

Bottom-up Kostenrechnungsmodell
zur Ermittlung der Kosten der
Zusammenschaltung im

Festnetz

Zusammenfassung Modellbeschreibung

Autoren:
Prof. Klaus D. Hackbarth
Dr. Gabriele Kulenkampff
Dr. Werner Neu
Dr. Thomas Plückebaum

WIK-Consult GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef

Bad Honnef, 25. Juli 2012

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einführung	1
2 Generischer Modellierungsansatz	3
3 Netzgestaltung und Dimensionierung	5
3.1 Schichtorientierte Netzarchitektur - elementorientierter Ansatz	5
3.2 Ebenen-orientierte Netzarchitektur	6
3.3 Nachfrage und Netzsegmente	9
3.4 Netzwerkplanung	11
3.5 Kontrollschicht	13
3.5.1 Allgemeiner Netzzugang	13
3.5.2 Funktionselemente für Sprache	14
4 Nachfragemodellierung	16
4.1 Nachfrage und QoS-Differenzierung	16
4.2 Informationsanforderungen an Verkehrsdaten	18
5 Ermittlung der netzbezogenen Kosten für eine Sprachminute	21
5.1 Annualisierte Capex	21
5.2 Indirekte Invest, OPEX und Gemeinkosten	23
5.3 Bestimmung der Gesamtkosten und Kosten für einen Dienst	24
Literaturverzeichnis	27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Schematische Darstellung eines TELRIC-Modells zur Kostenberechnung in Telekommunikationsnetzen	4
Abbildung 3-1:	Hierarchische, ebenen-orientierte Netzstruktur eines NGN, Beispiel mit 5 Netzebenen	8
Abbildung 3-2:	Netzsegmente im Festnetz	10
Abbildung 5-1:	Zuschläge für indirektes Invest, OPEX und Gemeinkosten und Bestimmung der Gesamtkosten	23
Abbildung 5-2:	Beispiel für Tagesverkehrskurven eines NGN für Sprach- und sonstigen Breitbandverkehr	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Schichten in einem NGN-Verbindungsnetz	5
Tabelle 3-2:	Standorte der unterschiedlichen Netzebenen und ihr Funktionsumfang	7

Abkürzungsverzeichnis

3GPP	3rd Generation Partnership Project
A	jährliche Amortisationsrate
ACCC	Australian Competition and Consumer Commission
ADM	Add-Drop-Multiplexer
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AP	Application
AS	Application Server
ASON	Automatic Switched Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
B	mittlere Bandbreite
BGCF	Breakout Gateway Control Function
BDF	Bidirectional Forwarding Detection
BH	busy hour
BNetzA	Bundesnetzagentur
BRAS	Broadband Remote Access Server
BTS	Base Transceiver Station
BU	Bottom-Up
BW	Bandbreite (bandwidth)
CAPEX	Capital Expenditure
CC	Crossconnect
CCSSn°7	Common Channel Signalling System #7
COPS	Common Open Policy Server Protocol (RFC 2748)
CSCF	Call State Control Function
DCX	Digital Crossconnector
Δg	prognostizierte durchschnittliche Änderungsrate der Auslastung der Anlage während ihrer wirtschaftlichen Lebensdauer
Δp	durchschnittliche erwartete Veränderungsrate im Preis der Anlage (als Modern Equivalent Asset) während ihrer wirtschaftlichen Lebensdauer
DiffServ	Differentiated Services
DNS	Domain Name System
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplex
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EU	Europäische Union

EVPL	Ethernet Virtual Private Line	
EVPLAN	Ethernet Virtual Private LAN	
FGI	Future Generation Internet	
FR	Frame Relay	
FRR	Fast Reroute	
FTR	Fixed Termination Rate	
FTTx	Fibre to the x	
FTTEx	Fibre to the Exchange	
FTTC	Fibre to the Cabinet	
FTTB	Fibre to the Building	
FTTH	Fibre to the Home	
FTTH P2P	Fibre to the Home Point to Point	
GbE	Gigabit Ethernet	
Gbps	Gigabit per second	
GFP	Generic Frame Procedure	
Ggf.	Gegebenenfalls	
GGSN	Gateway GPRS Support Node	
GMPLS	Generalized Multiprotocol Label Switching	
GoS	Grade of Service	
GPON	Gigabit Passive Optical Network	
G.SHDSL	Global Standard Single-Pair High-speed Digital Subscriber Line	
GSM	Global System for Mobile communication	
HDTV	High Definition Television	
HSS	Home Subscriber Server	
HVt	Hauptverteiler	
/	Investition	
i	Zinssatz	
IC	Interconncetion	
IETF	Internet Engineering Task Force IMS	IP Multimedia System
IM MGW	IP Multimedia Gateway	
IMS	IP Multimedia Subsystem	
IP	Internet Protocol	
IPoDWDM	IP over Dense Wavelength Division Multiplex	
IPoOTN	IP over Optical Transport Network	
IPoSDH	IP over Synchronous Digital Hierarchy	
IPTV	Internet Protocol Television	

ISDN	Integrated Services Digital Network
kBit/s	kilobit pro Sekunde
Kbps	kilobit pro Sekunde
KVZ	Kabelverzweiger
λ	mittlere Paketrate (lambda)
LAN	Local Area Network
LE	Large Enterprise
LER	Label Edge Router
LSP	Label Switched Path
LSR	Label Switch Router
LRIC	Long Run Incremental Cost
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MPLS-TE	Multiprotocol Label Switching Traffic Engineering
MPLS-TP	Multiprotocol Label Switching Transport Profile
MPoP	Metropolitan Point of Presence
MGCF	Media Gateway Control Function
MRFC	Media Research Function Controller
MRFP	Media Research Function Processor
MSC	Mobile Switching Center
MTR	Mobile Termination Rate
Mux	Multiplexer
NASS	Network Attachment Subsystem
NGA	Next Generation Access
NGI	Next Generation Internet
NGN	Next Generation Network
NG-SDH	Next Generation SDH
n	wirtschaftliche Lebensdauer
O_i	Opex für den Anlagentyp i ,
OADM	Optical Add-Drop-Multiplexer
OAM	Operations, Administration, Maintenance
OCh	Optical Channel
OCX	Optical Crossconnect
ocf_i	Faktor, der Opex als Anteil am Investitionswert des Anlagentyps I bestimmt
ODU	Optical Data Unit
OMS	optische Multiplex-Schicht / Optical Multiplex Section

ONU	Optical Network Unit
OPEX	Operational Expenditure
OSI	Open Systems Interconnection
OTN	Optisches Transportnetz / Optical Transport Network
OTS	optische Transportschicht / Optical Transmission Section
OTU	Optical Transport Unit
OXC	optischer Crossconnector
P2P	Peer to Peer
P-CSCF	Proxy Call State Control Function
PBX	Public Branch Exchange (Nebenstellenanlage)
PDF	Policy Decision Function
PLMN	Public Land Mobile Network
PoI	Point of Interconnection
PON	Passive Optical Networks
PoP	Point of Presence
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RACS	Resource and Administration Control subsystem
ReADSL	Reach Extended Asymmetric Digital Subscriber Line
RFC	Request for Comments
RFoG	Radio Frequency over Glass
ROADM	Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer
RSVP	Resource Reservation Protocol
RTCP	RealTime Control Protocol
RTP	Real-Time Transport Protocol
RTR	Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDP	Session Description Protocol
SEG	Security Gateway
S-GMPLS	segmented GMPLS
SGSN	Service GPRS Support Node
SGW	Signaling Gateway
SIP	Session Initiation Protocol
SME	Small Medium Enterprise
SOHO	Small Offices Home Offices

SONET	Synchronous Optical Network
STM	synchrones Transportmodul
STV	Standard Television
TCM	Tandem Correction Monitoring
TDM	Time Division Multiplexing
TCP	Transmission Control Protocol
TE	Total Element
TISPAN	Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking
TSP	Travelling Salesman Problem (Algorithmus)
TELRIC	Total Element Long Run Incremental Cost
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Line
vgl.	vergleiche
VIX	Vienna Internet Exchange
VLAN	Virtual Local Area Network
VoD	Video-on-Demand
VoIP	Voice over IP
vULL	virtuelle Entbündelung des Teilnehmerzugangs (Unbundled Local Loop)
WACC	Weighted Average Cost of Capital
WDM	Wavelength Division Multiplex
WIK	Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur- und Kommunikationsdienste
xDSL	verschiedene DSL-Varianten, z.B. ADSL, VDSL, SDSL

1 Einführung

Die Terminierungsentgelte in Österreich für Fest- und Mobilnetze sollen mit Hilfe von Bottom-Up Kostenmodellen bestimmt werden, wobei entsprechend der Empfehlung der Europäischen Kommission zur Behandlung von Festnetz- und Mobilfunkterminierungsentgelten die Migration der Telekommunikationsarchitekturen zu Netzen der nächsten Generation (Next Generation Networks, NGN) zu antizipieren und erstmalig auch neue Kostenmaßstäbe (pure LRIC) anzusetzen sind.

Diese Zusammenfassung beschreibt das Analytische Kostenmodell für das NGN-Festnetz in einer für die sachverständige Allgemeinheit verständlichen Version.

Der Umfang der Kostenmodellierung richtet sich zunächst nach den Anwendungszielen dieses Instrumentes, der Kostenermittlung für Sprach-Terminierungsleistungen (TDM Interconnection und für spätere Anwendungen auch VoIP-Interconnection). Ergänzend hat die RTR in ihrem Ausschreibungsdokument weitere Anforderungen dargelegt, die sich zum einen aus der LRIC-Regulierung von Terminierungs- bzw. Originierungsleistungen ableiten bzw. zukünftige Adaptionmöglichkeiten für den Next Generation Access (NGA) vorsehen.

Die Modellierung umfasst das Festnetz im Sinne des Verbindungsnetzes der nächsten Generation. Gegenstand sind daher die Netzsegmente „Konzentrationsnetz“ und „IP-Kernnetz“ (vgl. Abbildung 3-2).

Eine zentrale Anforderung an das Kostenmodell und letztlich seine Anwendbarkeit im Rahmen von Entgeltregulierungsentscheidungen ist die Transparenz über die Art und Weise des Zustandekommens der berechneten Kostengrößen. Auf Basis einer dokumentierten und nachvollziehbaren Berechnungslogik ermöglicht ein analytisches Kostenmodell

- eine Kostenbestimmung unabhängig von den Kostendaten der zu regulierenden Unternehmen und damit
- die Ermittlung eines externen Maßstabs zur Beurteilung der Kostennachweise der zu regulierenden Unternehmens sowie
- einen sachgerechten Diskurs über zentrale, kostenbestimmende Parameter und deren Auswirkungen auf die Kosten.

Die Zusammenfassung der Modellbeschreibung des analytischen Kostenmodells für das Breitbandnetz hilft, einen Überblick über die wesentlichen Beziehungen zwischen Input- und Outputgrößen zu erhalten. Das Bottom-Up-Modell ist so konstruiert, dass Kosten auf der Basis von nicht unternehmensspezifischen (Kosten-)Daten ermittelt werden können, es aber zugleich möglich ist, solche Daten dort, wo sie verfügbar sind, in die Berechnungen mit einzubeziehen. [WIK-05]

Das in diesem Dokument dargestellte Kostenmodell stellt einen analytischen Ansatz dar, der auf einer allgemein zugänglichen Wissensbasis über die netztechnische Realisierung von Breitbanddiensten die Kostenstruktur dieser Telekommunikationsnetze auf

wesentliche Beziehungen reduziert. Die in das Kostenmodell eingespeisten Parameter beruhen im Grundsatz auf einer landesspezifischen Erhebung von Kosten- und Strukturparametern im österreichischen Telekommunikationsmarkt auf Basis einer Marktbefragung. Dort, wo keine Antworten eingegangen sind, wurden von der WIK-Consult GmbH europäische Vergleichswerte auf Basis ihrer eigenen, in vielen Befragungen recherchierten Erkenntnisse vorgeschlagen. Die eingestellten Netzstrukturparameter optimieren das Modell mit dem Ziel eines effizienten Netzes. Dabei wurden die Parameter zur Sicherstellung einer hinreichenden Netzverfügbarkeit (Redundanz/ Absicherung) im Hinblick auf den Stand der Technik und eine nicht zu großen Störwirksamkeit ausgelegt. So erlaubt das Modell eine Parametrierung, die berücksichtigt, dass das Netz so dimensioniert wird, dass beispielsweise bei Auftreten eines Fehlers in einem zentralen Netzknoten bzw. dem Totalausfall eines Netzknotenstandortes nicht mehr als die dort direkt angeschlossenen Teilnehmer vom Zugang zum Netz und seinen Diensten getrennt werden. Die vorliegende Ausprägungen derartiger Parameter entspricht der Einschätzung der WIK-Consult für eine dem Stand der Technik entsprechende Auslegung eines nationalen Netzes in Österreich und können ggf. im Rahmen von Entgeltregulierungsentscheidungen geändert werden.

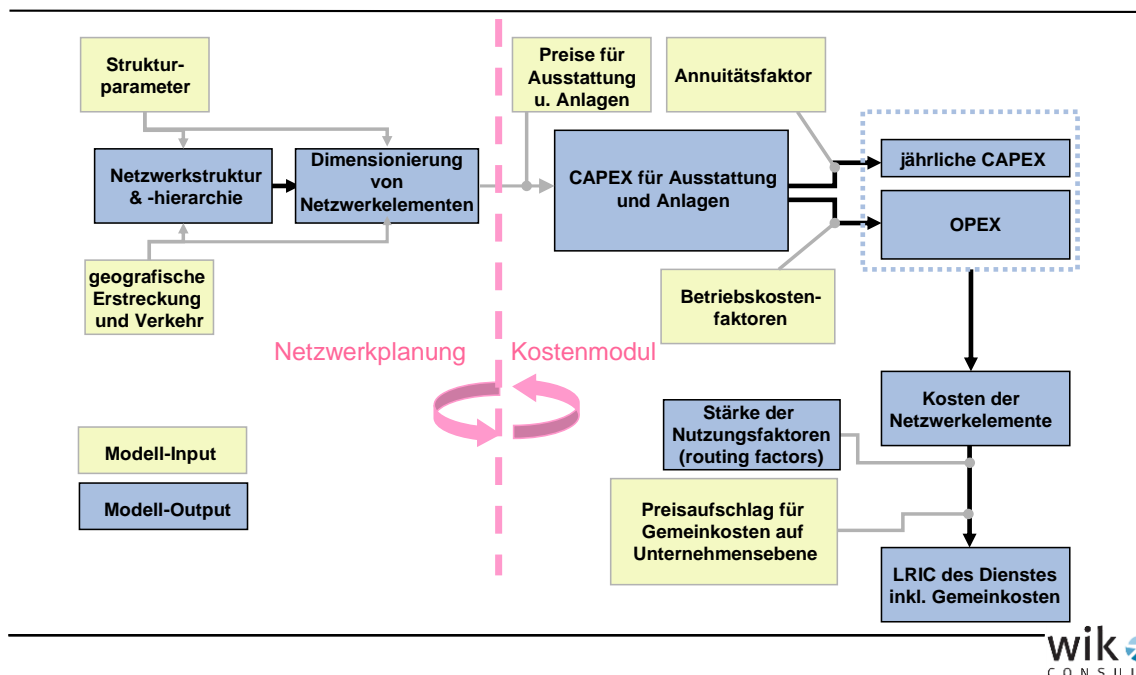
2 Generischer Modellierungsansatz

Bei dem hier beschriebenen Kostenmodell handelt es sich um ein Bottom-up Kostenmodell. Es zeichnet sich dadurch aus, dass die durch die Modellberechnungen bestimmten **Mengengerüste** (Anzahl von Routing und Switching-Einrichtungen, Add-Drop-Multiplexer, Crossconnectoren oder Glasfaserkabeln) **in Abhängigkeit von der** in das Modell als Inputparameter einfließenden **Nachfrage** und deren Quellen und Senken **bestimmt** werden. Anschließend werden die Netzelemente mit Kosten bewertet. Dieser zentrale Zusammenhang zwischen Nachfrage, Netzdimensionierung und Kostenbewertung soll anhand der nachfolgenden Abbildung 2-1 illustriert werden, wobei auch verdeutlicht wird, dass ergänzend weitere Größen auf das zu bestimmende Mengengerüst einwirken (hier dargestellt durch "Strukturparameter").

NGN übertragen nahezu alle Verkehre (Daten, Sprache, Video, Festverbindungen (VPN und sogenannte Pseudowire)) über eine gemeinsame „All-IP“ Plattform. Alle Dienste tragen durch ihre Integration in eine technische Übertragungs- und Vermittlungsplattform zu Skaleneffekten bei und müssen ihren Anteil an den Gesamtnetzkosten tragen. Dies gilt auch für den Sprachverkehr, für den dann daraus mit Hilfe des Modells die Kosten der Terminierung des Verkehrs in dem betrachteten Netz zu bestimmen sind.

Der Total Element Ansatz (TE) des Modells ermöglicht, die Inanspruchnahme von Netzelementen nach Maßgabe der sie gemeinsam in Anspruch nehmenden Dienste zu bestimmen. Die nachfolgende Abbildung 2-1 illustriert auf der linken Seite das Zusammenspiel von Verkehrsnachfrage, exogenen Strukturparametern und ingenieurtechnischen Regeln zur Netzdimensionierung sowie deren Verknüpfung mit einer Kostenfunktion (auf der rechten Seite), die eine Equipmentzuweisung nach Maßgabe der Dimensionierung – unter Berücksichtigung von Preisparametern vornimmt. Die dargestellten Funktionen zur Nachfrageeinschätzung, Annualisierung und Kapitalkostenermittlung beschreiben dabei zentrale Elemente für die Umsetzung des Kostenstandards der Long Run Incremental Cost (LRIC) bzw. Pure LRIC.

Abbildung 2-1: Schematische Darstellung eines TELRIC-Modells zur Kostenberechnung in Telekommunikationsnetzen



Grundsätzlich gibt es derzeit unterschiedliche technische Lösungen zur Realisierung eines NGN-Verbindungsnetzes, die sich je nach Land mit seinen geographischen Gegebenheiten und der Verkehrsnachfrage in ihrer Verwendung unterschiedlich effizient ergeben können. Das Modell erlaubt daher unterschiedliche technische Umsetzungsformen nachzubilden. Die Systemzuweisung der Übertragungs-, Vermittlungs- und Kontrollsysteme im Kostenmodul erfolgt durch eine Parametrierung (siehe rechte Hälfte in Abbildung 2-1), die neben den Preisen im Wesentlichen die Kapazitäten der Einrichtungen umfasst. Aus der anzugebenden Verkehrsnachfrage an allen Hauptverteiler-Standorten und aus den Netzelementen dimensioniert das Modell ein Netz, das die Nachfrage aller Verkehrsarten zu übertragen erlaubt.

Das Modell erlaubt, die Technologie und zugehörige Verkehre zu parametrieren. Durch komparativ statische Vergleiche kann die für das Land und die gegebene Verkehrsnachfrage effizienteste Architektur bestimmt werden.

Ausgangspunkt der Modellierung sind die bestehenden Knotenstandorte des Zugangsnetzes, in denen aller Verkehr von den Teilnehmern zusammenläuft und in den Systemen des Verbindungsnetzes ein erstes Mal konzentriert wird. Diese Standorte sind in der klassischen Netzwelt aus Kupferanschlussnetzen und PSTN/ ISDN Vermittlungssystemen als Hauptverteilerstandorte (HVt) bekannt. In der neuen NGN/ NGA Welt werden sie als MPoP (Metropolitan Point of Presence) bezeichnet. Diese Standorte gelten wegen Ihrer Abhängigkeit vom Zugangsnetz als gesetzt. Modellsprachlich bilden sie scorched nodes, die von außen vorgegeben werden. Sie bilden die unterste Ebene der Netzknotenstandorte des Modells.

3 Netzgestaltung und Dimensionierung

3.1 Schichtorientierte Netzarchitektur - elementorientierter Ansatz

Telekommunikationsnetze lassen sich in ihrer Komplexität durch einen Schichten orientierten Ansatz beschreiben. Für ein NGN Verbindungsnetz, wie es hier modelliert wird, ergeben sich die folgenden Funktionen und Zuordnungen zu Schichten:

- logisches Netz (Layer 2 und Layer 3),
- physikalisches Netz (Layer 1 und Layer 0),
- Kontrollplattform (zum Teil oberhalb von Layer 3, zum Teil schichtübergreifend, d.h. quer zu Layer 1 bis 3)

Tabelle 3-1: Schichten in einem NGN-Verbindungsnetz

Netzbezeichnung	Schichten	Funktion	Aufgabe	Kontrollplattform
logisches Netz	Layer 3	Kernnetz	Vermittlung Dienste	Verbindungssteuerung Abrechnung Netzmanagement Ersatzschaltung ...
	Layer 2	Konzentrationsnetz	Verkehrsbündelung	
physikalisches Netz	Layer 1	Transportnetz	Standorte Verbinden	
	Layer 0	Infrastruktur	Signale Weiterleiten	

Der Bottom-up Modellierungsansatz kommt dabei für das Transportnetz (Layer 0 und 1), für die Vorkonzentration und Vermittlung der Daten der Nutzer (Layer 2 und 3) sowie für die Plattform zur Dienste Realisierung zum Aufbau, Monitoring und Abbau von Verbindungen sowie zur Netzverwaltung (Kontrollschicht) zur Anwendung.

Im Layer 3 sind die Systeme angesiedelt, die den Nutzerverkehr individuell und fallweise von Verbindung zu Verbindung durch das Netz bis ins Ziel vermitteln oder an ein Nachbarnetz weitergeben. Diese Schicht nutzt das IP-Protokoll als Kommunikationsgrundlage, die in IP-Routern interpretiert werden. Im Layer 2 sind die Systeme angesiedelt, die den Verkehr der unterschiedlichen Nutzer und Dienste auf eine Verbindung zusammenfassen (Ethernet-Protokoll, Ethernet Switches). Den Systemen beider Ebenen ist gemeinsam, dass sie den Verkehr auf eine physikalische Verbindung datenpaketweise multiplexen/ konzentrieren. Fest durchgeschaltete nutzerindividuelle physikalische Verbindungen gibt es auf diesen Schichten nicht, sondern nur durch die Adressierung der Datenpakete definierte logische Verbindungen.

Im Layer 1 hingegen werden feste Verbindungen definierter konstanter Kapazität zwischen den Netzknoten (OTN, NG-SDH) der Transportschicht definiert, die die Knoten der höheren Netzschichten miteinander verbinden¹. Diese Systeme erlauben zudem, klassische Mietleitungen/ Festverbindungen bereitzustellen. Layer 0 besteht aus Glasfasern, Glasfaserkabeln, Leerrohrzügen, Leerrohren und Gräben. Layer 1 und 0 bilden, da sie nur physikalische Verbindungen bereitstellen können, das physikalische Netz.

Für ein allgemeines vermittelndes Telekommunikationsnetz sind funktional nur die Layer 0 und 3 erforderlich. Die übrigen Ebenen dienen der Bereitstellung eigener Dienste und der technischen, betrieblichen und ökonomischen Optimierung des Netzes.

Für die Nachfragemodellierung bedeutet dies, dass für die Dimensionierung der gemeinsam genutzten Systeme alle Dienste zu berücksichtigen sind, die diese Systeme nutzen. Dies geschieht über eine Verkehrsmatrix (als Modellinput). Für Verkehre, die sich nur das Glasfaserkabel oder das Leerrohr teilen, sind Mitnutzungsfaktoren zur Parametrierung vorgesehen. Für die gemeinsame Nutzung von Gräben durch andere Infrastrukturträger (Gas, Wasser, Strom, Telekommunikation, Signalsteuerung, Ampelsteuerung, ...) erlaubt ein Mitbenutzungsfaktor, die Kosten entsprechend aufzuteilen.

3.2 Ebenen-orientierte Netzarchitektur

Telekommunikationsnetze sind typischerweise in ihrer räumlichen Verteilung in Standorte unterschiedlichen Funktionsumfanges gliederbar. Dies ist dadurch begründet, dass nicht in allen Standorten der Verkehrsaggregation alle Funktionen eines Telekommunikationsnetzes angesiedelt sein müssen, sondern manche Funktionen aus ökonomischen Gründen und aus Gründen der Reduktion der Komplexität und verbesserter Handhabbarkeit auf weniger Standorte beschränkt werden, die dann für ein größeres Gebiet zuständig sind. Im Gegensatz und in Ergänzung zu den Protokoll- und Technologieschichten des vorhergehenden Abschnittes (3.1) unterscheiden wir verschiedene Netzebenen, in denen ein unterschiedlicher Funktionsumfang vertreten ist. Derartige Netzstrukturen beschreibt man auch als hierarchisch gegliedertes Netz. Tabelle 3-2 gibt einen Überblick über den mit dem vorliegenden Modell maximalen Umfang an Netzebenen, während Abbildung 3-1 die zugehörige Hierarchie verdeutlicht.

¹ Die physikalischen Verbindungen folgen der Physik der gegebenen Trassen und Netzknoten im Layer 1 über deren Standorte, d.h. man kann sagen, auf dieser Schicht „sieht“ das Netz noch die Physik seiner Verbindungsstrukturen. Darüber legen die Systeme der höheren Schichten ihre Verbindungen untereinander auf Basis eigener Adressstrukturen und unabhängig von der konkreten physikalischen Realisierung als logisches Netz. Die unmittelbare logische Verbindung zweier „benachbarter“ Netzknoten im Layer 2 oder 3 kann im physikalischen Netz über mehrere Netzknoten und eine größere Entfernung hinweg realisiert sein (z.B. in einem Ring).

Tabelle 3-2: Standorte der unterschiedlichen Netzebenen und ihr Funktionsumfang

Ebene	Funktionsumfang		
	Konzentrationsnetz	Kernnetz	
5		Layer 3	oberste Vermittlungsebene
4			2. Vermittlungsebene
3			1. Vermittlungsebene
2	Layer 2	Layer 2	Oberste Konzentrationsebene
1			2. Konzentrationsebene
			1. Konzentrationsebene
0	Layer 1	Layer 1	Transportnetz
	Layer 0	Layer 0	Infrastruktur

An allen Standorten der Ebene 0 (level 0) gibt es grundsätzlich die Funktionen der Schicht 0 (layer 0, Infrastruktur), der Schicht 1 (layer 1, Transportnetz) und der Schicht 2 (layer 2, 1. Konzentrationsebene). Auf der 1. Konzentrationsebene werden alle Verkehre von den Endteilnehmern ins Verbindungsnetz hinein konzentriert und in der anderen Richtung an die Endteilnehmer verteilt. Diese Standorte, auch MPoP (Metropolitan Points of Presence) genannt, bilden damit die natürlichen Standorte, auf die Nachfragen nach den verschiedenen Telekommunikationsdiensten abgebildet werden. Die MPoP Standorte bilden die Grundgesamtheit aller Netzknotenstandorte eines Landes.

An den Standorten der Ebene 1 (level 1) gibt es zusätzlich eine weitere, höhere Konzentrationsstufe des Verkehrs (2. Konzentrationsebene). Die Ebene 1 Standorte sind eine Teilmenge der Ebene 0 Standorte.

An den Standorten der Ebene 2 (level 2) gibt es darüber hinaus eine weitere, höhere und finale Konzentrationsstufe des Verkehrs auf Schicht 2 (layer 2). (Oberste Konzentrationsebene). Die Ebene 2 Standorte sind eine Teilmenge der Ebene 1 Standorte.

Die Standorte der Ebene 3 sind mit ihren ergänzenden klassifizierenden und vermittelnden Funktionen der Schicht 3 (layer 3) identisch mit den Standorten der Ebene 2. Diese Funktionen sind kolloziert. Die Übergabe der Verkehre zwischen Konzentrations- und Kernnetz erfolgt durch Inhaus-Verbindungen. Diese Standorte werden auch IP-PoP genannt.

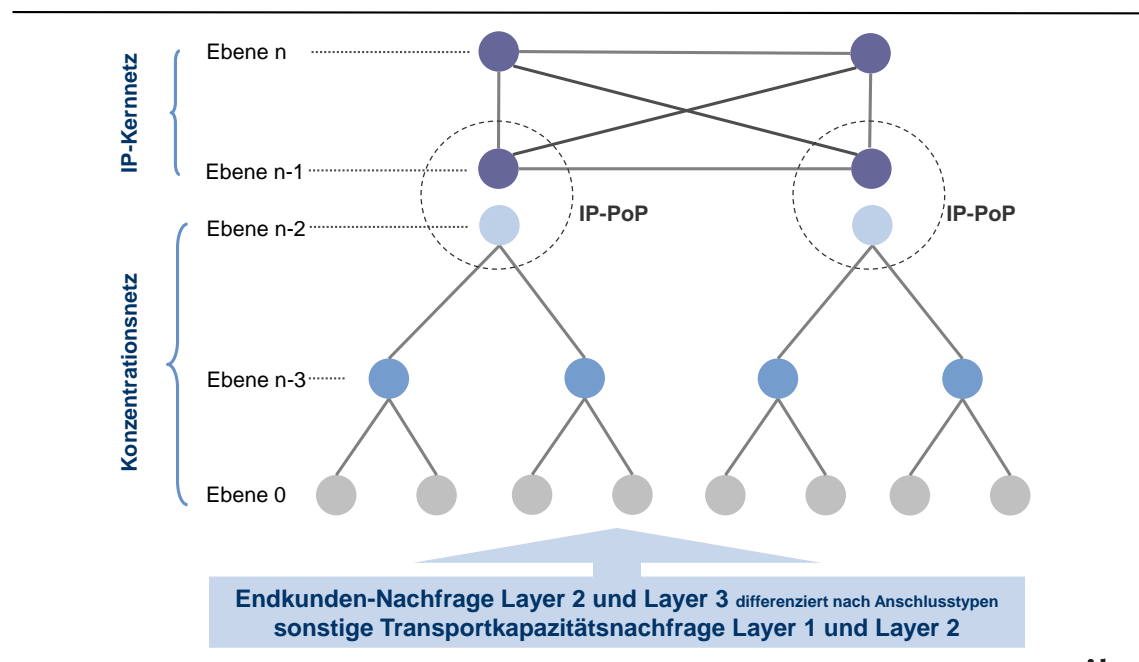
Die Standorte der Ebene 4 (level 4) sind wiederum eine Teilmenge der Standorte der Ebene 3 und bieten eine ergänzende 2. Vermittlungsebene.

Die Standorte der Ebene 5 (level 5) bilden die oberste Netzebene und bieten ergänzend die oberste Vermittlungsschicht, die nun eine Vermittlung der Verkehre in alle Regionen eines Landes erlaubt.

Typischerweise sind die weiteren zentralen Netzfunktionen an den oberen Standorten des Kernnetzes (Ebenen 5 - 3) angesiedelt. Sind dies nur wenige Standorte, dann an den Standorten der obersten Netzebene zuerst. Dort sind sie von allen Standorten des Netzes gleichermaßen gut und effizient zu erreichen. Derartige Funktionen sind z.B. Server basierte Dienste, Content Housing, IP-TV und Video-on-Demand (VoD) Server, Caches, Zusammenschaltungspunkte mit anderen Netzen (Interconnection, Peering)

Die Zahl der Netzebenen muss aus programmtechnischen Gründen beschränkt sein. Das Modell hat eine obere Grenze von 6 Netzebenen, davon typischerweise 3 Ebenen als Konzentrationsnetz und 3 als Kernnetz. Insofern beschreibt Tabelle 3-2 die maximal mögliche Netzstruktur des Modells, während Abbildung 3-1 ein abstraktes 5-Ebenen Netz mit 2 Kernnetzebenen darstellt.

Abbildung 3-1: Hierarchische, ebenen-orientierte Netzstruktur eines NGN, Beispiel mit 5 Netzebenen



Der gegebene Rahmen von 6 Netzebenen (Ebene 0 - 5) muss nicht ausgeschöpft werden, sondern die Anzahl der Netzebenen und die Anzahl der Netzknoten je Netzebene werden als Parameter dem Modell vorgegeben und können dann über komparativ statische Vergleiche effizient gestaltet werden. Netzebene 5 in ihrer Funktion als oberste Netzebene muss es für das Modell immer geben. Sie kann im Fall eines flachen Kernnetzes mit den IP-PoP Standorten zusammenfallen, so dass eine Kernnetzebene verbliebe. Das in Hinblick auf die hierarchische Netzgliederung kleinste Netz könnte theoretisch zudem aus einer einzigen Konzentrationsnetzebene (Ebene 0) bestehen, die nur

in den IP-PoP Standorten angesiedelt ist. Damit wären alle Netzfunktionen in allen Netzstandorten vorhanden und es läge de facto ein Ein-Ebenen-Netz vor².

Die Zahl der Netzknotenstandorte insgesamt ist nicht beliebig oder frei wählbar, sondern durch die MPoP Standorte fest vorgegeben (Scorched Node Ansatz). Diese Standorte bilden die Grundgesamtheit aller Netzknotenstandorte und haben zunächst die Funktionen der Ebene 0. Die Standorte der nächst höheren Netzebenen werden aus Ihnen durch das Modell schrittweise Ebene für Ebene ausgewählt. Sie bilden dann die entsprechende Teilmenge der Knoten mit den Ebenen spezifischen Zusatzfunktionen. Entscheidendes Kriterium für die Allokierung der höheren Funktionen ist die Menge des Verkehrs, der in dem Knoten jeweils aggregiert wird. Die Knoten mit der höchsten Verkehrsstärke bekommen den Zuschlag. Eine Randbedingung bildet das Mindestdistanzkriterium für Knoten gleicher Ebene, das verhindert, dass ab Ebene 1 Knoten gleicher Funktion zu dicht beieinander liegen und so eine ineffiziente Anhäufung in Ballungsräumen entstünde.

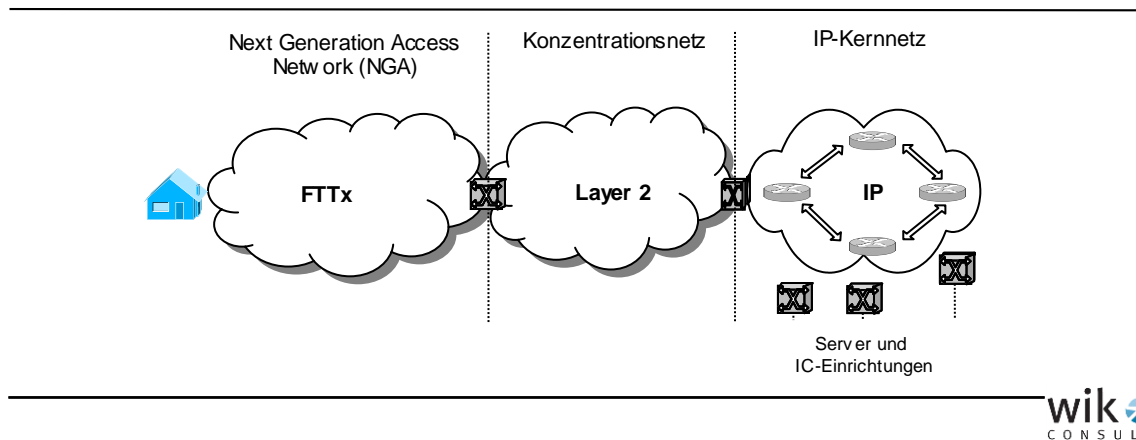
Die Knoten der Ebene 0 werden jeweils dem nächstgelegenen Knoten der Ebene 1 nach Maßgabe der kürzesten Straßenentfernung zugeordnet. So werden Ebenen spezifische Cluster gebildet, d.h. im nächsten Schritt werden aus der Menge der Ebene 1 Knoten die Ebene 2 Knoten gewählt und wieder entsprechende Cluster gebildet. Gleiches gilt für Cluster der Ebene 4 oder 5 (Ebene 3 ist IP-PoP Ebene und damit mit Ebene 2 Standort identisch). Die Standorte eines Ebenen spezifischen Clusters werden mit dem Knotenstandort der nächst höheren Netzebene verbunden und ihr Verkehr wird über diesen Knoten weitergeleitet.

3.3 Nachfrage und Netzsegmente

Gegenstand der Modellierung ist ein Dienste integriertes Multiservicenet, wobei unterstellt wird, dass die Dienste Integration auf dem Layer 3, d.h. dem IP (Internet Protocol) erfolgt. Schematisch lässt sich das Telekommunikationsnetz entsprechend der nachfolgenden Abbildung 3-2 skizzieren. Die ganz rechts dargestellte Wolke stilisiert dabei das eigentliche Dienste erbringende IP-Kernnetz, die mittlere Wolke hat eine reine Konzentration der Verkehre von den Endpunkten des Zugangsnetzes zum IP-Kernnetz zur Aufgabe und die Wolke ganz links kennzeichnet die Teilnehmeranschlusstechnologie der neuen Generation. Die Schnittstelle zwischen Zugangsnetz und Konzentrationsnetz bildet der MPoP (Metropolitan Point of Presence) entsprechend der EU Nomenklatur [EU Kommission-09]. Für derzeitige Kupferdoppelader gestützte Anschlussnetze ist dieser mit dem Hauptverteilerstandort (HVt) identisch. Auf diese Standorte wird die Nachfrage der Endteilnehmer projiziert und findet so Eingang in das Modell (vgl. Abbildung 3-1).

² Ein derartiges Netz ist im Grundsatz theoretisch möglich, müsste allerdings seine Wirtschaftlichkeit erst unter Beweis stellen. Das Modell erlaubt derzeit die Nachbildung eines solchen Netzes nicht.

Abbildung 3-2: Netzsegmente im Festnetz



Sowohl Netzplanung als auch Kostenermittlung erfolgen für die dargestellten Segmente NGA, Konzentrationsnetz und IP-Kernnetz separat. Eine Kostenermittlung im Anschlusssegment (NGA) ist nur dann von Relevanz, wenn dort bereits eine Verkehrsaggregation erfolgt, die für die Bestimmung von Terminierungsentgelten relevant ist. Für dieses Netzsegment wird in diesem Modell keine Netzplanung im Sinne einer Bottom-up Planung vollzogen, sondern lediglich eine Kostenbestimmung auf Basis vorgegebener Mengen- und Strukturgrößen im Kostenmodul. Dabei werden die unterhalb des MPoP zum Teilnehmer hin benötigten konzentrierenden Netzelemente (z.B. VDSL-DSLAM, Splitter, ONT/ ONU, ...) auf den diese aggregierenden MPoP projiziert und kostenmäßig erfasst.

Das Konzentrationsnetz und das IP-Kernnetz bilden das "Verbindungsnetz" im traditionellen Sinne und diese beiden sind hier Gegenstand einer generischen Bottom-up, d.h. Nachfrage getriebenen Modellierung.

Die Unterteilung des Bottom-up Modells in zwei Segmente (Konzentrations- und Kernnetz) erlaubt es, für das Konzentrationsnetz eine zusätzlich parametrierbare Verkehrsnachfrage (auf Layer 2) zu berücksichtigen. Sie besteht aus Verkehren, die in dem jeweiligen Konzentrationsnetz-Cluster abgewickelt werden und dazu lediglich logische Einrichtungen des Konzentrationsnetzes in Anspruch nehmen. Diese Verkehrsnachfrage wird separat von der Nachfrage nach IP-Diensten über eine entsprechende Verkehrsmatrix parametrisiert.

Da auch weitere Verkehre (z.B. Mietleitungen auf Layer 1, dem Transportnetz) dazu beitragen, die Kosten des Netzes zu teilen, werden auch diese in die Betrachtungen der Kosten der entsprechenden Netzebenen einbezogen.

3.4 Netzwerkplanung

Die Netzwerkplanung, ist von der Kostenbestimmung im Kostenmodul abzugrenzen. Beide nutzen jedoch die Kostengrößen der Systemparameter als Input. Die Netzwerkplanung braucht die Kostengrößen zur wirtschaftlichen Optimierung der Netzstruktur, das Kostenmodul braucht sie zur Bestimmung der daraus resultierenden Kosten.

Die Netzwerkplanung lässt sich in weitere Teil-Module unterteilen. Zu nennen sind hier die Modellierung der:

- Nachfrage
- logischen Netzstruktur
- physikalischen Netzstruktur
- Kontrollplattform

Logisches und physikalisches Netz bilden die technische Realisierungsform zur Befriedigung der Verkehrsnachfrage ab.

Der Modellierungsansatz zielt darauf ab, auf den zentralen Kenngrößen aufzusetzen, die die Kosten des Netzes maßgeblich bestimmen. Naturgemäß nimmt ein Modell eine Abstraktion von der Realität vor. Dies geht einher mit einer Reduktion der Komplexität der Netzplanung auf ein mit vertretbarem Aufwand modellierbares Maß – und zwar nach Maßgabe der Kostenrelevanz der Steuerungsgrößen.

Der hier vorgestellte Modellierungsansatz berücksichtigt insbesondere die folgenden **Strukturmerkmale, die über Eingabeparameter durch den Modellanwender gesteuert werden können** und auf deren Basis unter Rückgriff auf Optimierungsalgorithmen ein effizientes Netz abgeleitet werden kann.

- Netzstruktur und Netzhierarchie
 - Differenzierung von IP-Kernnetz und Konzentrationsnetz (Separierung in zwei Module)
 - Anzahl der Netzebenen je Modul
 - Anzahl der Standorte je Netzebene
 - Vorgabe der insgesamt vorhandenen Standorte (Geokoordinaten, scored node Ansatz)

- Technologiewahl
 - auf Layer 3
 - auf Layer 2
 - auf Layer 1
- Logische Struktur und Topologie
 - logische Netzstruktur (Vorgabe einer Grundstruktur, veränderbar über weitere Inputparameter: Schwellwerte für die Einrichtung zusätzlicher logischer Verbindungen)
 - Topologie des physikalischen Netzes (Vorgabe einer Grundstruktur, veränderbar über weitere Inputparameter: Ring, vermascht)
- Absicherung
 - Absicherung von Einrichtungen des logischen Netzes
 - Absicherung von Einrichtungen des physikalischen Netzes
 - Absicherung von Einrichtungen der Kontrollplattformen
 - Absicherung von Standorten
 - im Konzentrationsnetz redundante Standortanbindung
 - im Kernnetz Gewährleistung von Bi-Konnektivität (Mindestanforderung)
 - Doppelabstützung
- Vorgabe von Auslastungsgraden
 - Für Einrichtungen des logischen Netzes
 - Für Einrichtungen des physikalischen Netzes
 - Für Einrichtungen der Kontrollplattform
- Festlegung der Anzahl von Serverstandorten und IC-Standorten (PoI) durch den Modellanwender
 - Differenziert nach Dienstekategorien (Endkundendienste)
 - Differenziert nach Vorleistungen
- Qualitätsanforderungen von Verkehrsklassen
 - Mittlere Verzögerung³

Die verschiedenen Realisierungsformen resultieren – so die Ausgangshypothese – in verschieden hohen Kosten. Darüber hinaus sind sie auch mit unterschiedlichen Eigen-

³ Die Modellierung von weiteren, die Qualität bestimmenden Parametern, insbesondere Jitter und Paketverlustrate, erfolgt im Modell implizit über die gewählte mittlere Verzögerungszeit.

schaften – insbesondere mit Blick auf die Absicherung und Netzverfügbarkeit – verbunden. Diese unterschiedliche Leistungsfähigkeit in der Absicherung kann im Rahmen eines Kostenmodells nicht beantwortet werden. Sie wirkt in unterschiedlicher Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Dienste sowie in der Störwirkbreite, d.h. Anzahl der durch einen Fehler maximal ausfallenden Kundenanschlüsse. Ihre Bewertung spiegelt sich letztlich in der Zahlungsbereitschaft der Marktteilnehmer hierfür wider. Um diese – zumindest indirekt – in die Modellierung einfließen zu lassen, wurde im Rahmen der Marktbefragung eine Einschätzung der Marktteilnehmer erfragt, wie die verschiedenen Architekturen bei ihnen eingesetzt werden.

3.5 Kontrollschicht

Die Elemente der Kontrollschicht, soweit sie für die vorliegende Modellierung Bedeutung haben, bestehen aus Elementen für die Steuerung des allgemeinen Netzzugangs für mehrere Dienste einschließlich der Sprachdienste und den Elementen, die ausschließlich den Sprachverkehr steuern.

3.5.1 Allgemeiner Netzzugang

Für die Steuerung des allgemeinen Netzzugangs werden verwendet:

- Broadband Remote Access Server (BRAS)
- Radius (Remote Authentication Dial-In User Server)
- DNS (Domain Name Server)

BRAS und Radius dienen der Rechteverwaltung der Nutzer und der ihnen laut Vertrag zugeordneten Bandbreite/ Qualität. Diese Server sind am Zugang zum vermittelnden (Kern-)Netz, den IP-PoP, angesiedelt. Wir unterstellen, dass die Radius Funktion nicht in einem separaten Server angesiedelt ist, sondern wegen der funktionalen Interdependenz im BRAS.

Der DNS dient der Wandlung von URL (z.B. aaa.bbb@yxz.at) und E.164 Adressen (Telefonnummern) in IP-Adressen und kann an zentraler Stelle angesiedelt sein. Die Anzahl der Standorte, an denen diese Einrichtungen vorgesehen werden, werden von dem Modellanwender als Modellinput vorgegeben (Vorgabe der Anzahl von Standorten).

Welche Kapazitäten der Einrichtungen (an den jeweiligen Standorten) vorzuhalten sind, ergibt sich aus der Nachfrage, die sich in der Anzahl der gleichzeitigen Verbindungswünsche (in der Busy Hour) aller Dienste ausdrückt. Sie wird im Modell gleichmäßig über die Standorte dieser Einrichtungen verteilt.

3.5.2 Funktionselemente für Sprache

Das hier beschriebene Modell bestimmt die Kosten von Sprachterminierung und ggf. Originierung. Dabei können Kosten sowohl für eine TDM-basierte Zusammenschaltung des Breitbandnetzes als auch eine IP-basierte Zusammenschaltung berechnet werden.

Sprachverkehr wird im NGN Kostenmodell in der Kontrollschicht durch einen Softswitch gesteuert, der die Sprachanforderung annimmt und kontrolliert, ob im IP basierten Transportnetz ausreichend Kapazitäten vorliegen. Er behandelt sowohl den internen Verkehr als auch den Verkehr von und zu Zusammenschaltungspunkten. D.h. als gemeinsames Netzelement wird ein durch die Call Attempts (Verbindungsaufbauwünsche) gesteuerter Softswitch benötigt, der typischerweise einen SIP Server integriert. Dabei ist der Softswitch entsprechend seiner Auslastung durch Call Attempts zur Busy Hour (BHCA) des Sprachverkehrs zu dimensionieren. Die Dimensionierung des Transportnetzes erfolgt hingegen zur Gesamt-Busy-Hour des NGN, die zeitlich nicht übereinander liegen müssen.

Zur Zusammenschaltung (leitungsvermittelnd zu PSTN/ISDN oder Mobilnetzen bzw. paketvermittelnd zu IP-Netzen bzw. anderen NGN) sind unterschiedliche Netzelemente erforderlich. Beide implementierten Varianten werden nachfolgend skizziert:

3.5.2.1 TDM-basierte Zusammenschaltung

Es werden folgende Netzelemente vorgesehen:

- Softswitch (mit integriertem SIP-Server)
- Mediagateway
- Mediagateway Controller

Das Mediagateway muss an allen für TDM-basierte Zusammenschaltung vorgesehenen Standorten installiert werden. Es wandelt den VoIP Datenstrom in den klassischen TDM 64 kbit/s ISDN Sprachverkehr je Kanal und übergibt parallel die zugehörigen CSS7 Steuerinformationen, die vom Mediagateway Controller zur Interaktion der beiden Netze und zur Steuerung der einzelnen Verbindungen generiert bzw. verarbeitet werden. Neben dem Übertragungsvolumen treibt die Anzahl der IC-Ports und die Anzahl der Interconnection-Partner die Kosten des Mediagateways.

Die Funktionen des Softswitches und des Mediagateway Controllers werden typischerweise remote durch zentral angesiedelte Systeme ausgeführt. Sie werden durch die spezifischen BHCA in Ihrer Kapazität dimensioniert (Softswitches: Gesamter Sprach-

verkehr, Media Gateway Controller: Nur TDM Interconnection Verkehr (kommend und gehend⁴)).

3.5.2.2 IP-basierte Zusammenschaltung (Sprache)

Es werden folgende Netzelemente vorgesehen:

- Softswitch (mit integriertem SIP-Server)
- Label Edge Router (am Netzübergang)
- Session Border Controller (SBC)⁵

Bei einer IP-basierten Zusammenschaltung entfällt die Notwendigkeit eines Mediagateways. Der am Zusammenschaltungsstandort vorgesehene Label Edge Router (LER) kann den Verkehr direkt im IP-Protokoll übergeben. Sofern die Anzahl der für den Interconnectionverkehr benötigten Ports nicht hinreichend ist, müssen weitere Router installiert werden.

Der Session Border Controller übernimmt diverse Verwaltungs- und Signalisierungsaufgaben und steuert die Verbindung (Session) am Netzübergang, u.a. Aufgaben für die Abrechnung und die Signalisierungsanpassung. Er steht anstelle des Mediagateway Controllers und wird über die Anzahl der parallelen Sessions zur Busy Hour dimensioniert.

⁴ Auch wenn, wie bei einer pure LRIC Betrachtung, der Terminierungsverkehr entfällt, werden die Mediagateways und Mediagateway Controller für die andere Verkehrsrichtung (Originierung) benötigt und müssen entsprechend niedriger dimensioniert werden.

⁵ Die Funktion des SBC kann auch zentral in der Einrichtung des Softswitches oder im dezentralen LER integriert sein.

4 Nachfragemodellierung

Der Umfang der Verkehrsnachfrage, deren Qualitätsanforderungen, die Verteilung der Nachfrager im Raum sowie die zugehörigen Verkehrsmatrizen (Quelle-Ziel) bestimmen die Gestaltung des Netzes.

Neben der Endkundennachfrage sind auch die Verkehre aus Vorleistungen für alternative Netzbetreiber dimensionierungsrelevant und entsprechend zu berücksichtigen. Hierbei sind insbesondere der Bitstrom-Verkehr, Sprach-Interconnection-Verkehr (TDM- und IP-basiert) sowie der generelle IP-Interconnection-Verkehr (Peering) zu nennen. Auch diesen Nachfragergruppen entsprechend ist im Modell eine Parametrisierung der Verkehrsnachfrage vorgesehen.

Durch den Modellanwender zu parametrieren ist die Nachfrage

- nach Layer 3 basierten Diensten
- nach Layer 2 basierten Diensten
- nach Layer 1 basierten Diensten
- (nach Layer 0 basierten Diensten, d.h. dark fibre, über Beilauffaktoren)⁶
- nach Layer 0 (gemeinsame Nutzung von Gräben) über einen Mitbenutzungsfaktor

Das Modell kann sowohl auf tatsächliche Nachfragedaten (die i.d.R. vom regulierten Unternehmen bereitgestellt werden) als auch auf unabhängige Nachfrageschätzungen angewendet werden. Letztlich ist es ein zentrales Merkmal eines Bottom-up Kostenmodells, Veränderungen der Nachfrage mit Blick auf die Kostenimplikationen zu untersuchen.

4.1 Nachfrage und QoS-Differenzierung

Ein NGN, das ja auf der Paketvermittlung des Verkehrs basiert, lässt sich als Warteschlangen-Verlustsystem charakterisieren, welches im Fall der Überfüllung nicht wie das PSTN weitere Diensteanfragen blockiert, sondern die bereitgestellte Bandbreite für alle Dienste im Netz undifferenziert verringert. Damit erhöht sich prinzipiell die Gefahr von Paketverlusten, höheren Durchlaufzeiten (Latenz) und größeren Schwankungen in den Laufzeitverzögerungen (Jitter) bei hoher Netzauslastung.

Dienstespezifische Anforderungen an QoS-Parameter wie Latenz, Jitter oder Paketverlust können in einem best effort Netz zunächst nicht gewährleistet (garantiert) werden. –

⁶ In diese Kategorie fallen auch die Einsparpotentiale, die sich durch die gemeinsame Nutzung der Linientechnik durch Anschlussnetz (NGA) und Verbindungsnetz (Konzentrations- und Kernnetz) ergeben. Sie sind durch einen entsprechenden Beilauffaktor abzubilden.

Da es dennoch als wirtschaftlich sinnvoll und technisch machbar angesehen wird, Dienste auf dem IP-Netz zu integrieren, wurden alternative Strategien zur Realisierung von QoS entwickelt, die über eine reine Überdimensionierung von Kapazitäten hinausgehen. Dies sind insbesondere Verfahren der

- Priorisierung sowie
- Kapazitätsreservierung.

Verschiedene Netzbetreiber bringen diese Verfahren zur Anwendung. Bis zum heutigen Zeitpunkt muss jedoch festgestellt werden, dass eine allgemein anerkannte netzübergreifende (Betreiber übergreifende) Spezifizierung von Parametern und Protokollen nicht erfolgt ist. Für die „interconnected world“ bildet daher nach wie vor das TCP/IP die Basis für einen best effort Dienst.

Mit zunehmender Bedeutung der Einführung IP-basierter und diensteintegrierter NGN wird in der öffentlichen Diskussion die Einführung von QoS bzw. QoS-Klassen relevanter. IMS- und Softswitch-Architekturen beinhalten eine QoS-Realisierung beispielsweise für Sprachdienste.

Zur Berücksichtigung differenzierter Qualitätsklassen sieht das Kostenmodell verschiedene Verkehrsklassen vor, die jeweils Dienste mit relativ homogenen Qualitätsanforderungen zusammenfassen. Verkehrsklassen werden anhand von festzulegenden Werten für Latenz definiert, die im Modell bereits vorparametriert sind. Bei der Anwendung des Modells entscheidet der Modellanwender parametergesteuert, wie viele Verkehrsklassen er berücksichtigen will (die Mindestanzahl beträgt dabei eine einheitliche Verkehrsklasse (best effort), die Obergrenze liegt bei acht verschiedene Verkehrsklassen).⁷ Anschließend werden die unterschiedlichen Dienste den Verkehrsklassen zugewiesen und erhalten so standardisierte Qualitätswerte.

Das Modell berücksichtigt die qualitativen Anforderungen der verschiedenen Verkehrsklassen durch Zuschlagsfaktoren (Mark-up) auf die grundsätzlich aus der Anwendung abgeleiteten mittleren Bandbreite, wobei die Zuschlagsfaktoren unter Rückgriff auf Modelle der Warteschlangentheorie (M/M/1) im Netzplanungsmodul aus den Qualitätsparametern belastbar abgeleitet werden.

⁷ Verkehrsklasse wird hier als Oberbegriff zu QoS-Klasse verwendet. Damit wird ausgesagt, dass ggf. mehrere (ähnliche) QoS-Klassen bei der Verkehrsführung zu einer Verkehrsklasse zusammengefasst werden.

4.2 Informationsanforderungen an Verkehrsdaten

Zentrale Größen der Netzdimensionierung des Breitbandnetzes sind

- Busy Hour-Verkehr des Gesamtnetzes, beschrieben durch das Maximum des faktisch schwankenden Busy Hour Verkehrs für die definierte Busy Hour (die in den Grenzen von 0 bis 24 Stunden definiert sein kann)⁸
- Verkehrsziele
- QoS-Anforderungen

Verkehrswerte

Die Verkehrswerte leiten sich aus dem vom Nutzer induzierten Verkehr ab. Letztlich wird der Nutzer als Verkehrsverursacher angesehen und ihm werden die Verkehrswerte – differenziert nach up- und downstream – zugeordnet und für alle an einen MPoP angeschlossenen Endkunden entsprechend aggregiert.

Die Verkehrsnachfrage fließt auf Ebene der MPoP-Standorte als durchschnittliche Nachfrage pro Nutzer, differenziert nach Produktgruppen in das Modell ein. Das vorliegende NGN-Kostenmodell erlaubt, bis zu 36 verschiedene Anschlusstypen zu definieren, denen spezifische Verkehrsnachfragen zugeordnet werden können. Auf diese Weise kann ein entsprechendes regional differenziertes Abbild der Nachfrage generiert werden.

Für jeden der maximal 36 Anschlusstypen ist eine durchschnittliche Verkehrsnachfrage in der Busy Hour zu parametrieren, zusammengesetzt aus der Busy Hour Erlang Nachfrage, differenziert nach Dienstekategorien.

Ein Bottom up Modell bedarf neben der Information über die Nutzer induzierten Verkehr noch zusätzlichen Informationen über das Routing und die damit in Verbindung stehenden Verkehrsziele sowie ggf. über zu berücksichtigende QoS-Anforderungen. Beide Merkmale sind Dienste spezifisch und daher entsprechend für jede Dienstekategorie festzulegen. Sofern keine Informationen über diese Eigenschaften von dem betrachteten Netzbetreiber bereitgestellt werden, kann ggf. über andere verkehrs- oder netzbezogene Kennziffern (bspw. die Busy Hour Bandbreite an den IP-IC Einrichtungen) eine Aufteilung der durchschnittlichen Busy Hour Erlang Nachfrage vorgenommen werden.

⁸ Bei der Busy Hour handelt sich um die globale Spitzenlast aus allen Diensten. Eine Netzdimensionierung hat nach Maßgabe des größten Verkehrsbedarfes im Netz zu erfolgen, d.h. nach der Spitzenlast in der Busy Hour (BH). Allerdings wird bei Netzelementen, die nur vom Sprachverkehr in Anspruch genommen werden, die individuelle Busy Hour des Sprachdienstes verwendet, um die sprachspezifischen Netzelemente (z.B. den Softswitch) entsprechend zu dimensionieren. Der Unterschied zwischen Gesamtnetz Busy Hour und der Sprachnetz Busy Hour wird durch einen Multiplikationsfaktor beschrieben und umgerechnet.

Verkehrsziele

Eine Verkehrsmatrix beschreibt neben der Quelle (hier der MPoP) auch die Ziele. Auf dieser Basis kann dann eine Spezifizierung der Verkehrsführung (der Weg des Verkehrs von der Quelle bis zum Ziel) vorgenommen werden, aus denen die Dimensionierung von Netzknoten und –kanten generiert werden.⁹

Die Verkehrsbeziehungen werden nicht nur zwischen Teilnehmern realisiert (Ende-zu-Ende), sondern zu einem Großteil durch sogenannte Client-Server Verkehrsrelationen, die zwischen Teilnehmern und zentral aufgestellten Servern etabliert werden.

Darüber hinaus wird unterschieden, ob die so klassifizierten Verkehre im Netz verbleiben, also On-net sind, oder das Netz an irgendwelchen Netzübergängen verlassen (Interconnection/ Peering).

Für die Beschreibung der Client-Server Verkehrsrelationen sind die Standorte der Server sowie ihre Anzahl von Bedeutung. Die dienstespezifischen Serverstandorte werden jeweils in Ihrer Menge als Eingabeparameter in das Modell eingepflegt und von diesem auf die verkehrsstärksten Knoten verteilt.

Multicast-Dienste (im wesentlichen IP-TV) werden separat zu den sonstigen Verkehren berücksichtigt. Dies ist methodisch deswegen notwendig, da vom Einspeisepunkt des Multicast-Stroms ausgehend das Verkehrsvolumen nicht mit der Anzahl der Multicast-Teilnehmer multipliziert werden darf.

Der Interconnection-Verkehr (für Sprach- als auch IP-Zusammenschaltung sowie Bitstrom) wird über Zusammenschaltungspunkte (Verkehrsziele) in die anderen Netze geführt bzw. übernommen, die gleichermaßen für eingehenden und ausgehenden Verkehr verwendet werden. Da die IC-Standorte nicht Verkehrsübergabestufen spezifisch sind, sondern sich die Einordnung des IC-Verkehrs in eine bestimmte Verkehrsübergabestufe unter Berücksichtigung des Routings innerhalb der Netzhierarchie ableitet, wurden entsprechende Routing-Regeln für die verschiedenen Verkehrsübergabestufen implementiert.

Zusätzlich müssen die Anteile (Verkehrsvolumina) des IC-Verkehrs an den Verkehrsübergabestufen festgelegt werden. Die Modellierung sowohl des eingehenden als auch des ausgehenden IC-Verkehr erfolgt anteilig am gesamten Sprachverkehr.

Die Verkehre für Sprach-Interconnection (VoIP, PSTN) werden nach Maßgabe der Verkehrsstärke der einzelnen Knoten verteilt. Gleiches gilt für den Bitstrom Verkehr. Die Übergabepunkte für die Verkehre in andere Netze werden je Dienst (Sprache (TDM,

⁹ Eine Sonderrolle nimmt hier der Dienst IP-TV ein. Aufgrund des Einsatzes von Multicast muss nicht der gesamte Datenstrom für jeden Nutzer individuell übertragen werden. Dies gilt nur für den jeweils letzten Netzabschnitt. – Aus diesem Grund wird auf den Dienst IP-TV und seine Berücksichtigung im Modell gesondert eingegangen.

VoIP), Bitstrom) unabhängig voneinander festgelegt. Für Bitstrom gilt als Nebenbedingung, dass alle Knoten einer Netzebene den Bitstromübergang anbieten oder nicht. Für die Übergabe des Internetverkehrs an andere Netze können mehrere Übergabepunkte definiert werden, die sich auf die Knoten der oberen Netzebene in der Reihenfolge ihrer Verkehrsstärke. Sofern exogen keine andere Verteilung vorgegeben wird, wird das Modell die Verkehre auf Basis von Inputparametern endogen verteilen und den Umfang des abzuführenden Verkehrs über einen prozentualen Anteil an der Verkehrsnachfrage dieses Dienstes Inputparametergesteuert festlegen. Diese Vorgehensweise erlaubt sowohl eine gleichmäßige Verteilung des IC-Verkehrs auf die Points of Interconnection (PoI) als auch eine Gewichtung.

5 Ermittlung der netzbezogenen Kosten für eine Sprachminute

Netzkosten bestehen im Wesentlichen aus den annualisierten Capex und den Opex, auf die je nach Ansatz und Dienst ein Aufschlag für Gemeinkosten erfolgt. Das vorliegende Modell beschränkt sich primär auf die unmittelbare Ermittlung der direkten Investitionen in Netzelemente. Die indirekten Investitionen und Opex werden durch Zuschlagssätze abgeleitet, die aus der Markterfahrung festgelegt werden und über entsprechende Parameter in das Modell einfließen.

5.1 Annualisierte Capex

Der Investitionswert der Anlagen des vom Netzplanungsmodul bestimmten Netzes wird ermittelt, indem die Anlagen des Netzes mit den gegenwärtigen Preisen bewertet werden (current cost). Man erhält den Wert eines vollkommen neuen Netzes. Dies ist konsistent mit dem Regulierungsansatz, wonach die Kosten des Netzes denen entsprechen sollen, die von einem neu in den Markt eintretenden Anbieter aufgebracht werden müssten.

Aus den Investitionswerten der einzelnen Anlagen sind jährliche Beträge zu ihrer Amortisation zu bestimmen, wobei diese Beträge sowohl die Abschreibungen als auch die Zinsen für die Bereitstellung des Kapitals (einschließlich einer angemessenen Verzinsung des Eigenkapitals) abdecken müssen. In Bottom up-Modellen ist es üblich, dafür den Annuitätsansatz zu benutzen, bei dem Abschreibungen und Zinsen in einem Berechnungsschritt bestimmt werden.

Sei I der Wert der betreffenden Anlage zum Zeitpunkt der Investition und A der jährliche Betrag, der zur Amortisation von I erwirtschaftet werden muss. Ferner steht i für den Zinssatz. Wir definieren $q = 1/(1+i)$ und bezeichnen mit n die Länge der wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlage. Die folgende Relation muss dann gelten, um sicher zu stellen, dass das eingesetzte Kapital einschließlich zu zahlender Zinsen erwirtschaftet wird:

$$I = A * [q + q^2 + \dots + q^n].$$

Unterstellt wird dabei, dass der Restwert der Anlage zum Zeitpunkt n vernachlässigbar gering ist. Aus der obigen Formel folgt, dass

$$A = c * I,$$

wobei

$$c = 1 / [q + q^2 + \dots + q^n],$$

oder nach algebraischer Umformung,

$$c = (1/q) * [1 - q] / [1 - q^n].$$

Für diese Berechnung müssen der Zinssatz (gewöhnlich in der Form des Weighted Average Cost of Capital, oder WACC) und die erwartete Lebensdauer der betreffenden

Anlage bekannt sein. Die Amortisationsbeträge A bleiben über die Zeit hinweg gleich, da annahmegemäß in dieser einfachen Version Mengen und Preise der Anlagen während der n Perioden unverändert bleiben.

Während der wirtschaftlichen Lebensdauer einer Anlage können sich zwei Parameter ändern, die einen starken Einfluss auf die Kostenbestimmung haben: die jährlichen Ausbringungsmengen der Anlage, die gewöhnlich wachsen, und der Preis der Anlage, der sich in die eine oder andere Richtung verändern kann. Gleichfalls ändern kann sich die Kaufkraft, beeinflusst von der Inflationsrate. Diese erwarteten Änderungen sind bei der Preissetzung in Betracht zu ziehen, da ein zukünftiger potenzieller Wettbewerber, dessen Preissetzung zu antizipieren ist, bei einem späteren Markteintritt von diesen dann geänderten Bedingungen ausgehen wird. In der Annuitätsformel können diese Entwicklungen berücksichtigt werden, indem die Formel für q wie folgt spezifiziert wird:

$$q = [(1+\Delta g)^*(1+\Delta p)]/(1+i)$$

wobei

Δg = prognostizierte durchschnittliche Änderungsrate der Auslastung der Anlage während ihrer wirtschaftlichen Lebensdauer, und

Δp = durchschnittliche erwartete Veränderungsrate im Preis der Anlage (als Modern Equivalent Asset) während der wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlage, bereinigt um die Inflationsrate.

Werden entsprechende Werte für q in die Gleichung

$$I = A * [q + q^2 + \dots + q^n]$$

eingefügt, ergeben sich Amortisationsbeträge A für die sukzessiven Jahre, die sich ceteris paribus von Jahr zu Jahr um den Faktor $(1+\Delta g)$ verändern. Auf diese Art und Weise wird gewährleistet, dass jeder zukünftigen Einheit an Leistungsmenge derselbe Betrag an Abschreibung zugeschrieben wird als einer gegenwärtig erbrachten Einheit. Einem analogen Argument folgend stellt der Faktor Δp sicher, dass zu jedem Zeitpunkt der Abschreibungsbetrag proportional zum Wert der Anlage erfolgt. Hieraus folgt, dass die Amortisationsbeträge A zukünftiger Perioden größer oder kleiner als der gegenwärtige sein können, abhängig davon, ob Δg und Δp positive oder negative Werte einnehmen, bzw ob der Wert von $(1+\Delta g)^*(1+\Delta p)$ größer oder kleiner als 1 ist. Der erwartete Wert von Δp wird bei Investitionsgütern mit großem technischen Fortschritt eher negativ und bei denen ohne solchen Fortschritt im Einklang mit der allgemeinen Inflation eher positiv sein. Bei am Anfang geringer aber später im Investitionszyklus starker Auslastung der Anlage wird der Wert von Δg positiv, bei umgekehrtem Verlauf der Auslastung eher negativ sein.

Der hier beschriebene die Veränderungen im Output und die Entwicklung der Preise der Anlagen in Betracht ziehende Ansatz entspricht der ökonomischen Abschreibung, da die Abschreibungsbeträge dergestalt bestimmt werden, dass sie in jeder Periode dem Wertverlust der Anlage entsprechen. Gleichzeitig entspricht er auch dem Gebot,

Grundlage für eine nicht-diskriminierende Preisbildung zu sein. Dieser letzte Aspekt ergibt sich daraus, dass die Zinslast auf der Basis eines durchschnittlich eingesetzten Kapitals berechnet wird, was die Voraussetzung dafür ist, dass die Kosten der Anlage einschließlich Zinsen in jedem Jahr proportional zu der Ausbringungsmenge und zum Wert der Anlage bestimmt werden.

Der für die Verzinsung des eingesetzten Kapitals anzusetzende Zinssatz ebenso wie die betriebsgewöhnlich Nutzungsdauer und der Preisverfall sowie die Auslastungsrate sind grundsätzlich frei parametrierbar und werden auf Basis von Referenzwerten und Markterfahrungen in ökonomisch sinnvoller Form eingestellt.

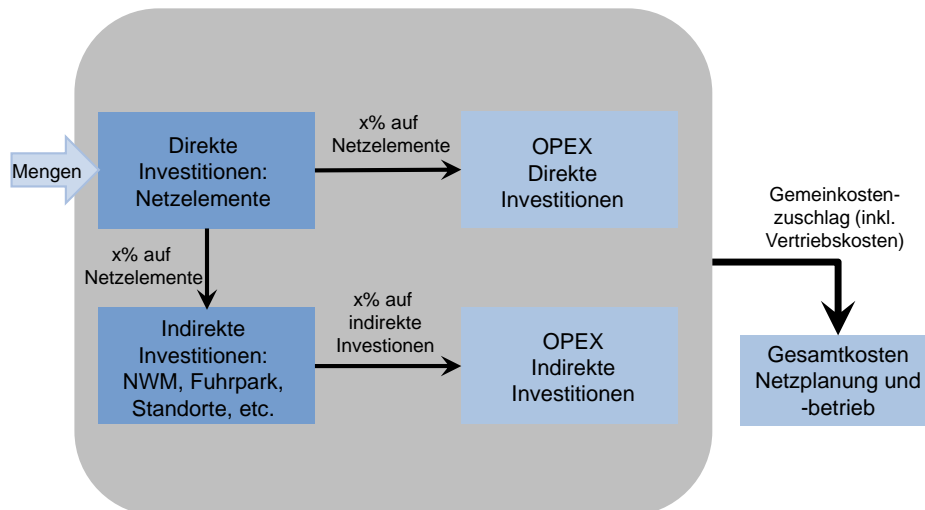
Die gleiche Vorgehensweise wird auch für die Annualisierung der indirekten Investitionen angewendet, auf deren Bestimmung der folgende Abschnitt etwas genauer eingeht.

5.2 Indirekte Invest, OPEX und Gemeinkosten

Die Modellierung von indirekten Investitionen, OPEX und Gemeinkosten erfolgt bei Bottom-up Modellen in der Regel auf Basis von Zuschlagsfaktoren.

Zunächst werden die indirekten Investitionen bestimmt. Diese setzen sich zusammen aus Investitionen, die nicht unmittelbar den einzelnen Komponenten oder Ebenen des Netzes zugeordnet werden können (s.u.). Aus den direkten und den indirekten Investitionen werden anschließend die OPEX über individuelle Zuschlagssätze je Investitionsgruppe gebildet. Aus der Summe der CAPEX der direkten und indirekten Investitionen und aus den OPEX für beide können anschließend die Gemeinkosten über einen Gemeinkostenzuschlag ermittelt werden. Alle Zuschlagssätze sind im Modell frei parametrierbar und werden auf Basis von Referenzwerten und Markterfahrungen eingestellt.

Abbildung 5-1: Zuschläge für indirektes Invest, OPEX und Gemeinkosten und Bestimmung der Gesamtkosten



Die indirekten Investitionen bestehen aus Investitionen für Fahrzeuge, Büroausstattung, Testzentrum/ Messgeräte/ und Werkzeuge (unter dem Begriff Werkstatt subsummiert), IT, Netzwerkmanagement (sofern nicht als Element Manager in den Netzkomponenten berücksichtigt) und Land/ Gebäude. Für jede dieser Positionen gibt es einen individuellen Zuschlagssatz auf die Netzelemente. Die indirekten Investitionen werden nach derselben Methode wie die direkten Investitionen abgeschrieben.

Die OPEX werden über individuelle Zuschlagssätze auf alle direkten und indirekten Investitionen entsprechend der Investitionsgruppen bestimmt.

Die Gemeinkosten werden anschließend über einen einheitlichen Zuschlagssatz auf die Summe der CAPEX (direkt und indirekt) und der OPEX (direkt und indirekt) bestimmt.

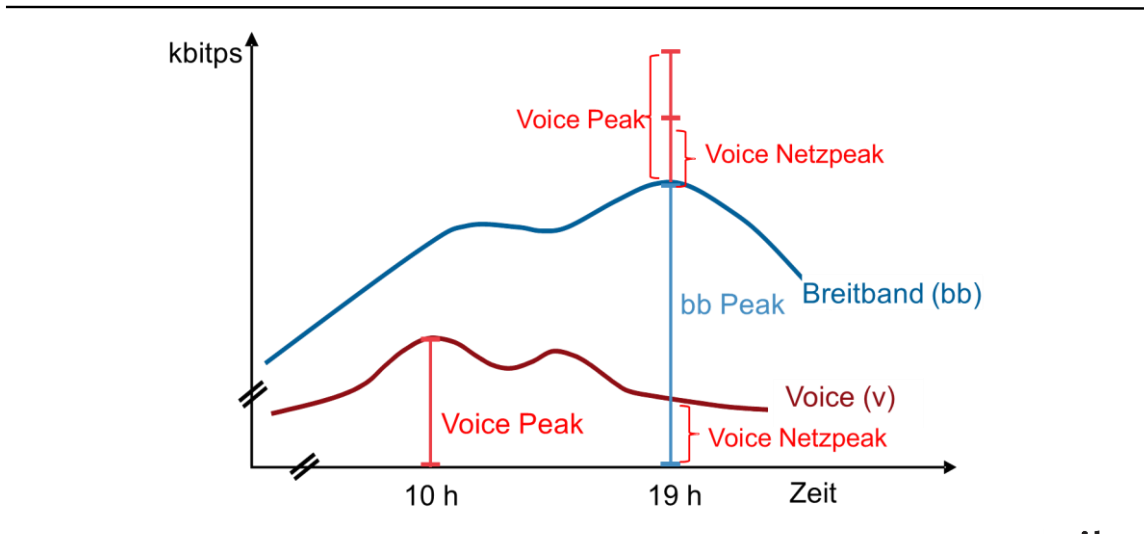
Die Gesamtkosten wiederum sind das Resultat aus CAPEX, OPEX und, wenn berücksichtigt, der Gemeinkosten.

5.3 Bestimmung der Gesamtkosten und Kosten für einen Dienst

Da Struktur und Umfang des Netzes von der Nachfrage bestimmt werden, die während der Spitzenlastzeit befriedigt werden muss, werden auch die Gesamtkosten des Netzes von der Nachfrage zu diesem Zeitpunkt und zu dem Zeitpunkt etwaiger dienstespezifischer Lastspitzen verursacht.¹⁰ Die Verteilung dieser Kosten auf die Mengen, die während der gesamten relevanten Zeit nachgefragt werden, kann unterschiedlich erfolgen. Es kann eine strikt proportionale Verteilung zur Spitzenlastzeit vorgenommen werden, oder die Kosten werden den verschiedenen Diensten entsprechend Kriterien zugeordnet, die eher durch Preissetzungsüberlegungen bestimmt werden.

¹⁰ Z.B. der Verkehr zur Sprach Busy Hour, der die Größe Sprachnetzspezifischer Netzkomponenten bestimmt, die dann über entsprechende Routingfaktoren den Sprachkosten zugerechnet werden.

Abbildung 5-2: Beispiel für Tagesverkehrskurven eines NGN für Sprach- und sonstigen Breitbandverkehr



Typischerweise klaffen die Hauptverkehrszeit des Sprachverkehrs und des sonstigen Breitbandverkehrs auseinander. Das Breitbandnetz ist generell für den maximalen Gesamtverkehr zu dimensionieren. Die Komponenten des Sprachnetzes (z.B. Softswitches, Mediagateways, ...) sind jedoch für die Hauptverkehrszeit des Sprachnetzes zu dimensionieren. Die beiden Verkehrswerte zur Hauptverkehrszeit des Gesamtnetzes zu addieren würde typischerweise zu einer Überschätzung des Gesamtverkehrs und zu einer Überschätzung der Kosten führen. Daher erlaubt das Modell eine Anpassung der Hauptverkehrswerte des Sprachnetzes an den Verkehrswert des Sprachverkehrs zur Hauptverkehrsstunde des Gesamtnetzes über einen Korrekturfaktor, der das Modell entsprechend parametrisiert und aus Markterfahrungen gewonnen wird (vgl. Voice Peak, korrigiert zum Voice Netzpeak in Abbildung 5-2¹¹).

Im LRAIC-Ansatz wird dann für die Bestimmung der Kosten der einzelnen Dienste von den Gesamtkosten einschließlich Gemeinkosten, ausgegangen, die durch das Errichten und Betreiben des Netzes bzw. durch das Angebot der Dienste entstehen und von dem Modell wie oben beschrieben für die Capex der direkten Netzinvestitionen, der indirekten Investitionen und der jeweils zugehörigen OPEX und Gemeinkosten berechnet worden sind. Für die Bestimmung der Kosten eines Dienstes werden Informationen genutzt, die im Netzplanungsmodul in Bezug auf den jeweiligen Grad der Inanspruchnahme der verschiedenen Anlagen durch die verschiedenen Dienste eingesetzt bzw. zum Teil durch den Netzplanungsprozess gewonnen worden sind. Diese Informationen kommen in der Form von Routing-Faktoren zur Anwendung, mit deren Hilfe die Kosten der Anlagen auf die verschiedenen Dienste verteilt werden. Als Ergebnis erhält man die

¹¹ Abbildung 5-2 zeigt nicht unbedingt die Hauptverkehrsstunde des Gesamtnetzes, wenngleich sie typischerweise mit der des Breitbandnetzes identisch ist.

Anteile der Kosten eines jeden Anlagentyps, die den verschiedenen Diensten zuzuordnen sind. Durch Aufaddieren der Kostenanteile eines Dienstes über alle Anlagentypen erhält man die dienstespezifischen Kosten und durch Dividieren mit dem Volumen des entsprechenden Dienstes erhält man die Kosten pro Einheit dieses Dienstes

Für die Elemente der Kontrollschicht wird anstelle der Minuten-Äquivalente die Zahl der Verbindungen als Divisor herangezogen und auf Basis der durchschnittlichen Gesprächslänge auf die Verbindungsminute umgerechnet.

Im Rahmen der aktuellen EU-Empfehlung für die Bestimmung von Terminierungsentgelten in Fest- und Mobilnetzen [EU Kommission-09a] muss ein aktuelles Kostenmodell auch die dort definierten sogenannten pure LRIC für den Terminierungsverkehr bestimmen können. Dies sind im Prinzip die Grenzkosten, die entstehen, wenn man zu allen anderen Verkehren nur noch den Terminierungsverkehr hinzufügen würde. Zu den Verkehren, die vor dem Hinzufügen des Terminierungsverkehrs bereits im Netz berücksichtigt sein müssen, zählt beispielsweise auch der im Netz entstehende Verkehr, der in anderen Netzen terminiert werden soll, der Originierungsverkehr. D.h. dass im Grundsatz die Netzelemente zur Zusammenschaltung von Sprachnetzen für den Austausch von Verkehr untereinander schon vorhanden sein müssen. Sie werden ohne den Terminierungsverkehr nur anders dimensioniert. Die Gemeinkosten sind entsprechend der EU-Empfehlung für die Bestimmung der pure LRIC auszuklammern bzw. ggf. angemessen (z.B. Wholesalekosten) zu berücksichtigen. Das Modell bestimmt diese Kosten des pure LRIC Terminierungsverkehrs in zwei Modellläufen, indem es einmal mit und einmal ohne Verkehr die Kosten des effizienten Netzes bestimmt und die Differenz der Kosten auf die Minuten des Terminierungsverkehrs aufteilt.

Wie bisher für PSTN/ ISDN Netze üblich erlaubt das Modell eine Spreizung der LRAIC-basierten Terminierungsentgelte nach dem Prinzip des Element Based Charging in Local, Single und Double Transit. Diese Spreizung mag sich aber überholen, wenn es in NGN Netzen nur noch wenige (nationale) Übergabepunkte gibt. Für die Bestimmung der pure LRIC wurde auf diese Spreizung verzichtet. Es wird nur ein Wert ausgegeben.

Literaturverzeichnis

[EU Kommission-09]: Draft recommendation on regulated access to Next Generation Access Networks (NGA); Brussels, [Draft 12 June 2009 for 2nd public consultation]: C(2009)

[Eu Kommission-09a]: Europäische Kommission, Recommendation on the Regulatory Treatment of Fixed and Mobile Termination Rates in the EU - EXPLANATORY NOTE, Brussels, http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/doc/library/public_consult/termination_rates/explanatory.pdf.

[WIK-05]: Analytisches Kostenmodell für ein Breitbandnetz, Referenzdokument 2005, http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1931/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/RegulierungTelekommunikation/AnalytischeKostenmodelle/Dokumente_Basepage.html?nn=69052#doc83628bodyText5