprachdienste ggf. über eigene Tunnel in der Transportplattform unter Kontrolle des Softswitchs geführt werden. Der Softswitch nimmt damit auch die Anrufannahme bei ausreichender Kapazität bzw. deren Zurückweisung im Falle von Überlast vor. Hinzu kommt, dass bei Führung des Sprachverkehrs über einen eigenen Tunnel die entsprechenden GoS-Werte nicht durch Überlast aus Verkehr anderer Dienste beeinträchtigt werden können.

Für Sprachdienste über den Breitbandanschluss eines Privatkunden, z.B. ADSL, sind entsprechende Endeinrichtungen vorzusehen, z.B. SIP-Telefone oder SIP-Adapter. Außerdem ist sicherzustellen, dass der Sprachverkehr ohne Minderung seiner QoS-Parameterwerte durch das Breitband-Anschlussnetz geführt werden kann. Wie im Anhang I gezeigt, kann dies durch verschiedene QoS-Managementtechniken erfolgen, wobei die einfachste in einer Überdimensionierung der BAN-Kapazitäten besteht. Andere Maßnahmen erfordern i.d.R. eine individuelle Diensterkennung am DSLAM, die von den bisherigen DSLAM-Einrichtungen nicht unterstützt wird.

Die für den Aufbau des NGN anfallenden Investitionskosten (CAPEX) werden vor allem durch den Aufbau der entsprechenden Kontrollplattform bestimmt. Es ist davon auszugehen, dass sich die Kosten für den Netzerhalt und die Abrechnungssysteme gegenüber dem Betrieb von zwei parallelen Netzen erheblich vermindern. Allerdings ist zu beachten, dass aus heutiger Sicht diese Netzintegration immer noch erhebliche Probleme sowohl in der Dienstbereitstellung, Abrechnung etc. als auch der Netz- und Verkehrsplanung unter VoIP-Integration und der Zusammenschaltung mit anderen Netzen aufwirft. Diese Schwierigkeiten sind mit Unsicherheiten über Vorteilhaftigkeit dieser Investitionsvorhaben verbunden und ggf. ursächlich für die Zurückhaltung verschiedener Netzbetreiber, was die Realisierung von Sprache über IP betrifft. Dabei ist ergänzend anzuführen, dass auch die ggf. zu substituierenden PSTN/ISDN-Einrichtungen noch nicht vollständig beschrieben sind und damit ebenfalls ein Verharren auf der herkömmlichen Technologie begünstigen. Allerdings bietet die Integration von Daten und Sprache auf IP auch die Möglichkeit, neue, vor allem sprachintegrierte, Mehrwert- und Multimediadienste einzuführen und damit die Vorteilhaftigkeit der Investition sicherzustellen. Für eine breite Darstellung dieser Problematik vergleiche [Telc-2004].

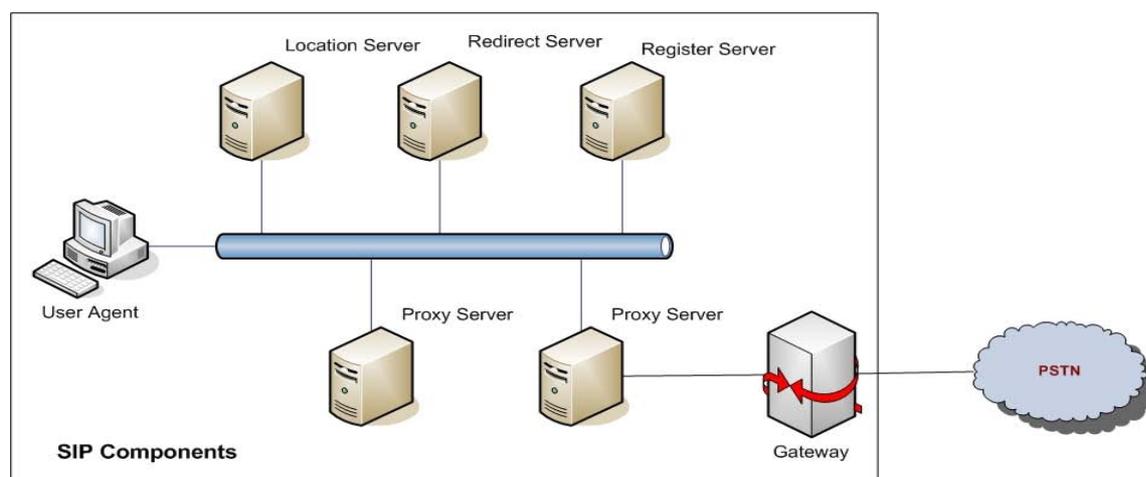
5.2.2 Technische Realisierung in IP-Netzen eines ISP und deren zugehörige Kosten

Die Integration von Sprachdiensten in eine IP-Transportplattform wird von den jeweiligen ISP/ITP entweder für Unternehmensnetze vorgenommen oder als Wholesale-Dienst für ISP mit VoIP-Angebot, die nicht über ein flächendeckendes IP-Netz verfügen bzw. selbst in seiner Eigenschaft als ISP an Endkunden vermarktet. Diese drei Fälle wurden schon im Abschnitt 3.2 betrachtet und die entsprechende Erweiterung der IP-Infrastruktur in Abbildung 3-7 gezeigt.

Die Realisierung von VoIP in Unternehmensnetzen ist eine Erweiterung der VPN-Dienste und wird hier nicht weiter betrachtet. VoIP-Dienste als Wholesale- aber auch als Endkundendienst erfordern den Aufbau einer entsprechenden Signalisierungsplattform wie in Abbildung 3.7 gezeigt. Allerdings ist diese Plattform nicht mit der aus dem NGN vergleichbar, weil im Fall der IP-Erweiterung eine Funktionsteilung stattfindet und wesentliche Funktionen auch von peripheren Netzelementen erfüllt werden, z.B. den

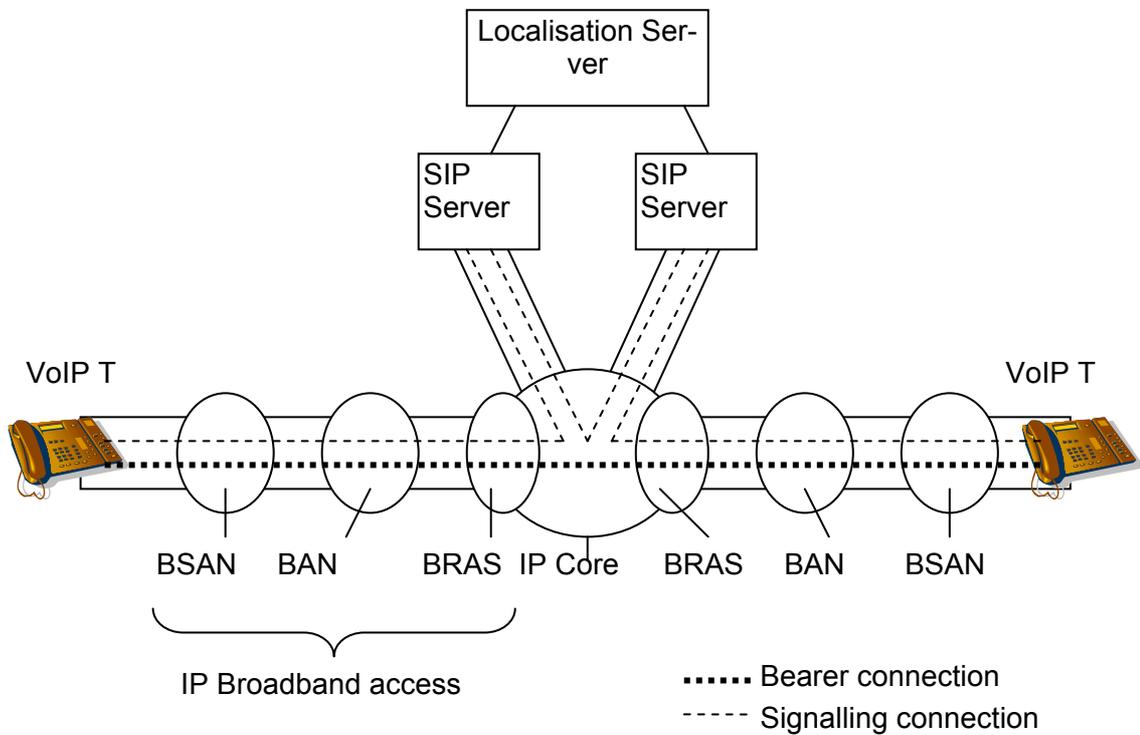
SBGWC bis hin zu den Funktionen im SIP-basiertem Endgerät. Damit erfordert VoIP als Wholesale-Dienst für andere ISP, dass der ISP/ITP sein IP-Netz durch entsprechende Einrichtungen ergänzt. Sprachdienste für seine eigenen Kunden sind durch die Integration einer SIP-Plattform in die Kontrollschicht zu realisieren, vergleiche Abbildung 5.2.

Abbildung 5-2 SIP-Komponenten für die Integration von VoIP-Verkehr



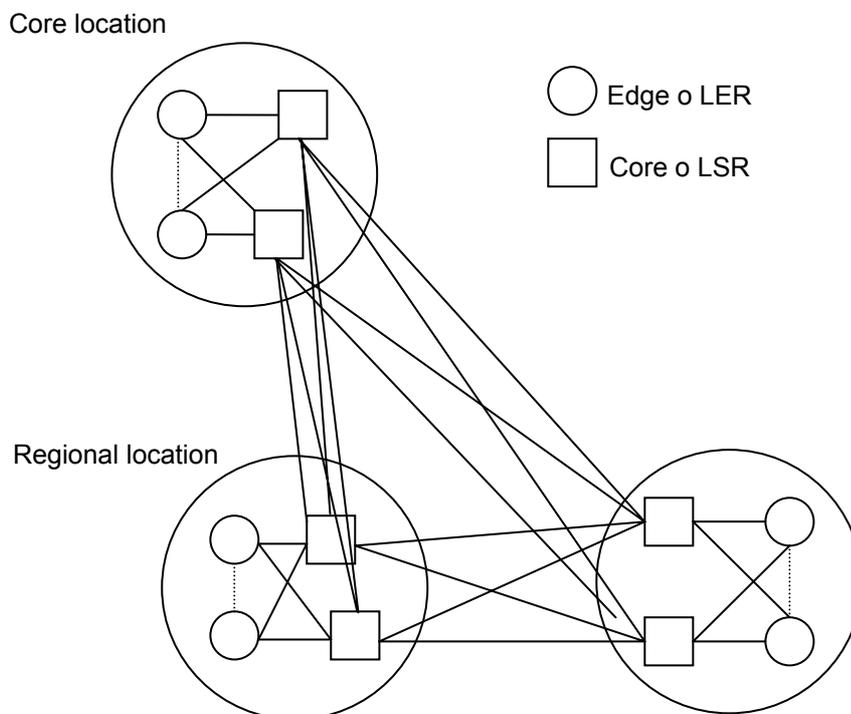
Der Transport des Sprachsignals kann ggf. im Netz mit unterschiedlichen QoS-Merkmalen angeboten werden, im einfachsten Fall durch Integration mit dem Best Effort Verkehr und im Bedarfsfall durch Zusammenfassung des VoIP-Verkehrs in speziellen Tunneln. Abbildung 5.3 zeigt den Aufbau einer Sprachverbindung innerhalb des Netzes eines ISP/ITP.

Abbildung 5-3 Verkehrsführung für den Bearer- und Signalisierungsverkehr einer internen VoIP-Verbindung.



Um hohe Verfügbarkeitswerte für die Sprachdienste zu erreichen, muss der ISP/ITP alle wesentlichen Einrichtungen sowohl in der Transport- als auch in der Kontrollschicht doppeln und die Verkehre durch entsprechende Anbindungen lastverteilt führen. Abbildung 5-4 zeigt ein Beispiel für den Aufbau der Transportschicht eines zweistufigen Kernnetzes mit Direktverbindungen in der unteren Ebene. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass die Mehrheit der großen ISP/ITP schon entsprechende Maßnahmen implementiert haben, um die Verfügbarkeitsanforderungen in den SLA ihrer Großkunden zu gewährleisten.

Abbildung 5-4 Beispiel für die Doppelung von Routereinrichtungen und Lastverteilung des Verkehrs



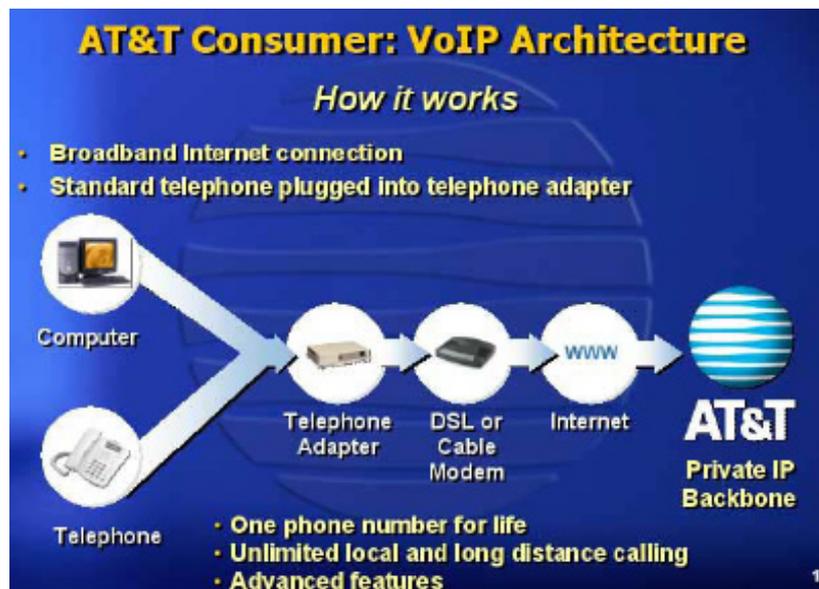
Von Vorteil gegenüber dem NGN-Konzept für die Integration von VoIP in das Netz eines ISP/ITP ist, dass dieser keine Migrationsstrategien zur Integration eines PSTN/ISDN betrachten muss. Es kann davon ausgegangen werden, dass Zuverlässigkeitsmerkmale und QoS für die Sprachdienste vom ISP/ITP in seinem Netz ohne umfangreiche Hardwareergänzungen vorgesehen werden können, da der ISP/ITP im Rahmen seiner Geschäftskunden und VPN-Dienste sein Netz für eine Dienstdifferenzierung nach QoS unter ausreichender Zuverlässigkeit implementiert hat. Ob hier, wie im Falle des NGN, einfache Maßnahmen zum QoS-Management ausreichen, hängt von der erreichbaren Verkehrskonzentration in den Netzelementen und vor allem von den Übertragungsgruppen ab. Bei Verwendung von Übertragungsgruppen der SDH, z.B. angemietete STM-1, ergeben sich vergleichbare Ergebnisse mit dem NGN, allerdings sind etwas aufwändigere QoS-Maßnahmen beim Einsatz von Leitungsgruppen der PDH (E1 und E3) vorzusehen. Dies dürfte vor allem bei regionalen ISP/ITP (Tier3) der Fall sein oder aber in den IP-Netzausläufern eines Tier 2 ISP/ITP³⁹.

³⁹ Vergleiche in diesem Zusammenhang die Ergebnisse der QoS-Untersuchungen, die im Anhang I dargestellt sind.

Der Schwachpunkt für VoIP-Angebote liegt im Netzzugang, da die meisten ISP/ITP über kein oder nur ein sehr reduziertes Broadband Access Netzwerk verfügen. Damit kann ein ISP/ITP nur dann höherwertige Dienste wie VoIP, u.U. auch differenziert nach QoS-Klassen, anbieten, wenn der (die) BAN Betreiber differenzierte Zuführungsdienste im BAN als Wholesale-Dienst anbietet (anbieten), z.B. in Form eines QoS-basierten ZISP.

Kostenelemente für VoIP-Dienste in Netzen eines ISP/ITP sind damit der Aufbau der Kontrollplattform, z.B. SIP-Plattform und der entsprechenden SBGC mit Schnittstellen zu anderen IP-Domains bzw. SBGWC zur Zusammenschaltung mit dem PSTN/ISDN. Hinzu kommen die Kosten für die Endkundenzuführung über das BSAN und das BAN. Aus einem Vergleich mit dem NGN-Konzept ergibt sich, dass die Integration von VoIP-Diensten in bestehende ISP/ITP-Netze u.U. schneller und kostengünstiger erreicht werden kann als der zeitlich gestaffelte Aufbau eines NGN. Es verwundert daher nicht, dass unter Wettbewerbsbedingungen u.U. auch traditionelle PSTN/ISDN-Betreiber, die i.d.R. auch eine nationale ISP/ITP-Plattform implementiert haben, VoIP-Massendienste in Konkurrenz zu ihren eigenen PSTN/ISDN-Sprachdiensten anbieten. Ein Beispiel dafür ist der VoIP-Dienst von AT&T, der als Konkurrenz zum VoIP-Dienst von Vonage angeboten wird ⁴⁰, vergleiche Abbildung 5.5.

Abbildung 5-5 Schematischer Aufbau einer VoIP-Verbindung im ISP/ITP-Netz von AT&T (Quelle AT&T)

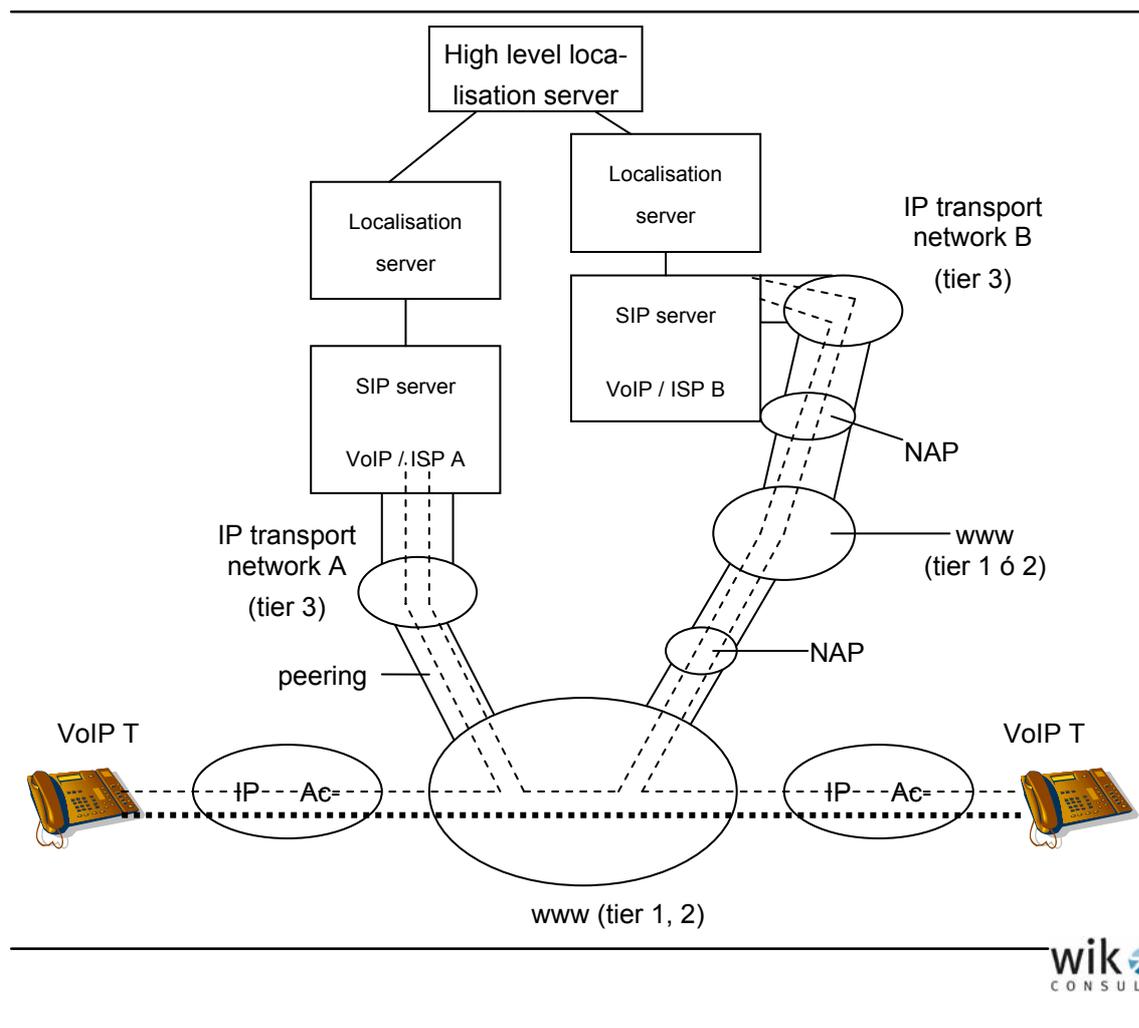


⁴⁰ Vonage ist ein reiner ISP-Anbieter, der für seine Sprachdienste keine Transportinfrastruktur bereitstellt, vergleiche Abschnitt 4.2.3.

5.2.3 Technische Realisierung im öffentlichen Internet

Im Unterschied zur Realisierung von Sprachdiensten über eine IP-Domain eines ISP/ITP stellen ISP für Sprachdienste, die sie über das öffentliche Internet anbieten, i.d.R. keine Infrastruktur für den Transport der Sprache und deren Signalisierung bereit, sondern bedienen sich der bestehenden Infrastruktur des öffentlichen Internet. Allerdings ist eine Kontrollplattform aufzubauen (vergleichbar wie mit dem Fall eines ISP/ITP). Abbildung 5.6 zeigt die sich aus diesem Konzept möglicherweise ergebenden umfangreichen Transportwege des Bearer- bzw. Signalisierungsverkehrs und damit auch die „Schwachstellen“, die sich durch Kapazitätsengpässe im öffentlichen Internet sowohl beim Aufbau⁴¹ als auch beim Betrieb einer VoIP-Verbindung ergeben.

Abbildung 5-6 Verkehrsführung für den Bearer- und Signalisierungsverkehr einer VoIP-Verbindung eines ISP ohne eigene Infrastruktur



⁴¹ Erfahrungen der Autoren beim Aufbau von internationalen VoIP-Verbindungen auf der Basis von Skype ergeben Zeiten für den Verbindungsaufbau von oberhalb von 10s, vergleiche dazu, dass der Aufbau einer ISDN-Sprachverbindung im Bereich von 200 -500 ms liegt.

Ein ISP kann allerdings mit Ausweitung des gesamten Internetverkehrs – vor allem des Best Effort Verkehrs - die von hoch komprimierten Sprachdiensten in Anspruch genommenen Kapazitäten ohne zusätzliche Investitionen bzw. QoS-Management-Techniken integrieren, wenn der Benutzer gegenüber dem bisherigen PSTN/ISDN-Sprachdienst eine verminderte Qualität akzeptiert. Hinzu kommt, dass entsprechende QoS-Parameter nur in Form statistischer Mittelwerte eingehalten werden können, während sich kurzfristige Verkehrsspitzen in Form von IP-Burst, die sich aus FTP- oder WEB-Diensten mit Anwendungspaketen hoher Länge ergeben, die QoS-Werte für VoIP erheblich beeinträchtigen können, was von einer Erhöhung des Echos über eine wesentliche Verminderung der Sprachverständlichkeit bis hin zum Zusammenbruch der Verbindung führen kann.

5.2.4 Kostentreiber der verschiedenen Realisierungsformen von VoIP

Allgemeine Betrachtungen zu den Produktionskosten für VoIP im Sinne einer Substitution des PSTN/ISDN-Sprachdienstes ergeben für die drei betrachteten Architekturszenarien NGN, NGI und öffentliches Internet stark unterschiedliche Aussagen.

Der „Greenfield“-Fall ergibt sich für einen hypothetischen Netzbetreiber, der ein integriertes Sprach-, Daten- und Best Effort-Dienstenetz auf der Basis von IP- und des NGI-Konzepts aufbaut, da er nicht mit dem Verlust von noch nicht abbeschriebenen PSTN/ISDN-Einrichtungen belastet ist und auch den Aufbau stufenweise, entsprechend des VoIP-Bedarfs, vornehmen kann, angefangen in Gebieten hoher Nutzerdichte. Allerdings hat er nicht die Möglichkeit, durch ein aggressives Marketing ein flächendeckendes Angebot von integrierten Diensten zu realisieren und damit größere Nutzergruppen kurzfristig zu gewinnen. Aus praktischer Sicht fallen in diese Kategorie Tier 2-ISP/ITP, die neben einem eigenen VoIP-Angebot auch reine ISP im Rahmen von Wholesale VoIP-Diensten bedienen können. Allerdings fallen bei einem Netzerweiterungskonzept in Richtung NGI zusätzliche Kosten für die erweiterten Leistungsmerkmale von VoIP an, vor allem auf dem Gebiet der Netzsicherheit, wo eine SBGWC-Infrastruktur an den Netzübergängen aufzubauen ist.

Betreiber, die über ein nationales PSTN/ISDN und ein Tier 2-IP-Netz verfügen, werden schon aus Gründen der Prozessinnovation Migrationsstrategien zur Integration des PSTN/ISDN in ein NGN entwickeln. Sofern sie auch über eine eigene BAN-Infrastruktur verfügen, sind sie imstande, nach Abschluss des NGN-Aufbaus in der oberen Netzebene für größere Nutzergruppen integrierte Dienste kurzfristig anzubieten; vergleiche die Untersuchung über die Netzhierarchie eines NGN im sechsten Kapitel, bei der ein NGN-Ausbau auf der Basis der 75 größten Städte fasst ein Drittel der gesamten Bevölkerung abdeckt und diese konzentriert auf einem geringem Flächenanteil leben und daher verminderte Erschließungskosten beanspruchen. Hinzu kommt, dass, wie schon

gezeigt, das NGN die geringsten Probleme in der Bereitstellung der PSTN-Leistungsmerkmale für VoIP aufwirft.

Auf der anderen Seite kann ein IP-Netzbetreiber, der VoIP einführt, sich auf die Netzbereiche beschränken, die eine wirtschaftliche Implementierung gestatten. Es ist unklar, ob er in seinem zukünftigen NGI die Leistungsmerkmale des PSTN/ISDN implementieren wird. Auf diese Entscheidung nehmen sowohl die Implementierungskosten als auch die Zahlungsbereitschaften der Nachfrager Einfluss. Auch dürfte die regulatorische Handhabung der Anwendung der Call Termination Charge und eine ggf. vorgenommene Differenzierung bei Nicht- oder Mindereinhaltung der PSTN/ISDN-Merkmale zu berücksichtigen sein.

Im Abschnitt 3.5 wurden schon die Kosten zum Aufbau von NGN- bzw. NGI-Netzen global betrachtet. In diesem Abschnitt werden dagegen die Aspekte der Kosten für VoIP untersucht. Die in 3.5 aufgeführten Kostenkomponenten sind auch hier zu betrachten, allerdings unter VoIP-Gesichtspunkten. Damit ergibt sich:

- Infrastruktur- und Übertragungskosten für VoIP-Dienste (Verbund mit anderen IP-Diensten)
- Inkrementelle Kosten von VoIP
- Inkrementelle Kosten der Zusammenschaltung von IP- und PSTN-Netzen
- Inkrementelle Kosten von VoIP-spezifischen Abrechnungssystemen in Anlehnung an das PSTN

Die Übertragungskosten für VoIP wurden schon im zweiten Kapitel kurz behandelt. Für die drei Realisierungsformen von VoIP im NGN, NGI bzw. öffentlichen Internet ergibt sich, dass in keiner der drei Fälle nennenswerte feste Kosten für die Übertragung (OSI Schicht 1-Transport) des VoIP-Verkehrs anfallen. Dies resultiert aus der Tatsache, dass schon heute der VoIP-Verkehr klein gegenüber den anderen IP-Verkehren ist, vor allem gegenüber dem Best Effort Verkehr. Dies gilt selbst für den Fall, wenn der Worst Case angenommen wird, d.h. bei einer vollständigen Substitution des PSTN/ISDN durch das NGN und einer Kodifizierung auf der Basis der ITU-Empfehlung von G.711. D.h. spezielle Investition wie z.B. für DWDM Systeme werden durch die Einführung von VoIP nicht gerechtfertigt.

Die Infrastrukturkosten fallen vor allem für den Aufbau von zentralen und peripheren Netzelementen einer Kontrollplattform an, in die VoIP, aber auch andere Multimedia-dienste, integriert werden. Ggf. sind hier auch die beim Endnutzer anfallenden Kosten für VoIP-Endgeräte bzw. -Adapter einzubeziehen. Die Belastung der VoIP-Einrichtungen einer Kontrollplattform hängen von ihrer Natur her von der Anzahl der Anrufversuche in der Hauptverkehrsstunde (VoIP-BH) ab und haben daher als natürlichen Kosten-

treiber die Anrufrate in der VoIP-BH. Allerdings ist zu beachten, dass – wie schon im Abschnitt 3.1 aufgeführt – zentrale Einrichtungen im NGN in Form eines MGWC oder Softswitch hohe Kapazitäten in ihrer Grundversion bereitstellen, so dass hier der Kostenanteil pro Anruf mit zunehmender Sprachintegration aus dem PSTN/ISDN sinkt.

Wie im Abschnitt 3.2 gezeigt, werden demgegenüber im NGI die Kontrollfunktionen stärker zwischen zentralen Einrichtungen z.B. einer SIP-Serverplattform, Einrichtungen an den Netzübergängen, z.B. SBGWC, und im Endgerät selbst verteilt, so dass deutlich geringere Kostendegressionen bezogen auf die Anrufrate vorliegen.

Im öffentlichen Internet ist dies noch stärker ausgeprägt, da hier u.U. die SIP-Server über das Netz verteilt werden und lediglich Gateways am Übergang zum PSTN/ISDN eingesetzt werden. Tabelle 5.4 fasst diese Aussagen zusammen.

Tabelle 5.4 Zusammenfassende Darstellung der Elemente zum Aufbau einer VoIP-Infrastruktur und sich daraus ergebende Kostenrelationen

	NGN	NGI	Internet
Übertragung	IP-Transportplattform		
Kontrollplattform	MGWC; AGW, TGW	SIP-Server, SBGWC	SIP-Server, PTSN-GW
Zugehörige Abbildungen	Abb. 3.5	Abb. 3.6, 5.2	Abb. 5.2
Kostenrelation bei zunehmender Sprachintegration	Anfänglich stark sinkend	Leicht sinkend	Nahezu linear

Infrastruktur- und Übertragungskosten für VoIP-Dienste sind Verbundkosten mit anderen IP-Diensten. Sie entstehen vor allem durch die gemeinsame Nutzung der IP-Transportplattform aber auch Teilen der Kontrollplattform und stehen im engen Zusammenhang mit der QoS-Bereitstellung und damit den angewendeten Verfahren, die im Anhang I beschrieben und untersucht werden. Wie im vierten Kapitel gezeigt, ergeben sich grob drei Möglichkeiten, nämlich Überdimensionierung, Dienstpriorisierung und Kapazitätsreservierung durch Separierung des VoIP-Verkehrs in eigenen Tunneln.

Den Erkenntnissen des vierten Kapitels folgend, ist Überdimensionierung aus Sicht des QoS-Managements die einfachste Maßnahme, aber mit wesentlichen Nachteilen verbunden. Vor allem im Fall der Überlast kann die Qualität für VoIP nicht gewährleistet werden. Hinzu kommt, dass zumindest aus Sicht der heutigen Situation VoIP von den hohen Bandbreiten, die durch Best Effort Dienste verursacht sind, profitieren. Aufgrund dieser Zusammenhänge ist die Entscheidung über die Kostenzurechnung der Höherdimensionierung problematisch. Einerseits lässt sich argumentieren, dass eine Überdimensionierung nur aufgrund der Echtzeitdienste (hier VoIP) erforderlich und durch sie getrieben ist, vergleiche [Vog-2005]. Entsprechend müssten „verursachungsgerecht“ diese Kosten VoIP zugerechnet werden. Da jedoch der Netzbetreiber nicht steuern kann, dass im Falle von Überlast die Kapazitäten nicht auch von Best Effort Diensten in

Anspruch genommen werden und damit VoIP-Verkehr qualitätsmindernd verzögert wird, kann diese Form der Kostenzurechnung in Frage gestellt werden. In einem solchen Fall würden nämlich die VoIP-Nachfrager die Kosten der Überdimensionierung tragen, aber letztlich nicht (oder nur eingeschränkt) von ihr profitieren. Insbesondere in Phasen wachsender Verkehrsmengen ist daher eine Kostenzurechnung der Überdimensionierung zu VoIP-Diensten kritisch zu beurteilen, da die Äquivalenz zwischen Nutzen und Kosten durch das Verkehrswachstum verletzt werden kann.

Dienstpriorisierung unter Verwendung der Precedence Bits im TOS-Feld ist – wie ebenfalls im vierten Kapitel gezeigt – eine wirkungsvolle und einfache Maßnahme, die auf der IP-Ebene eine Priorisierung erlaubt und auch aus protokolltechnischer Sicht nahtlos zwischen einem BAN und dem IP-Kernnetz und bei entsprechenden Kooperationsvereinbaren zwischen IP-Netzbetreibern auch domainübergreifend einsetzbar ist. Dabei ist zu beachten, dass, wie im Anhang I gezeigt, vor allem bei einem hohem Anteil von Best Effort Verkehr gegenüber dem VoIP ein Integrationsgewinn zugunsten des letzteren entsteht. Dies ergibt sich durch folgende Aspekte:

- Die durch VoIP-Verkehre bedingten Zusatzkapazitäten sind gering gegenüber den von den Best Effort Verkehren und profitieren damit vom Economy-of-Scale-Effect
- Die Hauptbelastungszeiten HLP für Best Effort Verkehr und BH für Sprachverkehr können unterschiedlich ausfallen, so dass VoIP nicht in Anspruch genommene Best Effort Kapazitäten nutzen kann.
- Die durch den Best Effort Verkehr erforderlichen Bandbreiten bedingen den Einsatz von hohen Prozessor- und Übertragungssystemen mit hoher Geschwindigkeit, welche im Rahmen der Priorisierung ohne Mehraufwand vor allem den Paketen aus Echtzeitdiensten zugute kommen.

Dagegen kann der Best Effort Verkehr von den zusätzlichen Kapazitäten für den VoIP-Verkehr nur vermindert profitieren, vor allem solange deren Anteil an der Gesamtkapazität klein ist. Hinzu kommt, dass der Best Effort Verkehr durch die Priorisierung eine Laufzeitverzögerung erfährt, die sich allerdings, wie im Anhang I gezeigt, in vertretbaren Grenzen hält, solange die von VoIP beanspruchten Kapazitäten klein gegenüber den Kapazitäten des Best Effort Verkehrs sind. In Tabelle 5.5 ist die Verteilung des Integrationsgewinns zwischen VoIP und Best Effort im Falle von Dienstpriorisierung für VoIP schematisch dargestellt. Darin bildet die Anzahl der * das positive Ausmaß der Integration ab.

Zusammenfassend ergibt sich, dass ein VoIP-Dienst bei Priorisierung weniger Kapazitäten benötigt als im Falle einer Separierung des Verkehrs in Tunnels. Dieser Effekt ergibt sich insbesondere dann, wenn die von VoIP-Verkehren resultierende Bandbreite klein gegenüber der Bandbreite aus Best Effort Diensten ist. Mit

anderen Worten, ein kleiner VoIP-Verkehr profitiert unter Dienstpriorisierung von den hohen Auslastungsgraden, die von großem Best Effort Verkehr erzeugt werden. Daraus ergibt sich ein möglicher Integrationsgewinn zugunsten des VoIP-Verkehrs. Demzufolge ist es fragwürdig, den VoIP-Verkehr nur mit den ihm direkt zuordbaren Kapazitäten zu belasten. Dies könnte dazu führen, dass ein Betreiber vor allem im BAN-Bereich einen Integrationsgewinn erzielt, der durch die Kapazitäten eines Wholesale Best Effort Dienstes ohne QoS-Garantie entsteht. Er wäre dann in der Lage, selbst QoS-Dienste zu einem verminderten Preis anzubieten als ein Betreiber, der nicht über ein BAN verfügt und damit QoS lediglich durch Überdimensionierung erzielen kann.

Tabelle 5.5 Schematische Verteilung des Integrationsgewinns von VoIP mit Best Effort Verkehr und Priorisierung des VoIP-Verkehrs (durch das Zeichen * und deren Anzahl werden Vorteile bei der Integration angezeigt und durch das Zeichen – Nachteile)

Integrationsgewinn	VoIP	Best Effort
Economy of scale effect	***	*
VoIP BH verschieden von HLP von Best Effort	***	*
Reduktion der Wartezeiten	***	-

Der letzte Fall, in dem der VoIP-Verkehr und der Best Effort Verkehr in separierten Tunneln mit eigenen Kapazitäten geführt wird, ist aus Sicht des QoS-Management der schwierigste, aber aus Kostensicht der einfachste Fall, weil die Kosten für den Tunnel mit den reservierten Kapazitäten gleichzeitig die zurechenbaren Kosten für den VoIP-Verkehr bestimmen. Die Anwendung von Tunneln ist unter dem IntServ-Konzept im Zusammenhang mit RSVP möglich⁴², dürfte aber für VoIP in öffentlichen Netzen aus heutiger Sicht kaum Anwendung finden. In der Regel werden bei gleicher Verkehrszusammensetzung für Best Effort und VoIP die erforderlichen Kapazitäten bei Dienstpriorisierung den kleinsten Wert annehmen, bei separierten Tunneln einen höheren Wert und bei Überdimensionierung den höchsten Wert. Es bleibt daher zu untersuchen, ob Kostenberechnungen für VoIP in separierten Tunneln eingesetzt werden können, um die Mehrkosten für VoIP-Kapazitäten bei Überdimensionierung bzw. Priorisierung und den Integrationsgewinn bei VoIP-Priorisierung abzuschätzen.

Die Berechnung der erforderlichen Kapazitäten in paketvermittelten Netzen erfolgt mit sogenannten Warteschlangenmodellen. Eine analytische Berechnung ist vor allem dann möglich, wenn für das statistische Verhalten der Ankunftsströme der Pakete ein Poisson-Ankunftsstrom angenommen wird. Die Annahme eines Poisson-Ankunftsstroms ist allerdings in der Praxis vor allem in IP-Netzen nicht richtig, und die damit er-

⁴² Vergleiche RFC 2210.

reichten Ergebnisse stellen damit immer nur Abschätzungen dar, die aber für eine erste Abschätzung und für die in dieser Arbeit zu untersuchenden Fälle durchaus brauchbar sind. Unter der Annahme eines solchen Poisson-Ankunftsstroms aller in einer Netzeinheit bearbeiteten Pakete (typischerweise interne Managementpakete, VPN-Pakete, Best Effort und VoIP) sind Warteschlangenmodelle ableitbar, welche für jeden der vier Fälle die mittleren Durchlaufzeiten berechnen. Um dies genauer zu illustrieren, wurde als Beispiel ein Nutzerszenario entworfen mit 4000 Best Effort, 4000 VoIP, 200 VPN Nutzer und einer internen Quelle für Managementpakete und damit die jeweiligen Durchlaufzeiten pro Nutzertyp berechnet. Tabelle 5.6 zeigt die Eingangsdaten des Nutzerszenarios, wobei VoIP nach G.711⁴³ kodifiziert wurde.

Tabelle 5.6 Daten eines Nutzerszenarios zur Untersuchung der Durchlaufzeiten über ein Netzelement in Form einer STM-4-Verbindung

Name of Service	n° of user	Pr of use HLP	tasa/user [1/s]	E(L) [oct]	σ (L) [oct]	E(Ts) [micros]
OAM	1	1,0	10	50	0	0,668
VPN	200	0,9	125	1000	1000	13,355
VoIP	4000	0,1	50	206	0	2,751
Best Effort	4000	0,2	50	1000	10000	13,355

Bei unveränderten Nutzerzahlen ergeben sich für die drei Integrationsverfahren die in Tabelle 5.7 dargestellten mittleren Durchlaufzeiten τ und die mittleren Wartezeiten t_w .

Tabelle 5.7 Mittlere Paketdurchlaufzeiten über eine STM-4-Verbindung bei verschiedenen Integrationsverfahren

Name of Service	Over-Engineering		Priority Queuing		Separate Tunnel	
	t_w	τ	t_w	τ	t_w	τ
	μs				μs	
OAM	1389,46	1398,43	362,85	363,52	10844,45	47817,27
VPN			427,01	433,68	233,19	266,05
VoIP			537,29	540,04	52,47	89,44
Best Effort			1752,36	1765,71	2649,74	2668,22

Darin zeigt sich, dass eine strikte Verkehrstrennung mit Bandbreitenreservierung in Form von Tunneln für die Dienste mit hoher Priorität i.A. die besten Durchlaufzeiten ergeben und eine individuelle Anpassung der Pakete an die Verkehrscharakteristiken gestatten. Allerdings stehen dabei den jeweiligen Diensten nur die ihnen zugewiesenen Kapazitäten zur Verfügung, da sie von der Gesamtkapazität nur einen Kapazitätsanteil

⁴³ Die Daten für die verschiedenen VoIP-Kodex finden sich im Anhang I Tabelle A1.3.

fest zugewiesen bekommen, was zu einer Erhöhung der Verarbeitungszeit t_s im Netz-element gegenüber den beiden integrierten Fällen führt. D.h. bei sehr geringem Verkehrsanteil wird dem entsprechenden Dienst nur eine sehr kleine Kapazität zugewiesen, woraus sich u.U. eine Erhöhung der Durchlaufzeit ergeben kann. Im Beispiel ist dies der Fall für den Verkehr des netzinternen Managements, da sein Anteil an der Gesamtkapazität nur 0,001% beträgt, vergleiche Tabelle 5.8. Um dies auszugleichen, sind diesem Verkehr leicht erhöhte Kapazitäten zuzuweisen und bei den anderen Diensten entsprechend zu reduzieren, was auf das Gesamtergebnis für die anderen Dienste nur einen geringen Einfluss hat⁴⁴. Alternativ kann dieser Verkehr auch mit dem Verkehr mit der geringsten Laufzeit integriert werden, im Beispiel mit VoIP.

Tabelle 5.8 Relative Laufzeiten unter Verkehrspriorisierung und Verkehrsseparierung im Vergleich zu Überdimensionierung

	Priority		sep tunnel		
Name of Service	t_w	τ	t_w	τ	t_s
OAM	26,11%	25,99%	780,48%	3419,36%	5537050,00%
VPN	30,73%	31,01%	16,78%	19,03%	492,18%
VoIP	38,67%	38,62%	3,78%	6,40%	1343,94%
Best Effort	126,12%	126,26%	190,70%	190,80%	138,43%

Bezogen auf den VoIP-Verkehr ergeben sich im Beispiel bei strikter Separierung die geringsten Laufzeiten. Dies hängt damit zusammen, dass für die Sprachkodierung ohne Sprachpausenunterdrückung feste Paketlängen vorliegen und die Paketlängen kleiner sind als für die Best Effort und VPN-Dienste. Die Werte aus Tabelle 5.8 zeigen, dass Verkehrspriorisierung eine erhebliche Reduzierung der Laufzeitverzögerung für die Übertragung der Pakete auf einem STM-4-Leitungsabschnitt ergibt. Unter der Annahme, dass die Laufzeitverzögerung bei Überdimensionierung ausreichend ist und damit eine Referenzmarke darstellt, ist es möglich, mehr Verkehr aus den unterschiedlichen Diensten zu integrieren und damit eine höhere Ausnutzung der Kapazitäten zu erreichen. Bei separierten Tunneln kann die Verkehrsnachfrage und erforderliche Bandbreite sogar dienstindividuell erfolgen und damit der höchste Ausnutzungsgrad der Kapazitäten erreicht werden. Dem stehen aber der erhöhte Aufwand für das Verkehrsmanagement entgegen, vor allem bei Separierung, und damit höhere OAM Kosten. Weiterhin zeigt sich am Beispiel, dass selbst bei gemeinsamer Führung aller Verkehre sich eine vertretbare Laufzeit für die höherwertigen Dienste ergibt, allerdings nur solange wie die der Verkehr der Best Effort Dienste sich im angegebenen Rahmen bewegt. Dabei kann auch eine aus heutiger Sicht brauchbare Auslastung der Kapazitäten erreicht werden; im Beispiel ca. 74%. Wird das Verkehrsmanagement bei Dienstpriorisierung auf Ver-

⁴⁴ Im Beispiel wurden dem Verkehr für die internen Managementpakete doppelte Kapazität zugewiesen und Best Effort entsprechend abgezogen.

kehrsklassen anstatt auf individuelle Dienste begrenzt, kann Dienstpriorisierung einen guten Kompromiss ergeben zwischen optimaler Ausnutzung der Kapazitäten, Sicherstellung der QoS-Werte und Kosten für das Verkehrsmanagement.

Eine Anwendung des dargestellten Modells erlaubt es, die Bandbreitenverteilung und damit die entsprechende Kostenverteilung über die verschiedenen Dienste zu berechnen, wobei Maximalwerten für die mittlere Durchlaufzeit je Dienst und die Nutzerverteilung vorzugeben sind. Dabei ergibt sich normalerweise für die Verkehrsseparierung und unter Priorität eine hohe Auslastung der physikalischen Kapazitäten und bei Überdimensionierung die geringste. Im vorangegangenen Beispiel wurde angenommen, dass die Nutzerzahl von Best Effort und VoIP gleich ist und die Nutzerzahl für VPN bei 5% von der Nutzerzahl der Best Effort Dienste liegt. Bei Vorgabe von Maximalwerten für die mittlere Durchlaufzeit für jeden der drei Dienste ergeben sich die in Tabelle 5.9 gezeigten Werte.

Tabelle 5.9 Maximale Systemauslastung bei Vorgabe eines Maximalwertes für die mittlere Laufzeitverzögerung [in ms] pro Dienst⁴⁵

	Max-Value τ	Delay Separation	Delay Priority	Delay Over-engineering
Delay VPN	10,0	6,5	0,62	1,5
Delay VoIP	1,5	1,5	0,85	1,5
Delay Best Effort	100,0	73,06	99,35	1,5
N° of Best Effort user	---	5342	5402	4074
Capacity use ρ		98,3%	99,3%	75,3

Diese Tabelle zeigt erneut deutlich die Reduzierung in der Ausnutzung der physikalischen Kapazitäten bei Überdimensionierung und die hohen Auslastungsgrade, die vor allem bei Hochgeschwindigkeitsnetzelementen theoretisch erreicht werden können⁴⁶. Auf der anderen Seite zeigt sich, dass im Falle eines Wholesale-Breitband-Netzzugangs ohne QoS-Garantie ein alternativer ISP nur durch Überdimensionierung zumindest statistisch eine begrenzte Laufzeit garantieren kann, während der tatsächliche BAN-Betreiber bei Implementierung einer Priorisierung z.B. über die AAL im ATM QoS für VPN und VoIP auch bei hoher Kapazitätsauslastung garantieren kann.

Abschließend sind noch die Kosten für OAM-Funktionen zu betrachten und dabei besonders entsprechende Abrechnungssysteme. Diese Frage ist Gegenstand eines separaten Gutachtens, vergleiche [Vog-2005] und wird daher hier nur kurz betrachtet. Abrechnungssysteme für VoIP sollten nach Möglichkeit unabhängig von den jeweils ver-

⁴⁵ Man beachte, dass die Auslastung in Prozent von der Netzeinheit in der Schicht 1 effektiv zur Verfügung gestellten Kapazität angegeben ist, im Falle von STM-4 beträgt diese Kapazität 599,04 Mbps.

⁴⁶ In der Praxis werden die Kapazitäten der Netzelemente bei Wartesystemen in der Planung höchstens zu 90% vergeben, um Reserven gegen kurzfristige temporäre „Paketburst“ aufzufangen.

wendeten MGWC oder Softswitch sein, z.B. kann bei Verwendung des SIP-Protokoll und einem zentralisierten MGWC die sogenannten Call-Detail-Records (CDR) zu Abrechnungszwecken verwendet werden, vergleiche [Nöll-2005]. Dabei sind zwei Herausforderungen zu betrachten, um ein einheitliches Abrechnungssystem für die verschiedenen Dienste aufzubauen; die verschiedenen Softswitches generieren Records unterschiedlichen Formats und IP-basierte Dienste generieren eine erhöhte Anzahl von Records und es sind daraus die abrechnungssignifikanten Records herauszufiltern, vergleiche [ACE-2005]. Aus Sicht der Kosten ergibt sich für jeden Dienst bzw. Dienstklasse ein sogenannter „Billing and Measurement Server“ (BAMS) und ein gemeinsames Abrechnungs- und Verkehrsmesssystem, vergleiche [Cisco-2001b]. Während das BAMS dem Kontrollplan zugeordnet werden kann, erfüllt das gemeinsame Abrechnungs- und Verkehrsmesssystem OAM-Funktionen und ist damit dem Managementplan zuzuordnen. Der Kostentreiber eines VoIP-BAMS besteht aus einem Festkostenanteil und einem Kostenanteil proportional zur VoIP-Anrufrate.

6 Aspekte der Zusammenschaltung mit IP-basierten Netzen

In diesem Kapitel werden Aspekte der Zusammenschaltung betrachtet. Dazu werden die Auswirkungen der Integration von PSTN/ISDN Netzen in ein NGN auf das bisherige EBC Regime für die Zusammenschaltung betrachtet, und es werden vier verschiedene Verbindungen die sich zwischen zwei Endnutzerklassen aufbauen untersucht. Die letzteren sind auf Schmalbandendnutzer SBNu, die derzeit an ein PSTN/ISDN angeschlossen sind und Breitbandnutzer, die über xDSL zu einem IP-Netz und dessen Diensten Zugang haben. Im zweiten Kapitel wurde schon gezeigt, dass im Rahmen der PSTN/ISDN Auflösung und deren Integration in ein NGN zu erwarten ist, dass ein steigender Anteil von SBNu direkt an das NGN über ein entsprechendes AMGW angeschlossen wird, vergleiche Abbildung 3.5.

Die diesem Kapitel betrachteten Verbindungen sind:

- i. Verbindungen zwischen zwei BBNu für Dialogdienste
- ii. Verbindungen von einem BBNu zu einem SBNu für bisherige PSTN/ISDN Dialogdienste
- iii. Verbindungen von einem SBNu zu einem BBNu für bisherige PSTN/ISDN Dialogdienste
- iv. Verbindungen zwischen zwei SBNu Nutzern

Im Vordergrund der Echtzeit-Dialogdienste steht wegen der Aktualität der Fragestellung der Sprachdienst, der – wie schon im vierten Kapitel gezeigt und auch im Gutachten von Vogelsang unterstrichen – sich je nach QoS und Bandbreitenanforderungen in mehrere Klassen einteilen lässt und – wie im vierten Kapitel gezeigt – von Diensten mit PSTN-/ISDN-Qualität (G.711) bis hinunter zu Internetsprachdienste ohne QoS-Garantie reichen kann. Daraus folgt, dass bei Verbindungen über verschiedene Netzteile, sei es eines Betreibers oder im Falle der Zusammenschaltung zwei verschiedener Betreiber, die QoS-Werte über die ganze Ende-zu-Ende-Verbindung zu betrachten sind.

Dabei ist zwischen QoS-Parametern zu unterscheiden, die sich aus den Durchschnittswerten aus den einzelnen Netzabschnitten über die Verbindung und solchen, die sich aus dem Minimalwert ergeben, vergleiche [McD-200]. Dieser Aspekt wurde auch im Gutachten von Vogelsang im Zusammenhang mit Abrechnungssystemen betrachtet.⁴⁷ Laufzeitverzögerung und deren Schwankungen summieren sich, d.h., schlechte Werte

⁴⁷ Vogelsang betrachtet auch solche Parameterwerte, die sich aus dem Maximalwert ergeben insb. legales Abhören. Allerdings bezieht Vogelsang alle Leistungsmerkmale für Sprachdienste als QoS-Referenzen, während in dieser Arbeit QoS nur im innerem Sinne definiert ist, nämlich als die Qualität des Sprachsignals und damit nur die statistischen Parameter für die Zeitverzögerung, den Paketverlust und die Bandbreite umfassen.

in einem Netzabschnitt können in begrenztem Umfang durch bessere Werte in den anderen Netzabschnitten ausgeglichen werden, vergleiche Anhang I Abschnitt 4. Sie sind daher der Kategorie der Durchschnittswerte zuzuordnen. Aufgrund dieser Zusammenhänge ist es beispielsweise möglich, dass ein regionaler Betreiber auf seinem Netzabschnitt eine höhere Netzauslastung betreibt und von strengen QoS-Werten eines nationalen Netzbetreibers (NNB) profitieren kann. Dies tritt – wie schon bei Vogelsang [Vo-2005] gezeigt – vor allem auf, wenn Überdimensionierung zur QoS-Erhöhung eingesetzt wird⁴⁸.

Anders als bei der Laufzeitverzögerung bestimmt die Form der Sprachkodierung mit den geringsten MOS-Werten die Sprachqualität der gesamten Verbindung. D.h., sofern die vom Anrufer „initiierte“ Sprachqualität Ende-zu-Ende realisiert werden soll, erfordert dies im Fall der Zusammenschaltung, dass beim Aufbau der Verbindung durch die Signalisierung sicherzustellen ist, dass die vom anrufenden Nutzer verwendete Kodierung in ihren QoS-Werten durchgängig bis hin zum Endgerät des Angerufenen aufrechterhalten wird.

Aus der Tatsache, dass Sprachdienste in IP-basierten Netzen mit unterschiedlicher Qualität bereitgestellt werden können folgt, dass bei der Terminierung einer Sprachverbindung von einem PSTN/ISDN SBNu zu einem BBNu mit E.164 Rufnummer abgestimmte, für die Terminierung vergleichbare QoS-Parameterwerte wie im PSTN/ISDN eingehalten werden sollten. Andernfalls verschlechtert sich die Sprachqualität, sei es während der gesamten Dauer (falls eine Kodierung mit geringerer Sprachqualität als G.711 verwendet wird) oder zeitweise falls Laufzeitverzögerungen im IP-Netzteil schwanken und dabei zulässige Grenzwerte übersteigen. In diesen Fällen kann die Terminierung aus QoS-Sicht nicht mit der bisherigen PSTN/ISDN Terminierungsleistung verglichen werden. Ob und in welchem Umfang dies Auswirkungen auf die bisherigen Terminierungsentgelte hat, bleibt noch zu untersuchen.

Im Rahmen von Zusammenschalt-Betrachtungen werden vor allem Verbindungen betrachtet, bei denen die beiden Endnutzer von verschiedenen Betreibern bedient werden. Dazu wird zunächst im ersten Abschnitt das bisherige Zusammenschalt-Regime zusammenfassend betrachtet, im zweiten Abschnitt wird die Zusammenschaltung zwischen zwei gleichwertigen nationalen Betreibern untersucht, im dritten Abschnitt zwischen einem NNB und einem ISP auf nationaler Ebene und im vierten Abschnitt zwischen einem NNB und einem regionalem Betreiber (RNO).

⁴⁸ Aus technischer Sicht ergibt sich dieser Effekt natürlich bei allen QoS-Management-Techniken, aber da Überdimensionierung allen Diensten zugute kommt, profitieren davon auch VoIP-Dienste die an einen Betreiber übergeben werden, der keine Überdimensionierung vornimmt. Dagegen wird priorisierter VoIP-Verkehr der netzübergreifend aufkommt, nur dann mit höherer Priorität im Netz geführt, wenn dies auch am Zusammenschaltungspunkt mit dem anderem Netz koordiniert erfolgt. Andernfalls kann der VoIP-Verkehr zu einem Nutzer in einem Netz, mit dem keine priorisierte Zusammenschaltung erfolgt, als Best Effort Verkehr markiert und geführt werden.

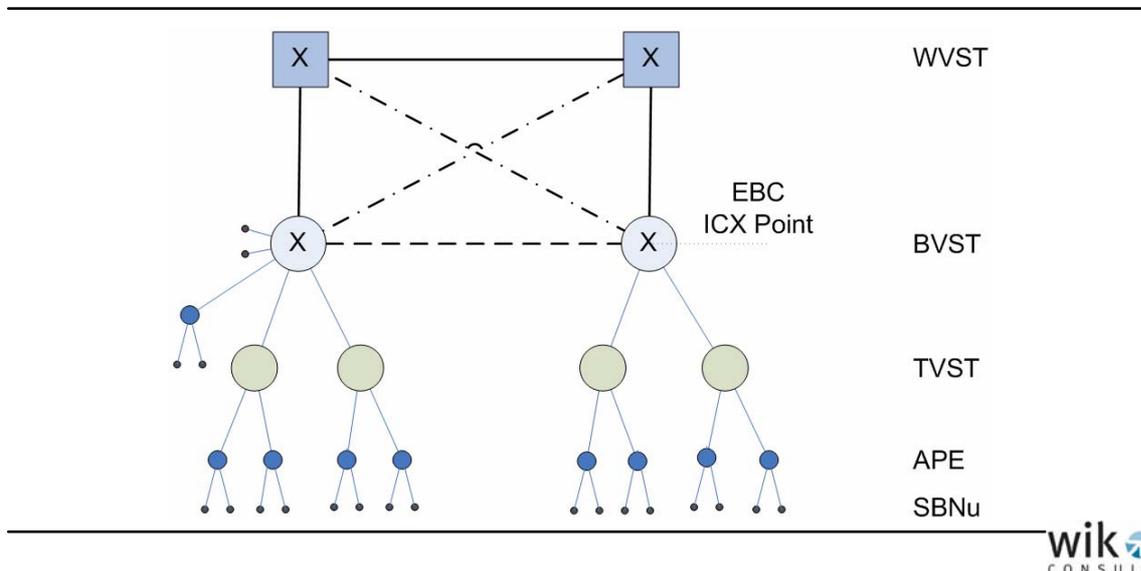
6.1 Bestehende Zusammenschaltregime und deren netztechnische Grundlagen

Derzeit besteht ein Zusammenschalt-Regime für das PSTN/ISDN in Form eines FLRIC Modell auf elementbasierter Kostenberechnung „EBC Regime“. Es wird durch 475 Zusammenschaltungspunkte definiert an denen eine lokale Zusammenschaltung stattfindet. Für den IP-basierten Breitbandzugang werden von der DTAG verschiedene Dienste angeboten deren Zugang in der untersten Ebene an 74 IP-PoP-Standorten der IP-Plattform der DTAG liegt.

Die Anzahl und Lage der Zusammenschaltungspunkte im PSTN/ISDN sowie der Zugangspunkte zu Breitband Zugangsdiensten sind streng mit den jeweiligen Netzhierarchien verbunden, vergleiche für das PSTN/ISDN [BNA-1999] und für den Bitstromzugang [BNA-2005] und von daher hat die Untersuchung über die Anzahl und Lage von potenziellen Zusammenschaltungspunkt vertiefte Untersuchungen über die Netzhierarchie der jeweiligen Netze zur Grundlage.

Dabei ergibt sich, dass sich das PSTN/ISDN Verbindungsnetz in zwei Bereiche aufteilt, in einen Kern- und Zugangsteil. Der Kernteil ist ein hierarchisches zwei Ebenen-Netz und besteht aus 475 Standorten mit Bereichs-Vermittlungsstellen BVSt und 23 Standorten, an denen zusätzlich eine Weitverkehrs-Vermittlungsstelle WVSt installiert ist. Im Zugangsteil werden in der unteren Ebene Konzentratoren in Form von abgesetzten peripheren Einrichtungen APE installiert, während in der darüber liegenden Ebene Teilnehmer Vermittlungsstellen aufweist, die die Konzentrationsfunktion direkt integriert. Damit ergibt sich, wie in Abbildung 6.1 gezeigt, eine Unterteilung in vier Netzebenen. Die im EBC Regime definierten Zusammenschaltungspunkte liegen genau an der Schnittstelle zwischen dem Zugangsteil und dem Kernnetzteil des PSTN/ISDN.

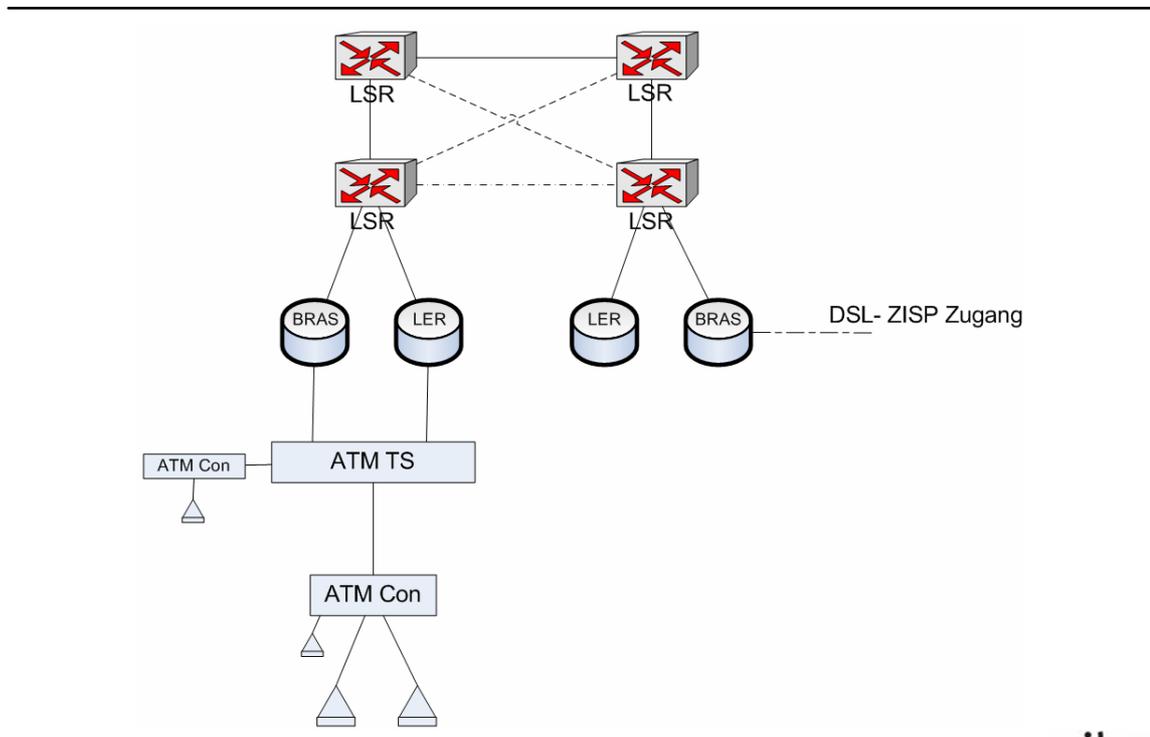
Abbildung 6-1 Hierarchische Gliederung des PSTN/ISDN im Zusammenhang mit Zusammenschaltungspunkten aus dem EBC Regime



Für Breitband- und Datennetze ergibt sich ebenfalls eine Zweigliederung in ein gemeinsames Zugangsnetz, welches derzeit auf der Basis von ATM Technologie implementiert ist, und ein darüber liegendes IP-Kernnetz für alle Internetdienste sowie ein ATM Kernnetz, welches bestehende Datendienste wie z.B. Frame Relay integriert. IP-Kernnetze werden hinsichtlich ihrer Verkehrsführung in zwei Ebenen geteilt, und zwar in Form von regionalen Standorten und darüber liegenden Bereichs-Standorten⁴⁹, vergleiche Abbildung 6.2.

⁴⁹ Nach [BNA-2005] ist das IP-Netz der DTAG in drei Ebenen unterteilt, wir betrachten aber in dieser Arbeit nur eine Unterteilung in zwei Ebene die sich aus unserer Sicht mittelfristig bedingt durch die hohen Kapazitäten für die Routereinrichtung einstellen wird.

Abbildung 6-2 Hierarchische Gliederung von IP-basierten Breitbandnetzen im Zusammenhang mit den Zugangspunkten zu Bitstrom Diensten
(in der Abbildung hat der BRAS die Funktion des LER's integriert und der untere LSR befindet sich am gleichen Standort wie der BRAS/LER)



Ein Vergleich beider Netze (PSTN/ISDN mit dem IP BB) zeigt Gemeinsamkeiten, aber auch wesentliche Unterschiede, die in Tabelle 6.1 zusammenfassend dargestellt sind. Danach ergibt sich in beiden Netzen, dass die Schnittstelle der Zusammenschaltung bzw. des Zugangs zum Breitbanddienst mit der Schnittstelle zwischen des jeweiligen Zugangs zum Kernnetz übereinstimmt. Allerdings differiert die Anzahl der Standorte, an denen diese Schnittstellen realisiert werden, in beiden Netztypen wesentlich.

Tabelle 6.1 Vergleich der Netzhierarchie zwischen dem PST/ISDN und einem IP BBN (für die Bedeutung der Abkürzungen vergleiche das Abkürzungsverzeichnis, * Werte nach einer ersten groben Schätzung)

Netzteil	Ebene	Einrichtungen		Standorte	
		PSTN/ISDN	IP BBN	PSTN/ISDN	IP BBN
Core	obere	WVSt	LSR	23	15 ^(*)
	untere	BVSt	LER/LSR	475	74
	Schnittstelle	BVSt	BRAS-ATM TS	475	74
Zugang	obere	TVSt	ATM-Con	1200	500 ^(*)
	untere	APE	DSLAM	7875	5000 ^(*)

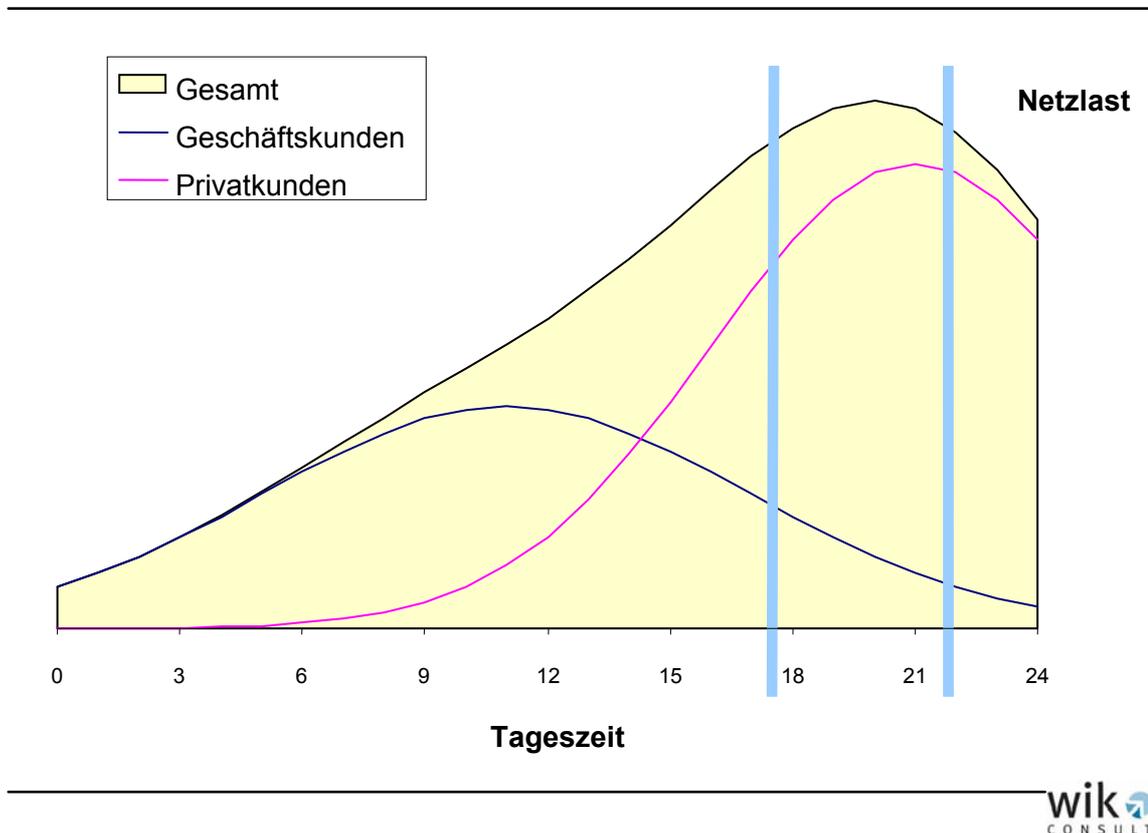
Die Anzahl von 475 Zusammenschaltungspunkten des EBC Regimes ergab sich aus Berechnungen mittels des LRIC Modells für leitungsvermittelte Dienste unter Zugrundelegung von geographischen Informationen und Verkehrsdaten für Deutschland, vergleiche [BNA-1999]. Das LRIC- Modell basiert auf einem entsprechenden Netzplanungstool, auf dessen Basis mittels entsprechender Modelle und Algorithmen die optimale Anzahl von Standorten für eine Netzhierarchie berechnet werden konnte, vergleiche [Hack-2001], [Gonz-2002]. Die hohe Anzahl von PSTN/ISDN Kernnetz-Standorten ergibt sich auch aus den begrenzten Kapazitäten der Vermittlungseinrichtungen, der Verkehrsführung in Form von hierarchischer Verkehrslenkung und der Verkehrscharakteristik der dem PSTN/ISDN zugrundeliegende Dienste, die i.d.R. Dialogdienste auf Echtzeitbasis beschreiben, vergleiche Abschnitte 4.1 dieser Arbeit. D.h. lokale Verkehre sind so früh wie möglich abzuführen, um deren Verkehrsführung über weitere Vermittlungsstellen zu vermeiden. Hinzu kommt, dass bei der Netzdimensionierung der Spitzenverkehr in der Hauptverkehrsstunde (BH) herangezogen wird, dessen Werte traditionell hoch gegenüber dem durchschnittlichen Tagesverkehr liegen., vergleiche [Doyn-1989]⁵⁰. Dabei sind die Verkehrsverluste im Rahmen der Dienstverfügbarkeit (GoS) zu begrenzen.

Die Situation in IP BBN ist von der im PSTN/ISDN grundlegend verschieden. Zunächst gilt, dass das überwiegende Verkehrsaufkommen aus Retrieval bzw. Delivery Diensten besteht, die über Best Effort Point-to-Server- bzw. Server-to-Point-Verbindung, basierend auf dem TCP-/IP-Protokoll abgewickelt werden, vergleiche drittes Kapitel. Die Spitzenverkehlart (HLP High Load Period) wird vor allem durch Privatkunden verursacht und liegt in den Abendstunden. Die Verkehrsverteilung weist geringere Spitzenwerte als im Falle des PSTN/ISDN auf, vergleiche Abbildung 6.3, was sich aus Sicht der Autoren mittelfristig verstärken wird⁵¹ und durch die Privatkunden bestimmt wird, vergleiche [Fuk-2005]. Verbindungswünsche werden i.d.R. angenommen, womit ein hoher GoS erreicht wird, allerdings verschlechtern sich wie im vierten Kapitel gezeigt die QoS-Parameterwerte bei steigender Verkehrslast und können im Extremfall zum Abbruch der TCP/IP Best Effort Verbindung führen.

50 Doyon zeigt in einer typischen Tagesverkehrskurve drei Spitzen, eine dominierende in den Vormittagstunden verursacht durch den Geschäftsverkehr, eine am Spätnachmittag und eine in den Abendstunden., vergleiche [Doy-1989], Seite 372. Allerdings ist zu vermuten, dass sich dieser Verlauf vor allem für den lokalen Verkehr durch den „Dial-In-Internetzugang mittels eines traditionellen Modem verschoben hat und dominierende Verkehrsspitzen am späten Nachmittag bzw. Abend einnimmt, vergleiche [Sieg-2001], Seite 98. Diese Entwicklung dürfte aber durch die Ausweitung des ADSL-Zugangs wieder rückläufig sein.

51 Die ergibt sich vor allem aus dem Herunterladen von Dateien mit hoher Datenmenge z.B. Video-On-Demand in HDTV-Qualität, Peer-to-Peer (P2P Diensten usw. sofern deren Zeitdauer für das Herunterladen aus Sicht der Nutzer nicht kritisch ist. Allerdings wird die Form wie Dienste realisiert werden auch von deren Tarifschema abhängen, z.B. können Files mittels Datendiensten unter einer garantierten Mindestbandbreite bei entsprechenden Mehrkosten (z.B. abhängig vom Volumen und der garantierten Mindestbandbreite) heruntergeladen werden, oder aber in einem Best Effort Tarifschema, welches z.B. mittels einer volumengestaffelten Flatrate abgerechnet wird.

Abbildung 6-3 Schematischer Tageslastverlauf für die aus Breitbandinternetdiensten resultierende Netzlast



Aus Sicht der Verkehrstopologien ergibt sich damit in derzeitigen IP BBNn eine sternförmige Netzstruktur, deren Verbindungen von den Endnutzern zu den jeweiligen Servern reichen. Diese Server werden in der Regel an den Standorten der oberen Netzebene des IP-Kernnetzes installiert. Um die Verkehrsströme im IP-Kernnetz zu begrenzen, werden allerdings häufig nachgefragte Inhalte aus WEB-Diensten in Remote Servern abgelegt (Casting, Mirroring), die sich an Standorten der unteren Ebene befinden, vergleiche [Elix-2002]. Hinzu kommt, dass Betreiber von IP-Netzen die Anzahl der Router-Standorte begrenzen, um die Größe der Routing Tabellen nicht zu sehr anwachsen zu lassen, da dies den OAM Aufwand erhöht. Tabelle 6.2 fasst die verschiedenen Aspekte im Vergleich des PSTN/ISDN mit einem IP-Kernnetz zusammen. Die Verkehrstopologien entwickeln sich allerdings nach neusten Untersuchungen in Richtung von Ende-zu-Ende vermaschten Strukturen, vergleichbar wie bei Dialogdiensten, bedingt durch den zunehmenden P2P Verkehr und Content-Distribution-Networks, vergleiche [Tut-2005], [Waut-2005].

Abschließend bleibt anzumerken, dass unter Berücksichtigung der Integration von TV-Verteildiensten aus Sicht der Autoren damit zu rechnen ist, dass diese nicht über das IP-Kernnetz geführt, sondern direkt in das BAN eingespeist werden und am IP-DSLAM

den entsprechenden Endnutzer permanent zur Verfügung stehen⁵². Im einfachsten Fall ist an jedem IP-Standort ein TV-Verteilserver vorzusehen und die Anzahl dieser Verteilserver steigt deshalb mit der Anzahl der IP-Netzknoten an. Alternativ könnten die TV-Signale auch über eigene STM-4 Verbindungen von einem bzw. einer begrenzten Anzahl von TV-Verteilservern in das BAN eingespeist werden, wobei dann so viel STM-4 Verbindungen vorzusehen sind, wie IP-Standorte existieren. Damit kann gewährleistet werden, dass die Bandbreitenanforderungen aus TV-Verteildiensten keine Belastungen in IP-Router-Einrichtungen verursachen.

Tabelle 6.2 Vergleich der Dienste- und Verkehrsstruktur zwischen dem PSTN/ISDN und einem IP-Kernnetz

	PSTN/ISDN	IP-Kernnetz
Dienststart	Dialog	Retrieval, Delivery
QoS-Klasse	Echtzeit	Best Effort
Topologie der Verbindung	Point-to-Point	Point-to-Server, Server-to-Point
Verkehrstopologie	Stark vermascht	Sternförmig
Kapazitäten der Vermittlungs-Routereinrichtungen	Begrenzt	Erweiterbar

Im nächsten Abschnitt wird der Einfluss von Sprachdiensten auf die Hierarchie und deren Integration in ein IP-Kernnetz auf der Basis des NGN-Konzeptes untersucht.

6.2 Zusammenschalt-Szenarien mit dem NGN und deren Vorläufern

Wie im dritten Kapitel dargestellt, wird unter NGN die Integration des PSTN und einer IP-Plattform durch einen Betreiber verstanden. Es wurde weiterhin gezeigt, dass dieser Prozess eher von oben nach unten (Top-Down) als umgekehrt (Bottom-Up) verlaufen wird und PSTN/ISDN-Netzteile im unterem Netzbereich für einen längeren Übergangszeitraum vermutlich weiter betrieben werden, vergleiche Abbildung 3.5.

Bevor verschiedene potenzielle Zusammenschaltsszenarien zwischen den Betreibern untersucht werden, sind zunächst die Verbindungen innerhalb der in Abbildung 3.5 gezeigten Netzteile und deren Zusammenschaltungspunkte zu betrachten. Diese internen Zusammenschaltungspunkte⁵³ sind potenzielle externe Zusammenschaltungspunkte mit den korrespondierenden Netzteilen anderer Betreiber, da sie die jeweiligen techni-

⁵² Eine grobe Überschlagsrechnung ergibt bei 100 zu verteilenden SDTV-Kanälen und 20 HDTV einen Bandbreitenbedarf von 500 Mbps, der ohne Schwierigkeiten bis in die DSLAM-Metro Ethernet Verbindung integriert werden kann, vergleiche Abschnitt 2.1 dieser Arbeit.

⁵³ In diesem Abschnitt werden interne und externe Zusammenschaltung zwischen korrespondierenden Netzteilen gemeinsam betrachtet, da sie aus technischer Sicht hohe Gemeinsamkeiten zumindest im Transport- aber auch in der Kontrollplattform aufweisen. Technische Unterschiede können vor allem in den OAM (Managementplan) auftreten, vergleiche Abbildung 2.1.

schen Umsetzungen intern realisieren und damit u.U. auf eine externe Zusammenschaltung ausgeweitet werden können, vergleiche [OFC-2005].

Dabei wird zwischen Endnutterzusammenschaltungspunkten zwischen dem SAN bzw. BSAN und dem jeweiligen Verbindungsnetz und Netzzusammenschaltungspunkten zwischen dem BAN bzw. PSTN/ISDN und dem IP-Kernnetz unterschieden, vergleiche [Nunn-2005]. Die wichtigsten internen Zusammenschaltungspunkte sind:

- PSTN/SLIC für den Anschluss von Schmalbandnutzern (PSTN-SBNu)
- AMGW für den Anschluss von Schmalbandnutzern, die im Rahmen der NGN-Implementierung schon direkt an das IP-Kernnetz angeschlossen werden können (NGN-SBNu)
- DSLAM für die Breitbandnutzer (BBNu), die über das BAN an das IP-Kernnetz angeschlossen werden
- BRAS/LER für die interne Zusammenschaltung des BAN und des IP-Kernetzes
- TMGW zwischen dem PSTN/ISDN und dem IP-Kernnetzpart
- TGW für die Zusammenschaltung zwischen IP-Kernetzen

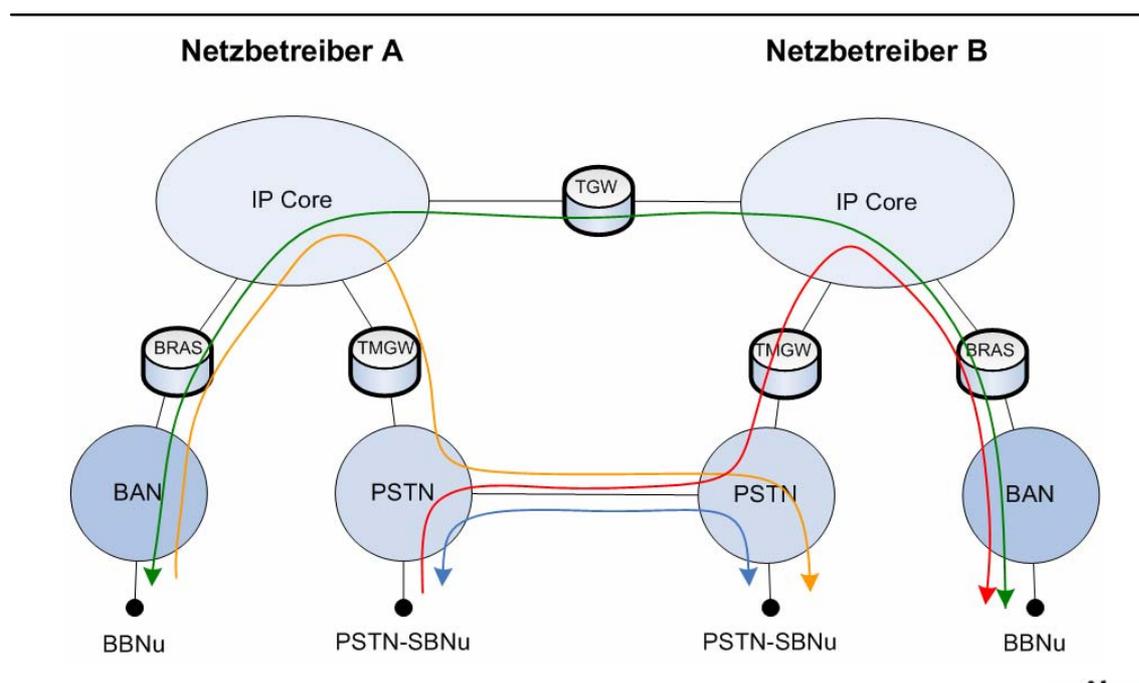
Die Festlegung der internen Zusammenschaltung BAN und dem IP-Kernnetz ist dabei von wesentlicher Bedeutung, da sie sowohl die geographische Ausdehnung des IP-Kernetzes als auch der BAN beschreibt. Sie gibt auch erste Hinweise über die „Zurückdrängung“ bzw. Auflösung von PSTN/ISDN Netzteilen durch deren Integration in das IP-Kernnetz und ist ein potenzieller Kandidat für einen externen Zusammenschaltungspunkt zwischen zukünftigen NGN.

Aus Sicht der Autoren ist kurzfristig zu erwarten, dass das PSTN/ISDN in seiner Größenordnung zunächst erhalten bleibt und der interne Verkehr zwischen PSTN-Schmalbandnutzern (SBNu) wie bisher innerhalb des leitungsvermittelten Netzes abgewickelt wird. Verbindungen für Internetdienste von, zu und zwischen Breitbandnutzern (BBNu) sind innerhalb des NGN abzuwickeln und werden i.d.R. über den zugehörigen BRAS als Schnittstelle zwischen BAN und IP-Kern verwaltet. Sprachverbindungen von BBNu zu PSTN-SBNu bzw. umgekehrt, innerhalb der Netzteile eines Betreibers, verlaufen dagegen über das IP-Kernnetz und das PSTN/ISDN mit einem TMGW am internen Zusammenschaltungspunkt.

Da während dieser Phase das PSTN/ISDN in seiner vollen Größenordnung erhalten bleibt, bleibt zu untersuchen ob auch die 475 externen Zusammenschaltungspunkte des EBC Regimes ohne wesentlichen technischen Mehraufwand aufrecht erhalten werden können. Dazu ergibt sich, dass:

- Verbindungen zwischen PSTN-SBNu verschiedener Netze dann unverändert wie bisher über den entsprechenden externen Zusammenschaltungspunkt geführt (blaue Linie in Abbildung 6.4).
- Sprachverbindungen von einem BBNu eines Netzbetreibers zu einem PSTN-SBNu eines anderen Netzbetreibers werden aus Sicht einer möglichst kurzen und kostenminimalen Terminierung innerhalb des Ursprungsnetzbetreibers über seinen internen Zusammenschaltungspunkt in dessen PSTN/ISDN geführt und dann über den externen Zusammenschaltungspunkt zwischen beiden PSTN ins Ziel-PSTN geführt; orangefarbene Linie in Abbildung 6.4.
- Sprachverbindungen von einem PSTN-SBNu zu einem BBNu im Zielnetz sind zwischen beiden PSTN-Netzen zusammenschalten und intern im Zielnetz zu terminieren, rote durchgezogene Linie in Abbildung 6.4. Eine Führung über das eigene IP-Netz, einer IP-Zusammenschaltung und IP-Terminierung im Zielnetz wäre nur möglich, wenn das Ursprungsnetz erkennen könnte, dass es sich bei der Zielrufnummer um einen BBNu handelt, rote gestrichelte Linie im Abbildung 6.4, was zusätzliche Einrichtungen im PSTN/ISDN erforderlich machen würde und einen Datenaustausch mit allen Zielnetzen.

Abbildung 6-4 Darstellung der verschiedenen Verbindungen zwischen zwei nationalen PSTN/ISDN und IP-Netzbetreibern (der Einsatz möglicher externer TMGW zwischen einem PSTN/ISDN und einem IP-Kernnetz ist aus Übersichtsgründen nicht gezeigt)



Beim Top-Down-Ansatz wird mittelfristig der Verkehr von großen VSt'n (WVST, BVST) zunächst an Standorten des IP-Kernnetzes in dieses integriert. Damit ergeben sich – wie schon im dritten Kapitel gezeigt – PSTN/ISDN Inseln, deren Verkehr untereinander über interne Zusammenschaltungspunkte über das sich in Richtung NGN entwickelnde IP-Kernnetz geführt wird. Damit können die Nutzer aus den entsprechenden SAN Einzugsbereichen entweder als BBNu direkt über AMGWs an das IP-Kernnetz angeschlossen werden, oder weiterhin als SBNU, die im folgenden als NGN-SBNU bezeichnet werden, vergleiche Abbildung 3.5.⁵⁴ Da diese Entwicklung (aufgrund der Top-Down-Annahme) zunächst an großen Standorten stattfindet, ist damit der dort installierte externe Zusammenschaltungspunkt mit einem anderem PSTN/ISDN durch ein Trunk Media Gateway zu ersetzen. Alternativ kann der Verkehr auch über das interne TMGW in das eigene IP-Netz und von dort über das am gleichen Standort befindliche TGW in das IP-Netz des anderen Betreibers eingespeist werden. Die Anzahl der externen Zusammenschaltungspunkte mit anderen PSTN/ISDN ändert sich in dieser Phase nicht.

In einer späteren Phase sind weitere VSt'n und deren Verkehr und PSTN-SB-Nutzer in das NGN-Konzept zu integrieren. Mit zunehmender Teilnehmernähe erfolgt die PSTN/ISDN Integration ins NGN durch Integration der Verkehre in das BAN oder direktem Anschluss an das NGN-Kernnetz über AMGW. Unter der Annahme, dass eine externe Zusammenschaltung mit einem anderen PSTN/ISDN immer an einem IP-Kernnetz-knoten mittels eines TMGW stattfindet, werden damit die Anzahl der externen Zusammenschaltungspunkte mit einem anderen PSTN/ISDN reduziert und konvergieren langfristig an die Standorte der IP-Kernnetz-knoten eines NGN. Wenn man von einer gleichmäßigen Entwicklung der PSTN/ISDN Integration ins NGN bei allen großen nationalen PSTN/ISDN Betreibern ausgeht, findet diese Reduktion der PSTN/ISDN bei allen Betreibern mehr oder minder zeitgleich statt und damit eine langfristige Aufgabe von externer Zusammenschaltung von PSTN/ISDN Netzen untereinander und deren Ersatz durch externe Zusammenschaltung zwischen NGN Netzen. Allerdings ist heute noch nicht zu erkennen, ob diese externe Zusammenschaltung sich auf die Standorte von IP-Kernnetz-knoten beschränkt oder aber auch eine Zusammenschaltung auf einer unteren Ebene zwischen Standorten des BAN möglich ist. Damit ist die Frage der Anzahl der externen Zusammenschaltungspunkte zwischen NGNs verschiedener Betreiber aus technischer und auch aus wirtschaftlicher Sicht derzeit offen. Wie im nächsten Abschnitt gezeigt sind von der Reduzierung der Anzahl der Zusammenschaltungspunkte vor allem regionale bzw. lokale PSTN/ISDN Netzbetreiber betroffen, insbesondere wenn die von ihnen bisher verwendeten externen Zusammenschaltungspunkte mit ihrem PSTN/ISDN Netzen vom größeren Betreiber aufgegeben werden.

⁵⁴ In diesem Fall ergeben sich zwei Formen des Zugangs zum IP-Kernnetz-Direktanschluss über AMGW der Nutzer, die sich im Einzugsbereich eines IP-Kernnetzstandortes befinden und DSLAM-Anschluss über BAN für Nutzer außerhalb des IP-Kernnetzstandortes. Es könnten natürlich auch alle Nutzer einheitlich über DSLAM und das BAN and das IP-Kernnetz herangeführt werden.

Zusammenfassend ergibt sich, dass die für kurz- bis mittelfristige Entwicklung der PSTN/ISDN Integration in ein NGN die Anzahl der externen Zusammenschaltungspunkte zwischen den PSTN/ISDN nicht reduziert werden muss und eine externe Zusammenschaltung zwischen den Vorläufern des NGN IP verschiedener NGN-Betreiber sich zunächst auf die IP-Standorte begrenzt. Die mittelfristige bis langfristige Integration des PSTN/ISDN in das NGN wird zu einer Reduzierung der externen Zusammenschaltungspunkte zwischen PSTN/ISDN führen und deren Ersatz durch die Zusammenschaltung an IP-Kernnetzstandorten mittels TMGWs. Langfristig ist die externe Zusammenschaltung von PSTN/ISDN durch eine externe Zusammenschaltung zwischen NGNs zu ersetzen; über die Anzahl und Lage (in der NGN-Netzhierarchie) dieser Standorte kann auf Basis der in dieser Untersuchung vorgenommenen Analyse noch keine Aussage getroffen werden.

6.3 Zusammenschalt Szenarien mit dem derzeitigen IP-Netzen von ISP

In diesem Abschnitt wird die Zusammenschaltung zwischen einem nationalem Netzbetreiber (NNB) betrachtet, der sein PSTN/ISDN und IP-Kern in eine NGN-Plattform integriert und eines nationalen ISP der seine IP-Plattform erweitert, um Echtzeitdialogdienste wie VoIP anzubieten. Es wird angenommen, dass der ISP über keine oder nur schwach ausgebaute BAN-Infrastruktur verfügt und daher diese im Rahmen einer Wholesale-Zuführungsleistung von einem nationalen Betreiber NNB einkauft.

Damit ergibt sich für eine Verbindung für traditionelle Internetdienste von einem ISP-BBNU zu einem NNB-BBNU wie bisher eine Verkehrsführung über das BAN des NNB bis zum externen Zusammenschaltungspunkt, z.B. dem BRAS des NNB zum LAS des ISP. Der Verkehr wird nun im IP-Kern des ISP bis zum nächstgelegenen externen Zusammenschaltungspunkt in Form eines TGW des NNB Ziel BBNU⁵⁵ geführt. Für die umgekehrte Verbindung werden die gleichen Netzteile und externen Zusammenschaltungspunkte verwendet, grüne Linie in Abbildung 6.5.

Eine Verbindung eines ISP-Ursprungs-BBNU zu einem PSTN SBNU des NNB wird über das BAN des NNO gleichermaßen ins IP-Kernnetz des ISP geführt und dort über ein spezielles TMGW, z.B. SMGWC, in das PSTN des NNB übergeben, blaue Linie in Abbildung 6.5. D.h. für eine lokale Terminierung im PSTN des NNB müsste nach heutigem Stand der ISP von seinen TMGWs Verbindungen zu den EBC Zusammenschaltungspunkten bereitstellen. Da diese sich wie im letzten Abschnitt gezeigt mittelfristig reduzieren und u.U. auf die IP-Kernnetzstandorte begrenzen, kann eine lokale Terminierung für die verbleibenden PSTN-SB-Nutzer nicht in allen Fällen vorgenommen werden. D.h. sofern der ISP eine Infrastruktur von zahlreichen Zusammenschaltungspunkten mit dem

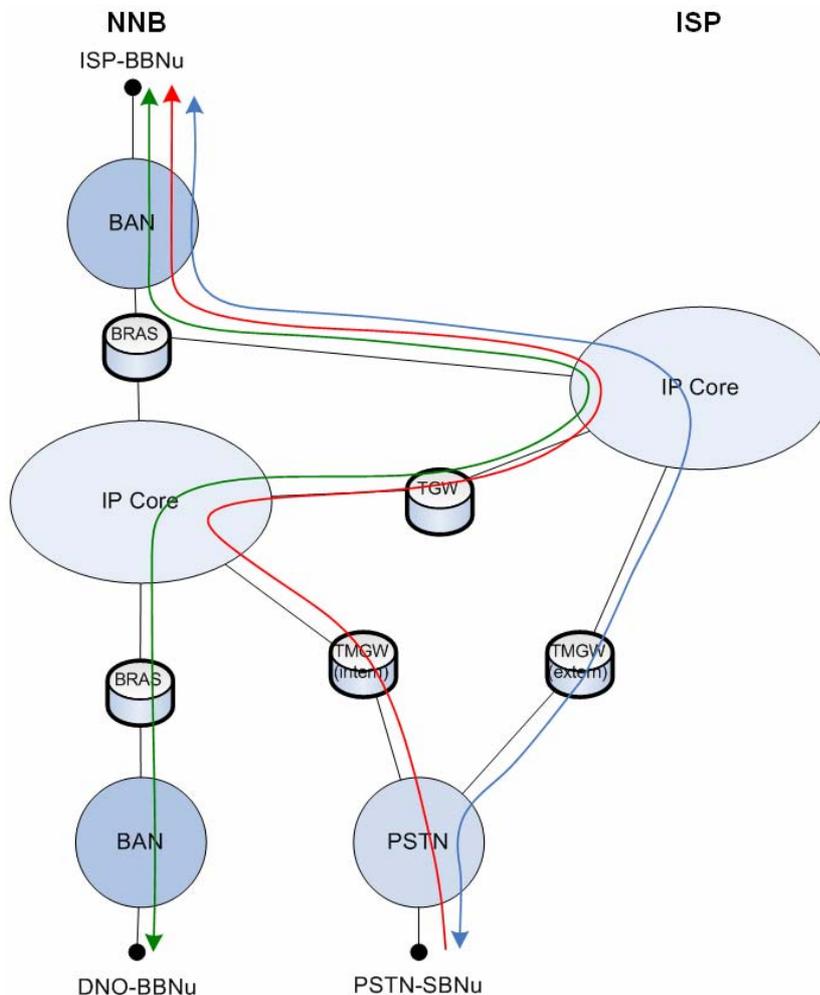
⁵⁵ Wir gehen hier wie auch im Abschnitt 6.2 davon aus, dass die Terminierungskosten minimiert werden sollten.

NNB PSTN bereits ausgebaut hat, um die Terminierung lokal zu gestalten, wird bei Reduktion des PSTN/ISDN im Rahmen der Integration in das NGN diese Infrastruktur ebenfalls reduziert und damit die Terminierungsleistung des NNB für die verbleibenden SBNU erhöht.

Allerdings vermindert sich wie im Abschnitt 6.2 gezeigt die Anzahl der an das PSTN/ISDN angeschlossenen SBNU und vergrößert sich die Zahl der Nutzer, die direkt an das NGN angeschlossen werden, sei es als SBNU oder BBNU. Für diese Nutzer wird vom NNB eine Terminierungsleistung im NGN, aber nicht mehr im PSTN/ISDN, erbracht.

Umgekehrt führt ein NNB die Verbindung von seinen noch bestehenden PSTN SBNU zu einem ISP BBNU entweder über sein internes TMGW in sein IP-Kernnetz und von dort über ein TGW in das IP-Netz des ISP oder aber mittels eines TMGW direkt in das IP des ISPs, rote Linie in Abbildung 6.5. Die Terminierungsleistung des ISP wird damit von den Veränderungen im PSTN/ISDN des NNB nicht beeinflusst und der ISP erbringt von Anfang an eine Terminierungsleistung in seinem IP-Kernnetz und über seine vom NNB im Wholesale-Verfahren angemietete BAN-Verbindung. Da langfristig sich die Anzahl der SBNU des PSTN/ISDN reduziert und entweder in BBNU oder aber am NGN angeschlossenen SBNU überführt werden, wird auch die Menge und der Verkehr der Verbindungen von und zu den NNB PSTN/ISDN Nutzer reduziert (rote und blaue Linie in Abbildung 5.5). Damit ergibt sich kurzfristig eine Wertschöpfung für den ISP, die er in sein ADLS-Angebot VoIP aufnehmen kann und seine Nutzer ggf. dazu veranlasst, ihren PSTN/ISDN-Anschluss aufzugeben. Als langfristige Wertschöpfung ergibt sich die Integration des Sprachverkehrs in sein IP-Core-Netz, sofern er eine Zusammenschaltung an allen BAN-/IP-Core-Zusammenschaltungspunkten vornimmt. Abbildung 5.5 zeigt in schematischer Weise die Netzstrukturen und die verschiedenen Verbindungen.

Abbildung 6-5 Darstellung der verschiedenen Verbindungen zwischen einem NNB und einem ISP (der Einsatz möglicher externer TMGW zwischen einem PSTN/ISDN und einem IP-Kernnetz ist aus Übersichtsgründen nicht gezeigt)



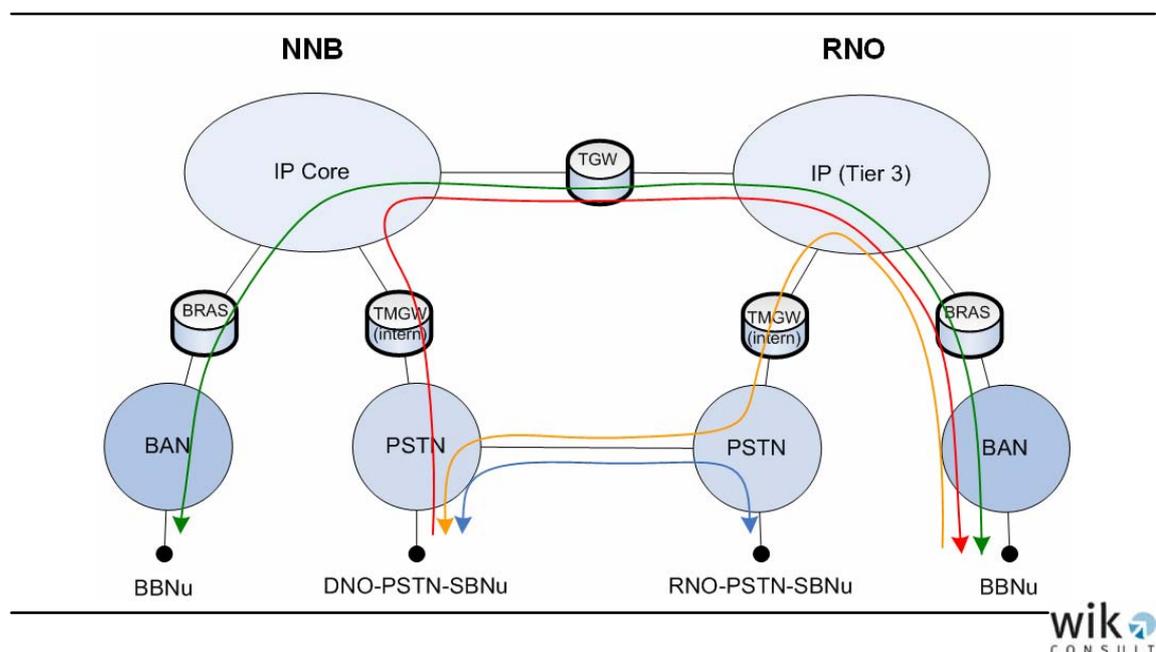
Abschließend wird der Fall eines lokalen bzw. regionalen Netzbetreibers (RNO) betrachtet, der in seinem Einzugsbereich sowohl ein regionales PSTN/ISDN als auch ein entsprechendes Tier 3 IP-Netz aufgebaut hat. Es wird weiterhin angenommen, dass der RNO in seinem Einzugsbereich über ein eigenes BAN verfügt.

Eine Verbindung eines RNO PSTN SBNU zu einem PSTN SBNU des NNB verläuft derzeit zwischen den beiden PSTN/ISDN über einen entsprechenden externen Zusammenschaltungspunkt des EBC Regimes ins NNB PSTN/ISDN, wobei wir davon ausgehen, dass der RNO solche Zusammenschaltungspunkte vor allem für seine starken Verkehrsbeziehungen, insbesondere innerhalb seines eigenen Einzugsbereiches aufgebaut hat, um möglichst hohe Verkehrsanteile lokal zu terminieren. Für den umgekehr-

ten Fall gilt die gleiche Beziehung. Bei einer Reduzierung der PSTN/ISDN Zusammenschaltungspunkte ist vor allem der RNO betroffen, da der NNB nur wenige oder im Falle eines Stadtnetzbetreibers nur einen Zusammenschaltungspunkt lokal terminieren kann.

Verbindungen zwischen BBNu des NNB und des RNO laufen über die beiden IP-Netze, die mittels eines entsprechenden TGW verbunden und von den Veränderungen im PSTN/ISDN nicht betroffen sind. Verbindungen von einem RNO BBNu zu einem NNB SBNu werden im Sinne einer Minimierung der Terminierungskosten über ein internes TMGW des RNO in sein PSTN geführt und von dort über den entsprechenden EBC Zusammenschaltungspunkt ins PSTN des NNB geleitet und dort terminiert. Damit ergeben sich die gleichen Aussagen wie bei reinen RNO-PSTN zu NNB-PSTN Verbindungen. Umgekehrt wird eine Verbindung von einem NNB SBNu zu einem RNO BBNu vom NNB entweder über sein internes TMGW in sein IP-Kernnetz geführt und dort über ein TG mit dem IP-Kernnetz des RNO verbunden oder aber direkt aus seinem PSTN/ISDN mittels eines TMGW zum IP-Kernnetz des RNO. Auch haben Veränderungen im PSTN/ISDN des NNB keine Auswirkungen auf die Terminierungsleitung des RNO. Abbildung 6.6 zeigt den Verlauf der verschiedenen Verbindungen

Abbildung 6-6 Darstellung der verschiedenen Verbindungen zwischen einem NNB und einem RNO (der Einsatz möglicher externer TMGW zwischen einem PSTN/ISDN und einem IP-Kernnetz ist aus Übersichtsgründen nicht gezeigt)



Langfristig führt eine Integration der PSTN/ISDN Netze von beiden Betreibern NNB und RNO wieder zu reinen NGN- bzw. NGI-Terminierungsleistungen, deren Kostenstruktur und Abrechnungsverfahren jedoch derzeit noch völlig offen sind.

Zusammenfassend ergibt sich, dass Terminierungsleistungen für Verbindungen von ISP- oder RNO-Nutzern zu SBNu in das PSTN/ISDN eines NNB im Zuge der Reduktion des PSTN/ISDN und deren Integration in ein NGN sich erhöhen. Von dieser Erhöhung sind RNO stärker betroffen als national operierende ISPs, da letztere nach Möglichkeit an allen Zusammenschaltungspunkten des NNB zusammenschalten werden und damit die Terminierung nur über das BAN des NNB erfolgt. Dagegen ist zu erwarten, dass der RNO nur an einem oder wenigen Punkten zusammenschaltet und eine Terminierung zu Nutzern des NNB auch über dessen IP-Cornetz-Transportplattform stattfindet. Umgekehrt werden die Terminierungsleitungen des RNO für Verbindungen von SBNu des NNB zu seinen BBNu von der Entwicklung des NNB NGN nicht beeinflusst.

6.4 Hierarchische Struktur des NGN und deren Beziehung zur Zusammenschaltung

Im dritten Kapitel wurde gezeigt, dass im NGN jedem IP-Kernnetzknoden mehrere BANs in Form von Metro Ethernet Ringen zugeordnet werden und die vorangegangenen Abschnitte dieses Kapteils zeigen die Bedeutung der geographischen Aufteilung des NGN in ein IP-Kernnetz und zugehörige BAN für die Zusammenschaltung. Es wurde weiterhin angemerkt, dass aus heutiger Sicht im Netz eines deutschen NNB ein Breitband-Zugang nur im IP-Kernnetzstandort besteht. Die Untersuchung einer optimalen Aufteilung des NGN in das IP-Kernnetz und die zugehörigen BAN hängt von zahlreichen Faktoren ab, wie der geographischen Lage der Verkehrsquellen, der Dienste und deren Verkehre, der technischen Einrichtungen, Aufteilung der Server auf die Standorte etc. Eine all diese Faktoren berücksichtigende Untersuchung geht über den Rahmen dieses Gutachtens hinaus. Erste Hinweise lassen sich u.U. aus NGN-Konzepten vergleichbarer Länder ableiten, ersetzen aber nicht eigene Betrachtungen. Aus einem Consultative Dokument von OFCOM kann entnommen werden, dass BT beim Aufbau ihres NGN, dem sogenannten 21st Century Network 21C, eine Struktur in drei Ebenen vorsieht und an diesen drei Ebenen verschiedene Zusammenschalt-Dienste anbieten wird, vergleiche [OFC-2005]. Tabelle 6.3 stellt die Daten in zusammenfassender Weise dar.

Tabelle 6.3 Zusammenschaltungspunkte im zukünftigen 2CN von British Telecom (Quelle OFCOM- 2005)

Standort Type	MSAN	Metro	IP Core
Anzahl der Standorte	6000	120	10
Physikalischer Zugang	ja	Nein	nein
Bistrom Zugang	Offen	Ja	ja
Dienste spezifischer Zugang	offen	Ja	ja

Eine entsprechende Untersuchung für einen deutschen NNB hat als Ausgangsbasis

- Liste aller wichtigen Orte mit ihren zugehörigen Einwohnern,
- Nutzerszenarios und Bandbreitenszenarios,
- Kapazitäten bestehender und zukünftiger Routereinrichtungen und digitalen bzw. optischen Signalgruppen.

Auf dieser Basis wurden aus einer Statistik der deutschen Orte mit mehr als 1000 Einwohnern Bandbreiten-Szenarien für Schmalbandnutzer (SBNu) und Breitbandnutzer (BBNu) festgelegt. Dazu werden drei Szenarien entworfen (kurz- mittel und langfristig) mit jeweils sinkender SBNu und steigender BBNu Anzahl und Nachfrage, deren Werte in Tabelle 6.4 dargestellt sind. Bei der Anzahl der Schmalband-Anschlusseinheiten wurden die drei Typen mit entsprechenden Faktoren summiert⁵⁶. Mittels einer Hochrechnung des sich aus der Spitzenlast in der HLP ergebenden jährlichen Gesamtvolumens von BBNu ergibt sich für das kurzfristige Szenario ein knapp dreifacher Wert gegenüber dem Volumen aus 2004⁵⁷. Weiterhin wurde berücksichtigt, dass die SBNu und BBNu in großen Orts-Standorten sich über mehrere Anschlussbereiche (ASB) aufteilen. Um diese ASB so nachzubilden, dass nach Möglichkeit die Anzahl der PSTN/ISDN ASB angenähert wird, wurden entsprechende Höchstwerte für die geographische Ausdehnung und die Anzahl der Schmalband AE Schwellwerten für die geographische Größe angenommen⁵⁸.

Tabelle 6.4 Nutzer- und Bandbreitenszenarien für die Integration von Schmal- und Breitbanddiensten in einem IP-Kernnetz

	kurzfristig	mittelfristig	langfristig
Nr. SBNu [Mil-AE]	55	40	10
Nr. BBNu [Mil-AE]	11	20	40
BW SBNu-Verbind. [kbps]	85,60	85,60	85,60
SBNu traffic [Erlang/HLP]	0,03	0,02	0,01
BW BBNu-Verbind. [Mbps]	0,50	1,00	2,00
Gleichzeitigkeit BBNu in HLP	0,25	0,25	0,25
Total HLP BW SBNu [Gbps]	141,24	68,48	8,56
Total HLP BW BBNu [Gbps]	1375,00	5000,00	20000,00
relative BW SBNu/total	9,32%	1,35%	0,04%
Volumen/user [GB/mounth]	11,25	22,5	45
Annual Volumen [Mill GB]	1485	5400	21600
Steigerung des Volumens	----	363,64%	400,00%

⁵⁶ PSTN AE = 1, ISDN-BA AE =2, ISDN-PA AE =30.

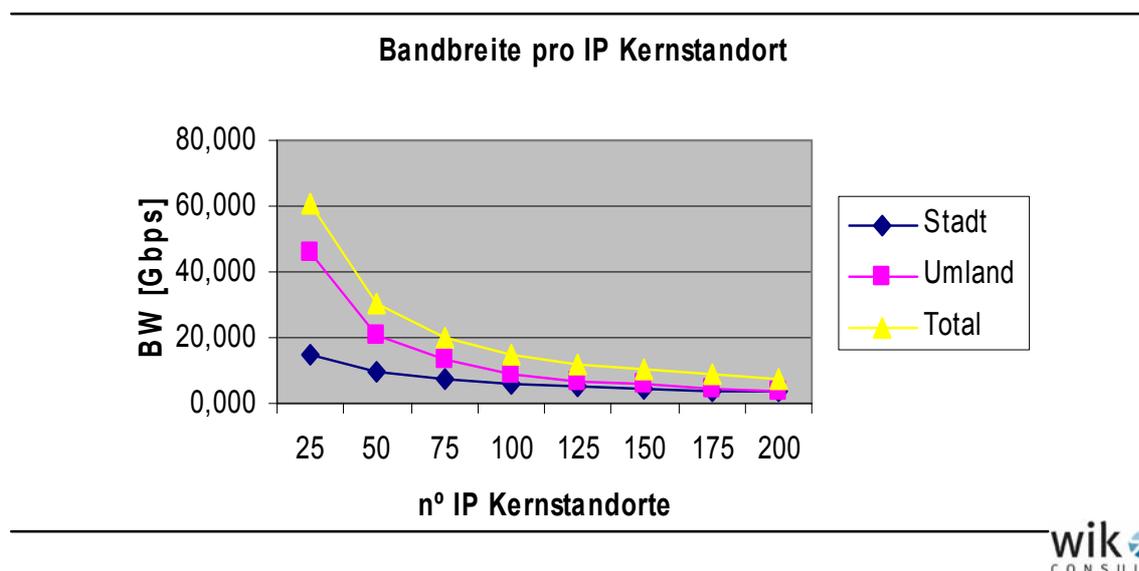
⁵⁷ Für 2004 ergab sich nach dem Jahresbericht der Bundesnetzagentur ein Gesamtvolumen von 536 Mill. GB, vergleiche [BNA-2004], S. 61.

⁵⁸ Über alle Orte ergaben sich 7620 ASB, was die tatsächlichen Anzahl der ASB im DTAG-Netz gut annähert.

Auf der Basis dieser Szenarien wurden die Bandbreitenwerte berechnet, die von einem IP-Kernstandort zu verarbeiten sind, wobei die Anzahl der IP-Standorte von 25 bis 200 in Schritten von 25 Standorten variiert wurde. Die Verkehre wurden so aufgeteilt, dass die Summe der Verkehre aus den Ortsnetzen der IP-Standorte als interner Verkehr aus der gleichen Stadt betrachtet wurde und die Summe der Verkehre aus den Ortsnetzen die nicht mit den IP-Standorten übereinstimmen als externer Verkehrs aus dem Umland.

Für das erste Szenario (kurzfristige Entwicklung) ergeben sich die in Abbildung 6.7 dargestellten Bandbreitenlasten pro IP-Kernstandort.

Abbildung 6-7 Bandbreitenbelastungen in der HLP pro IP-Kernnetzstandort mit den Daten des kurzfristigen Szenarios



Um die Auswirkungen dieser Bandbreitenbelastung in der HLP auf die Konfiguration eines IP-Kernstandort zu untersuchen, wurden Kennwerte von derzeit am Markt befindlichen Routereinrichtungen für Backbone IP-Netze verwendet⁵⁹ und die entsprechende Anzahl von Label Edge Routern, aus Sicherheitsgründen mindestens zwei, pro Standort berechnet. Als Verbindungsleitungen von und zu den anderen Standorten als auch von und zum BAN wurden STM-16 Leitungsgruppen angenommen und aus den Bandbreitennachfragen in der HLP die entsprechende Anzahl von STM-16 Schnittstellen abgeschätzt. Damit ergibt sich die in Tabelle 6.5 dargestellte Konfiguration. Aus den Zahlen zeigt sich, dass bei 75 IP-Kernnetzstandorten sich eine mittlere Auslastung der zwei notwendigen LER Einrichtungen unterhalb von 75% ergibt und sich ein Verhältnis von

⁵⁹ Es wurde ein IP Label Edge Router mit einer Prozessorgeschwindigkeit von 32 Gbit/s und 9 STM-16 Schnittstellen zur Berechnung zugrunde gelegt, die entspräche z.B. dem CSICO 7009 Router.

Stadt zu Gesamtverkehr (Summe aus Stadt und Umland) von ca. 36% einstellt, ein Zahlenwert, wie er sich auch aus einer hierarchischen Unterteilung von bestehenden Netzen ergibt. Es ist weiterhin zu beachten, dass in dieser Betrachtung davon ausgegangen wurde, dass der Verkehr sämtlicher Nutzer über ein einziges „hypothetisches BAN an die IP-Kernstandorte übergeben wird. Derzeit spiegelt dies die tatsächliche Situation annäherungsweise wider, da der NNB praktische 80% aller sich aus DSL-Nutzern ergebene Verkehre über sein ATM BAN an die BRAS in seinen IP-Kernnetz-knoten heranführt und erst hier die Verkehre zu mehreren ISP verzweigt werden.

Tabelle 6.5 Gerätekonfiguration eines IP-Kernstandort (ohne LSR) und deren Kapazitätsauslastung mit den Daten des kurzfristigen Szenarios

n° IP-Core-Standorte	n° LER/node	n° of STM-16 Belastung	Slot-Auslastung	Prozessor-Auslastung
25	4	32	88,89%	47,38%
50	2	16	88,89%	47,38%
75	2	11	61,11%	31,59%
100	2	8	44,44%	23,69%
125	2	7	38,89%	18,95%
150	2	6	33,33%	15,79%
175	2	5	27,78%	13,54%
200	2	4	22,22%	11,85%

Zusammenfassend bestätigt sich für das kurzfristige Szenario, dass die gegenwärtigen 74 IP-Standorte des ZISP-Wohlesale-Dienstes eine plausible Aufteilung zwischen dem BAN und dem IP-Kernnetz beschreiben.

Für die mittelfristige Verkehrsentwicklung im IP-Kernnetz wurde angenommen, dass sich die Anzahl der BBNU nahezu verdoppelt (von 11 Mill. auf 20 Mill.) und auch der Bandbreitenbedarf je BBNU sich verdoppelt. Wie auch im kurzfristigen Szenario wird angenommen, dass der DSL Verkehr sämtlicher BBNU an den LER eines einzigen Betreibers enden. Mit diesen Annahmen wird der Bandbreitenbedarf nach oben abgeschätzt, da bei Zunahme der BBNU im Rahmen der SBNU Integration in ein Breitbandnetz auch solche Nutzer einen DSL Anschluss installieren werden, die ihren Internetverkehr ohne nennenswerte Engpässe bisher über eine Dial-In-Verbindung mittels eines klassischen Modems abgewickelt haben. Es ist weiterhin zu erwarten, dass mittelfristig mehrere BAN vor allem in den großen Städten von ISP-Providern aufgebaut werden und damit deren Verkehr direkt in ihr IP-Kernnetz übergeben wird, ohne dass BAN, den LER oder BRAS des NNB in Anspruch zu nehmen. Auch bleibt zu erwarten, dass alternative BAN Technologien wie WIMAX zur Zuführung des Verkehrs verwendet werden. Die Bandbreitenanforderungen pro IP-Kernnetz-knoten zeigen im Vergleich zu dem kurzfristigen Szenario keine qualitativen Veränderungen in den Aufteilungen und Ab-

hängigkeiten von der Anzahl der Kernnetzknotten aber ein quantitatives Wachstum des Bandbreitenbedarfs auf das Vierfache.

Daraus folgt, dass ohne Veränderung der Hierarchie ein mittelfristiges Verkehrswachstum aufgefangen werden kann, wenn sich die Router und Übertragungseinrichtungen quantitativ entsprechend entwickeln. Dies ist heute schon der Fall, da derzeit Router mit Verarbeitungsgeschwindigkeiten von 100 Gbps und STM-64-Schnittstellen auf dem Markt sind. Unter der Annahme eines 100 Gbps Router mit 6 STM-64-Schnittstellen ergeben sich die in Tabelle 6.6 gezeigten Ergebnisse⁶⁰. Auch hier wird für die angenommenen 75 IP-Kernstandorte eine akzeptable Auslastung der Einrichtungen gewährleistet bei Installation von durchschnittlich zwei Routern pro Standort, was aus Sicherheitsgründen als Mindestzahl vorzugeben ist.

Tabelle 6.6 Gerätekonfiguration eines IP-Kernstandortes (ohne LSR) und deren Kapazitätsauslastung mit den Daten des mittelfristigen Szenarios

n° IP-Core Standorte	n° LER/node	n° of STM-64 Belastung	Slot-Auslastung	Prozessor-Auslastung
25	5	27	90,00%	40,55%
50	3	14	77,78%	33,79%
75	2	9	75,00%	33,79%
100	2	7	58,33%	25,34%
125	2	6	50,00%	20,27%
150	2	5	41,67%	16,89%
175	2	4	33,33%	14,48%
200	2	4	33,33%	12,67%

Als letzten Schritt wird ein tendenziell langfristiges Szenario betrachtet, bei dem sich erneut die Anzahl der BBNU gegenüber den mittelfristigen Werten sowie der Bandbreitenbedarf pro BBNU verdoppelt. Wiederum wird von einem einzigen BAN ausgegangen welcher den Breitbandverkehr aller BBNU an einen entsprechenden IP-Kernnetzknotten heranführt. Der Verlauf der Bandbreite pro IP-Kernnetzstandort in Abhängigkeit der Anzahl dieser Standorte verändert sich erwartungsgemäß qualitativ nicht sondern es findet lediglich eine Vervierfachung der Bandbreitenwerte aus dem mittelfristigen Szenario statt, vergleiche Tabelle 6.7. Eine Systemauslastung kann nun nicht mehr auf der Basis von auf dem Markt befindlichen Systemen stattfinden sondern es sind vielmehr die aktuellen Entwicklungstendenzen zu betrachten. Danach kann schon mittelfristig davon ausgegangen werden, dass DWDM-Systeme der Bandbreiten von 25 über 100 bis hin zu 400 Gbps eingesetzt sind, die zwischen 10 über 40 bis hin zu 160 optische Signale der Größenordnung OC-48 auf einem Glasfaserpaar integrieren. Auch die Entwicklung der Router geht in die Größenordnung von Terrabit, so dass weiterhin von

⁶⁰ Z.B. CISCO Router 12406.

Verarbeitungsgeschwindigkeiten mit „Line-Speed“ ausgegangen werden kann. Unter der Annahme eines hypothetischen LER mit 1 Tbps und 240 OC-48 (entsprechend sechs 100 Gbps Schnittstellen) ergeben sich die in Tabelle 6.7 dargestellten Werte. Diese Werte zeigen, dass bei 75 IP-Core-Netz-Standorten hohe Kapazitätsreserven zur Verfügung stehen und u.U. sogar eine Reduzierung der Anzahl der Standorte aus Gründen der optimalen Kapazitätsauslastung gestatten.

Tabelle 6.7 Gerätekonfiguration eines IP-Kernstandort (ohne LSR) und deren Kapazitätsauslastung mit den Daten des langfristigen Szenarios

n° IP-Core-Standorte	n° LER/node	n° of OC-48 Belastung	Slot-Auslastung	Prozessor-Auslastung
25	2	418	87,08%	40,02%
50	2	209	43,54%	20,01%
75	2	140	29,17%	13,34%
100	2	105	21,88%	10,00%
125	2	84	17,50%	8,00%
150	2	70	14,58%	6,67%
175	2	60	12,50%	5,72%
200	2	53	11,04%	5,00%

Zusammenfassend ergibt sich, dass die Anzahl der IP-Kernetze auch unter Einbezug von hohen Steigerungsraten in der Bandbreitennachfrage durch die BBNU in einer Größenordnung von unterhalb 100 Standorten liegen dürfte und aus heutiger Sicht nicht erkennbar ist, dass aus technischen Gründen oder Gründen der Nachfrage die bisherige Anzahl von 74 Standorten für den Zugang zum Breitbandverkehr durch Wettbewerber erweitert werden muss.

In den bisherigen Untersuchungen wurde nur das IP-Kernetz und der an die zugehörigen Standorte zu übergebende Verkehr und die daraus resultierenden Bandbreiten in der HLP betrachtet. Um aber ein vollständiges Bild zu erhalten, wären auch noch die Konsequenzen für das BAN einzubeziehen. Im dritten Kapitel wurde schon gezeigt, dass das bisherige ATM BAN kurzfristig bei Erweiterungen durch ein BAN basierend auf Ethernet Technologie ergänzt und mittelfristig die ATM-Architektur vollständig durch eine Ethernet Architektur basierend auf Metro Ethernet abgelöst wird. Nach Angaben der Hersteller und des Metro Ethernet Forum wird diese Ethernet BAN Struktur voraussichtlich wieder drei geographische Ebenen umfassen. In der untersten Ebene kommen reine DSLAM-Standorte zum Einsatz mit entsprechend verbesserten IP-DSLAM und einer Ausgangsschnittstelle basierend auf Fast Ethernet mit 100 Mbps bzw. bei ansteigender Bandbreitennachfrage auch mit einer Bandbreite bis zu 1Gbps. Diese 100 Mbps bzw. 1 Gbps Verbindungen können dann wie auch im ATM BAN in der logischen Ebene sternförmig an einen Metro Ethernet Knoten angebunden werden. Mehrere Metro Ethernet Knoten werden dann in der logischen Ebene in Form von Metro Ethernet Rin-

gen an einem bzw. zur Erhöhung der Verfügbarkeit auch an zwei IP-Kernnetzstandorten angebunden. Physikalisch können kurzfristig für beide Ebenen die entsprechenden Ringstrukturen des STM-N Transport Netzes des Betreibers verwendet werden, vergleiche [Körn-2004] aber sind mittelfristig durch optische Verbindungen im Bereich von 10 Gbps bis hin zu 100Gbps zu ersetzen, vergleiche [MFO-2003].

Eine ausführliche Untersuchung über die Anzahl der Standorte in der ersten und der zweiten Ebene würde den Rahmen dieses Gutachtens übersteigen. Unter der Annahme, dass 95% der Bevölkerung mit Breitbanddiensten versorgt werden, ergeben sich 4700 IP-DSLAM-Standorten an bestehenden ASB.⁶¹ Beziehungen in hierarchischen Telekommunikationsnetzen ergeben zwischen einer unteren und deren oberen Ebene i.d.R. ein Verhältnis von 1:10. Damit ergeben sich etwa 470 Metro Ethernet Standorte die sich in 470 Orten mit mehr als 30000 Einwohnern situieren, wenn man in erster Näherung davon ausgeht, dass die Metro Ethernet Standorte in den größten Orten installiert werden. Die daraus folgenden Gerätekonfigurationen und deren Auslastung ergeben sich dann aus den kurz-, mittel- bzw. langfristig am Markt befindlichen Einrichtungen, die derzeit teilweise noch in der Entwicklung sind, vergleiche [Zap-2004]. Eine erste Übersichtsrechnung ergibt die in Tabelle 6.9 gezeigten Werte für einen IP-DSLAM-Standort. Daraus kann abgeleitet werden, dass unter der Annahme der Szenarien aus Tabelle 6.4 eine 1Gbps Schnittstelle des IP-DSLAM und 10 Gbps Metro Ethernet Ringe für die mittelfristige Entwicklung ausreichende Kapazitäten bereitstellen. Langfristig wären im Metro Ethernet Bereich 100Gbps Systeme bereitzustellen.

Tabelle 6.8 Charakteristische Werte für einen IP-DSLAM Standort eines Ethernet BAN (alle Bandbreitenangaben beziehen sich auf die HLP)

BAN	kurzfristig	mittelfristig	langfristig
Anzahl BBNU in Mill	11	20	40
Total BW BBNU in Gbps	1375	5000	20000
BW/BBU kbps	125	250	500
Anzahl BBNU/Standort	2200	4000	8000
BBNU/DSLAM	400,00	600,00	1000,00
BW/DSLAM Mbps	50,00	150,00	500,00
Anzahl DSLAM/Standort	5,50	6,67	8,00

⁶¹ Die restlichen ASB Standorte betreffen Gemeinden mit weniger als 2500 Einwohnern für die bei Bedarf alternative Zugangslösungen implementiert werden müssen, z.B. WIMAX.

7 Schlussfolgerungen für ein Zusammenschaltregime mit IP-basierten Netzen

In dem vorliegenden Forschungsbericht wurden die technischen Grundlagen für die Realisierung von VoIP in integrierten Sprach- und Datennetzen untersucht. Es wurde gezeigt, dass sowohl von Seiten der traditionellen Netzbetreiber als auch von ISPs ein integriertes Angebot von Sprach- und Datendiensten auf IP-Netzen angestrebt wird. Während für NGNs die Dienstrealisierung mit einer zentralisierten Steuerung im Kernnetz einhergeht, lassen sich NGIs durch eine verteilte Intelligenz (vor allem in den Endgeräten) charakterisieren, wie sie bisher aus dem Internet bekannt ist. Dieser Unterschied hat jedoch auch Implikationen für die Leistungsbereitstellung, was in dieser Arbeit mit Fokus auf VoIP untersucht wurde. Sofern bestimmte Leistungs- und Sicherheitsmerkmale von VoIP bereitgestellt werden sollen, erfordert dies die Einrichtung zentraler Steuerungseinheiten. Beispiele dafür sind Leistungsmerkmale wie Abhörsicherheit oder sprachbezogene Abrechnungsfähigkeit.

Mit Blick auf die Zugangsmöglichkeiten alternativer Betreiber wurde herausgearbeitet, dass das für das NGN charakteristische zentralisierte und vom Betreiber kontrollierte Konzept es nur begrenzt gestattet, dass Dienstanbieter in flexibler Weise und ohne detaillierte Abstimmung mit dem Betreiber ihre Dienste in die NGN-Plattform integrieren. Es ist davon auszugehen, dass für jeden neu zu integrierenden Dienst entsprechende Softwareergänzungen in die jeweiligen Media Gateways zu laden und entsprechende Call Agents einzurichten sind. Zwar lässt im Vergleich zum NGI das NGN eine Dienstintegration auf der Basis von hohen Leistungsmerkmalen auch für Massendienste konzeptionell erwarten. Allerdings ist im NGI-Konzept u.U. eine größere Differenzierung auch innerhalb eines Dienstes bzw. einer Dienstklasse zu erwarten. Hinsichtlich der Transport-Infrastruktur sind keine relevanten Unterschiede zu erwarten. Somit liegen die Differenzen zwischen beiden Konzepten vor allem im Bereich der Verbindungskontroll- und Netzverwaltungsfunktionen.

Um die technischen Anforderungen für eine QoS-Realisierung insbesondere für Sprachdienst zu untersuchen, wurde zunächst im vierten Kapitel eine Dienstklassifizierung nach Maßgabe der QoS-Anforderungen vorgenommen. Dabei wurde gezeigt, dass die drei bedeutenden QoS-Parameter (mittlerer Laufzeitverzögerung, Jitter der Laufzeitverzögerung und Paketverlustrate) für die verschiedenen Dienste unterschiedliche Bedeutung haben. Als Strategien zur QoS-Realisierung wurden Überdimensionierung, Priorisierung und Kapazitätsreservierung erläutert.

Weitere Leistungsmerkmale von traditionellen Sprachdiensten (PSTN/ISDN) wurden im fünften Kapitel beschrieben und untersucht, ob diese in den neuen, IP-basierten Netzen und auch während einer Migrationsphase weiterhin bereitgestellt werden können. Die untersuchten Leistungsmerkmale umfassten Abrechnung, Verfügbarkeit der Verbindung, Skalierung, Protokollstabilität, Sicherheit sowie GoS/QoS wobei das PSTN/ISDN

jeweils die Referenz zu Beurteilung bildete. Mit Ausnahme der Abrechnungseigenschaften wird die Leistungsfähigkeit in einem NGN/NGI als (mindestens vergleichbar) mit dem PSTN/ISDN eingeschätzt. Bis jedoch diese Netze vollständig implementiert sind und Sprachdienste über hybride Infrastrukturen realisiert werden müssen, ist von Einschränkungen der Dienstgüte hinsichtlich Skalierung, Protokollstabilität, Sicherheit sowie GoS/QoS auszugehen.

Ein Hauptaugenmerk wurde in der Analyse auf die Bereitstellung von QoS in dienstintegrierten IP-Netzen gelegt. Analytisch wurde dabei so vorgegangen, dass trotz Verkehrsintegration auf einem Netz die Verkehrsvolumina für Best Effort Dienste einerseits und Echtzeitverkehr andererseits (rechnerisch) getrennt behandelt und dimensioniert werden. Dabei konnte gezeigt werden, dass – im Vergleich zu einem reinen Best Effort System – die zusätzlichen Kosten der QoS-Realisierung auch von dem Verhältnis der Verkehrsanteile aus Best Effort und Echtzeit abhängen. Sofern der Echtzeitverkehr nur einen geringen Anteil am gesamten – von Best Effort dominierten – Verkehrsvolumen ausmacht, ergeben sich deutlich geringere Dimensionierungsanforderungen als im umgekehrten Fall. Aus diesem Zusammenhang ergeben sich wettbewerbsrelevante Aspekte der Kostenzurechnung. So kann mit (rechnerisch) hohen Auslastungsgraden für Best Effort Verkehr ein Integrationsgewinn entstehen, der die Dimensionierungsanforderungen für die Echtzeit reduziert. Dieser Aspekt ist insbesondere für Zuführungsleistungen im Konzentrationsnetz von Bedeutung, da hier eine maßgebliche Abhängigkeit alternativer Netzbetreiber von dem marktbeherrschenden Unternehmen besteht.

Eine Analyse der Kostentreiber für VoIP-Dienste wurde differenziert nach dem Typ des Netzes (charakterisiert durch die Strategie des Netzbetreibers) vorgenommen (NGN, IP-Netz eines ISP sowie öffentliches Internet). Sowohl für das NGN als auch die IP-Plattform eines ISP gilt, dass die Bereitstellung der Steuerungsplattform für das Angebot von VoIP mit den oben genannten Leistungsmerkmalen erforderlich ist. Da die Investitionen in diese Plattform auch verkehrsgelassen sind, kann ein Teil dieser Investitionen nach Maßgabe des Wachstumspfad der Nachfrage erfolgen. Dabei besteht ein negativer Zusammenhang zwischen dem Umfang der bereitgestellten Leistungsmerkmalen und der Flexibilität der Investitionsentscheidung für die Kontrollplattform. Da in der Analyse davon ausgegangen wird, dass im NGN von Beginn an sämtliche Leistungsmerkmale bereitgestellt werden, ist damit offensichtlich ein umfangreicheres Investitionsvolumen erforderlich. Ferner sind es insbesondere Sicherheitsaspekte, die eine Doppelung von Einrichtungen und Standorten nahe legen. Dies führt in der Anfangsphase bei noch geringen Nachfragewerten zu größerer Bedeutung der Kostendegression.

Zu den Kosten des Netzbetriebs in zukünftigen IP-basierten Netzen konnten im Rahmen dieser Arbeit keine neuen Erkenntnisse herausgearbeitet werden. Es ist nach wie vor davon auszugehen, dass durch die Integration von Sprache und Daten auf eine Infrastruktur die gemeinsamen Kosten des Netzbetriebs geringer sind als die Summe

aus den Betriebskosten zweier Netze. Aufgrund der noch nicht vollzogenen (vollständigen) Integration, mangelt es jedoch an Erkenntnissen zu den Kosten des Netzbetriebs.

Hinsichtlich der Bewertung der verschiedenen Realisierungsformen für QoS wurde herausgearbeitet, dass Priorisierung sowohl der Überdimensionierung als auch der Kapazitätsreservierung überlegen ist. Kapazitätsreservierung stellt sich als eine zu ressourcenintensive Strategie heraus. Überdimensionierung kann demgegenüber aufgrund ihrer mangelnden Differenzierung zwischen Best Effort und Echtzeit keine hinreichenden Schutz vor Überlast gewährleisten. Auch vor dem Hintergrund einer netzübergreifenden Implementierung von QoS erscheint Priorisierung als die superiore Strategie und erfordert keine umfangreichen Abstimmung, wie sie beispielsweise bei der Kapazitätsreservierung vorzunehmen wären. Zu analysieren bleibt das Problem der Kostenzurechnung bei der Realisierung von QoS und die damit verbundenen Implikationen für Wettbewerbsverhalten und Marktstruktur.

Ausgangspunkt für die Analyse im sechsten Kapitel bildete die Frage nach der effizienten Zahl von Zusammenschaltungspunkten auf der untersten Ebene des IP-Kernnetzes. Der dazu verwendete Analyserahmen betrachtet dazu alle Orte mit mehr als 1000 Einwohnern unter Vernachlässigung der Geografie, d. h. es wird ausschließlich eine Verkehrsmengen bezogene Analyse vollzogen. Unter Verwendung von netzplanerischen Kennziffern wurde abgeleitet, dass auch langfristig nicht mehr als 100 IP-Kernnetzstandorte zu erwarten sind, was letztlich die Obergrenze für die Anzahl von Standorten für eine IP-Zusammenschaltung bildet. Die bestehenden 74 Standorte für den Zugang zu ZISP stellen daher eine plausible und langfristig stabile Größenordnung dar.

Was die Zahl der Zusammenschaltungspunkte während der Migrationsphase hin zu integrierten IP-basierten Netzen betrifft, so ist es denkbar, dass ausgehend von der bestehenden EBC Zusammenschaltungsstruktur mit 474 Standorten eine sukzessive Anpassung an die (weniger als 100) IP-Zusammenschaltungspunkte erfolgen könnte. Um jedoch Empfehlungen für ein Migrationszenario für die Zusammenschaltungsstruktur geben zu können, ist eine ökonomische Analyse alternativer Migrationsszenarien und deren marktstruktureller Implikationen erforderlich, die im Rahmen dieses technischen Gutachtens nicht geleistet werden kann. Aus technischer Sicht muss betont werden, dass die Zusammenschaltung auf Ebene der IP-Kernnetzstandorte eine anschluss-, d.h. teilnehmerbezogene (und nicht dienstbezogene) Verkehrsübergabe impliziert. Sofern lediglich der VoIP-Verkehr an einen alternativen Betreiber übergeben werden sollte, sind weitere technische Analysen vorzunehmen. Dabei ist zu analysieren, wie die Verkehrsführung in NGN bzw. NGI zur Dienste- und Kontrollplattform erfolgt und in welcher Weise einzelne Dienste ggf. auch vorzeitig an alternative Betreiber ausgeführt werden können. Ein Fortbestehen des gegenwärtig bestehenden Systems, das Sprachdienste nahezu auf jeder Hierarchieebene des Netzes an Wettbewerber übergeben werden können, kann für integrierte IP-Netze nicht realistisch erwartet werden.

Bibliographie

- [ALCT-2003] Alcatel Application note: beDeliverable, Alcatel Technical Report 3CL 00469 0373 TQZZA Ed.01 16637, 2003
- [ACE-2005] Proven Mediaten Solutions for VoIP Environments, Technical Report D04.EHO.0685/0505, www.acecomm.com
- [Akim- 1999] H. Akimaru, K Kawashima, Teletraffic Theory and Applications, Springer Berlin 2° ed. 1999
- [ARC-2005] Ch. Heinz-ARCOR: Terminierung zu VoIP-Anschlüssen – Einführung eines Zielnetzindikators“, Arbeitsgruppenvortrag vom 28.02.2005
- [AT&T-2005] Making the Case for VoIP, TOC Report AB-0328-01, 2005
- [Bert -1992] D. Bertsekas, R. Gallager, Data Network, Prentic Hall, 2° ed. 1992
- [Bezz-2005] J. Bezzina M. Terrab, Impacts of New Technologies on Regulatory Regimes, Communications & Strategies, Special issue, WSIS, Tunis Nov. 2005
- [BNA-1999] Bundesnetzagentur, Analytisches Kostenmodell für das Verbindungsnetz, http://www.bundesnetzagentur.de/enid/a89e9dfde579f7f6032e61165420c4dc,0/Analytische_Kostenmodelle/Dokumente_9e.html
- [BNA- 2004] Bundesnetzagentur, Jahresbericht der Regulierungbehörde für Post und Telekommunikation, Februar 2005
- [BNA -2005] Bundesnetzagentur, Analytisches Kostenmodell Breitbandnetz, http://www.bundesnetzagentur.de/enid/a89e9dfde579f7f6032e61165420c4dc,0/Analytische_Kostenmodelle/Dokumente_9e.html
- [Bock-1997] P. Bocker, ISDN- Digitale Netze für Sprach-Text, Daten, Video- und Multimedia-Kommunikation, Springer Verlag Berlin 4° Aufl. 1997
- [Brad- 2000] Braden et. al, Developing Next Generation Internet Architecture, www.ana.lcs.mit.edu/papers/PDF/NewArch_wp_v1.pdf
- [BSI-2005] Autorengruppe, VoIPSEC Studie zur Sicherheit von Voice over Internet Protocol, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Oktober 2005
- [Cisco- 2000] Quality of Service Networking, Telecom Handbook Chapter 49, www.cisco.com
- [Cisco-2001] The Transition to IP Telephony at Cisco Systems, www.cisco.com
- [Cisco-2001a] Traffic Analysis for VoIP, White Paper Cisco 2001, www.cisco.com
- [Cisco-2001] Billing and Measurement Server User's Guide, first chapter BAMS Introduction, OL-1203-01, 2001 www.cisco.com
- [Cisco- 2004] o.V.: Telecom Italia takes Europe's biggest step in Voice over IP (VoIP9 with Cisco System and Italtel, Cisco Systems, http://newsroom.cisco.com/dlls/prod_100902.html, 09.10.2002, Abruf am 26.01.2004

- [Clar -1988] D.D. Clark, The design Philosophy of the DRAPA Internet Protokols, Computer Communication Review Vol. 18, No. 4/1988
- [Clar- 2003] D. Clark M. Handley, N. Chiappa, New Arch: Future Internet Generation Architecture, Defense Advanced Research Projects Agency (DoD), 2003
- [Cum- 2003] J. Cumming: SIP Market Overview, DATA Connection 2003, www.dataconnection.com
- [Dagi- 2001] T. Dagiulkas, VoIP Technologies and Services, www.ngni.org
- [Doyn-1989] G. Doyon, Systèm et réseaux de télécommunication en régime stochastique, Masson Paris, France 1998
- [Elix- 2002] D. Elixmann, Scanlan, Hackbarth, The Economics of IP Networks, Study fort he European Commission ECSC-EC-EAEC wik-consult 2002
- [Essi-2004] W. Essig, Sichere Kommunikation für Geschäftskunden, ntz, heft 2-3, 2004
- [Extr- 2004] Quality of Service for Voice-over-IP Networks, White Paper Extreme Networks, Inc 2004
- [Fuk-2005] Fukuda, Chu, Esaki, The Impact of Residential Broadband Traffic on Japanese ISP Backbones, ACM SIGCOMM Computer Communications Review, Volume 35, Number 1: January 2005
- [Gera- 2004] D. Gérard, D. Raluca: Flexible Service-Rich IP Routers, Technical Paper 3GQ 10001 0011 TQZZA Ed01 ALCATEL, 2004
- [Gran- 2002] Granström et. al.: Thefuture of communication using SIP, Ericsson Review N° 1 2002
- [Gonz-2002] Gonzales,Hackbarth,Kulenkmampf,Rodriquez: Cost and network models and their application in telecom regulation issues, Proc. of the ITS annual meeting ITS Madrid 2002
- [Gur – 2002] I. Gur: Metro-Netze in H.J. Schilder NGN, VDE Verlag Berlin 2002
- [Hack- 2001] Hackbarth/Garcia/Portilla/Wöhrl/Gonzales: A bottom-up model for cost calculation of telecommunication network interconnection, 9th International Conference on Telecommunication Systems, Dallas USA 2001
- [Hack-2006] Hackbarth, Kulenkampff, Menendez, Rodriquez, Cost Modelling for Bistream Services in Broadband Access Networks, WSEAS Transactions on Communications Issue 3 Vol. 5 March 2005
- [Händ-1998] R. Händler et. al. ATM Networks Addison-Weseley Harlow U.K. 3° ed. 1998
- [Hard-2002] Hardy et. al.: Network, Internet, Telephony, Multimedia, Springer Verlag Berlin, Ed. boeck Paris 2002
- [Howa-2001] Howards, Paridens, Gam, Information security: threats and protection mechanisms, Alcatel Telecommunication Review 2° Quarter 2001
- [Insu-2001] J. Insulander: Telecom management for ENGINE, Ericsson Review N° 3 2001

- [ITU-1993] B-ISDN Service Aspects, Rec. I.211 03/93
- [ITU-1996] Methods for subjective determination of transmission quality Rec P.800 8/1996
- [ITU-2001] Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-t-end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codesc, Rec. P.862 2/2001
- [ITU-2003] o.V.: World Telecommunication Development Conference, IP Telephony – Report by the group of experts on Internet Protocol (IP) Telephony. International Telecommunication Union, http://www.itu.int/ITU-D/e-strategy/internet/iptelephony/Seminars/3rdEGM/docs/FullReport_IP_Tel-WTDC-02.pdf
- [ITU-2004] NGN 2004 Project description, Version 3, 12 February, 2004
<http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com13/ngn2004/index.html>
- [Jain -2001] U. Jain, et. al. Study of Factors Influencing QoS in Next Generation Networks, Ericsson Inc. Richardson, Texas U.S.
- [Kant-2005] E. M. Kantor, G.J.Miller: IP Convergence, www.globalcrossing.com
I. Beyond VoIP, Beyond Cost Savings,
II. Global Crossing's Converged Services Model- A future Proof Approach
III. Migration to Converged Network Environment, A simplified Approach
- [KEY-2005] KEMILE White Paper: VoIP Control Protocols for Media Gateways in the Next Generation Network; www.keymile.com
- [Klei-2006] KLeinlein, K.Regulierung des neuen Hochgeschwindigkeitsnetzes der Deutschen Telekom, NTZ, Nr. 1/2006
- [Körn-2005] Ethernet über SDH, Nachrichtentechnische Zeitschrift Heft 10 2004
- [Kuhn2005] Kuhn, Walsh, Fries; Security Consideration for Voice Over IP Systems, National Institute f Standards and Technology, US Department of Commerce, Jan. 2005
- [Kum-1999] P- Kumar Jagannathan: Global Generation Internet Initiatives, www.cse.wustl.edu
- [Kur-2003] J. Kurose, K. Ross: Computer Networking a Top Down Approach featuring the Internet, Pearson Education Inc. 2^o ed. 2003
- [Kurt-2003] M. Kurt: Bitstromzugang in Deutschland, Multimedia und Recht, Vol 6, Beck Verlag 2003
- [Lark-2002] Nic Larkin: ASON and GMPLS- the battle of the optical control plane, Data Connection Limited, 2002, www.dataconnection.com
- [Leid- 1998] Leida, Brett A.: A cost model of Internet service providers: Implication for Internet Telephony and Yield management: MIT M.S. EECS/TPP Thesis, 1998, Cambridge
- [Lark- 2002] Nic Larkin: ASON and GMPLS- The Battle of the optical control plane, www.dataconnection.com 2002

- [Mage-2004] R. Mager: IP-Telefonie, Marktpotenziale, Strategien und Auswirkungen, VDE Verlag Berlin 2004
- [McD-2000] D. McDysan, QoS & Traffic Management in IP & ATM Networks, McGraw-Hill, N.Y. U.S. 2000
- [McKa-2006] D. McKaye, Triple Play beginnt den Massenmarkt zu erobern, NTZ Nr.3/ 2006
- [Mckn- 1997] McKnight, Lee und Brett Leida: Internet Telephony: Costs, Pricing, and Policy. Twenty-fifth Annual Telecommunications Policy Research conference, 27-29 September 1997,1997, Alexandria, VA.
- [Mend-2003] Mendler, Camille: Telecom Italia Packet Voice Migration: A case Study, 2003, Boston, Yankee Group.
- [MFO-2003] METRO Ethernet Forum, Metro Ethernet Network- A Technical Overview, www.metroethernetforum.org 2003
- [Möbi-2006] F. Möbius, OTN, Konvergenz und die Einbindung von IP/Ethernet, NTZ Nr. 3/4 2006
- [Neum-2005] Neumann, K.H., Höhere Bandbreiten durch Glasfaserausbau im Anschlussnetz, wik-Newsletter Nr. 61 2005
- [Nind-2006] Nindl T., Neue Anforderungen an nächste DSLAM-Generation, NTZ Nr.1 /2006
- [Nöll -2005] Voice over IP, Grundlagen, Protokolle, Migration, VDE Verlag 2° Auflage 2005
- [Nort-2003] o.V.: A comparision of H.323v4 and SIP, Nortel networks, http://www.cs.columbia.edu/sip/drafts/sip_h323v4.doc, 03.5.01.2000, Abruf am 05.11.2003
- [Nunn-2005] Alan Nunn, PSTN Transformation, The Journal of the Communications Networkr, Vol. 4 Part 2 2005
- [OFC-2005] OFCOM, Next Generation Networks, future arrangements for access and inter-connection, Consultation document OFCOM January 2005
- [PNS-2003] Quality of Service: An Operational View, www.pnsol.com
- [Polla-2005] K. Pollak, Evolution der Zugangsnetze hin zu Ethernet-IP, Nachrichtentechnische Zeitschrift ntz n° 6/2005
- [Pope-2005] Measurement on One-Way transit Time in IP Routers, Proc of the 3° International Conference on Heterogeneous Network Performance, Hetnet, Ikely U.K. 2005
- [Poseg-2005] J. Possega, J. Seedorf, VoIP: Unsafe at any Bandwidth? EURESCOM 2005, www.informatik.uni-hamburg.de/SVS/papers/Eurescom_VoIP-unsafe.pdf
- [Shor- 2005] Is your Network Ready for IP Telephony, Straight facts about IP elephony planning and deployment, White Paper ShoreTel Inc. 2005
- [Schi-2002] H. J. Schilder: Next Generation Networks, VDE Verlag Berlin 2002

- [Sco-2003] P. Scott: Bitsteam Access in the New EU Regulatory Framework, Multimedia und Recht, Vol 6, Beck Verlag 2003
- [Sieg-2002] G. Siegmund: Technik der Netze, 5th Auflage, Hüttig Verlag Heidelberg 2002
- [Schu-1998] Schulzrinne, H. und J. Rosenberg: A comparison of SIP and H.323 for Internet telephony. 8th International Workshop on network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video, 1998, Cambridge.
- [Telc- 2004] Telcordia Technologies, Next Generation Networks – Voice over Internet Protocol; Digest of Technical Information Vol. 21 N° 12 Dec. 2004, www.telcordia.com
- [TIF- 2004] IP Telephony and Voice over Broadband, Telecoms Infotech Forum, December 2004, www.trp.hku.hk/tif/home.php
- [Toni-2005] G. Tonini: La evolución IP en el acceso y sus Implicancias en los Servicios de Banda de Banda, www.cicomra.org.ar/eventosycursos/Eca2005/Presentaciones/Seminario/Tonini.PDF
- [Tric-2006] Trick, Akkaya, Oehler, Notruf bei VoIP- heutige Situation und Problemstellung, NTZ 2 /2006
- [Tric-2006a] Trick, Akkaya, Oehler, Notruf bei VoIP- Lösungsmöglichkeiten, NTZ 3/4 /2006
- [Trill-2004] Trillium, Multiprotocol Label Switching, Web Pro Forum Tutorials www.iec.org
- [Tut- 2005] K. Tutschku,ed., First report on future control architectures for NGI, Deliverable D.WP.JRA.1.4.2 to the EURO-NGI project, <http://eurongi.enst.fr/archive/127/JRA142.pdf>
- [Uebe-2002] Uebele R., Vergoyen M.: Strategy for migrating voice networks to the next generation architecture, Alcatel Telecommunication Review 2° Quarter 2002
- [UTSt-2004] UTStarcom: An-2000 IP-DSLAM QoS Solutions, Technical Report 1104-UTSI-WP-IPQOSSOLUTIONS, 2004 www.utstarcom
- [vHoe-2001] G. van Hoey et. al., Dimensioning of NGN transport networks for real-time voice applications, Alcatel Telecommunication Review, 2° Quarter 2001
- [Vog -2005] I. Vogelsang: Abrechnungssysteme und Zusammenschaltungsregime aus ökonomischer Sicht, Gutachten für die Bundesnetzagentur, Bosten 2005
- [Vrie-2005] Vries J. de, Beschleunige Kommunikation auf für den Mittelstand, NTZ Nr. 7-8 2005
- [Waut-2005] Wauters, Coppens, Dhoedt, Demeester, Load balancing through efficient distributed content placement, 1st EuroNGI Conference on Next Generation Internet Networks and Traffic Engineering, Rome, April 2005
- [Weis-2000] Weiss, Martin B.H., Hak Ju Kim und Junseok Hwang: The comparative analysis of IP Telephony vs. Advanced Circuit switched network using real options and simulation. ICTS 2000 8th International Conference on Telecommunication Systems, 2000, Nashville, Tennessee.

- [Weis- 2001] Weiss, Martin B.H. und Hak Ju Kim: Voice over IP in the local exchange: A case study. The 29th Telecommunications Policy research conference 2001, 27-29 October 2001, 2001, Alexandria, Virginia
- [Weis-2005] Weis Erik, Glasfaserbasierte Breitbandzugangsnetze – Potentiale und Herausforderungen, 5. Workshop des ITG Fachausschusses 5.2 Zukunft der Netze, 4.11. 2005 Mittweida, <http://www.vde.org/VDE/Fachgesellschaften/ITG/Arbeitsgebiete/Fachbereich+5/Publikationen+des+Fachausschusses+5.2.htm>
- [Wiel- 2005] J. Wielert, H. Meyer: Netzqualität aus Kundensicht effizient messen, ntz Heft 7 – 8, 2005
- [Wild- 1999] A. Wilde, SDH in der Praxis, VDE Verlag Berlin 1999
- [Zapa-2004] A. Zapata et. al. Next-Generation 100-Gigabit Metro Ethernet (100 GbME) Using Multiwavelength Optical Rings, Journal of lightwave technology, vol. 22, no. 11, November 2004

Anhänge

- A.I. Studie zur Kapazitätsdimensionierung unter verschiedenen QoS-Szenarien
- A.II. Fragebogen zur Realisierung von Sprache in IP-basierten Netzen
- A.III. Auswertung der Antworten zum Fragebogen zur Realisierung von Sprache in IP-basierten Netzen

AI Studie zur Kapazitätsdimensionierung in IP-basierten Netzen unter verschiedenen QoS-Szenarien

Um Sprachdienste in einem IP-basierten Netz zu übertragen, muss sichergestellt werden, dass die entsprechenden QoS-Parameter eingehalten werden. Diese QoS-Parameter⁶² sind auf eine Ende-zu-Ende Beziehung zwischen zwei Endgeräten bezogen und müssen sachgerecht auf die verschiedenen Netzebenen aufgeteilt werden. Eine VoIP-Verbindung verläuft im einfachsten Fall über eine einzige IP-Domain und im umfangreichsten Fall zwischen zwei IP-basierten Endgeräten, und auf jeder Seite dem internen Teilnehmernetz (CPN), der Anschlussleitung im TAN, dem BAN und ggf. über mehrere IP-Domains. Der erste Fall beschreibt eine PSTN/ISDN Verbindung, die im Core-Netzteil über ein IP-Netz läuft (z.B. einem NGN in der oberen Netzebene). Der zweite Fall beschreibt eine reine IP-Sprachverbindung entweder innerhalb des IP-Netzes eines ISP/ITSP oder aber im weitesten Fall dem öffentlichem Internet.

Es ist Aufgabe dieses Anhangs zu untersuchen, welche QoS-Werte unter welchen Verkehrsmanagement-Maßnahmen eingehalten werden können. Dazu werden zunächst im ersten Abschnitt dieses Anhangs allgemeine QoS-Management-Techniken beschrieben, wie sie von den verschiedenen Router-Fabrikanten derzeit bereitgestellt werden. Im zweiten Abschnitt werden analytische Modelle eingeführt, die es gestatten, QoS-Parameter quantitativ abzuschätzen. Diese werden zunächst auf ein einziges Wartesystem⁶³ angewendet, um eine erste Abschätzung zu erhalten. Auf dieser Grundlage werden im dritten Abschnitt diese Abschätzungen erweitert, um die QoS-Werte für die verschiedenen Teilnetze (CPN, SAN, BAN und IP Core) zu gewinnen. Abschließend werden im vierten Abschnitt QoS-Management-Techniken und deren Einfluss auf die QoS-

⁶² In Übereinstimmung mit dem vierten Kapitel werden von den drei wichtigsten QoS-Parametern (mittlere Laufzeitverzögerung, Laufzeit-Verzögerungsschwankung ausgedrückt durch die Standardabweichung, Paketverlust) in erster Näherung nur die mittlere Laufzeitverzögerung betrachtet, da deren Varianz durch dynamische Jitterbuffer ausgeglichen werden kann und Paketverluste, die bei Datendiensten kritisch sind durch das TCP-Protokoll ausgeglichen werden.

⁶³ Das einfachste Wartesystem besteht aus einem Speicher und einem Server z.B. der Eingangsspeicher eines Routers und dessen Prozessor oder der Ausgangsspeicher und die Leitungsgruppe die zum nächsten Router führt.

Werte einer Ende-zu-Ende-Verbindung für Sprachdienste dargestellt. Wegen ihrer aktuellen Bedeutung werden vor allem zwei Methoden verglichen:

- Überdimensionierung der Kapazitäten, auch als Overengineering bezeichnet und
- Priorisierung von Verkehrsklassen.

A.1.1 QoS-Management-Techniken

Das ursprüngliche IP-Konzept sieht eine „gerechte“ Aufteilung der zur Verfügung stehenden Kapazitäten auf alle Endgeräte vor, die das Netz in Anspruch nehmen. Dies wird durch das in den Endgeräten implementierte TCP Protokoll sichergestellt, welches je nach Netzlast den an das Netz abzugebenen Datenstrom vermindert oder erhöht. Eine effektive Netzauslastung wird durch entsprechende Paketrouting-Protokolle gewährleistet, z. B. OSPF innerhalb einer Domain bzw. BGP für Interdomain Routing. In der Praxis hängt die Netzauslastung von der jeweiligen Implementierung der in den Protokollen zur Verfügung stehenden Optionen ab. Im einfachsten Fall wird OSPF in Form von statischen Routing-Tabellen über den Weg mit der geringsten Anzahl von Zwischenknoten abgewickelt und bei aufwendiger Implementierung in Form von dynamisch aktualisierten Routing-Tabellen über die Wege mit der jeweils geringsten Belastung.⁶⁴ Alle diese Maßnahmen sind ausreichend, wenn keine restriktiven QoS-Anforderungen aus den Diensten an das Netz gestellt werden, da mittels TCP die Dienste sich an die vom Netz zur Verfügung gestellt Kapazitäten anpassen und nicht umgekehrt.

Das Ende der achtziger Jahre und bis gegen Ende der neunziger Jahre von der ITU und dem ATM-Forum entwickelte Konzept eines dienstintegrierten Breitbandnetzes sah eine Klassifizierung der Dienste in vier Klassen vor und hat dazu die sog. Anpassungsschichten (AAL-1, AAL-2, AAL3/4 und AAL-5) spezifiziert, vergleiche [Händ-1988]. Im Gegensatz zu den IP-Diensten basieren ATM Netze auf virtuellen Verbindungen, die vor der Informationsübertragung nach ihren QoS-Merkmalen spezifiziert und aufgebaut werden müssen. D.h., hier passt sich das (ATM-)Netz an die von den Diensten gestellten Anforderungen an oder aber weist eine Verbindung zurück. Trotz der damaligen technischen und systematischen Überlegenheit des ATM Konzepts gegenüber dem IP hat sich dieses als zu aufwändig herausgestellt, um wirtschaftlich gegen IP-basierte Netze und vor allem das in der zweiten Schicht verwendete Ethernet zu konkurrieren

⁶⁴ So sind bei dynamischer Verkehrsführung zusätzliche Managementpakete zu versenden um die Routing-Tabellen zu aktualisieren. Bei großen Zeitintervallen zwischen den Aktualisierungen können kurzfristige Verkehrspitzen, wie sie vor allem im Internet typisch sind, nicht ausgeglichen werden, während zu kleine Zeitintervalle Verkehrsschwankungen hervorrufen können, die das Netz zusätzlich belasten. Schon an diesem einfachen Beispiel zeigt sich, dass aufwendige Verkehrsführungstechniken mit zusätzlichem Aufwand verbunden sind, die nicht in allen Fällen den erwarteten Erfolg zeigen.

(insbesondere bei Massendiensten). Hinzu kommt, dass die technischen Entwicklungen Ende der neunziger Jahre sowohl im Ethernetbereich als auch im IP-Core-Bereich wesentliche Vorteile der ATM Technologie aufgehoben und zum Teil überholt hat.

Nachdem die großen europäischen Netzbetreiber ATM Breitbandnetze vor allem für Geschäftskunden aufgebaut haben, wurden vom ATM Forum verschiedene Konzepte zur Integration beider Techniken (ATM und IP) spezifiziert. Damit war und ist es möglich, QoS-Merkmale vor allem auf Festverbindungen in IP-basierten Netzen zu realisieren, wenn ATM als Schicht 2 Protokoll implementiert wird, vergleiche [McD-2000]. Dazu ist allerdings Hardware sowohl in der Schicht zwei als auch drei zu installieren, was nicht immer wirtschaftlich ist. Mit der Einführung des MPLS Protokolls und dessen Integration in die jeweiligen Routerarchitekturen wurde eine alternative und wirtschaftliche Lösung geschaffen, um QoS in IP-basierten Netzen zu implementieren.⁶⁵ Auf dieser Grundlage und mittels ergänzender Konzepte wie DiffServ oder IntServ werden derzeit QoS-Parameter vor allem für Geschäftskunden in Form von VPN realisiert.

Mit der Einführung bzw. Integration von Streaming und Echtzeitdiensten in die das Internet bestimmenden IP-Transportplattformen wurden weitere Protokollergänzungen notwendig, die aber getreu dem IP-Konzept in den Endgeräten/Servern und nicht in den Netzeinrichtungen implementiert werden, z. B. RTP/RTCP. Um innerhalb des Netzes ausreichend Kapazitäten bereitzustellen, sind QoS-Management-Techniken an den Netzrändern bzw. in den Routern zu implementieren. Im Folgenden werden diese Techniken zusammenfassend dargestellt, für eine ausführliche Beschreibung vergleiche [McD-2000], [Cisco- 2001].

QoS-Management-Techniken gliedern sich in drei Ebenen:

- i. QoS-Identifizierung
- ii. QoS-Management innerhalb eines Netzelements
- iii. Netzweites QoS-Management

Im einfachsten Fall kann die QoS-Identifizierung durch das im IP-Kopf angegebene Protokoll der höheren Ebene identifiziert werden, aufwändigere Maßnahmen erfordern eine Markierungen z.B. im IP-Precedence Part des TOS-Feldes im IP-Kopf.

QoS-Management innerhalb eines Netzelements wird im einfachsten Fall durch Aufteilung der Pakete auf verschiedene Warteschlangen und entsprechende Paketselektionstechniken vorgenommen. Dazu können die Pakete nach Dienstklassen abgelegt und mit absteigender Priorität entnommen werden. Um eine strategisch gewünschte Vertei-

⁶⁵ MPLS für sich genommen gestattet kein QoS-Management, sondern etabliert – ähnlich wie im ATM – eine virtuelle Verbindung, über die alle folgenden Pakete geführt werden und durchbricht bzw. ergänzt damit das ursprüngliche auf „Connectionless“ basierte Datagram Konzept

lung der Kapazitäten zu gewährleisten, können die Pakete alternativ gewichtet entnommen werden (WFQ⁶⁶). Um zu vermeiden, dass eine Serie langer Pakete die Durchlaufzeit kurzer Pakete behindert, können lange Pakete fragmentiert und kleine Pakete in den Paketfluss dazwischen geschaltet werden⁶⁷.

Netzweites QoS-Management ist die aufwändigste Methode zur Bereitstellung von QoS-Parameterwerten und kann durch zwei Konzepte in Zusammenhang mit MPLS implementiert werden. Das DiffServ Konzept gestattet die QoS-Parameterwerte auf statistischer Basis zu garantieren, es wird daher auch als „soft QoS“ bezeichnet. Am aufwendigsten ist das IntServ Konzept mit fest garantierten QoS-Parametern, das über MPLS im Zusammenhang mit dem Resource Reservation Protocol RSVP implementiert werden kann. Es wird auch als „hard QoS“ bezeichnet und ist in seinen Leistungsmerkmalen mit dem ATM Konzept vergleichbar.

QoS-Management mit seinen erforderlichen Investitionen in CAPEX und seinen Betriebskosten OPEX kann vollständig vermieden werden, wenn die Kapazitäten der entsprechenden Einrichtungen nur begrenzt ausgelastet werden, d.h. Überlast durch entsprechende Maßnahmen am Netzrand verhindert wird. Diese Konzept wird auch als „Overengineering“ bezeichnet und ist wegen seiner Einfachheit Gegenstand zahlreicher vergleichender Untersuchungen gegenüber aufwändigeren QoS-Techniken vor allem im Zusammenhang mit VoIP, vergleiche [Jain-2001], [vHoe-2001], [Extr-2004], [Pope-2005], [Shor-2005].

Der Gegenpol zu dieser QoS-Management-Strategie ist die vollständige Verkehrstrennung für die jeweiligen Verkehrsklassen und Reservierung von entsprechenden Kapazitäten in Form von virtuellen Tunneln. Dies ist vergleichbar mit der derzeitigen Implementierung von VPN mit fester QoS-Garantie.

Zwischen den beiden Polen der QoS-Realisierung stehen QoS-Maßnahmen, bei denen die Verkehre zwar über gemeinsame Kapazitäten abwickelt werden, aber durch Priorisierung bestimmten Verkehrsklassen Vorrang gegenüber andern Klassen erhalten. Dabei bilden sich im einfachsten Fall vier Klassen heraus:

- Pakete zum Netzmanagement,
- Pakete für VPN,

66 Bei priorisierten Warteschlangen kann eine Überlast eines priorisierten Dienstes die Dienste mit geringer Priorisierung übermäßig behindern; dies wird beim WFQ vermieden da durch die Parameterwerte für die gewichtete Entnahme virtuellen Kapazitäten pro Dienst eingestellt werden können, dies wird auch als „gewichtete faire“ Paketentnahme bezeichnet.

67 Fragmentierung ist ohnedies im IP-Standard vorgesehen, um lange Pakete aus oberen Schichten den begrenzten Protokollfeldlängen in der zweiten Schicht anzupassen, damit ergeben sich typische IP-Paketlängen von 576 bytes und maximale Längen von 1500 bytes, was der maximalen Länge eines Ethernetrahmens entspricht. Fragmentierung auf IP-Ebene kann völlig vermieden werden, wenn schon im TCP bzw. UDP die maximale Länge der Nutzlast auf 536 bytes begrenzt wird, für weitere Einzelheiten vergleiche auch den Abschnitt 4.4.4 in [Kur-2003].

- Pakete aus Real Time Diensten z.B. VoIP und
- Pakete aus Best Effort Diensten⁶⁸.

A.1.2 QoS-Abschätzungen in einem Wartesystem

Paketvermittelte Netze stellen die jeweiligen Kapazitäten in einem Netzelement (Prozessor, digitale Leitungsgruppe) zu einem Zeitpunkt einem bzw. einer begrenzten Anzahl von Paketen zur Bearbeitung zur Verfügung. Pakete, die in diesem Zeitraum ankommen, müssen in einer Warteschlange zwischengespeichert werden. Für den Fall von Warteschlangen mit begrenzter Kapazität kann ein Paketüberlauf stattfinden.⁶⁹

Das einfachste Wartesystem ergibt sich mittels einer Poisson Type Ankunftsrate und einer exponentiellen Verteilungsfunktion⁷⁰ für die Bearbeitungsdauer in einer Prozesseinheit bzw. der Übertragungszeit auf einer digitalen Signalgruppe und es wird nach der Kendall'schen Abkürzung mit M/M/1 bezeichnet⁷¹, vergleiche [Doyn-1989]. In der Realität ist ein Poisson Ankunftsstrom nur eine Approximation, die vor allem in kurzen Beobachtungszeiträumen (d. h., in Größenordnungen von wenigen Sekunden) nicht gilt⁷². Allerdings ist sie brauchbar für erste Abschätzungen, wie sie in dieser Arbeit vorgenommen werden, vor allem unter der Voraussetzung einer hohen Verkehrsaggregation, was vor allem in den höheren Netzebenen gegeben ist, [Bert-1992]. Auch die exponentielle Verteilungsfunktion ist auf IP-Ebene (Schicht 3) bzw. Schicht 2 Ebene (ATM oder Ethernet) nicht gegeben,⁷³ aber auch hier stellt die Approximation durch eine exponentielle Verteilungsfunktion für die in dieser Arbeit zu ermittelnden Werte eine brauchbar Näherung dar⁷⁴.

⁶⁸ Diese vier Prioritätsklassen lassen sich in einfacher Weise in den drei IP-Precedente-Bits des TOS-Feldes im IP-Kopf abbilden und sind auch mit dem Ethernet Standard für die Priorisierung von Ethernet Rahmen kompatibel, vergleiche [Cisco-2000].

⁶⁹ Das stochastische Verhalten von Warteschlangensystemen wurde und wird ausführlich vor allem im akademischen Bereich und im Zusammenhang mit ATM und IP-Netzen untersucht und durch entsprechende Veröffentlichungen dokumentiert, für eine Übersicht vergleiche [Akim-1999], [McD-2000].

⁷⁰ Dies bedingt eine geometrische Verteilungsfunktion für die Paketlänge

⁷¹ Hierbei beschreibt der erste Buchstabe den Ankunftsstrom (M Poisson, G allgemein (general) und der zweite Buchstabe die Verteilung der Paketlänge (M exponentiell, D feste Längen, deterministic, G allgemein).

⁷² Dies ergibt sich vor allem aus Informationseinheiten mit großen Datenmenge in der Anwenderschicht e.g. Webseiten unter http bzw. Datenfiles unter FTP deren Größe hohen Schwankungen unterliegt und damit hohe Werte für die Standardabweichung und den Dispersionsindex ergeben und damit einen kurzfristigen Burst von IP-Paketen erzeugen.

⁷³ Für ATM ergibt sich ein G/D/1 Modell und für Ethernet im allgemeinsten Fall ein G/G/1 Modell.

⁷⁴ Traditionelle Anwendungen wie FTP oder www generieren Datenfiles mit hohem Streuwert. Diese Datenmengen werden in der TCP bzw. IP-Schicht in Pakete begrenzter und fester Länge zerlegt werden. Damit ergibt sich ein „Burst“ von Paketen, der durch ein G/D/1 Modell beschrieben werden kann, mit hohem Streuwert im Ankunftsstrom. Moderne Anwendungen dagegen, wie Realtime Dienste oder P2P, generieren kurze Pakete mit kleiner Länge und einen kontinuierlichen Ankunftsstrom mit kleinem Streuwert, so dass sich charakteristische Werte für die Dimensionierung im einfachsten Fall durch ein M/D/1 Modell bzw. durch M/G/1 ein beschreiben lassen.

Das M/M/1 Modells bzw. im Falle mehrerer Server das erweiterte M/M/S Modell wird auch deswegen häufig als Näherung verwendet, weil sich die charakteristischen Parameterwerte in Warteschlangennetzen durch einfache analytische Formeln aus den charakteristischen Werten der einzelnen Warteschlangensysteme ableiten lassen. Von dieser Eigenschaft wird im nächsten und übernächsten Abschnitt gebrauch gemacht.

Die Anwendung des M/M/1 Modells zur Berechnung der mittleren Wartezeit der Pakete in den Warteschlangen benötigt folgende Werte:

- Mittlere Paketankunftsrate
- Mittlere Paketlänge
- Geschwindigkeit des Servers

Im Folgenden werden vor allem zwei Dienste und deren mittlere Verzögerungszeit im M/M/1 Modell betrachtet:

- WEB mit dem Protokollstack http/TCP/IP und
- VoIP mit dem Protokollstack RTP/UDP/IP.

Als Server werden die digitalen Signalgruppen E1, E3, STM-1, STM-4 und STM-16 betrachtet.

A.I.2.1 WEB-Dienste

Für die Berechnung von WEB-Diensten gehen wir von einer Paketlänge auf der Basis eines Ethernetrahmens aus. Berechnungen mit den Formeln zum M/M/1 Modell ergeben damit für WEB-Dienste eine Paketlänge von $L=1500$ Bytes⁷⁵ die in Tabelle A.I.1 aufgelisteten Werte.

⁷⁵ Nach dem M/M/1 Modell beschreibt $L=1500$ den Mittelwert eines Paketes, in der Praxis ist dies aber der Maximalwert, da die meisten Anwendungen in ihrem Ursprung Ethernet als Schicht-2-Protokoll verwenden und der Ethernetrahmen auf 1500 bytes begrenzt ist und damit einen Maximalwert darstellt. I.d.R. ergibt sich als mittlere Paketlänge in der Schicht 2 ein Wert von $L=500$. Wir verwenden hier den Maximalwert, um auf der einen Seite die Abweichung des realen Burst Ankunftsprozess vom Poission Ankunftsprozess auszugleichen und obere Grenzen für die maximale Durchlaufzeit abzuschätzen.

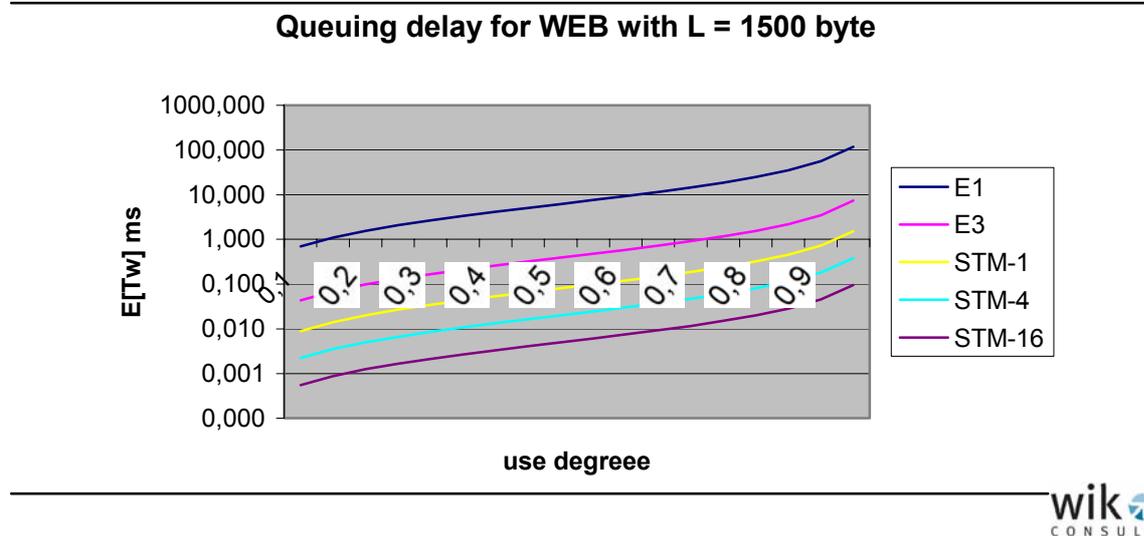
Tabelle A.I.1 Berechnung von mittleren Paketwartezeiten in E(Tw) [ms] mit einer Paketlänge von L=1500 bytes in einem M/M/1 System in Abhängigkeit der Systemauslastung und der Signalgruppe für den Pakettransport

Auslastung/ Signalgruppe	E1	E3	STM-1	STM-4	STM-16
0,1	0,694	0,043	0,009	0,002	0,001
0,15	1,103	0,069	0,014	0,004	0,001
0,2	1,563	0,098	0,020	0,005	0,001
0,25	2,083	0,130	0,027	0,007	0,002
0,3	2,679	0,167	0,034	0,009	0,002
0,35	3,365	0,210	0,043	0,011	0,003
0,4	4,167	0,260	0,053	0,013	0,003
0,45	5,114	0,320	0,066	0,016	0,004
0,5	6,250	0,391	0,080	0,020	0,005
0,55	7,639	0,477	0,098	0,024	0,006
0,6	9,375	0,586	0,120	0,030	0,008
0,65	11,607	0,725	0,149	0,037	0,009
0,7	14,583	0,911	0,187	0,047	0,012
0,75	18,750	1,172	0,240	0,060	0,015
0,8	25,000	1,563	0,321	0,080	0,020
0,85	35,417	2,214	0,454	0,114	0,028
0,9	56,250	3,516	0,721	0,180	0,045
0,95	118,750	7,422	1,522	0,381	0,095

Aus den Ergebnissen ergibt sich für alle STM-N Systeme eine Wartezeit unterhalb von 1ms, wenn die Systemauslastung den Wert von 90% nicht überschreitet, vergleiche Abbildung A.I.1. Für den Fall einer typischen Systemauslastung von 80% in der Hauptbelastungsperiode ergibt sich für die mittlere Gesamtdurchlaufzeit eines Paketes durch das M/M/1 System $E(T) = E(Tw) + E(Ts)$ ⁷⁶ ein mittlerer Wert von 400 µs bei Übertragung auf einer STM-1 Gruppe ; 100 µs für eine STM-4 ; bzw. 25 µs bei STM-16.

⁷⁶ E(Ts) = ts beschreibt den Mittelwert der Übertragungszeit eines Pakets der mittleren Länge L, damit ergibt sich z.B. für eine Übertragung über eine STM-1 mit einer Nettokapazität von 149,74 Mbps ein ts = 80,31 Mikrosekunden.

Abbildung A.I. 1 Mittelwert der Paketwartezeiten aus WEB-Diensten in einem M/M/1 System als Funktion der Systemauslastung für verschiedenen digitale Leitungsgruppen



Diese Mittelwerte geben noch keine Aussage über die Schwankungsbreite der Wartezeit. Dies wird am Beispiel für das STM-1 mit einer Begrenzung des Speicherplatzes auf K Plätze und einer Systemauslastung von 80% untersucht⁷⁷. Tabelle A.I.2 zeigt die Gesamtheit der Ergebnisse und Abbildung A.I.2 die Abhängigkeit der Paketverlustwahrscheinlichkeit PLR und der verschiedenen statistischen Werte für die Zufallsvariable der Wartezeit Tw in Relation mit der Kapazität des Systems.

Tabelle A.I. 2 Ergebnisse der Berechnung von detaillierten statistischen Größen für ein M/M/1/K+1 Wartesystem mit einer Paketlänge von L=1500 bytes, einem STM-1 Transport mit einer Auslastung von 80%, Werte für Tw in ms

K	pK	PLR	E(Tw)	sigma (Tw)	C(Tw)	ld(Tw)	Tw max
0	2,0000E-01	8,0000E-01	0,0000E+00	0,0000E+00			0,0000E+00
1	1,6000E-01	6,4000E-01	1,2821E-02	2,9375E-02	2,2913E+00	6,7308E-02	8,0128E-02
2	1,2800E-01	5,1200E-01	3,3333E-02	5,6599E-02	1,6980E+00	9,6105E-02	1,6026E-01
3	1,0240E-01	4,0960E-01	5,7949E-02	8,2908E-02	1,4307E+00	1,1862E-01	2,4038E-01
4	8,1920E-02	3,2768E-01	8,4205E-02	1,0750E-01	1,2767E+00	1,3725E-01	3,2051E-01
5	6,5536E-02	2,6214E-01	1,1046E-01	1,3025E-01	1,1791E+00	1,5358E-01	4,0064E-01
6	5,2429E-02	2,0972E-01	1,3567E-01	1,5126E-01	1,1149E+00	1,6864E-01	4,8077E-01
7	4,1943E-02	1,6777E-01	1,5919E-01	1,7070E-01	1,0723E+00	1,8304E-01	5,6090E-01
8	3,3554E-02	1,3422E-01	1,8070E-01	1,8872E-01	1,0444E+00	1,9709E-01	6,4103E-01
9	2,6844E-02	1,0737E-01	2,0006E-01	2,0544E-01	1,0269E+00	2,1096E-01	7,2115E-01
10	2,1475E-02	8,5899E-02	2,1727E-01	2,2093E-01	1,0169E+00	2,2466E-01	8,0128E-01

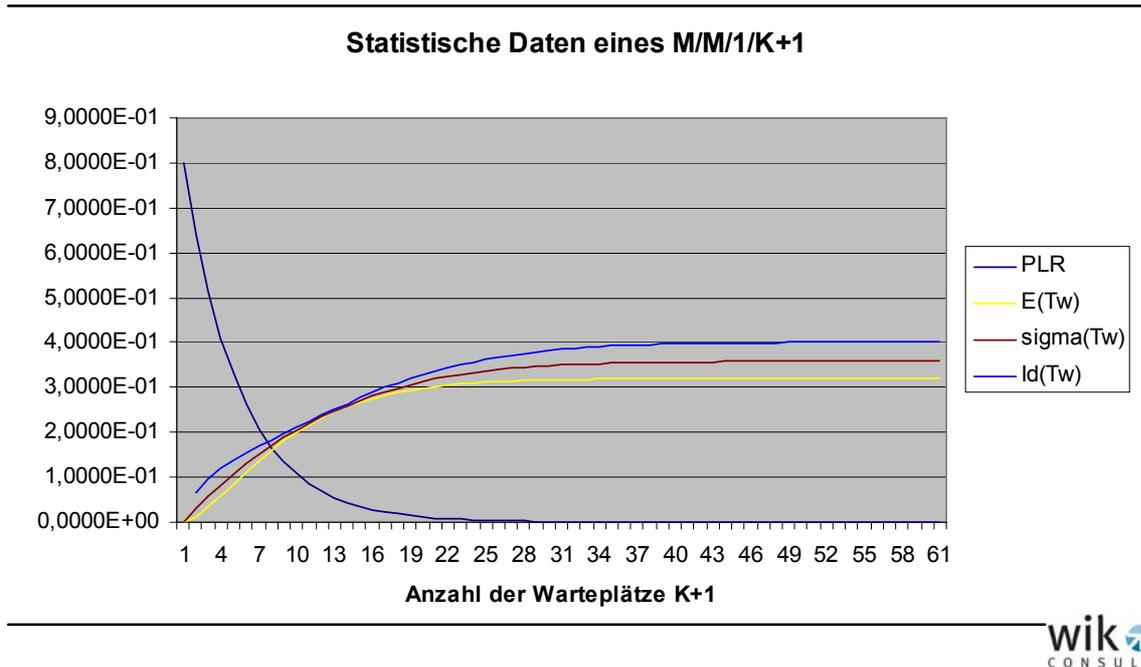
⁷⁷ Damit ergibt sich ein M/M/1/K+1 System das maximal K+1 Pakete gleichzeitig aufnehmen kann (K-Pakete in der Warteschlange und ein Paket im Server).

K	pK	PLR	E(Tw)	sigma (Tw)	C(Tw)	ld(Tw)	Tw max
11	1,7180E-02	6,8719E-02	2,3241E-01	2,3526E-01	1,0123E+00	2,3815E-01	8,8141E-01
12	1,3744E-02	5,4976E-02	2,4563E-01	2,4847E-01	1,0116E+00	2,5135E-01	9,6154E-01
13	1,0995E-02	4,3980E-02	2,5708E-01	2,6060E-01	1,0137E+00	2,6416E-01	1,0417E+00
14	8,7961E-03	3,5184E-02	2,6695E-01	2,7168E-01	1,0177E+00	2,7650E-01	1,1218E+00
15	7,0369E-03	2,8147E-02	2,7540E-01	2,8176E-01	1,0231E+00	2,8826E-01	1,2019E+00
16	5,6295E-03	2,2518E-02	2,8262E-01	2,9088E-01	1,0292E+00	2,9939E-01	1,2821E+00
17	4,5036E-03	1,8014E-02	2,8876E-01	2,9911E-01	1,0358E+00	3,0983E-01	1,3622E+00
18	3,6029E-03	1,4412E-02	2,9395E-01	3,0648E-01	1,0426E+00	3,1955E-01	1,4423E+00
19	2,8823E-03	1,1529E-02	2,9834E-01	3,1307E-01	1,0494E+00	3,2853E-01	1,5224E+00
20	2,3058E-03	9,2234E-03	3,0204E-01	3,1893E-01	1,0559E+00	3,3677E-01	1,6026E+00
21	1,8447E-03	7,3787E-03	3,0514E-01	3,2412E-01	1,0622E+00	3,4428E-01	1,6827E+00
22	1,4757E-03	5,9030E-03	3,0774E-01	3,2870E-01	1,0681E+00	3,5110E-01	1,7628E+00
23	1,1806E-03	4,7224E-03	3,0992E-01	3,3274E-01	1,0736E+00	3,5723E-01	1,8429E+00
24	9,4447E-04	3,7779E-03	3,1173E-01	3,3627E-01	1,0787E+00	3,6273E-01	1,9231E+00
25	7,5558E-04	3,0223E-03	3,1325E-01	3,3936E-01	1,0833E+00	3,6764E-01	2,0032E+00
26	6,0446E-04	2,4179E-03	3,1451E-01	3,4205E-01	1,0876E+00	3,7200E-01	2,0833E+00
27	4,8357E-04	1,9343E-03	3,1555E-01	3,4438E-01	1,0914E+00	3,7585E-01	2,1635E+00
28	3,8686E-04	1,5474E-03	3,1642E-01	3,4641E-01	1,0948E+00	3,7924E-01	2,2436E+00
29	3,0949E-04	1,2379E-03	3,1714E-01	3,4816E-01	1,0978E+00	3,8221E-01	2,3237E+00
30	2,4759E-04	9,9035E-04	3,1774E-01	3,4967E-01	1,1005E+00	3,8481E-01	2,4038E+00
31	1,9807E-04	7,9228E-04	3,1823E-01	3,5096E-01	1,1029E+00	3,8707E-01	2,4840E+00
32	1,5846E-04	6,3383E-04	3,1863E-01	3,5208E-01	1,1050E+00	3,8903E-01	2,5641E+00
33	1,2677E-04	5,0706E-04	3,1897E-01	3,5303E-01	1,1068E+00	3,9073E-01	2,6442E+00
34	1,0141E-04	4,0565E-04	3,1925E-01	3,5385E-01	1,1084E+00	3,9220E-01	2,7244E+00
35	8,1130E-05	3,2452E-04	3,1947E-01	3,5454E-01	1,1098E+00	3,9346E-01	2,8045E+00
36	6,4904E-05	2,5961E-04	3,1966E-01	3,5514E-01	1,1110E+00	3,9455E-01	2,8846E+00
37	5,1923E-05	2,0769E-04	3,1981E-01	3,5564E-01	1,1120E+00	3,9548E-01	2,9647E+00
38	4,1538E-05	1,6615E-04	3,1994E-01	3,5607E-01	1,1129E+00	3,9627E-01	3,0449E+00
39	3,3231E-05	1,3292E-04	3,2004E-01	3,5643E-01	1,1137E+00	3,9695E-01	3,1250E+00
40	2,6585E-05	1,0634E-04	3,2013E-01	3,5674E-01	1,1143E+00	3,9753E-01	3,2051E+00
41	2,1268E-05	8,5071E-05	3,2020E-01	3,5699E-01	1,1149E+00	3,9802E-01	3,2853E+00
42	1,7014E-05	6,8056E-05	3,2026E-01	3,5721E-01	1,1154E+00	3,9843E-01	3,3654E+00
43	1,3611E-05	5,4445E-05	3,2030E-01	3,5740E-01	1,1158E+00	3,9879E-01	3,4455E+00
44	1,0889E-05	4,3556E-05	3,2034E-01	3,5755E-01	1,1162E+00	3,9908E-01	3,5256E+00
45	8,7112E-06	3,4845E-05	3,2037E-01	3,5768E-01	1,1165E+00	3,9934E-01	3,6058E+00
46	6,9690E-06	2,7876E-05	3,2040E-01	3,5779E-01	1,1167E+00	3,9955E-01	3,6859E+00
47	5,5752E-06	2,2301E-05	3,2042E-01	3,5788E-01	1,1169E+00	3,9973E-01	3,7660E+00
48	4,4601E-06	1,7841E-05	3,2044E-01	3,5796E-01	1,1171E+00	3,9988E-01	3,8462E+00
49	3,5681E-06	1,4272E-05	3,2045E-01	3,5802E-01	1,1172E+00	4,0000E-01	3,9263E+00
50	2,8545E-06	1,1418E-05	3,2046E-01	3,5808E-01	1,1174E+00	4,0011E-01	4,0064E+00
51	2,2836E-06	9,1344E-06	3,2047E-01	3,5812E-01	1,1175E+00	4,0020E-01	4,0865E+00
52	1,8269E-06	7,3075E-06	3,2048E-01	3,5816E-01	1,1176E+00	4,0027E-01	4,1667E+00
53	1,4615E-06	5,8460E-06	3,2049E-01	3,5819E-01	1,1177E+00	4,0033E-01	4,2468E+00
54	1,1692E-06	4,6768E-06	3,2049E-01	3,5822E-01	1,1177E+00	4,0038E-01	4,3269E+00
55	9,3536E-07	3,7414E-06	3,2049E-01	3,5824E-01	1,1178E+00	4,0043E-01	4,4071E+00
56	7,4829E-07	2,9932E-06	3,2050E-01	3,5826E-01	1,1178E+00	4,0046E-01	4,4872E+00
57	5,9863E-07	2,3945E-06	3,2050E-01	3,5827E-01	1,1179E+00	4,0049E-01	4,5673E+00
58	4,7890E-07	1,9156E-06	3,2050E-01	3,5828E-01	1,1179E+00	4,0052E-01	4,6474E+00
59	3,8312E-07	1,5325E-06	3,2050E-01	3,5829E-01	1,1179E+00	4,0054E-01	4,7276E+00
60	3,0650E-07	1,2260E-06	3,2051E-01	3,5830E-01	1,1179E+00	4,0056E-01	4,8077E+00

Danach ergibt sich, wie zu erwarten, dass die Paketverlustwahrscheinlichkeit für hinreichend großen Speicherplatz K gegen Null und die mittlere Wartezeit E(Tw) gegen den im M/M/1 Modell berechneten Wert von 320 µs konvergiert. Die Standardabweichung der Wartezeit σ(Tw) liegt ab einem Speicherplatz von 5 Paketen in der gleichen Größe-

nordnung wie die mittlere Wartezeit, woraus sich für den Koeffizienten der Varianz $C(T_w)$ ein Wert leicht oberhalb von Eins ergibt.

Abbildung A.I.2 Statistische Daten eines Wartesystems mit begrenzten Wartespeicher K , die statistischen Werte für die Zufallsvariable T_w sind in ms angegeben



Eine Abschätzung der maximalen Wartezeit in Abhängigkeit der im Warteregister mit K Plätzen ergibt sich zu $(K+1) \cdot t_s$ (t_s mittlere Verarbeitungsdauer im Server bzw. mittlere Übertragungsdauer auf der Leitungsgruppe) die mit einer Wahrscheinlichkeit p_n mit $p_n = K+1$ auftritt, wobei p_n die Wahrscheinlichkeits-Verteilungsfunktion des M/M/1/K+1 Wartesystems beschreibt. So ergibt sich aus den Werten von Tabelle A.I.2 für ein Paket auf dem neunten Wartepplatz eine totale Durchlaufzeit (Wartezeit und Bearbeitungszeit) von $10 \cdot 80 \mu s$ bei einer Paketverlustwahrscheinlichkeit durch Speicherplatzüberlauf von 8,5%, wenn die Warteschlange auf 9 Pakete begrenzt ist. Für 29 Wartepplätze ergibt sich als Maximalwert der Durchlaufzeit ein Wert von 2,4 ms bei einer Paketverlustrate von ca. 0,1%. Bei 59 Wartepplätzen ergeben sich Werte von 4,8 ms und eine Paketverlustrate von $1,22 \cdot 10^{-6}$.

Damit ergeben sich für die Übertragung einer Webseite mit z.B. 30 kbyte nach der Fragmentierung in Ethernetrahmen mit maximaler Größe circa 20 IP-Pakete und damit eine mittlere Durchlaufzeit von 8 ms pro STM-1 Leitungsabschnitt. Mit dieser Methode kann die Laufzeitverzögerung pro Netzsegment auf dem Weg vom WEB-Server bis

zum Nutzer abgeschätzt werden, was im Abschnitt A1.3 angewendet wird und die daraus resultierende gesamte Laufzeit berechnet wird, was im Abschnitt A1.4 geschieht.

A.1.2.2 VoIP-Dienste

VoIP-Dienste verwenden den Protokoll- Stack RTP/UDP/IP und im Schicht zwei Protokoll typischerweise Ethernet oder IP over SDH. Im letzteren Fall ergibt sich als Protokoll- Stack IP/PPP/HDLC/SDH⁷⁸, vergleiche [Wild-1999]. Auf der Dienstebene werden Sprachmuster je nach verwendeter Sprachkodierung in Form von kurzen Rahmen erzeugt, typischerweise 10ms, um einen kontinuierlichen Sprachfluss zu gewährleisten. Daraus ergibt sich, dass der Protokoll-Überhang größer ist als die eigentliche Nutzinformation. Einige Router- Hersteller gruppieren daher oft zwei Rahmen in ein einziges Paket, um die Kapazitäten etwas besser auszunutzen, vergleiche [Cisco-2001a]. Für die Sprachkodifizierung nach G.729 ergibt sich:

- eine Geschwindigkeit, mit der die Sprachmuster erzeugt werden von $v_{\text{VoIP}} = 8$ kbit/s
- eine zeitliche Rahmenlänge mit $t_{\text{VoIP}} = 10$ ms
- einer Gruppierung von zwei Sprachrahmen in einem Paket auf der Anwenderschicht ($g_{\text{VoIP}} = 2$), wodurch sich eine Paketlänge von $L_{\text{Apl}} = 20$ bytes ergibt
- einen Überhang von 40 bytes für den Protokoll- Stack RTP/UDP/IP, womit sich auf der IP-Schicht eine Paketlänge von $L_{\text{IP}} = 60$ bytes ergibt
- einen Überhang von 14 byte bei Verwendung von Ethernet, was eine Ethernetrahmenlänge von $L_{\text{Eth}} = 74$ bytes ergibt bzw. von 6 bytes für PPP/HDLC Einkapselung bei Verwendung einer digitalen Signalgruppe aus der PDH bzw. SDH mit $L_{\text{PPP}} = 66$ bytes
- Die Paketrate eines VoIP-Nutzer beträgt $\alpha_{\text{VoIP}} = 1000 / (g_{\text{VoIP}} * t_{\text{VoIP}}) = 50$ p/s
- Die daraus resultierende mittlere Belastung des Prozessor bzw. der Übertragungsgruppe ergibt sich aus $v_s = 8 * \alpha_{\text{VoIP}} * L_{\text{Eth}} / 1000$ in Beispiel von G.729 ergibt sich $v_s = 29,6$ kbit/s bei Verwendung von Ethernet bzw. 26,4 kbit/s bei Verwendung von PPP/HDLC.

⁷⁸ IP ist ein verbindungsloses Protokoll und wird daher vor seiner Übertragung in der Schicht 1 durch ein in Schicht-2-Verbindungsprotokoll eingekapselt, was vom Point-to-Point-Protokoll vorgenommen wird. Um den Rahmen gegen Fehler bei der Übertragung abzusichern wird der PPP-Rahmen in den OSI Schicht 2 HDLC Rahmen eingefügt.

- Eine mögliche Bandbreitenreduzierung durch Kompression der Information in den RTP-/UDP/IP-Köpfen (dies muss jeweils pro Leitungsabschnitt vorgenommen werden)⁷⁹
- Die Paketrate kann halbiert werden, wenn ein Sprachkomprimierungs- Algorithmus Sprachpausenerkennung vornimmt (Voice Activity Detection VAD)

Aus den vorgenannten Betrachtungen ergibt sich im Worst Case eine mehr als dreifache Bandbreitenanforderung an die physikalische Schicht gegenüber dem originär erzeugtem Signal trotz der Gruppierung von zwei Sprachrahmen in einem Paket. In Tabelle A.I.3 sind die Bandbreiten-Werte für die wichtigsten Protokollkombination und Sprachkomprimierungsstandards aufgelistet.

Tabelle A.I.3 Charakteristische Werte für verschiedene Sprachkodierungsverfahren in VoIP

VoIP Standard	VoIP BW	Frame time	N° of frame	RTP/UDP/IP Header	RTP/UDP/IP Header	Ethernet Header	PPP Header	Total BW	Total BW
	kbps	ms	RPT	without compression	with compression			without VAD kbps	with VAD kbps
G.711	64	10	1	40		14		107,2	50,4
G.711	64	10	2	40		14		85,6	42,8
G.711	64	10	2		2	14		70,4	35,2
G.711	64	10	2	40			6	82,4	41,2
G.711	64	10	2		2		6	67,2	33,6
G.729	8	10	2	40		14		29,6	14,8
G.729	8	10	2		2	14		14,4	7,2
G.729	8	10	2	40			6	26,4	13,2
G.729	8	10	2		2		6	11,2	5,6

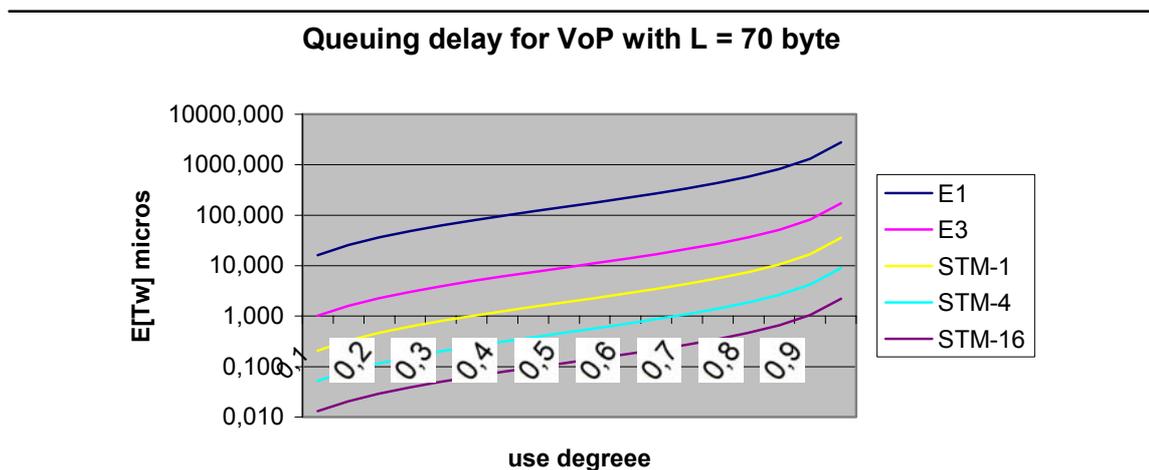
Darin zeigt sich, dass gegenüber der traditionellen Übertragung im PSTN/ISDN bei gleichem Sprachqualitätsstandard (G.711) eine wesentliche Bandbreitenreduktion bei VoIP nur im Falle von VAD erreicht werden kann. D.h. ein Integrationsgewinn im NGN oder NGI wird wesentlich durch die gemeinsame Nutzung der Einrichtungen und die damit verbundenen Economy-of-Scale-Effekte erreicht, aber nicht durch Bandbreitenreduktionen für den originären Dienst. Allerdings ergibt sich die Möglichkeit, Sprachdienste differenziert nach ihrer Qualität und zu unterschiedlichen Tarifen anzubieten (z.B. G.711 ohne VAD für wichtige Gespräche oder VoIP-Konferenzdienste und G.729 mit VAD für Standardgespräche). Es könnten zukünftig sogar Sprachdienste implementiert und angeboten werden, bei

⁷⁹ Am Routereingang werden die Köpfe dekomprimiert und die darin enthaltenen Information zum Routing auszuwerten. Allerdings kann dies bei Verwendung von MPLS vermieden werden, da in diesem Fall die Weiterleitung auf der Basis des MPLS Label Wertes erfolgt.

denen ein höherer Standard als im PSTN/ISDN realisiert wird (z.B. unter CD Qualität, wenn Sprache mit Tonsignalen gemischt wird).

Wenn die VoIP-Verkehrsströme über eigene reservierte Kapazitäten geführt werden, d.h. unter strikter Verkehrstrennung, können die Laufzeiten wie unter WEB-Verkehr mittels des M/M/1 oder eines M/D/1 Modells abgeschätzt werden. Es kann gezeigt werden, dass die mittlere Wartezeit $E(T_w)$ in einem M/D/1 dem halben Wert der Wartezeit eines M/M/1 Modells entspricht, vergleiche [Akim-98]. Für den Fall, dass nicht VAD eingesetzt wird, haben die Ankunftsströme der Ethernet oder PPP Rahmen aus dem Sprachverkehr mehr einem „smooth“ bis deterministischen Charakter. Bei Einsatz von VAD nähert sich der Ankunftsstrom dem Poisson Verhalten, da VAD mit einer zweistufigen ON OFF Markovkette modelliert werden kann, vergleiche [Garc-03]⁸⁰. In beiden Fällen ergibt das M/D/1 Modell eine obere Abschätzung für die mittlere Warte- und Durchlaufzeit zwischen zwei Netzknoten. Abbildung A.1.3 zeigt die mittleren Wartezeiten für VoIP-Verkehr unter G.729 mit Ethernetrahmen und ohne VAD. Es ergeben sich Laufzeiten im Mikrosekundenbereich, die auch bei Leitungsgruppen mit mittlerer Bandbreite wie E1 zu Werten führen, welche bei einer begrenzten Anzahl von Wartesystemen in einer VoIP-Ende-zu-Ende-Verbindung die QoS-Parameter nur unwesentlich beeinflussen, vergleiche Abbildung A.1.3.

Abbildung A.1.3 Mittelwert der Paketwartezeiten aus WEB-Diensten in einem M/M/1 System als Funktion der Systemauslastung für verschiedenen digitale Leitungsgruppen



⁸⁰ Bei VAD werden im Falle von Sprachpausen keine Pakete generiert. Daraus folgt, dass der Mittelwert aus der Anzahl der bei VoIP mit VAD generierten Pakete geringer ist als bei VoIP ohne VAD. Allerdings steigt deren Streuwert während bei VoIP ohne VAD kontinuierlich Pakete erzeugt werden.

A.I.2.2 Integration von WEB- und VoIP-Diensten

Der letzte Fall der innerhalb eines isolierten Wartesystem zu untersuchen bleibt, ergibt sich, wenn die IP-Pakete aus WEB- und anderen Best Effort Diensten mit VoIP-Paketen zusammengefasst und über gemeinsamen Leitungskapazitäten geführt werden, d. h. keine Verkehrstrennung, sondern eine Verkehrszusammenfassung vorgenommen wird. Hier können drei Fälle unterschieden werden:

- i. die WEB-Pakete dominieren den Gesamtverkehr,
- ii. die VoIP-Pakete dominieren den Gesamtverkehr und
- iii. die WEB- und VoIP-Pakete beanspruchen die Kapazitäten in vergleichbarer Weise.

In keinem der drei Fälle ergeben sich durch die Verkehrsmischung Nachteile für den Best Effort Verkehr, sondern umgekehrt eine Verbesserung der Laufzeiten aufgrund der Mischung von langen Paketen mit kurzen Paketen. Was den VoIP-Verkehr betrifft, so ergeben sich im ersten Fall mittlere Wartezeiten, vergleichbar mit denen aus reinem WEB-Verkehr. Da in diesem Fall Leitungsgruppen im STM-N Bereich eingesetzt werden, liegen die Laufzeitverzögerungen erneut im Bereich weniger Millisekunden, was bei einer begrenzten Anzahl von Wartesystemen in einer VoIP-Ende-zu-Ende-Verbindung zu vertretbaren Verzögerungen führt. Der letzte Fall eines dominanten VoIP-Verkehrs bei gemeinsamer Verkehrsführung dürfte in der Praxis derzeit nicht auftreten, da die Kapazitätsanforderungen von VoIP weit unterhalb derer für Best Effort Dienste liegen. Allerdings könnte sich dies mittelfristig ändern, wenn neue Dienste mit Echtzeitanforderungen vermehrt angeboten werden, z.B. WEB-basierte „Kundenzentren mit Sprachverbindungen.

Die Mischung von VoIP oder allgemein von Echtzeitdiensten mit Best Effort Diensten führt allerdings zu erhöhten Varianzen der Laufzeitverzögerung. Diese erhöhten Varianzen wirken sich störend auf eine Sprachverbindung aus und sollten daher ausgeglichen werden. Solange die mittlere Laufzeitverzögerung einer Ende-zu-Ende-Sprachverbindung unterhalb von 100 ms liegt, können Laufzeiten durch sogenannte Jitterbuffer kompensiert werden. Weiterhin ist bei der Verkehrsmischung aus Echtzeit- und Best Effort Diensten zu beachten, dass bei Best Effort Diensten nur verminderte Möglichkeiten bestehen, kurzfristige Verkehrsschwankungen (bedingt durch unvorhergesehene Paketbursts) abzuweisen. Zwar passt sich das in den Endgeräten implementierte TCP Protokoll der Netzbelastung an, aber diese Anpassung erfolgt mit einer Verzögerung, die im Bereich von mehreren 100 ms liegen kann, womit VoIP-Pakete verdrängt werden können. D.h., dass bei der Verkehrsmischung von VoIP mit Best Effort zusätzliche Maßnahmen im Verkehrsmanagement vorgenommen werden müssen, um eine solche Verdrängung zu vermeiden.

Die einfachste Maßnahme besteht darin, Best Effort Verkehr an den Netzrändern zu begrenzen. Dies erfolgt am besten im BAN, womit bei korrekter Dimensionierung des IP-Kernetzes kritische Situationen vollständig vermieden werden können. Da aber IP-basierte Ende-zu-Ende-Beziehungen über mehrere Netze verschiedener, untereinander konkurrierender Betreiber geführt werden, ist eine entsprechende Koordinierung in der Netzdimensionierung aus praktischer Sicht nur begrenzt realisierbar. D.h., dass ein Netzbetreiber, der nicht die vollständige Ende-zu-Ende-Beziehung eigenständig realisiert und verwaltet, an seinen Netzrändern solche Maßnahmen ergreifen muss, d.h. für Verkehre aus einem anderem BAN an seinem zugehörigen BRAS bzw. LER. Die wichtigsten Maßnahmen sind:

- Begrenzung in der Annahme von Best Effort Paketen am Eingang der Wartespeicher
- Priorisierung der VoIP- bzw. Echtzeitdienste-Pakete

Unter begrenzter Annahme von Best Effort Paketen wird verstanden, dass Teile des Wartespeichers für VoIP- bzw. Echtzeitpakete reserviert werden. Dadurch wird vermieden, dass Best Effort VoIP-Pakete verdrängen. Man beachte, dass in diesem Fall die Pakete (wie auch bei der Priorisierung) entsprechend ihrer Dienste markiert werden müssen, womit der wesentliche Vorteil des vereinfachten QoS-Management-Maßnahme verloren geht. Bei Paketpriorisierung werden die VoIP-Pakete und die Best Effort Pakete in verschiedenen Wartespeichern abgelegt und VoIP-Pakete entweder mit absoluter Priorität entnommen oder aber die Warteschlangen in fairer Weise vom Prozessor bedient (WFQ).

Durch Priorisierung wird eine indirekte oder virtuelle Separierung der Verkehre vorgenommen, da die Pakete aus Diensten niedrigerer Priorität nur bearbeitet werden, wenn aus Diensten höherer Priorität keine Pakete zu warten haben. Wie in der Einleitung zu diesem Anhang gezeigt, kann ein Betreiber diese Priorisierung durch einfache Maßnahmen sowohl auf der ATM oder Ethernet Schicht im BAN als auch unter der IP-Schicht im Core Netz für bis zu vier Klassen vornehmen. Damit existiert aus technischer Sicht ein Rahmen, der auf eine Ende-zu-Ende-Verbindung nahtlos über die verschiedenen Netzteile eingesetzt werden könnte.

Um den Effekt der verschiedenen QoS-Management-Maßnahmen vergleichend zu untersuchen, wird ein Verkehrsszenario, vergleichbar mit dem aus Abschnitt 5.3 konstruiert, welches eine STM-4 Leitungsgruppe mit ca. 74% auslastet⁸¹. Dazu werden

⁸¹ Aus aktueller Sicht ist dies ein realistisches Szenario, da die meisten ISP/ITP ihre Kapazitäten nur bis zu 75% auslasten, um auf das derzeit noch schnelle Wachstum im IP-Verkehr kurzfristig reagieren zu können. Die Annahme von einer gleichen Menge für Best Effort - und VoIP-Nutzer trägt der mittelfristigen Perspektive Rechnung, dass alle über ADSL angeschlossenen Privatkunden auch VoIP-Verkehr

- 4000 aktive Best Effort Verkehrsquellen
- 4000 aktive VoIP-Verkehrsquellen
- 1000 aktive Verkehrsquellen aus VPN Diensten und
- 1 (immer) aktive Verkehrsquelle für interne OAM Pakete

angenommen, deren Verkehr gemeinsam über die Kapazitäten der STM-4 Leitungsgruppe abgewickelt wird. Tabelle A.I.4 zeigt die charakteristischen Parameter- und Verkehrswerte die von diesen vier Diensten i.a. angenommen werden

Tabelle A.I.4 Charakteristische Werte⁸² für ein Verkehrsszenario über eine STM-4 Leitungsgruppe bei Integration von Verkehren aus OAM, VPN, VoIP und Best Effort

Dienstklasse	Anzahl der Nutzer	Gleichzeitigkeit HLP	Paketrate/user [1/s]	E(L) [oct]	σ (L) [oct]	E(Ts) [micros]
OAM	1	1	10	50	0	0,668
VPN	200	0,9	125	1000	1000	13,355
VoIP (G.711)	4000	0,1	50	206	0	2,751
Best Effort	4000	0,2	50	1000	10000	13,355

Man beachte, dass in diesem Fall die statistische Verteilung der Paketlänge für die verschiedenen Dienste mit unterschiedlichen Streuwerten modelliert wurden, um nach Möglichkeit die realen Bedingungen abzubilden (allerdings mit der Einschränkung, dass das Model einer vereinfachten mathematischen Analyse zugänglich bleibt⁸³). Hierzu wurde ein für den Fall einer gemeinsamen Führung der Pakete und für den Fall einer festen Trennung in Tunneln ein M/G/1 Model gewählt und für den Fall der Priorisierung vier durch ein „Non Preemptive Prioritäts Modell verkettete M/G/1 Warteschlangenmodelle⁸⁴. Am Lehrstuhl von einem der Autoren werden derzeit Simulationsstudien durchgeführt um Genauigkeit des gewählten Models unter realen Netzbedingungen zu untersuchen.⁸⁵

generieren werden. Die Annahme von 20% Geschäftskunden mit VPN-Verbindungen ist derzeit sicher noch eine Obergrenze, dürfte aber langfristig realistisch sein.

⁸² E(L) beschreibt die mittlere Paketlänge und σ (L) deren Streuwert.

⁸³ D.h. es wurde weiterhin ein Poisson Ankunftsstrom für alle Verkehre angenommen.

⁸⁴ Im Non Preemptive Prioritätsmodell wird ein Paket niedriger Priorität, welches sich im Server befindet weiter verarbeitet, auch wenn zwischenzeitlich ein Paket höher Priorität eintrifft, vergleiche [Akim-199], pag.80 ff.

⁸⁵ Man beachte, dass in der Realität das Warteschlagen- Modell für VoIP mit VAD auf der Ethernetebene durch ein G/D/1 Modell abgebildet wird, wobei G durch einen „Interrupted Poisson Prozess IPP“ modelliert werden kann. Für Best Effort Pakete gilt in der Ethernetebene ebenfalls ein G/D/1 Model mit vergleichbarer Charakteristik wie bei VoIP. Allerdings beschreibt das von uns verwendete M/G/1 Modell auf der Anwenderschicht eine brauchbare Näherung.

Auf dieser Grundlage ergeben sich für das gewählte Verkehrsszenario die Tabelle A.I.5 dargestellten Gesamtverzögerung auf einer STM-4 Leitungsgruppe.

Tabelle A.I.5 Laufzeitverzögerungen auf einer STM-4 Leitungsgruppe unter verschiedenen QoS-Management-Techniken

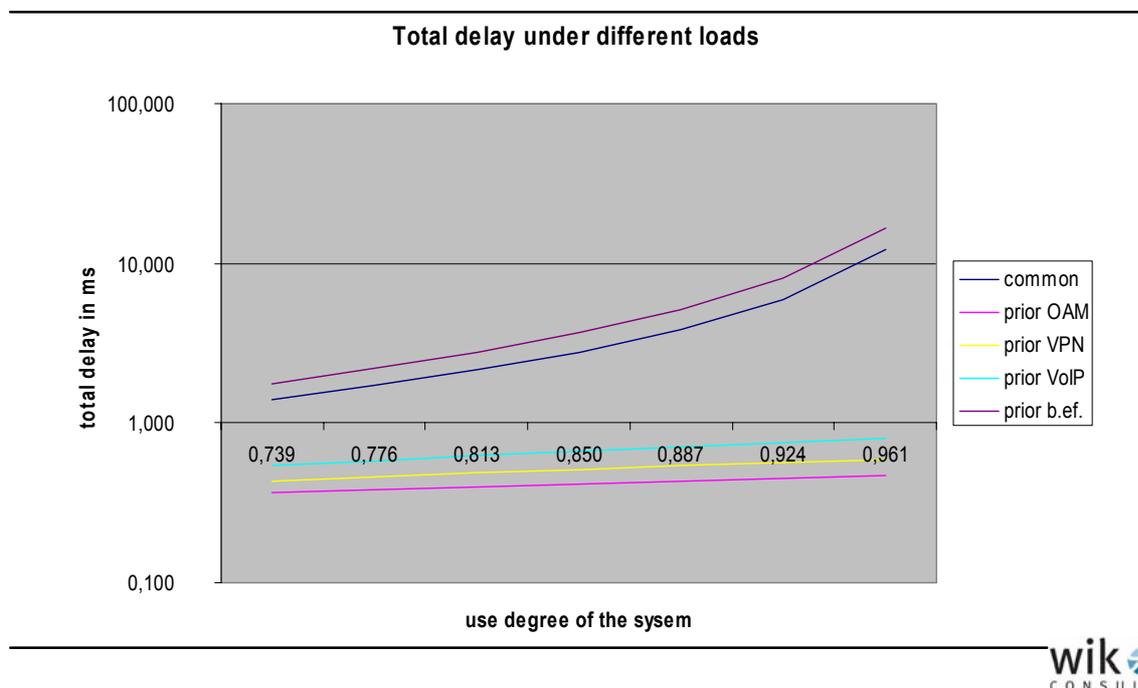
Name of Service	Over-Engineering		Priority Queuing		Separate Tunnel	
	tw	τ	tw	τ	tw	τ
	μs				μs	
OAM	1389,46	1398,43	362,85	363,52	10844,45	47817,27
VPN			427,01	433,68	233,19	266,05
VoIP			537,29	540,04	52,47	89,44
Best Effort			1752,36	1765,71	2649,74	2668,22

Insgesamt wird durch das gewählte Verkehrsszenario eine mittlere Auslastung der Kapazitäten der STM-4 Leitungsgruppe von 74% erreicht, was den Auslastungsgraden, die derzeit ISP realisieren, entspricht. Es zeigt sich, dass die mittlere Laufzeitverzögerung im Falle einer gemeinsamen Verkehrsführung zu Laufzeitverzögerungen unterhalb von 1,5 ms führt, was eine problemlose Integration von VoIP gestattet⁸⁶ (allerdings unter Inkaufnahme aller im letzten Abschnitt erwähnten Probleme). Priorisierung und separate Tunnel führen zu verminderten Laufzeitverzögerungen für alle Dienste oberhalb von Best Effort wobei sich zeigt, dass Priorisierung nicht zu einer wesentlichen Verschlechterung in der Laufzeit von Best Effort Dienste führt.

Um den Effekt von Überlast zu untersuchen, wurde bei Anwendung des gleichen Szenarios die Anzahl der Nutzer aus den verschiedenen Diensten proportional erhöht, um eine vergrößerte Kapazitätsauslastung der STM-4 Leitungsgruppe zu modellieren. Das Ergebnis zeigt Abbildung A.I.4, in der die Laufzeitverzögerung für die verschiedenen QoS-Management-Techniken in Abhängigkeit der Systemauslastung dargestellt sind. Auch hier zeigt sich die Überlegenheit der Priorisierung gegenüber einer gemeinsamen Führung. Es zeigt sich auch, dass selbst bei hoher Auslastung von 95% die VoIP-Laufzeiten unter Priorisierung eine gute Sprachqualität gestatten, ohne dass der Best Effort-Verkehr in seinem Verhalten merkbar gestört wird.

⁸⁶ Unter der Annahme, dass eine Ende-zu-Ende-Verbindung nicht mehr als 10 Abschnitte umfasst ergebe sich auf der Netzseite näherungsweise eine Gesamtlaufzeitverzögerung von unterhalb 15 ms, d.h. für die Kodierung, Dekodierung und Jitterausgleich in den Endgeräten bleiben 85 ms unter der Annahme, dass der ISP einer Ende-zu-Ende-Laufzeit von unterhalb 100 ms einhalten will.

Abbildung A.I.4 Vergleich der Laufzeitverzögerung bei gemeinsamer Verkehrsführung mit und ohne Priorisierung in Abhängigkeit von der Systemauslastung



Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass Priorisierung einen guten Kompromiss zwischen QoS-Absicherung und QoS-Management-Aufwand ergibt und das Überdimensionierung als Übergangslösung die kurzfristige Einführung von VoIP-Diensten derzeit ermöglicht⁸⁷.

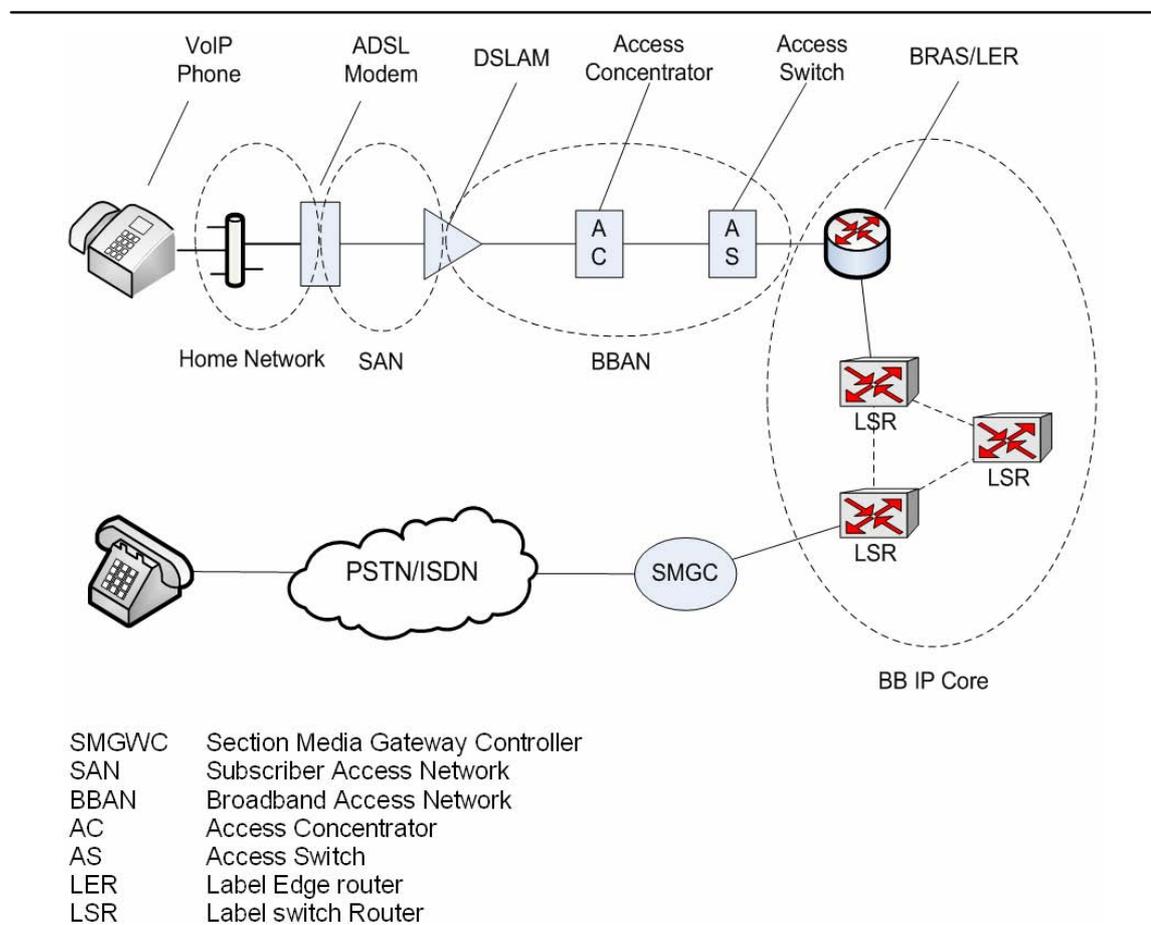
A.I.4 Einfluss der QoS-Management-Techniken auf eine Ende-zu-Ende Verbindung

Für Real Time Dienste reicht es nicht aus, die Laufzeitverzögerung innerhalb eines Systems zu betrachten. Vielmehr ist die Kette aller Wartesysteme zu untersuchen, die sich aus einer zugehörigen Ende-zu-Ende-Verbindung zwischen zwei Nutzern ergibt. Der in der QoS-Definition von VoIP angestrebte Wert für die mittlere Laufzeit ist dann in sinnvoller Weise über die verschiedenen Elemente der Verbindung zu verteilen und vom Betreiber ist eine entsprechende Netzdimensionierung für jedes Netzelement unter Berücksichtigung der angewendeten QoS-Managementtechnik durchzuführen wie im letzten Abschnitt gezeigt. Dies dürfte innerhalb des Netzes eines Betreibers zu leisten sein,

⁸⁷ Übergangslösung in dem Sinne solange ein abgestimmtes Schema der Priorisierung zwischen den verschiedenen Betreibern nicht existiert.

erfordert aber bei Zusammenschaltung mehrerer Netze eine hohes Ausmaß an Koordination. Es wird in Abbildung A.I.5 eine VoIP-Ende-zu-Ende-Verbindung gezeigt, die zwischen einem VoIP-Telefon mit ADSL Anschluss zu einem traditionellem Telefon am PSTN führt.

Abbildung A.I.5 Darstellung der Netzelemente auf einer Ende-zu-Ende-Verbindung zwischen eine VoIP- und einem PSTN-Telefon



Das zu verteilende Laufzeitverzögerungsbudget, das über die Netzelemente der verschiedenen Netzteile verteilt werden kann, hängt von der gewünschten Sprachqualität und der sich daraus ergebenden Laufzeitverzögerung in den Endgeräten für die Kodierung, Dekodierung und den Jitterausgleich ab. Für eine erste Überschlagrechnung wird eine mittlere Ende-zu-Ende-Laufzeitverzögerung von 120ms angenommen und für die Kodierung, Dekodierung 30ms sowie für den Jitter-Ausgleich weitere 30ms⁸⁸. Es ver-

⁸⁸ Dieser Wert gilt für G.729, vergleiche [Nöll-2005] Seite 50.

bleibt also ein Budget von 60ms, das über die Netzteile und dort über die entsprechenden Elemente verteilt werden kann. Im Beispiel von Abbildung A.I.5 ist dazu die Verbindung vom DSLAM bis zum SMGWC zu betrachten, da das PSTN- und die ADSL-Anschlussleitung nicht wesentlich zur Laufzeitverzögerung beitragen. Aus den Netzelementen dieser Abbildung ergibt sich, dass auf diesem Wege sechs Leitungsgruppen und sechs Netzprozessoren in den ATM bzw. IP-Routereinrichtungen zu durchlaufen sind. Unter der realistischen Annahme, dass der Mittelwert der eingesetzten Leitungsgruppen STM-4 beträgt und die Warte- und Verarbeitungszeiten in den Prozessoren und Routern vergleichbare Verarbeitungsgeschwindigkeiten haben, ergibt sich in erster Näherung eine Laufzeitverzögerung über die ganze Verbindung mit den Ergebnissen aus Abschnitt A.I.3 von unterhalb $12 \cdot 1,5\text{ms}$ im Falle einer gemeinsamen Verkehrsführung und solange der Auslastungsgrad der Systeme unterhalb von 75% gehalten werden kann⁸⁹. Damit ergeben sich weitere Spielräume für die Schwankungen durch kurzfristige Überlast, die z.B. dem Jitterbuffer im VoIP-Telefon bzw. dem SMGWC „zur Verfügung gestellt“ werden kann. Beim Einsatz von Priorisierung der VoIP-Pakete gegenüber den Best Effort Paketen ergeben sich wesentlich kürzere Laufzeiten im Bereich von unterhalb $12 \cdot 1\text{ms}$ selbst im Falle von kurzfristigen Lastspitzen durch Best Effort Verkehrs, vergleiche Abbildung A.I.4. Allerdings zeigt sich auch, dass im Falle kurzfristiger Lastspitzen, die gleichzeitig in allen beteiligten Systemen auftreten, die Laufzeitverzögerung ohne Priorisierung zu kritischen Werten führen kann⁹⁰.

Diese Betrachtungen zeigen, dass für Dienste mit garantierten QoS-Parameterwerten über eine Verbindung mehrerer Netze eine entsprechende Koordinierung und Abstimmung sowie deren Kontrolle durch entsprechende Messungen erforderlich macht. Dies ist zwischen Netzen konkurrierender Betreiber nicht unproblematisch. Da sich bei der Laufzeitverteilung Reserven ergeben, kann ein Betreiber eines kleinen Netzes seine Laufzeitwerte erhöhen und damit seine Einrichtungen besser ausnutzen. Dieser Trittbrettfahrer-Effekt wurde schon im Gutachten von Vogelsang angeschnitten, da sich die QoS-Werte als Summe aus den Einzelwerten ergeben. Umgekehrt zeigt sich auch, dass Betreiber, die nicht die volle Verbindung betreiben, vor allem auf QoS-basierte Breitbanddienste im BAN und u.U. auch im IP-Core-Netz eines anderen Betreibers angewiesen sind

⁸⁹ Man beachte, dass die hier vorgenommene Summierung der Laufzeiten streng genommen nur gilt, wenn die Paketankunftsströme eine Poisson Verteilung und die Paketlänge eine geometrische Verteilung beschreiben.

⁹⁰ Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit einer gleichzeitigen Überlast in allen Systemen sehr kleine Werte annimmt, so dass aus statistischer Sicht bei ausreichender Kapazitätsreserve auch ohne QoS-Techniken derzeit VoIP mit ausreichender Sprachqualität übertragen werden kann.

All FRAGEBOGEN zur Realisierung von Sprache in IP-basierten Netzen

UC / wik-Consult • Fragebogen

Fragebogen zur Realisierung von Sprache in IP basierten Netzen

Autoren:
K.-D. Hackbarth, UC
G. Kulenkampff, wik-Consult

Santander, Bad Honnef, 26.11.2005

Einleitung

Dieser Fragebogen hat das Ziel, die Realisierung von VoIP in derzeitigen Betreiber-netzen zu untersuchen. Er richtet sich sowohl an VoIP Anbieter als auch an Betreiber, die VoIP Dienste sowohl für ihre eigene Dienstplattform als auch für andere transportieren.

Mit der Beantwortung dieses Fragebogens wird ein wichtiger Input für das Gutachten "Technische Aspekte der Zusammenschaltung in IP-basierten Netzen" geliefert. Dieses von der Bundesnetzagentur in Auftrag gegebene Gutachten wird im Rahmen der Tätigkeit der beratenden Projektgruppe „Rahmenbedingungen der Zusammenschaltung in IP-basierten Netzen“ erstellt.

Wir verstehen unter VoIP Diensten sowohl den Aufbau als auch den Transport von Sprachdiensten in einer Ende-zu Ende Verbindung in der wenigstens ein Netzteil innerhalb der Verbindung durch ein IP basiertes Netz erfolgt. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit bedeutet dies, das VoIP im Sinne dieses Fragenbogens durch die Realisierung wenigstens eines der folgenden Dienste definiert wird:

- i. Verbindung aus einem Ursprungs PSTN/ISDN zu einem Ziel PSTN/ISDN, die durch ein oder mehrere IP basierte Netze verbunden sind
- ii. Verbindung zwischen zwei VoIP Endgeräten innerhalb eines oder über mehrere IP basierte Netze
- iii. Verbindung zwischen zwei VoIP Endgeräten über die Kapazitäten des öffentlichen Internet
- iv. Verbindungen zwischen einem VoIP Endgerät und einem Endgerät im PSTN/ISDN bzw. einem Mobilfunktelefon

Wir bitten Sie den Fragebogen auszufüllen. Sofern möglich, sollte dies elektronisch in Microsoft Word erfolgen.

Sofern Ihre Angaben Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse beinhalten, kennzeichnen Sie diese bitte. Diese werden vertraulich behandelt.

Im gesamten Dokument werden folgende Platzhalter verwendet:

Dieser Textplatzhalter bietet Ihnen die Möglichkeit alternative Vorschläge zur formulieren. Sie können unbegrenzt Fließtext (Zeichen) einfügen. Bitte verwenden Sie kein Absatzzeichen innerhalb dieses Feldes.

Den Kästchen-Platzhalter kann über die Leertaste aktiviert werden oder kreuzen Sie es einfach an.

Mit der TABULATOR-, BILDAUF- und BILDAB-TASTE und den Pfeiltasten (Richtungstasten), können Sie von Feld zu Feld springen. Sollten Sie eine Maus verwenden, so können Sie schneller durch die Seiten durchlaufen.

Bei **Fragen** wenden Sie sich bitte an:

Name: K.-D. Hackbarth, Universidad de Cantabria, Spanien
E-Mail: klaus.hackbarth@unican.es;
Tel.: +34 942 201494
Fax: +34 942 201488

Bitte senden Sie den **ausgefüllten Fragebogen** per E-Mail bis zum **15.12.2005** an klaus.hackbarth@unican.es.

**Wir möchten uns im Voraus für Ihre Zusammenarbeit bedanken
und die damit investierte Zeit und Bereitschaft, diesen
Fragebogen auszufüllen!**

Bitte geben Sie Ihre Kontaktdaten an:Name - Netzbetreiber:

Kontaktperson:

Anschrift:

Tel.:

Fax:

E-Mail:

1 Bieten Sie Sprachtelefonie auf Basis des PSTN an?

Als Verbindungsnetzbetreiber Als Teilnehmernetzbetreiber Nein

Es existieren Zusammenschaltungspunkte mit dem Netz der T-Com

Bieten Sie VoIP Dienste an?

ja nein

Wenn ja, welche?

I) Kundenspektrum

a) Wholesale b) Business c) Residential

II) Verbindungstype:

In den nachfolgenden Verbindungstypen wird unter PSTN Originierung bzw. PSTN Terminierung die Originierung bzw. Terminierung von einem E.164 adressierten Sprachendgerät verstanden. Der IP Zugang dagegen basiert auf einer externen IP Adresse, die sich typischerweise durch Auflösung einer SIP Adresse ergibt. Die von Ihnen erbrachte Realisierung von VoIP bezieht sich auf den Netzabschnitt der Verbindung, der durch ein IP basiertes Netz bzw. durch die Kapazitäten des öffentlichen Internet realisiert ist.

a)	Wholesale Service für IP Tunnel, um Verbindungskosten auf langen nationalen oder internationalen Sprachverbindungen zu realisieren	<input type="checkbox"/>
b)	Endkundendienst, bei dem der Endkunde keine E.164 Nummer benötigt, d.h. normalerweise ein E.164 Telefon parallel betreibt	<input type="checkbox"/>
c)	In Kombination mit b) Endkundendienst, bei dem der Kunde sein PSTN Telefon nicht mehr unterhalten muss (z.B. Vonage) und auf seinem VoIP Telefon mittels E.164 Nummer angerufen werden kann	<input type="checkbox"/>
d)	Endkunden und Wholesale Dienste, bei denen Sprachdienste z.B. zwischen IP-PBX mit QoS Garantie angeboten werden können (z.B. Vonage)	<input type="checkbox"/>
e)	Wie d), aber die Tunnellung der Sprachdienste für QoS Garantie findet netzübergreifend statt	<input type="checkbox"/>
f)	Wie d), aber es können beliebige IP Telefone über die IP Adresse im Zusammenhang mit SIP erreicht werden, allerdings ohne QoS in dem Verbindungsabschnitt außerhalb der IP Domain (z. B. Vonage)	<input type="checkbox"/>
g)	Typischer VoIP Anbieter ohne eigene Transportinfrastruktur (Skype)	<input type="checkbox"/>

III) VoIP Qualitätsangebot

Welche der folgenden Qualitätslevels bieten Sie für VoIP Dienste an?

a) Im eigenen Netz

i.	Tool Qualität (vergleichbar mit PSTN)	<input type="checkbox"/>
ii.	Akzeptable Qualität (vergleich mit GSM)	<input type="checkbox"/>
iii.	Ohne feste Qualitätsgarantie aber mit akzeptabler Qualität aus statistischer Sicht	<input type="checkbox"/>
iv.	Ohne jede Qualitätsgarantie	<input type="checkbox"/>

b) Netzübergreifend mit ausgewählten Kooperationspartnern

i.	Tool Qualität (vergleichbar mit PSTN)	<input type="checkbox"/>
ii.	Akzeptable Qualität (vergleich mit GSM)	<input type="checkbox"/>
iii.	Ohne feste Qualitätsgarantie aber mit akzeptabler Qualität aus statistischer Sicht	<input type="checkbox"/>
iv.	Ohne jede Qualitätsgarantie	<input type="checkbox"/>

2 Transport Netzinfrastruktur

I) Zugangsnetz zu VoIP Diensten

Über welche Netzanschluss bieten Sie VoIP Dienste an?

PSTN <input type="checkbox"/>	ISDN-BA <input type="checkbox"/>	ISDB-PA <input type="checkbox"/>	
ADSL <input type="checkbox"/>	SDSL <input type="checkbox"/>	FR-ATM <input type="checkbox"/>	IP Direktanschluss <input type="checkbox"/>
Andere (bitte spezifizieren) _____			<input type="checkbox"/>

II) Konzentratornetz

Auf welcher Infrastruktur im Konzentratornetz stützen Sie Ihr VoIP Angebot ab?

a) Eigenes Konzentratornetz auf der Basis von digitalen Mietleitungen und eigenen Einrichtungen mit:

i) ATM Technology

ii) Ethernet Technology

und physikalischen Verbindungen auf der Basis von

digitalen Mietleitungen der Geschwindigkeit			
E1 <input type="checkbox"/>	E3 <input type="checkbox"/>	STM-1 <input type="checkbox"/>	STM-4 <input type="checkbox"/>
Andere (bitte spezifizieren) _____			<input type="checkbox"/>

b) Kein eigenes Konzentratornetz und Zugang zum Kernnetz basierend auf angemieteten Tunneln

i. mit Bandbreiten- und Laufzeitgarantie	<input type="checkbox"/>
ii. mit Bandbreitengarantie	<input type="checkbox"/>
iii. ohne Garantie	<input type="checkbox"/>

Mittelwert der Kapazität der Tunnel von _____ Mbit/s

III) IP Backbone Netz (Kernnetz)

Auf welcher Infrastruktur im Kern-Netz stützen Sie Ihr VoIP Angebot ab?

III.1) Eigenes Kernnetz basierend auf eigenen Routern in Form

a) Logische Ebene

- i. eines flachen Netzes mit ca. _____ Standorten
- ii. eines hierarchischen Netzes in zwei Ebenen mit ca. _____ Standorten der unteren Hierarchie und _____ Standorten der oberen Hierarchie

b) Physikalische Ebene

i. Digitalen Mietleitungen der Geschwindigkeit

E1 E3 STM-1 STM-4 STM-16 optisch mit
2,5 Gbit/s

ii. **Andere** (bitte spezifizieren) _____

III.2) Angemietete MPLS Tunnels bis zum eigenem PoP

- | | |
|--|--------------------------|
| i. mit Bandbreiten- und Laufzeitgarantie | <input type="checkbox"/> |
| ii. mit Bandbreitengarantie | <input type="checkbox"/> |
| iii. ohne Garantie | <input type="checkbox"/> |

Mittelwert der Kapazität der Tunnel von _____ Mbit/s

3 Infrastruktur Signalisierung und OAM

Die Funktionen für die Kontrolle der VoIP Verbindungen (Zugang, Verbindungsaufbau -abbau, Abrechnung, Teilnehmer-Registrierung) werden implementiert:

- a. in zentralen Einrichtungen an _____ Standorten
- b. verteilt über den Endeinrichtungen (Softtelefone, SIP-Telefon etc.) und zentralen Einrichtungen an _____ Standorten

4 Zusammenschaltung für VoIP

1) Ihre IP Domains mit IP Domain eines Kooperationspartners

Nur abgehender Verkehr nur ankommender Verkehr beide Richtungen

a) Einrichtungen

i.	Session Border Control Gateways SBCG	<input type="checkbox"/>
ii.	Border Router	<input type="checkbox"/>
iii.	Andere (bitte spezifizieren) _____	<input type="checkbox"/>

b) Verbindung

i. Privat peering (bill and keep) ii. Transit peering iii. IXP (NAP)

c) Anzahl der Zusammenschaltungspunkte _____

Keine Kooperationspartner vorgesehen

II) Ihre IP Domains mit beliebiger anderer IP Domain

Nur abgehender Verkehr nur ankommender Verkehr beide Richtungen

a) Einrichtungen

i.	Session Border Control Gateways SBCG	<input type="checkbox"/>
ii.	Border Router	<input type="checkbox"/>
iii.	Andere (bitte spezifizieren) _____	<input type="checkbox"/>

b) Verbindung

i. Privat peering (bill and keep) ii. Transit peering iii. IXP (NAP)

Anzahl der Zusammenschaltungspunkte _____

III) Ihre IP Domains mit PSTN eines Kooperationspartner

Nur abgehender Verkehr nur ankommender Verkehr beide Richtungen

a) Einrichtungen

i.	Session Border Control Gateways SBCG	<input type="checkbox"/>
ii.	Andere (bitte spezifizieren) _____	<input type="checkbox"/>

b) Abrechnung der Verbindung

i. bill and keep ii. call termination cost

c) Lage der Zusammenschaltungspunkte in der Netzhierarchie

i.	An zentralen Netzknoten (z.B. Standorten der Softswitches)	<input type="checkbox"/>
ii.	An Netzknoten der Netzausläufer (z.B. Standorten der BRAS)	<input type="checkbox"/>
iii.	Anzahl der Zusammenschaltungspunkte	<input type="checkbox"/>
iv.	Keine Zusammenschaltung mit einem PSTN Kooperationspartner vorgesehen	<input type="checkbox"/>

IV) Ihre IP Domains mit beliebigen PSTN

Nur abgehender Verkehr nur ankommender Verkehr beide Richtungen

a) Einrichtungen

i. Session Border Control Gateways SBCG	<input type="checkbox"/>
ii. Andere (bitte spezifizieren) _____	<input type="checkbox"/>

b) Abrechnung der Verbindung

i. bill and keep ii. call termination cost

c) Lage der Zusammenschaltungspunkte in der Netzhierarchie

i. An zentralen Netzknoten (z.B. Standorten der Softswitches)	<input type="checkbox"/>
ii. An Netzknoten der Netzausläufer (z.B. Standorten der BRAS)	<input type="checkbox"/>
iii. Anzahl der Zusammenschaltungspunkte	<input type="checkbox"/>
iv. Keine Zusammenschaltung vorgesehen	<input type="checkbox"/>

V) Bei Zusammenschaltung mit dem PSTN/ISDN

a) Wie realisieren Sie die Rufnummernumsetzung ?

i. Mittels ENUM	<input type="checkbox"/>
ii. Anders (bitte spezifizieren) _____	<input type="checkbox"/>

b) Auf welcher Ebene schalten Sie sich mit dem PSTN zusammen?

- i. für Terminierung im eigenen Netz
 - Lokal regional transit
- ii. für Terminierung im fremden Netz
 - Lokal regional transit

5 Zuverlässigkeit des VoIP Dienstes

Ist die Zuverlässigkeit Ihres VoIP Dienstes mit der Dienstzuverlässigkeit des PSTN vergleichbar?

ja nein

Wenn ja :

Welche der folgenden Maßnahmen sehen Sie zur Erhöhung der Zuverlässigkeit vor:?

i.	Doppelung zentraler Einrichtungen und Lastverteilung	<input type="checkbox"/>
ii.	Aktive Stand-by Kapazitäten	<input type="checkbox"/>
iii.	Passive Stand-by Kapazitäten	<input type="checkbox"/>
iv.	Andere (bitte spezifizieren) _____	<input type="checkbox"/>

6 Sicherheit und Schutz der Privatsphäre der Verbindungen

Sehen Sie besondere Einrichtungen zum Schutz der Verbindungen gegen Mithören, Umleiten, Störung, Verfälschung der Information etc. vor?

ja nein

Wenn ja :

Welche der folgenden Maßnahmen sehen Sie zur Erhöhung der Sicherheit vor?

a) Signalisierung

Sicherheitsprotokoll auf einer OSI Schicht z.B. IPsec Tunnel auf der Schicht 3 SIPS bzw. S/MIME auf der Anwenderschicht

Schicht Nummer _____

Protokolltype _____

b) Transport der Nutzinformation

Sicherheitsprotokoll auf einer OSI Schicht z.B. IPsec Tunnel auf der Schicht 3, SRTP auf der Transportschicht

Schicht Nummer _____

Protokolltype _____

c) In den Gateways zu anderen Netzen

i.	Session Border Control Gateways	<input type="checkbox"/>
ii.	Andere (bitte spezifizieren) _____	<input type="checkbox"/>

7 Massnahmen zur Einhaltung von QoS Parametern für VoIP

Welche Kombination der folgenden Maßnahmen wenden Sie an, um die QoS Parameter Ihrer VoIP Verbindungen zu kontrollieren?

a) Im Konzentratornetz

i.	Trennung der VoIP Verkehre von anderen Verkehren in separierten Tunneln	<input type="checkbox"/>
ii.	Priorisierung des VoIP Verkehrs	<input type="checkbox"/>
iii.	Überdimensionierung der Einrichtungen	<input type="checkbox"/>
iv.	Verbindungsannahme nur im Falle von noch ausreichend verfügbarer Kapazität (Call Connction Admission CCA)	<input type="checkbox"/>
v.	Andere (bitte spezifizieren) _____	<input type="checkbox"/>
vi.	Keine speziellen Maßnahmen	<input type="checkbox"/>

b) Im Falle der Trennung des VoIP Verkehrs in separierten Tunneln: An welchen Stellen sehen Sie eine Zusammenschaltung von VoIP an PSTN Netze vor?

i.	an ausgewählten Punkten des IP Kernnetzes	<input type="checkbox"/>
ii.	an den PoP des IP Kernnetzes	<input type="checkbox"/>
iii.	an der ersten Konzentrationsstufe des Konzentratornetzes	<input type="checkbox"/>
iv.	an den bisherigen regulierten Zusammenschaltungspunkten (474)	<input type="checkbox"/>
v.	an den DSLAM-Standorten	<input type="checkbox"/>
vi.	Anzahl der Zusammenschaltungspunkte	<input type="checkbox"/>
vii.	Sonstige Anmerkungen _____	<input type="checkbox"/>

- c) Sofern eine Separierung des VoIP Verkehrs erst im IP-Kernnetz erfolgt: Welche technischen Möglichkeiten bestehen, den Verkehr dennoch auf einer unteren Netzebene (DSLAM-Standort oder an einem oder mehreren der 474 EBC Standorte) an einen alternativen Netzbetreiber zu übergeben? Welche technischen Anforderungen wären mit der Realisierung einer solchen Verkehrsübergabe verbunden?

Bitte spezifizieren:

- d) Im IP Kernnetz

i.	Trennung der VoIP Verkehre von anderen Verkehren in separierten Tunneln (Reservierung)	<input type="checkbox"/>
ii.	Priorisierung des VoIP Verkehrs	<input type="checkbox"/>
iii.	Überdimensionierung der Einrichtungen	<input type="checkbox"/>
iv.	Schaffung zusätzlicher Wege durch höhere Vermaschung	<input type="checkbox"/>
v.	Verbindungsannahme nur im Falle von noch ausreichend verfügbarer Kapazität (Call Connection Admission CCA)	<input type="checkbox"/>
vi.	Dynamische Verkehrslenkung durch Aktualisierung der Routing-Tabellen entsprechend dem Auslastungsgrad der Netzkonten und Kanten	<input type="checkbox"/>
vii.	Andere netzstrukturelle Maßnahmen (bitte spezifizieren) _____	<input type="checkbox"/>
viii.	Keine speziellen Maßnahmen	<input type="checkbox"/>

- e) Bei Zusammenschaltung mit dem Netz eines Kooperationspartners

i.	Durch Abstimmung der Maßnahmen, wie in b) angeben, mit dem Netz des Kooperationspartners (bitte die jeweilige Maßnahme spezifizieren)	<input type="checkbox"/>
ii.	Durch Anpassung der eigenen Maßnahmen an die des Kooperationspartners	<input type="checkbox"/>
iii.	Keine Abstimmung oder Umsetzung vorgesehen	<input type="checkbox"/>

8 Leistungsmerkmale für VoIP Dienste aus dem PSTN

a) Haben Sie für VoIP Nutzer Einrichtungen zum Absenden von Notrufen implementiert?

i.	Ja mit vergleichbaren Leistungsmerkmalen wie im PSTN	<input type="checkbox"/>
ii.	Ja mit reduzierten Leistungsmerkmalen vor allem für die Benutzeridentifizierung. Bitte Leistungsmerkmaleinschränkung benennen:	<input type="checkbox"/>
iii.	Nein	<input type="checkbox"/>

b) Gestatteten Sie die Weiterverwendung von traditionellen PSTN Telefonen für den VoIP Anschluss?

i.	Ja, mittels eines Mediaadapters, der beim Kunden installiert ist	<input type="checkbox"/>
ii.	Ja, mittels eines Mediaadapters, der im Access Gateway auf der Netzseite installiert ist	<input type="checkbox"/>
iii.	Ja, durch andere Maßnahmen (bitte spezifizieren)	<input type="checkbox"/>
iv.	Nein, nicht vorgesehen	<input type="checkbox"/>

c) Ist Ihr VoIP Dienst von der lokalen Stromversorgung unabhängig?

i.	Ja, Energieausfall wird durch Batterien im VoIP Telefon bzw. Media Adapter (bei Wiederverwendung von PSTN Telefonen) überbrückt	<input type="checkbox"/>
ii.	Ja, durch folgende Maßnahmen (bitte spezifizieren)	<input type="checkbox"/>
iii.	Nein	<input type="checkbox"/>

9 Welches waren Ihre wesentlichen Gründe zur Einführung von VoIP (mehrfach Antworten zulässig)

i.	Erweiterung des Dienstangebots in Richtung Sprachdienste (Produktinnovation)	<input type="checkbox"/>
ii.	Migration von angebotenen Sprachdiensten aus dem PSTN ins IP Netz	<input type="checkbox"/>
iii.	Integrationeffekte im Netz auf der Transportebene (Prozessinnovation)	<input type="checkbox"/>
iv.	Integrationeffekte im Netz auf der Netzverwaltungsebene (Prozessinnovation)	<input type="checkbox"/>

I1) ISP Betreiber ohne eigenes IP Netz:

Wie schätzen Sie die Kostenanteile zur Einführung von VoIP in Ihren Netzen ein?

a1) CAPEX (in Prozent zu den Gesamtkosten zur Einführung von VoIP)

i.	VoIP Infrastruktur (SIP Proxis etc.)	<input type="checkbox"/>
ii.	Indirekte Investitionen	<input type="checkbox"/>
iii.	Keine Angaben möglich	<input type="checkbox"/>

a2) CAPEX (in Prozent zu den Gesamtkosten ohne VoIP)

i.	Inkrementelle VoIP Kosten	<input type="checkbox"/>
ii.	Keine Angaben möglich	<input type="checkbox"/>

b) OPEX

i.	in % von CAPEX für VoIP	<input type="checkbox"/>
ii.	Keine Angabe möglich	<input type="checkbox"/>

I2) ISP Betreiber mit einem eigenem IP Netz

Wie schätzen Sie die Kostenanteile zur Einführung von VoIP in Ihren Netzen ein?

a1) CAPEX (in Prozent zu den Gesamtkosten zur Einführung von VoIP)

i.	Infrastruktur und Übertragungskosten	<input type="checkbox"/>
ii.	Kosten des logischen Netzes	<input type="checkbox"/>
iii.	Indirekte Investitionen	<input type="checkbox"/>
iv.	Keine Angaben möglich	<input type="checkbox"/>

a2) CAPEX (in Prozent zu den Gesamtnetzkosten ohne VoIP)

i. Inkrementelle VoIP Kosten	<input type="checkbox"/>
ii. Keine Angaben möglich	<input type="checkbox"/>

b) OPEX: relative Kostenveränderung pro übertragender Informationseinheit z.B. 1 MByte (in Bezug auf die gesamte Informationsmenge) für den Unterhalt des Netzes, bedingt durch die Einführung von VoIP

i. Sinkend	<input type="checkbox"/>
ii. Steigend	<input type="checkbox"/>
iii. Gleichbleibend	<input type="checkbox"/>
iv. Keine Angabe möglich	<input type="checkbox"/>

I3) PSTN Betreiber:

Wie schätzen Sie mittelfristig die Kosteneinsparung gegenüber dem PSTN bei Einführung von VoIP in Ihren Netzen ein (in % zu den Gesamtkosten der PSTN Realisierung)?

a) CAPEX

i. Infrastruktur und Übertragungskosten	<input type="checkbox"/>
ii. Kosten des logischen Netzes	<input type="checkbox"/>
iii. Indirekte Investitionen	<input type="checkbox"/>
iv. Inkrementelle VoIP Kosten	<input type="checkbox"/>
v. Keine Angaben möglich	<input type="checkbox"/>

b) OPEX

i. Sinkend	<input type="checkbox"/>
ii. Steigend	<input type="checkbox"/>
iii. Gleichbleibend	<input type="checkbox"/>
iv. Keine Angabe möglich	<input type="checkbox"/>

10 Differenzierte VoIP Dienste

Im Falle, dass Sie mehrere VoIP Dienste mit unterschiedlichen QoS Merkmalen anbieten:

Wie beurteilen Sie die Zusatzkosten zur Einrichtungen zum QoS Management für höherwertige VoIP Dienste in % zum VoIP Basisdienst ohne QoS Managementmaßnahmen?

	CAPEX	OPEX
i. Trennung der VoIP Verkehre von anderen Verkehren in separierten Tunneln		
ii. Priorisierung des VoIP Verkehrs		
iii. Überdimensionierung der Einrichtungen		
iv. Verbindungsannahme nur im Falle von noch ausreichend verfügbarer Kapazität (Call Connction Admission CCA)		
v. Andere (bitte spezifizieren)		
vi. Keine speziellen Maßnahmen	100%	100%

VIELEN DANK FÜR IHRE MÜHE!

A III Auswertung der Rückmeldungen zum Fragebogen zur Realisierung von Sprache in IP-basierten Netzen

A.III.1 Einleitung

Im Rahmen des Gutachtens wurde ein Fragebogen entworfen, vergleiche A II, mit dem bei Internet Dienstanietern und Netzbetreibern technische und wirtschaftliche Daten zur Realisierung von VoIP abgefragt werden. Dazu wurde der Fragebogen in zehn Punkte gegliedert.

Die in Tabelle A.III. 1 aufgeführten Betreiber haben den Fragebogen erhalten und beantwortet, die Tabelle enthält neben den Betreibernamen eine Einstufung nach technischen, geographischen und Gesichtspunkten sowie den Marktanteilen der Betreiber.

Tabelle A.III. 1 Liste der befragten Betreiber und ihre Kategorisierung

Betreiber	Geschäftsbereich nach Netzen	Geographische Penetratrimon	MARKTANTEILE ⁹¹
Deutsche Telekom AG	PSTN/ISDN, ITP	National	dominant
Arcor AG & Co KG	PSTN/ISDN, ITP	National	dominant
Freenet	ISP, ITP	National	
QSC AG	ISP, ITP	National	
Telefónica Deutschland GmbH	ITP, PSTN/ISDN	National	
Tropolys GmbH	ISP, ITP, PSTN/ISDN	Regional	

Dieser Anhang gliedert sich in drei Kapitel und zwar wie folgt. Im zweiten Kapitel werden die Ergebnisse zu jedem Abschnitt der Befragung zusammenfassend dargestellt und zwar in jeweils einem eigenen Unterkapitel für jeden der zehn Punkte des Fragebogens. Abschließend wird eine Zusammenfassung und Beurteilung der Ergebnisse vorgenommen. Im Anhang II ist der Fragebogen in seiner Originalform wiedergegeben.

⁹¹ Die Angaben in dieser Spalte stellen keine regulatorische Bewertung dar sondern sind nur im informellen Sinne zu verstehen

A.III.2 Auswertung der beantworteten Fragebögen

A.III.2.1 Fragenkomplex 1: Angebot von Sprachtelefonie

Alle befragten Betreiber bieten PSTN-Sprachtelefonie an, vier über ein eigenes TInAN und fünf über ein eigenes Verbindungsnetz. Allerdings verfügt nur die DTAG über ein flächendeckendes TInAN und Verbindungsnetz. Die anderen Betreiber verbinden ihre Netze mit dem der DTAG über entsprechende Zusammenschaltungspunkte. Die Mehrheit der alternativen Betreiber schaltet ihre Netze an den 474 sog. EBC Punkten mit dem der DTAG zusammen.

Alle befragten Betreiber bieten neben der PSTN-Sprachtelefonie auch VoIP-Dienste an, davon zwei als Reseller, vier für Geschäftskunden und fünf an Privatkunden.

Unter den verschiedenen Arten von VoIP-Diensten bieten/bietet

- zwei Betreiber Wholesale IP-Tunnel für den PSTN-Sprachtransport an, um lange PSTN-Verbindungen einzusparen
- vier Betreiber Endkundendienste an, bei dem der Endkunde keine E.164 Nummer benötigt, d.h. normalerweise ein E.164 PSTN-Telefon parallel betreibt
- fünf Betreiber Endkundendienste mit E.164 Nummer an
- vier Betreiber Endkunden und Wholesale Dienste mit QoS-Garantie innerhalb ihres Netzes
- keiner der Betreiber VoIP-Dienste mit netzübergreifender QoS-Garantie an
- ein Betreiber internetoffene Erreichbarkeit an
- ein Betreiber als ITP für einen reinen VoIP Service Provider ohne eigenem Netz Transportdienste an

Zusammenfassend ergibt sich aus den Ergebnissen des ersten Fragenkomplexes:

- Alle bedeutenden PSTN/ISDN Betreiber bieten ebenfalls VoIP-Dienste in unterschiedlichem Ausmaß an, davon zwei über das gesamte erfragte Kundenspektrum, die große Mehrheit an Endkunden und nur einer ausschließlich an Geschäftskunden. Zwei Betreiber limitieren ihr Angebot auf das Spektrum der Privatkunden.

- Fast alle Betreiber bieten VoIP-Sprachdienste basierend auf einer E.164 Nummer mit einer vergleichbaren Qualität wie im PSTN für die Verbindung im eigenem Netz an, mit denen das bisherige PSTN-Telefon ersetzt werden kann, mit Ausnahme eines Betreibers der weder E.164 Nummern noch QoS im eigenem Netz anbietet⁹²
- Ein netzübergreifendes QoS-Angebot für VoIP wird nicht angeboten

Eine erste Beurteilung ergibt:

Die Mehrheit der Netzbetreiber setzt für Sprachdienste den Schwerpunkt auf VoIP mit Ausnahme eines Betreibers, der weder eine minimale Sprachqualität garantiert, noch eine E.164 abrufbares VoIP-Telefon anbietet und damit VoIP nur als ergänzendes Billigangebot für Privatkunden betrachtet.

A.III.2.2 Fragenkomplex 2 und 3: Transport, Signalisierung und OAM

Alle Betreiber bieten VoIP über xDSL bzw. einen IP-Direkt-Anschluss an. Nur ein Betreiber erlaubt den Zugang über ATM/FR. fünf Betreiber, drei über ATM und zwei über Ethernet. Für den physikalischen Transport werden überwiegend STM-1 und STM-4 Systeme eingesetzt; zwei Betreiber verwenden daneben auch Systeme der PDH (E1 und E3). Vier Betreiber setzten auch angemietete Tunnel ohne QoS-Garantie ein, offensichtlich um die eingegrenzte geographische Erstreckung zu überbrücken. Ein Betreiber gibt an, zusätzlich auch QoS-Tunnel mit Bandbreitengarantie und Laufzeitbegrenzung zu verwenden. Dies steht in Zusammenhang mit dem Fragenkomplex 1 und 10, in dem dieser Betreiber als einziger VoIP mit hoher Qualität über separierte Tunnel einsetzt, offensichtlich für Geschäftskunden.

Im Kernnetz wird von fünf Betreibern ein hierarchisches Kernnetz implementiert mit einer Anzahl von Standorten von 10 bis 74. Die Relation zwischen Standorten der unteren Ebene und Standorten der oberen Ebene beträgt in etwa 1:5⁹³. Interessanterweise erklärt ein Betreiber, ein nichthierarchisches (flaches) Kernnetz zu implementieren.⁹⁴

⁹² Dies ist scheinbar widersprüchlich zu der Aussage, dass nur vier Betreiber QoS-Garantie abgeben, wie später gezeigt, stellt ein Betreiber PSTN-Sprachqualität durch Überdimensionierung seines Netzes sicher.

⁹³ Mit Ausnahme eines Betreibers, welcher bei 10 Standorten 3 obere Standorte einrichtet (das erklärt sich daraus, dass drei Standorte die minimale Anzahl von Knoten ist, um im oberen Kernnetzteil eine physikalische Ringtopologie zu implementieren).

⁹⁴ Der Vorteil eines flachen Netzes ergibt sich aus der größeren Flexibilität für das Routing vor allem wenn die entsprechenden Routingtabellen z.B. des OSPF dynamisch aktualisiert werden. Als Nachteil resultiert eine schlechtere Bandbreitenkonzentration, wodurch z.B. optisches Routing erst bei sehr hohen Verkehrszuwächsen wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Dagegen ergeben sich in einem hierarchischen Netz auf den „Letztwegen hohe Verkehrskonzentrationen, vor allem wenn nur wenige Querwegen eingerichtet werden. Damit werden für die meisten Verkehrsbeziehungen stabile statistische Wegetabellen erreicht, die z.B. ein optischen Routing auf der Basis von Wellenlängen (λ routing) begünstigen.

Auf physikalischer Ebene werden von der Mehrheit der Betreiber STM-1 bis-STM-16 bzw. optische OC48 Systeme eingesetzt. Zwei Betreiber verwenden noch E1-E3 Signale, offensichtlich in Netzausläufern. Ein Betreiber gibt an auch 10Gbps optische Systeme (OC192) einzusetzen und zwei Betreiber verwenden auch Gigabit-Ethernet bzw. 10Gigabit-Ethernet.

Funktionen der Signalisierung und OAM werden von vier Betreibern an zentralen Standorten vorgenommen, die in der Regel gedoppelt sind. Ein Betreiber gibt an, ein dezentrales Konzept einzusetzen, dessen Anzahl bei wachsendem Bedarf erweitert werden soll.

Zusammenfassend ergibt sich aus dem zweiten und dritten Fragekomplex:

- Alle Betreiber bieten VoIP sowohl über xDSL als auch in Form eines IP-Direktanschlusses an.
- Fast alle (fünf) Betreiber implementieren ein eigenes BB-Zugangsnetz, allerdings vier davon nicht mit voller geographischer Erstreckung. Das eigene Netz wird von diesen Betreibern durch angemietete Tunnel ohne Bandbreiten- und QoS-Parametergarantie ergänzt.
- Die Mehrheit der Betreiber setzt ein hierarchisches Netz ein, mit einer Standortzahl entsprechend ihrer Markt- und geographischen Penetration zwischen 10-74 und mit ca. 20% Standorten in der oberen Ebene.
- Die Signalisierung wird überwiegend zentral vorgenommen.

Eine erste Beurteilung ergibt:

- Neben der DTAG investieren auch alternative Betreiber in ein BAN, allerdings mit deutlich geringerer geografischer Erstreckung.
- Betreiber, die ihr IP-Netz in Richtung des NGI-Konzeptes entwickeln, bilden mehrheitlich die Signalisierungs- und OAM-Funktionen wie im NGN zentral ab, nur ein ISP gab an, eine verteilte Aufteilung anzustreben.

A.III.2.3 Fragenkomplex 4: Zusammenschaltung von VoIP

Ein Betreiber hat in diesem Fragenkomplex keinerlei Angaben gemacht, die nachfolgenden Zahlenangaben beziehen sich daher immer auf die verbleibenden fünf Betreiber.

Im Fragenkomplex zur Zusammenschaltung von VoIP-Diensten zwischen zwei IP-Netzen von kooperierenden ISP wird von vier Betreibern angegeben, dies vorzunehm-

men. Drei von diesen vier Betreibern setzen dabei SBGWC ein. Zwei Betreiber gaben an, dass sie auch private Peering verwenden und ein Betreiber gestattet VoIP auch über Transit Peering und NAPs. Zusammenschaltung von VoIP mit einem sonstigen IP-Netz wird nur von einem Betreiber vorgesehen und zwar ebenfalls über SBGWC. Ein Betreiber gibt an, keinerlei Zusammenschaltung zwischen IP-Netzen vorzusehen.

Die Zusammenschaltung von ihrem IP-Netz **mit dem PSTN-Netz eines Korporationspartnern** wird von drei Betreibern vorgenommen, davon einer mittels SBGWC's, die die Anpassung an das PSTN vornehmen und zwei die dies mittels MGWC's vornehmen. Zwei Betreiber machten Angaben über die Anzahl der Zusammenschaltungspunkte. Die beiden Betreiber gaben auch an die Abrechnung mittels Call Termination Cost vorzunehmen, die anderen Betreiber machten dazu keine Angaben. Ein Betreiber gab an, keine Zusammenschaltung mittels eines Kooperationspartners vorzunehmen.

Die Zusammenschaltung ihres IP-Netzes **mit einem anderem PSTN-Netz** wird ebenfalls von drei Betreiber vorgenommen. Wie oben verwendet ein Betreiber SBGWC und die anderen beiden Betreiber MGWC. Ein Betreiber sieht keinerlei direkte IP-Zusammenschaltung mit einem anderen PSTN-Netz vor und muss daher seinen VoIP-Verkehr an Endkunden, die nicht im eigenem Netz angeschaltet sind, immer über sein eigenes PSTN-Netz im Transit terminieren.

Drei Betreiber realisieren die Zusammenschaltung mittels ENUM, drei Betreiber verwenden zentrale Softswitch, drei Betreiber terminieren den Verkehr im eigenem Netz lokal und zwei regional. Umgekehrt terminieren drei Betreiber im fremden PSTN nur lokal, ein Betreiber lokal und im Transit und ein Betreiber nur im Transit.

Zusammenfassend ergibt sich:

- Die von den verschiedenen Betreibern implementierten VoIP-Zusammenschaltungsformen gestatten es, sämtliche Sprachteilnehmer im PSTN zu erreichen.
- Es werden überwiegend SBGWC für die Zusammenschaltung zwischen verschiedenen IP-Domains bzw. mit dem PSTN eingesetzt .

Eine erste Beurteilung ergibt, dass

- durch die Zusammenschaltung mit andern IP-Netzen sich reine VoIP-Dienste innerhalb geschlossener Benutzergruppen in IP-Netzen⁹⁵ nunmehr zu IP-Sprachdiensten mit nationalweiter bzw. teilweise auch internationaler Erreichbarkeit⁹⁶ entwickelt.

⁹⁵ Dies war überwiegend bei den Skype-Diensten in der Anfangsphase der Fall.

⁹⁶ Die internationale Erreichbarkeit wurde im Fragebogen nicht erfragt kann aber aus Presseveröffentlichungen und den Veröffentlichungen der Betreiber abgeleitet werden.

- Die Verwendung von SBGWC vermindert die Gefahr der äußeren Kontamination bei VoIP-Diensten durch Viren, Würmern, Trojanern etc. da diese durch das SBGWC an den Zusammenschaltungspunkten kontrolliert werden können. Somit kann der aus dem IP Best Effort Diensten bekannte Missbrauch im Internet vermieden oder wenigstens vermindert werden.

A.III.2.4 Fragenkomplex 5,6: Zuverlässigkeit und Sicherheit für VoIP

Im Komplex Zuverlässigkeit geben fünf Betreiber an, VoIP-Dienste mit vergleichbaren Zuverlässigkeitsmerkmalen wie im PSTN/ISDN anzubieten. Dies wird durch eine Kombination der folgenden Maßnahmen erreicht: Doppelung zentraler Einrichtungen (5), Aktive Stand-by Kapazität (3), Passive Stand-by Kapazitäten (3). Ein Betreiber gibt an, VoIP nicht mit vergleichbaren PSTN/ISDN Zuverlässigkeitsmerkmalen anzubieten.

Im Komplex Sicherheit und Schutz der Privatsphäre der Verbindungen geben vier Betreiber an, spezielle Maßnahmen zu diesem Zweck zu implementieren. Zwei Betreiber sehen keine solchen Maßnahmen vor. Dies ist in Übereinstimmung mit dem vierten Fragenkomplex, in dem drei Betreiberangaben, die Zusammenschaltung mit dem IP-Netz eines Kooperationspartners mittels SBGWC vorzunehmen und damit ihr Netz gegen unbefugten Eintritt zu sichern.

Zusammenfassend ergibt sich, dass

- die Mehrheit der Netzbetreiber Maßnahmen zur Netzsicherheit und Zuverlässigkeit vorsieht.

Eine erste Beurteilung ergibt⁹⁷, dass

- die Mehrheit Netzbetreiber ein Interesse hat, VoIP mit vergleichbaren Leistungsmerkmalen auszustatten wie im PSTN/ISDN.
- ein Betreiber kein Interesse hat, VoIP mit vergleichbaren PSTN-/ISDN-Leistungsmerkmalen anzubieten.

A.III.2.5 Fragenkomplex 7: QoS für VoIP

Wie auch im Fragenkomplex 5 und 6 gibt die Mehrheit der Netzbetreiber an, sowohl im Kernnetz als auch im BAN-Maßnahmen zu ergreifen, um QoS-Parameterwerte auf ihren Verbindungen einzuhalten. Nur ein Betreiber gibt an, keine solchen Maßnahmen zu implementieren. Als Maßnahmen werden Verkehrsapriorisierung (4 Betreiber), Überdi-

⁹⁷ Vergleiche dazu auch die Beurteilung zum 7ten Fragenkomplex.

mensionierung (3 Betreiber), Verkehrsseparierung (3 Betreiber) angegeben. Zwei Betreiber sehen außerdem vor, die Verbindungsannahme zu kontrollieren (Call Admission Control CAC). Drei Betreiber geben an, QoS-Parameterwerte auch bei Zusammenschaltung von IP-Netzen mit einem Kooperationspartner einzuhalten.

Zusammenfassend ergibt sich

- Die Mehrheit der Netzbetreiber berücksichtigt QoS-Parameterwerte sowohl in ihrem IP-Kernnetz als auch im BAN
- Ein Betreiber sieht keine Maßnahmen vor, um QoS bei VoIP einzuhalten.

Eine erste Beurteilung ergibt⁹⁸, dass

- die Mehrheit der Netzbetreiber ein Interesse hat, VoIP mit vergleichbaren Leistungsmerkmalen auszustatten wie im PSTN/ISDN
- ein Netzbetreiber kein Interesse hat, VoIP mit vergleichbaren PSTN-/ISDN-Leistungsmerkmalen anzubieten

A.III.2.6 Fragenkomplex 8: Leistungsmerkmale aus dem PSTN

Ausgenommen von einem Betreiber sehen alle Betreiber den Notruf vor. Es geben jedoch drei Betreiber an, dass unter nomadischer Nutzung des VoIP-Anschlusses der Notruf nur eingeschränkt funktioniert. Alle sechs befragten Betreiber gestatten die Weiterverwendung von PSTN-Endgeräten mittels eines bei Nutzer installierten Media Adapters, Ein Betreiber sieht außerdem den Direktanschluss von PSTN-Telefonen an ihr Netz vor die mittels eines netzseitig installierten Media-Adapters angepasst werden.

Zwei Betreiber sichern die Funktionen des VoIP-Endgerätes auch bei lokaler Unterbrechung der Energieversorgung mittels einer Batterie ab.

Eine erste Beurteilung ergibt,

- dass der Notruf und die Weiterverwendung bestehender Endeinrichtungen gewährleistet sind;
- dass die Unabhängigkeit von der lokalen Energieversorgung nicht immer gewährleistet ist.

⁹⁸ Vergleiche dazu auch die Beurteilung zum 5-6ten Fragenkomplex.

A.III.2.7 Fragenkomplex 9 & 10: Gründe zur Einführung von VoIP und Zusatzkosten für differenzierte VoIP-Dienste

Als Gründe zur Einführung von VoIP-Diensten gaben fünf Betreiber an, mittels VoIP das Dienstangebot zu erweitern. Die Mehrheit der Betreiber gab an, mittels VoIP die Migration von Sprachdiensten aus dem PSTN ins IP-Netz zu fördern und positive Effekte durch diese Integration zu erreichen (Prozess Innovation). Drei Betreiber sehen auch positive Integrationseffekte im Managementplan.

Auf die Frage, quantitative Werte für die Kosteneinsparungen bei VoIP anzugeben, haben die Betreiber in den meisten Fällen keine Angaben gemacht. Nur einer gab an, eine globale Einsparung durch Sprachintegration in ihr IP-Netz zu erreichen.

Im Fragenkomplex über die Kosten für das Angebot differenzierter Sprachdienste haben die meisten Betreiber keine Angabe gemacht, nur ein Betreiber gibt an, dass sofern VoIP über separierte Tunnel geführt wird, Mehrkosten gegenüber einem VoIP-Basisdienst entstehen.

Eine erste Beurteilung ergibt,

- dass die Mehrheit der Betreiber die Integration von Sprache in eine IP-Plattform positiv bewertet;
- Angaben über Kosteneinsparungen derzeit nicht angegeben werden oder angegeben werden können.