

# Erstellung von Bottom-up Kosten- rechnungsmodellen zur Ermittlung der Kosten der Zusammenschaltung in Festnetzen und Mobilnetzen

## Festnetz

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, 21. Januar 2011



## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Kommentarverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Gegenstand und Zielsetzung	1
1.2 Aufbau des Dokuments	2
<b>2 Methodischer Ansatz</b>	<b>3</b>
2.1 Generischer Modellierungsansatz	3
2.2 Dienstintegriertes Multiservicenetz – Modellierung auf Basis von Netzsegmenten	5
2.3 Nachfrage und Netzsegmente	5
2.4 Vertikale Perspektive – Modellierung von Netzschichten	7
2.5 Zusammenfassung	8
<b>3 Netzwerkplanung</b>	<b>9</b>
3.1 Nachfragemodellierung	11
3.1.1 Einführung in das Nachfragemodell für IP-basierte Dienste	12
3.1.2 Modellierungsrelevante Eigenschaften der Dienste	15
3.1.3 Modellierung von Nutzertypen und Anschlusskategorien	19
3.1.4 Ableitung der standortbezogenen nutzerinduzierten Verkehrsnachfrage	22
3.1.5 Qualitätsdifferenzierung und äquivalente Bandbreite	27
3.2 Logisches Netz	30
3.2.1 Entwurf der Netzhierarchie	32
3.2.2 Definition der untersten Netzebene	38
3.2.3 Modellierung der Netzstruktur und Einrichtungen im logischen Netz	41
3.2.4 Modellierung von Netzstandorten mit dienstespezifischen Funktionalitäten	49
3.3 Physikalisches Netz	56
3.3.1 Architektur des physikalischen Netzes	56
3.3.2 Topologie des physikalischen Netzes	65
3.4 Aspekte der Absicherung	74
3.5 Kontrollplattform	75

3.5.1	NGN und IMS	76
3.5.2	Next Generation Internet (NGI)	79
3.5.3	NGN und NGI im Kostenmodell	80
<b>4</b>	<b>Kostenmodul</b>	<b>86</b>
4.1	Inputparameter gesteuerte Systemzuweisung und Investitionswertbestimmung für Netzelemente	86
4.2	Kostentreiber	87
4.3	Systemzuweisung im Kostenmodul	87
4.3.1	Logisches Netz	88
4.3.2	Physikalisches Netz	89
4.3.3	Serverkosten	89
4.3.4	Kosten der Kontrollschicht	90
<b>5</b>	<b>Aspekte zur Ermittlung der Kosten</b>	<b>92</b>
5.1	Generelles zur Ermittlung der Kosten	92
5.1.1	Der verwendete Kostenrechnungsmaßstab: der Pure LRIC Ansatz der Europäischen Kommission	92
5.1.2	Abhängigkeit der Kosten von Erwartungen und Grad der Präzision in der Modellierung	93
5.2	Anwendung von Pure LRIC und LRAIC	94
5.3	Ermittlung der Kosten	95
5.3.1	Annualisierte Capex	96
5.3.2	Abschreibungen und Verzinsung als getrennte Größen	99
5.3.3	Opex	99
5.3.4	Gemeinkosten	100
5.3.5	Bestimmung der Gesamtkosten und Kosten für einen Dienst	101
<b>6</b>	<b>Skizzierung der softwaretechnischen Implementierung</b>	<b>102</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>103</b>
	<b>Anhang 1</b>	<b>105</b>
	<b>Anhang 2: Kostentreiber</b>	<b>107</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Schematische Darstellung eines TELRIC-Modells zur Kostenberechnung in Telekommunikationsnetzen	4
Abbildung 2-2:	Netzsegmente im Festnetz	5
Abbildung 3-1:	Modellierungsrahmen Netzstruktur	33
Abbildung 3-2:	Nachfragegetriebene Netzmodellierung	36
Abbildung 3-3:	Vierte Konzentrationsstufe unterhalb des MPoP im NGA	39
Abbildung 3-4:	Sternstrukturen im 2- bzw. 3-Ebenen-Konzentrationsnetz	42
Abbildung 3-5:	Layer 2 Einrichtungen im Konzentrationsnetz	43
Abbildung 3-6:	Sternstruktur 2-Ebenen-Konzentrationsnetz und Verkehrsmatrix [a) hierarchischer IP-Verkehr; b) Layer 2 Verkehr]	45
Abbildung 3-7:	Layer 3 Einrichtungen im IP-Kernnetz (3-Ebenen)	48
Abbildung 3-8:	Grundsätzliche Funktionen der physikalischen Transportschicht und ihrer zugehörigen Netzelemente	57
Abbildung 3-9:	Abbildung einer Sternstruktur aus der logischen Netzschicht auf eine Ringtopologie in der physikalischen Netzschicht	59
Abbildung 3-10:	OTN-Schichten	66
Abbildung 3-11:	Flaches Kernnetz	69
Abbildung 3-12:	2-Ebenen Kernnetz	71
Abbildung 3-13:	3-Ebenen Kernnetz	73
Abbildung 3-14:	Entwicklung der Dienste und Kontrollschicht von traditionellen Netzen zum NGN/IMS	77
Abbildung 3-15:	Übersicht über die wichtigsten Funktionsblöcke des IMS und deren Verknüpfung mit den darüber- und darunter liegenden Schichten, und externen Netzen	78
Abbildung 3-16:	Kapazitätsbereitstellung im IMS mittels der PDF Funktion	82
Abbildung 3-17:	Einrichtung der Kontrollschicht	85
Abbildung 4-1:	Verkehrsmatrizen zur Beschreibung des Kapazitätsbedarfs einer Einrichtung des logischen Netzes (am Beispiel einer Layer 2 Einrichtung in einem Knoten der untersten Netzebene)	88

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Beschreibung einer möglichen Klassifikation von Nutzertypen	20
Tabelle 3-2:	Mögliche Attribute der von Anschlusstechnologien auf der Basis von Glasfaser und Kupfer	21
Tabelle 3-3:	Beispiel für Dienstekategorien und ihre Attribute im Dienstmodell mit einer möglichen Zuordnung zu den Verkehrsklassen	23
Tabelle 3-4:	Bandbreitenwerte je Nutzer in der busy hour (Beispielwerte)	25
Tabelle 3-5:	Verkehrsmatrix für einen IP-PoP (jeweils für Up- und Downstream)	26
Tabelle 3-6:	Schichten der logischen und physikalischen Ebenen	31
Tabelle 3-7:	Optionen für die logische Struktur eines 3-Ebenen Netzes	49
Tabelle 3-8:	Beispiel für ein Zusammenschaltungsszenario (Sprache) in einem 2-Ebenen-Konzentrations- und 1-Ebenen-Kernnetz – Aufteilung des ausgehenden IC-Verkehrs auf die verschiedenen Netzebenen	54
Tabelle 3-9:	Entwicklung der Übertragungssysteme	58
Tabelle 3-10:	Kontrollschicht-Szenarien in Koordination zwischen der logischen– und physikalischen Ebene	79
Tabelle A1- 1:	Implementierte Varianten der Realisierung des logischen und physikalischen Netzes	106
Tabelle A2- 1:	Kostentreiber Layer 2/3	107
Tabelle A2 2:	Kostentreiber Layer 1	107
Tabelle A2 3:	Kostentreiber Layer 0	107
Tabelle A2 4:	Kostentreiber Kontrollschicht:	108

## Kommentarverzeichnis

<i>Kommentaraufforderung 2-1:</i>	6
<i>Kommentaraufforderung 3-1:</i>	15
<i>Kommentaraufforderung 3-2:</i>	18
<i>Kommentaraufforderung 3-3:</i>	21
<i>Kommentaraufforderung 3-4:</i>	29
<i>Kommentaraufforderung 3-5:</i>	35
<i>Kommentaraufforderung 3-6:</i>	37
<i>Kommentaraufforderung 3-7:</i>	43
<i>Kommentaraufforderung 3-8:</i>	45
<i>Kommentaraufforderung 3-9:</i>	49
<i>Kommentaraufforderung 3-10:</i>	52
<i>Kommentaraufforderung 3-11:</i>	54
<i>Kommentaraufforderung 3-12:</i>	55
<i>Kommentaraufforderung 3-13:</i>	59
<i>Kommentaraufforderung 3-14:</i>	61
<i>Kommentaraufforderung 3-15:</i>	62
<i>Kommentaraufforderung 3-16:</i>	64
<i>Kommentaraufforderung 3-17:</i>	65
<i>Kommentaraufforderung 3-18:</i>	69
<i>Kommentaraufforderung 3-19:</i>	72
<i>Kommentaraufforderung 3-20:</i>	73
<i>Kommentaraufforderung 4-1:</i>	89
<i>Kommentaraufforderung 4-2:</i>	90
<i>Kommentaraufforderung 5-1:</i>	100

## 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
$\Delta p$	durchschnittliche erwartete Veränderungsrate im Preis der Anlage (als Modern Equivalent Asset) während der wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlage
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
<i>g</i>	prognostizierte durchschnittliche Wachstumsrate des Leistungsvolumens der Anlage während der wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlage
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
<i>I</i>	Investition
<i>i</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
$\lambda$	mittlere Paketrage (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 Processo
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 Anlagetyp $i$ ,
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 Anlagetyps $i$ 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	synchrone 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

## 1.1 Gegenstand und Zielsetzung

Die RTR steht vor der Aufgabe, Terminierungsentgelte für Fest- und Mobilnetze mit Hilfe von Bottom-Up Kostenmodellen zu bestimmen und dabei die Migration der Telekommunikationsarchitekturen zu Netzen der nächsten Generation zu antizipieren. Vor dem Hintergrund der Empfehlung der Europäischen Kommission zur Behandlung von Festnetz- und Mobilfunkterminierungsentgelten gilt es dabei nun auch erstmalig neue Kostenmaßstäbe (pure LRIC) anzusetzen.

Gegenstand dieses Dokuments ist eine Grobspezifikation des Analytischen Kostenmodells für das NGN-Festnetz (im Folgenden kurz mit NGN bezeichnet). Der Umfang der Kostenmodellierung richtet sich dabei zunächst nach den Anwendungszielen dieses Instrumentes, welche bereits einleitend mit der Kostenermittlung für Terminierungsleistungen beschrieben wurde. Ergänzend hat die RTR in ihrem Ausschreibungsdokument weitere Anforderungen dargelegt, die sich zum einen aus der LRIC-Regulierung von Terminierungsleistungen ableiten bzw. zukünftige Adaptionmöglichkeiten für den Next Generation Access (NGA) vorsehen.

Die Modellierung soll das Festnetz im Sinne des Verbindungsnetzes der nächsten Generation umfassen. Gegenstand sind daher die Netzsegmente „Konzentrationsnetz“ und „IP-Kernnetz“. Soweit mit der Entstehung von NGA eine Erweiterung des konzentrierenden Netzes in Richtung Teilnehmer erfolgt, sollen auch diese Kosten mit Hilfe des bottom-up Modells bestimmbar sein.<sup>1</sup>

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 Unternehmen sowie

---

<sup>1</sup> Die Abgrenzung zum Accessnetz ist bei den Netzen der neuen Generation nicht mehr so eindeutig beschreibbar wie bei dem klassischen PSTN, sondern kann vielmehr von den implementierten FTTx-Zugangsarchitekturen abhängen. Ob der Demarcation Point, im Sinne einer Abgrenzung der auf Anschlussleitung- bzw. Verbindungsnetz und damit Terminierungsleistung zurechenbaren Kosten eine Berücksichtigung der Kosten des NGA erfordert, kann zu diesem Zeitpunkt nicht abschließend festgestellt werden. Siehe hierzu auch [EU Kommission-09].

- einen sachgerechten Diskurs über zentrale, kostenbestimmende Parameter und deren Auswirkungen auf die Kosten.

Vor dem Hintergrund der genannten Anforderungen ist es Ziel des vorliegenden Dokumentes, ein analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz zu spezifizieren, das in nachvollziehbarer Form alle relevanten Beziehungen zwischen Input- und Outputgrößen dokumentiert und somit diese einem kritischen Diskurs zugänglich macht. 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 auf den folgenden Seiten 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. Über die Angemessenheit dieser Reduktion soll auf Basis dieses Dokumentes ein offener und kritischer Diskurs initiiert werden, dessen Ziel es ist, eine akzeptierte Methodologie zu entwickeln, die als Grundlage zukünftiger Regulierungsentscheidungen dienen kann. Der angestrebte Konsens über die Methode kann dabei nicht zugleich als ein Konsens über sämtliche in die Modellrechnung einfließende Parameter verstanden werden. Diese sind ggf. im Rahmen von Entgeltregulierungsentscheidungen festzulegen.

## 1.2 Aufbau des Dokuments

Die Arbeit unterteilt sich in 6 Kapitel, wobei das erste die Einführung und das 6te die abschließenden Bemerkungen beinhaltet. Im Einzelnen werden die folgenden Aspekte abgehandelt:

- Ein Überblick über die methodische Vorgehensweise.
- Die Netzwerkplanung für das logische und physikalische Netz sowie die Kontrollplattform – unter Berücksichtigung der Verschiedenartigkeit der Qualitätsanforderungen der Dienste in einem Multiservicenetzt sowie von Aspekten der Verkehrsverteilung und Dimensionierung.
- Die Modellierung der Nachfrage unter Berücksichtigung von NGA Access Architekturen.
- Die Kostenmodellierung unter Rückgriff auf die zu verwendenden Kostentreiber.
- Kapitalkosten- und OPEX- Bestimmung
- Skizzierung der softwaretechnischen Implementierung

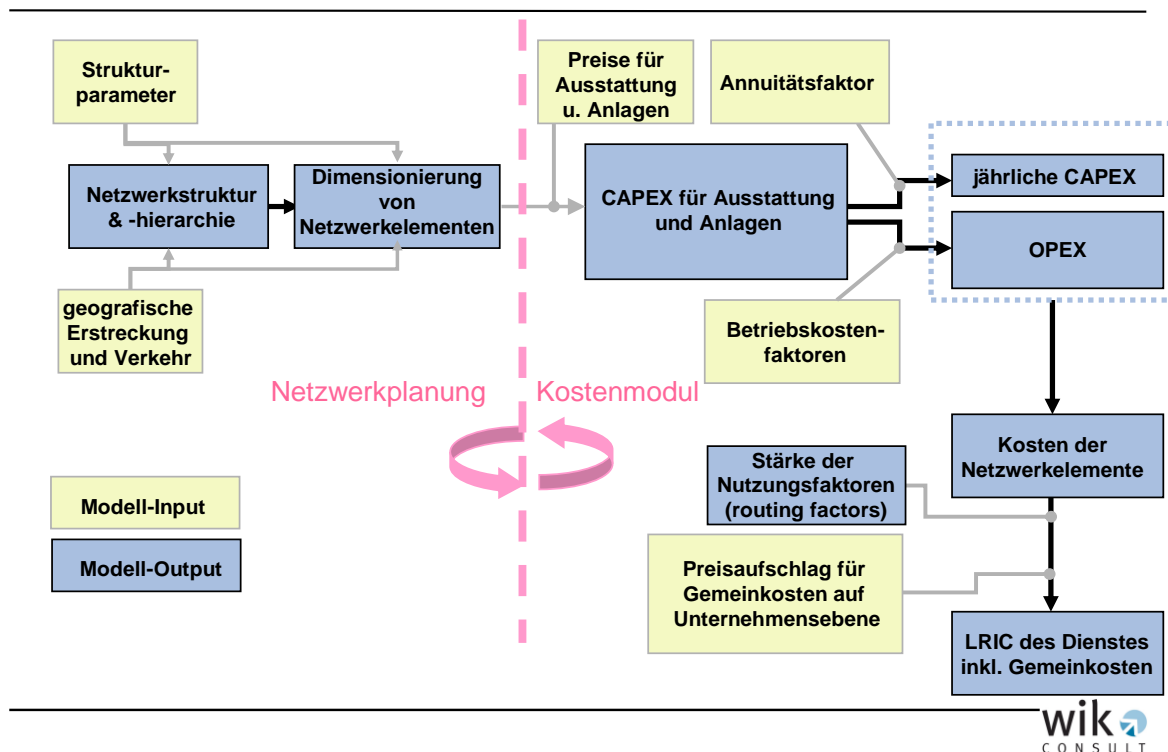
## 2 Methodischer Ansatz

### 2.1 Generischer Modellierungsansatz

Bei dem hier vorgestellten Kostenmodell handelt es sich um ein sog. Bottom-up Kostenmodell. Es zeichnet sich dadurch aus, dass das durch die Modellberechnungen bestimmte **Mengengerüst** (Anzahl von Routing und Switching-Einrichtungen, Add-Drop-Multiplexer, Crossconnectoren oder Glasfaserkabeln) **in Abhängigkeit von der** in das Modell als Inputparameter einfließenden **Nachfrage bestimmt** wird. Dieser zentrale Zusammenhang zwischen Nachfrage und Netzdimensionierung soll auch anhand der nachfolgenden Abbildung illustriert werden, wobei auch verdeutlicht wird, dass weitere Größen ebenfalls auf das zu bestimmende Mengengerüst einwirken (hier dargestellt durch "Strukturparameter").

Zu betonen ist, dass für das nachfolgend betrachtete Kostenmodell ein Total Element Ansatz (TE) implementiert werden soll, der es ermöglicht, die Inanspruchnahme von Netzelementen nach Maßgabe der sie gemeinsam in Anspruch nehmenden Dienste zu bestimmen sowie diese für die Kostenzurechnung verwendbar zu machen. 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



Quelle: [ACCC-07]

Die Modell-Beschreibung wird so weit wie möglich unabhängig von der/den zu betrachtenden konkreten Netzarchitekturen, Nutzertypen, Dienstekategorien und deren Klassifizierung nach QoS-Gesichtspunkten gehalten. Damit soll eine generische Nutzer- und netzagnostische Spezifizierung erreicht werden. Um das Verständnis zu erleichtern, wird die abstrakte Beschreibung durch konkrete Beispiele illustriert, die aus Sicht der Autoren die derzeitige Situation beschreiben, aber nicht als unbedingte Festlegung für das Kostenmodell Breitbandnetz verstanden werden sollten.

Das Modell ist so angelegt, dass die Systemzuweisung im Kostenmodul durch die Parametrisierung erfolgt (siehe rechte Hälfte in Abbildung 2-1), d.h. es werden – entsprechend der zu betrachtenden Technologien – die Kapazitäten der Einrichtungen des logischen Netzes durch den Modellanwender angegeben. Es ist daher dem Modellanwender überlassen, welche Technologie und zugehörige Verkehre er parametrisiert.<sup>2</sup>

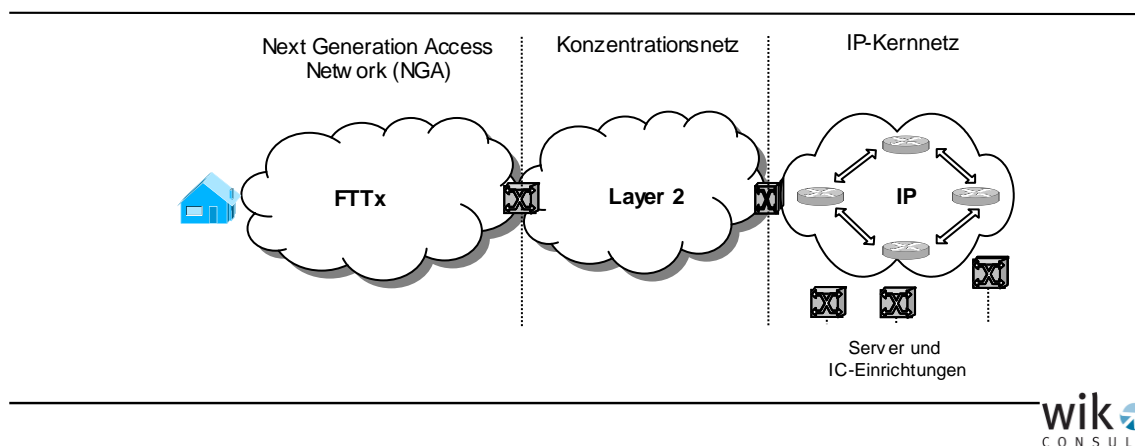
<sup>2</sup> An dieser Stelle soll bereits darauf hingewiesen werden, dass die Unterscheidung in Layer 2 und Layer 3 Verkehre die Differenzierung von zugehörigen Verkehrsnachfragen erlaubt. So werden im Konzentrationsnetz neben den IP-Verkehren (für die das Konzentrationsnetz lediglich die Zubringerfunktion erfüllt) auch spezifische Layer 2 Verkehre berücksichtigt. Ob im Konzentrationsnetz tatsächlich eine Layer 2 Technologie und im Kernnetz eine Layer 3 Technologie zur Anwendung kommt, wird letztlich durch die Systemzuweisung durch den Modellanwender bestimmt.

## 2.2 Dienstintegriertes Multiservicenet – Modellierung auf Basis von Netzsegmenten

### 2.3 Nachfrage und Netzsegmente

Gegenstand der Modellierung ist ein dienstintegriertes Multiservicenet, wobei unterstellt wird, dass die Dienstintegration auf dem Layer 3, d.h. dem IP erfolgt. Schematisch lässt sich das Telekommunikationsnetz entsprechend der nachfolgenden Abbildung 2-2 skizzieren. Die ganz rechts dargestellte Wolke stilisiert dabei das eigentliche Dienste erbringende IP-Kernnetz, wobei die mittlere Wolke eine reine Verkehrskonzentration zur Aufgabe hat und die Wolke ganz links die Teilnehmeranschlusstechnologie der neuen Generation kennzeichnet. Die Schnittstelle zwischen Zugangnetz und Konzentrationsnetz bildet der MPoP (Metropolitan Point of Presence) entsprechend der EU Nomenklatur [EU-09].

Abbildung 2-2: Netzsegmente im Festnetz



Diese Darstellung entspricht durchaus einer gängigen Interpretation zukünftiger Festnetze. Dennoch soll bereits an dieser Stelle erwähnt werden, dass es eine Vielzahl von Freiheitsgraden bei der Netzgestaltung gibt, die letztlich von der hier vorgestellten funktionalen Unterteilung der drei Netzsegmente als auch ihre Realisierungsform auf den angegebenen Layern des OSI-Modells abweichen. – Diese Freiheitsgrade der Netzgestaltung sollen auch in dem hier vorgestellten Kostenmodell abbildbar sein, was eine weitere Motivation für den generischen und modularen Aufbau des Kostenmodells ist.<sup>3</sup>

Sowohl Netzplanung als auch Kostenermittlung erfolgen für die dargestellten Segmente NGA, Konzentrationsnetz und IP-Kernnetz separat. Wie bereits in der Einführung angedeutet, ist eine Kostenermittlung im Anschlusssegment (NGA) nur dann von Relevanz, wenn

<sup>3</sup> Siehe hierzu auch Fußnote 2.

dort bereits eine Verkehrsaggregation erfolgt, die für die Bestimmung von Terminierungsentgelten relevant ist. Für dieses Netzsegment wird keine Netzplanung im Sinne eines Bottom-up Modells vollzogen, sondern lediglich eine Kostenbestimmung auf Basis vorgegebener Mengen- und Strukturgrößen.

Das Konzentrationsnetz und das IP-Kernnetz bilden das "Verbindungsnetz" im traditionellen Sinne und beide sind Gegenstand einer generischen bottom-up, d.h. nachfragegetriebenen Modellierung.

Den regulatorischen Anforderungen entsprechend, soll die Kostenermittlung auf Basis des Maßstabs der LRIC bzw. „Pure LRIC“ vorgenommen werden können. Der LRIAC Maßstab und der ihm zu Grunde liegende Effizienzgedanke verlangt dabei, die aus einer Verbundproduktion realisierbaren Größen- und Verbundvorteile zu berücksichtigen. Ausgehend von der Zielgröße Kosten der Terminierung sind sämtliche Netzelemente zu betrachten, die zur Realisierung dieses Dienstes erforderlich sind.

Da es sich – auch aus Sicht der Marktteilnehmer – bei dem Festnetz der nächsten Generation um ein auf Layer 3 (IP) integriertes Multiservicenetz handelt, sind prinzipiell sämtliche IP-basierten Dienste zu berücksichtigen, da diese gemeinsam mit der Sprache das Transportnetz (und teilweise auch die Kontrollplattform) in Anspruch nehmen. Abgrenzungskriterium sind auch hier wieder die von VoIP in Anspruch genommenen Netzelemente auf Ebene des betrachteten logischen und physikalischen Netzes sowie der zugehörigen Kontrollplattform.

<i>Kommentaraufforderung 2-1:</i>	Besteht Einvernehmen darüber, dass das Netz der nächsten Generation im Kernnetz ein Layer 3 basiertes IP-Netz ist? Falls Sie davon ausgehen, dass im Kernnetz kein Layer 3 basiertes IP-Kernnetz zu erwarten ist, führen Sie bitte Ihre Gründe dafür aus.
Antworten:	Es wird die Annahme grundsätzlich bestätigt bzw. ein Layer 3 Kernnetz bereits betrieben.
WIK-Consult:	Bestätigung unserer Erwartungen.
<b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich</b>	

Darüber hinaus müssen alle anderen Dienste niedrigerer Ebenen soweit berücksichtigt werden, wie sie eine gemeinsame Infrastruktur und deren Kosten teilen.

Die Unterteilung des bottom-up Modells in zwei Segmente (Konzentrations- und Kernnetz) erlaubt es, für das Konzentrationsnetz eine zusätzlich parametrisierbare Verkehrsnachfrage, die lediglich für das Konzentrationsnetz von Relevanz ist, zu berücksichtigen. Illustrativ – wie es derzeit erwartet werden kann – ist in Abbildung 2-2 dem Konzentrationsnetz eine Layer 2 Technologie zugeordnet. Über diese Layer 2 Technologie werden dann sämtliche IP-

Verkehre dem Kernnetz zugeführt. Entsprechend leitet sich die Layer 2 Nachfrage aus der IP-Nachfrage ab.<sup>4</sup>

Zusätzlich wird im Modell berücksichtigt, dass es Verkehre gibt, die in dem jeweiligen Konzentrationsnetz-Cluster abgewickelt werden und dazu lediglich logische Einrichtungen des Konzentrationsnetzes in Anspruch nehmen (in dem von uns gewählten Beispiel Layer 2). Diese Verkehrsnachfrage ist separat von der Nachfrage nach IP-Diensten zu parametrisieren und entsprechend eine Verkehrsmatrix zu erstellen.

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

Sofern einzelne Schichten dieses Modells nicht gefüllt sein sollten, werden die dort typischerweise angesiedelten Dienste in der nächsthöheren Schicht, ggf. auch in der darunterliegenden Schicht realisiert.

## 2.4 Vertikale Perspektive – Modellierung von Netzschichten

In Abschnitt 2.3 wurde gerade die Kostenmodellierung NGN für die verschiedenen Technologien auf Layer 2 und Layer 3 des OSI Schichtenmodells ausgeführt und eine entsprechende Abgrenzung der Netzsegmente Konzentrationsnetz (Layer 2) und IP-Kernnetz (Layer 3) vorgenommen.

Um den Umfang der Kostenmodellierung vorab zu umschreiben, soll hier die Perspektive der vertikalen Schichten des Telekommunikationsnetzes eingenommen werden. Der bottom-up Modellierungsansatz kommt dabei für das Transportnetz für die Daten der Nutzer sowie die Plattform zur Dienstrealisierung zum Aufbau, Monitoring und Abbau von Verbindungen sowie zur Netzverwaltung (Kontrollschicht) zur Anwendung. Im Einzelnen handelt es sich dabei um die folgenden Netzebenen:

- 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)

Für die Nachfragemodellierung bedeutet dies, dass auch reine Layer 1 Verkehre (traditionelle Mietleitungen) zu berücksichtigen sind. Dies erfordert die Vorgabe einer Verkehrsmatrix (Modellinput), sofern die Kostenmodellierung über eine reine Zuschlagskalkulation (mittels

---

<sup>4</sup> Auch an dieser Stelle sei nochmals auf Fußnote 2 verwiesen.

Beilauffaktoren, dies wird insbesondere für den Layer 0 relevant) hinaus gehen und eine nachfragegetriebene Netzdimensionierung erlauben soll.

## 2.5 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sämtliche Dienste zu berücksichtigen sind, d.h., es ist die Nachfrage auf allen Schichten des OSI-Modells von Layer 0 bis Layer 3 in die Nachfragemodellierung mit einzubeziehen.

Das Kostenmodell Breitbandnetz geht von folgenden Grundlagen aus:

- Das Modell ist nachfragegetrieben, d.h. die von dem Nutzer ausgehenden bzw. bei ihm ankommenden Verkehre sind aus entsprechenden Eingangsdaten zu bestimmen und auf die Standorte der untersten Netzebene zu projizieren.
- Wichtige Netzparameter zur Dimensionierung und zu Fragen der Zuverlässigkeit sind durch Eingangsparameter vorzugeben, können aber durch Sensitivitätsanalysen optimiert werden.
- Die Vielzahl verschiedener Dienste werden auf eine begrenzte Anzahl von Dienstekategorien zusammengefasst, die ihrerseits durch den Modellanwender spezifiziert werden können.
- Die Verkehre, die aus den Dienstekategorien resultieren, können in eine begrenzte, aber vorgebbare Menge von Verkehrsklassen (max. 8 Verkehrsklassen) abgebildet werden (sofern eine Qualitätsdifferenzierung abgebildet werden soll).
- Für jede Verkehrsklasse können QoS-Parameter festgelegt werden, die in die Netzdimensionierung Eingang finden.
- Es wird eine generische Netzarchitektur unterstellt und deren Abbildung auf konkret zum Einsatz kommende Architekturen wird im Rahmen von Kostenparametern vorgenommen.
- Nicht jede Schicht der Schichten 0-3 muss zwangsläufig gefüllt sein, soweit deren Funktion durch andere, meist übergeordnete Schichten mit ausreichender Qualität erfüllt werden kann. Schicht 0 und Schicht 3 sind in jedem Fall erforderlich.

### 3 Netzwerkplanung

Die Netzwerkplanung, welche von der Kostenbestimmung abzugrenzen ist, lässt sich in weitere Teil-Module unterteilen. Zu nennen sind hier:

- die Nachfragemodellierung
- die logische Netzstruktur
- die physikalische Netzstruktur
- die Kontrollplattform

Logisches und physikalisches Netz bilden die technische Realisierungsform zur Befriedigung der Verkehrsnachfrage ab. Dabei können sowohl für die logische Netzstruktur als auch für die physikalische Netzstruktur verschiedene Strategien unterstellt werden, die in unterschiedlich kosteneffizienten Lösungen resultieren.

Der Modellierungsansatz zielt darauf ab, auf den zentralen Kenngrößen aufzusetzen, die die Kosten des Netzes maßgeblich bestimmen. Es ist selbstredend, dass ein Modell eine Abstraktion von der Realität vornimmt und daher eine Reduktion der Komplexität der Netzplanung vorzunehmen ist – 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
  - Anzahl der Standorte je Netzebene
  - Vorgabe der insgesamt vorhandenen Standorte (Geokoordinaten, scorched node Ansatz)
- Technologiewahl
  - auf Layer 3
  - auf Layer 2
  - auf Layer 1

- auf Layer 0 (Topologie der Kabel- und Trassenführung)
- 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: Schwellwerte für die Einrichtung zusätzlicher physikalischer Verbindungen auf Layer 1)
- Absicherung
  - Absicherung von Einrichtungen des logischen Netzes
  - Absicherung von Standorten
    - im Konzentrationsnetz redundante Standortanbindung
    - im Kernnetz Gewährleistung von Bi-Konnektivität (Mindestanforderung)
- Vorgabe von Auslastungsgraden
  - Für Einrichtungen des logischen Netzes
  - Für Einrichtungen des physikalischen Netzes
  - Für Einrichtungen der Kontrollplattform
- Festlegung von Serverstandorten und IC-Standorten (PoI) durch den Modellanwender
  - Differenziert nach Dienstekategorien (Endkundendienste)
  - Differenziert nach Vorleistungen
- Qualitätsanforderungen von Verkehrsklassen
  - Mittlere Verzögerung
  - Jitter
  - Mittlere Verlustrate

Die konsistente Auswahl der Parameter hat dabei der Modellanwender sicher zu stellen.

Die verschiedenen Realisierungsformen resultieren – so die Ausgangshypothese – in verschiedene Kosten. Darüber hinaus sind sie auch mit unterschiedlichen Eigenschaften – insbesondere mit Blick auf Absicherung – verbunden. Diese unterschiedliche Leistungsfähigkeit in der Absicherung kann im Rahmen eines Kostenmodells nicht beantwortet werden. Ihre Bewertung spiegelt sich letztlich in der Zahlungsbereitschaft der Marktteilnehmer wider. Um diese – zumindest indirekt – in die Modellierung einfließen zu lassen, soll im Rahmen der Konsultation eine Einschätzung der Marktteilnehmer gewonnen werden, wie die verschiedenen Architekturen im Vergleich (ordinal) bewertet werden.

### 3.1 Nachfragemodellierung

Die Abbildung der Nachfrage für die bottom-up Modellierung ist von zentraler Bedeutung. Letztlich bestimmen der Umfang der Verkehrsnachfrage, deren Qualitätsanforderungen, die Verteilung der Nachfrager im Raum sowie die zugehörigen Verkehrsmatrizen (Quelle-Ziel) die Gestaltung des Netzes.

Einführend wurde bereits erläutert, für welche Netzsegmente und auf welchen Netzsichten eine Verkehrsnachfrage zu berücksichtigen ist. In diesem Abschnitt der Nachfragemodellierung ist eine institutionelle Abgrenzung relevant. 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 genereller IP-Interconnection-Verkehr zu nennen. Diesen Nachfragergruppen entsprechend wird im Modell eine Parametrisierung der Verkehrsnachfrage vorgesehen.

Es ist ein zentrales Merkmal eines bottom-up Kostenmodells, Veränderungen der Nachfrage mit Blick auf die Kostenimplikationen zu untersuchen. Diesem Anspruch soll auch das hier zu spezifizierende Kostenmodell für das Festnetz der nächsten Generation genügen.

Wie eingangs dargestellt, verfügt das Modell über eine Vielzahl von "Stellschrauben", die die Netzgestaltung bestimmen. Die Veränderbarkeit einzelner Parameter ermöglicht dabei die Durchführung komparativ-statischer Vergleichsrechnungen. – Die in das Modell einfließende Nachfrage stellt ebenfalls eine veränderbare Größe dar und soll insbesondere vor dem Hintergrund sich verändernder Dienstangebote und Anschlusstechnologien die Kostenmodellierung für verschiedene Nachfrageszenarien erlauben.

Die bereits angesprochene Notwendigkeit, dass die gewählte Parametrisierung des Modells eine sinnvolle Realisierungsform darstellen muss, gilt letztlich auch für die Definition der Verkehrsnachfrage, sofern diese Nachfrage auf unterschiedlichen Schichten des Netzes realisiert wird. Mit anderen Worten, es ist durch den Modellanwender anzugeben 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)<sup>5</sup>

Damit steht die Vorgabe der Verkehrsnachfrage in direktem Zusammenhang mit der Technologiezuweisung. Sofern die Verkehrsnachfrage abstrakt, d.h. technologieunabhängig vorgegeben wird, so ist dennoch eine Transformation vorzunehmen, die diese Verkehrsnachfrage in eine korrespondierende Nachfrage, differenziert nach den 4 Netzschichten vornimmt.<sup>6</sup>

Entsprechend der schichtbezogenen Definition der Verkehrsnachfrage sind Verkehrsmatrizen aufzustellen, die die Ende-zu-Ende (Quelle-Ziel) Nachfrage für Layer 1, Layer 2 und Layer 3 spezifizieren.<sup>7</sup> Die nachfolgende Darstellung ist auf die Ableitung der Nachfrage nach IP-basierten Diensten gerichtet. Wie bereits unter Abschnitt 2 ausgeführt, sind für die spezifischen Nachfragen auf Layer 2, Layer 1 und Layer 0 individuellen Verkehrsmatrizen bzw. Beilauffaktoren vorzugeben. Diese Vorgehensweise ist dabei insbesondere durch die Erwartung motiviert, dass zukünftig nahezu alle Dienste auf dem IP-basierten Multiservice-netz integriert werden und daher deren Nachfragemodellierung von zentraler Bedeutung ist.

### 3.1.1 Einführung in das Nachfragemodell für IP-basierte Dienste

Vor dem Hintergrund des technologischen Wandels und der Dynamik sich entwickelnder Anwendungsdienste ist eine Offenheit des Modellierungsansatzes von zentraler Bedeutung. Letztlich erfordert die Anwendung des LRIC-Maßstabs die Berücksichtigung der Nachfrage über die Lebensdauer der Anlagen. Gegeben die Unsicherheit über die zukünftige Nachfrageentwicklung ist es unerlässlich, verschiedene Szenarien definieren zu können und diese für Modellrechnungen anzuwenden. Um die Szenariobildung entsprechend den Anforderungen zukünftiger Breitbandfestnetze adäquat zu unterstützen, wird ein differenziertes Nachfragemodell vorgeschlagen, dass eine Kategorisierung der Nachfrage anhand der folgenden drei Kriterien vornimmt:

- Nutzertypen
- Anschlussart und

---

<sup>5</sup> In diese Kategorie fallen auch die Einsparpotentiale, die durch die gemeinsame Nutzung der Linientechnik durch Anschlussnetz (NGA) und Verbindungsnetz (Konzentrations- und Kernnetz) ergeben. Sie sind durch einen entsprechenden Beilauffaktor abzubilden.

<sup>6</sup> Dieser Zusammenhang lässt sich am besten anhand eines Beispiels illustrieren: Abstrakt sei eine Mietleistungsnachfrage einer vorgegebenen Kapazität (z.B. 144 MBitps) angenommen. Sofern das Netz auf Layer 1 eine SDH-Technologie vorsieht, kann die Nachfrage auf Basis des Layer 1 befriedigt werden. Wird nun das Modell nicht mit SDH parametrisiert, sondern beispielsweise mit WDM, so ist die kleinste, auf Layer 1 wirtschaftlich realisierbare Schnittstelle, eine Kapazität von einer Wellenlänge. Entsprechend wird ein effizienter Netzbetreiber versuchen, diese Nachfrage auf einer höheren Schicht zu befriedigen und es ist dann die benannte Transformation vorzunehmen.

<sup>7</sup> Für Layer 3 Verkehre wird diese Verkehrsmatrix parametergesteuert vom Modell generiert.

- Dienstekategorien.

Die Dienstekategorien beschreiben dabei die netzplanungsrelevanten Eigenschaften des Verkehrs (wie viel Bandbreitenbedarf hat der Dienst? Welche Qualitätsanforderungen hat er? Von wo nach wo muss der Verkehr durch das Netz geführt werden?). Nutzertypen und Anschlusskategorien erlauben dann die Ableitung des Mengengerüsts. So soll auf Basis dieses Nachfragemodells die von den Endkunden induzierte Verkehrsnachfrage abgeleitet werden.<sup>8</sup> Für die Netzplanung bzw. Netzdimensionierung ist dabei die Spitzenlast, d. h. die Nachfrage in der Hauptverkehrsstunde (busy hour, BH) relevant.

Ein zentraler Aspekt der hier vorzunehmenden Spezifikation eines Kostenmodells für das Breitbandnetz ist die Berücksichtigung von Quality of Service (QoS). Dies bedarf einer besonderen Erläuterung, da ein IP-Netz – aufgrund der Eigenschaften des TCP/IP<sup>9</sup> – zunächst ein reines best effort Netz darstellt. Es lässt sich als Warteschlangen-Verlustsystem charakterisieren, welches im Fall der Überfüllung nicht wie das PSTN weitere Diensteanfragen blockiert, sondern die bereitgestellte Bandbreite für alle IP-basierten Dienste im Netz undifferenziert verringert, die Qualität der Datenübertragung reduziert (Latenz, Jitter) und bei Überlast Datenpakete ggf. wahllos löscht<sup>10</sup>.

Mit der Integration von Diensten auf IP-Netzen wurden die Beschränkungen des Netzes hinsichtlich der Realisierung von QoS deutlich. Dienstespezifische Anforderungen an QoS-Parameter wie Latenz, Jitter oder Paketverlust können in einem best effort Netz nur begrenzt durch Überdimensionierung der erforderlichen Kapazitäten gewährleistet werden. – Da es dennoch als wirtschaftlich sinnvoll und technisch machbar angesehen wird, Dienste auf dem IP-Netz zu integrieren, wurden – neben der reinen Überdimensionierung des Netzes – Strategien zur Realisierung von QoS entwickelt, die über die reine Überdimensionierung von Kapazitäten hinausgehen. Dies sind insbesondere Verfahren der

- Priorisierung sowie
- Kapazitätsreservierung.

---

<sup>8</sup> In der Welt des PSTN wurde in diesem Kontext von der Bestimmung des Quellverkehrs gesprochen. Dabei wurde der A-Teilnehmer immer als Verkehrs-Quelle definiert. In der paketvermittelten Welt des NGN besteht nicht mehr die Symmetrie der in Anspruch genommenen Übertragungskapazitäten in beide Richtungen („full duplex“). So kann umgangssprachlich bei einem Download der entsprechende Server als „Quelle“ angesehen werden und nicht der Endkunde, der diesen Download initiiert. – Um diese sprachliche Unschärfe zu vermeiden, sprechen wir nicht von Quellverkehr, sondern von nutzerinduziertem Verkehr.

<sup>9</sup> Das TCP (Transport Control Protocol) stellt die Übertragung der IP-Pakete sicher, in dem es ihre Übertragung kontrolliert. Gehen beispielsweise IP-Pakete infolge von Überfüllung verloren, dann sorgt das TCP dafür, dass diese Pakete erneut verschickt werden. Auch steuert es die Versenderate der Pakete in Abhängigkeit der Netzlast. Das TCP ist dem Layer 4 zuzuordnen (oberhalb des IP, Layer 3).

<sup>10</sup> Allerdings können heute IP Netzbetreiber die Anwendungskategorie eines Paketes mit genügender Geschwindigkeit erkennen und auswerten und damit ggf. Pakete aus bestimmten Anwendungen wie z.B. Peer to Peer bevorzugt löschen. Dies hat entsprechende Diskussionen über die Netz-Neutralität ausgelöst, vgl. J.S. Marcus (2010): S. 21 oder die WIK Fachtagung „Network Neutrality: Implications for Europe“, Bonn, 3./4. Dezember 2007 (Zusammenfassung und Präsentationsfolien auf [www.wik.org](http://www.wik.org)).

Verschiedene Netzbetreiber bringen diese Verfahren zur Anwendung. Bis zum heutigen Zeitpunkt muss jedoch festgestellt werden, dass eine netzübergreifende (Betreiber übergreifende) Spezifizierung von Parametern und Protokollen nicht bzw. nur im Rahmen bilateraler Abkommen erfolgt ist.<sup>11</sup> 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 scheinbar relevanter. IMS- und Softswitch-Architekturen beinhalten eine GoS und QoS-Realisierung beispielsweise für Sprachdienste<sup>12</sup>.

Um den Anforderungen einer Kostenmodellierung nach Maßgabe von differenzierten Qualitätsklassen Rechnung tragen zu können, schlagen wir vor, das Modell so zu formulieren, dass verschiedene Verkehrsklassen berücksichtigt werden können. Vom Modellanwender sollten dabei Dienste mit relativ homogenen Qualitätsanforderungen zu einer Verkehrsklasse zusammengefasst werden. Die Verkehrsklassen werden dabei anhand von festzulegenden Werten für Latenz, Jitter und Paketverlust durch den Modellanwender parametergesteuert definiert. Mit anderen Worten: Bei der Anwendung des Modells entscheidet der Modellanwender **parametergesteuert, wie viele Verkehrsklassen er berücksichtigen will und welche QoS Anforderungen mit den jeweiligen Verkehrsklassen verbunden sein sollen** (die Mindestanzahl beträgt dabei eine einheitliche Verkehrsklasse (best effort); die maximale Anzahl wird im Modell auf 8 verschiedene Verkehrsklassen festgelegt werden, was zum gegenwärtigen Zeitpunkt den Anforderungen der Netzbetreiber genügt).<sup>13</sup>

Mit der Implementierung von Verkehrsklassen im Analytischen Kostenmodell wird weder die Notwendigkeit noch der Umfang einer Qualitätsdifferenzierung vorweggenommen. Die hier gewählte Vorgehensweise soll lediglich sicherstellen, dass im Fall einer zukünftigen QoS-Differenzierung das Modell zur Kostenbestimmung geeignet ist.<sup>14</sup>

Die methodische Umsetzung der Berücksichtigung verschiedener Verkehrsklassen mit individuellen QoS-Anforderungen wird in Abschnitt 3.1.5 näher ausgeführt.

---

<sup>11</sup> Dies sagt nichts über die Machbarkeit aus.

<sup>12</sup> Mit GoS (Grade of Service) wird die Wahrscheinlichkeit definiert, dass eine Dienstenachfrage nicht bedient wird, auch als Blockierung bezeichnet, während die QoS Parameter die Qualität der Verbindung beschreiben, die einem Dienst zur Verfügung gestellt wird.

<sup>13</sup> 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.

<sup>14</sup> Darüber hinaus ist zu betonen, dass die Beurteilung der Wünschenswertigkeit einer QoS-Differenzierung auch nicht auf die „Betrachtung der Netzkosten“ reduziert werden kann. Letztlich sind wettbewerbliche Aspekte und Dynamiken für eine umfassende Würdigung einer Einführung verschiedener Verkehrsklassen aus regulatorischer Sicht von zentraler Bedeutung.

<i>Kommentaraufforderung 3-1:</i>	Wir bitten um eine Einschätzung über die Anzahl der im Modell als notwendig erachteten Verkehrsklassen. Bitte erläutern und begründen Sie die von Ihnen favorisierte und umgesetzte (bzw. geplante) Verkehrsdifferenzierung.
Antworten:	Es werden derzeit drei bis vier Klassen verwendet, wobei eine steigende Tendenz erwartet wird.
WIK-Consult:	Der von uns vorgesehene maximale Rahmen ist ausreichend, da zukünftig eine überschaubare Zunahme der Differenzierung zu erwarten ist. Die Menge der aktuell zu parametrisierenden Verkehrsklassen kann kleiner als acht sein.
<b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b>	

Nachfolgend wird das Nachfragemodell vorgestellt, welches eine Bestimmung der Verkehrsnachfrage – differenziert nach Netzstandorten – erlauben soll (Verkehrsmatrix eines MPoP<sup>15</sup>). Diese Verkehrsmatrix soll entweder durch das nachfolgend beschriebene Nachfragemodell oder durch ermittelte Betreiberdaten befüllt werden.<sup>16</sup>

### 3.1.2 Modellierungsrelevante Eigenschaften der Dienste

Soll ein Netz auf Basis der Nachfrage dimensioniert werden, so sind folgende Größen von zentraler Bedeutung:

- Mit welcher **Übertragungsrate** [kbps sowie Paketrage] sind die zu realisierenden Dienste verbunden?
- Welche **Qualitätsanforderungen** [Jitter, Verzögerung, Paketverlust] gehen mit den Diensten einher?
- Wie ist die **Verbindungsstopologie** [Punkt-zu-Punkt, Punkt-zu-Multipunkt, vermascht] zu beschreiben, wie viele Endpunkte pro „Verbindung“ [ $\geq 2$ ] bestehen?

<sup>15</sup> MPoP: Metropolitan Point of Presence, Schnittstelle zwischen NGA und NGN, eine von der EU Draft NGA Recommendation eingeführte Bezeichnung in der Nachfolge von Hauptverteilern.

<sup>16</sup> Eine LRIC-orientierte Modellierung wird sich – solange sich der Markt im Wachstum befindet – auf einer Nachfragemodellierung durch den Modellanwender stützen und Verkehrsdaten der Betreiber als Ausgangsgröße für die eigene Nachfrageschätzung verwenden.

- Muss zur Beschreibung der analytischen **Verkehrsverteilungsfunktion** eine Nutzer-zu-Nutzerendpunkte oder eine Nutzer-zu-Serverendpunkte Relation herangezogen werden, und wo sind bei letzterer die Serverstandorte vorzusehen?

Um das Modell gegenüber der Einführung neuer Dienste robust zu machen, sollen Dienste nicht individuell, sondern in Form von Dienstekategorien in das Modell eingepflegt werden können. **Die hier genannten Parameter sind dann für die jeweils vorzusehenden Dienstekategorien über Eingabeparameter steuerbar.**

Die ersten beiden Größen (Übertragungsrate und Qualitätsanforderung) sind für die Netzdimensionierung von Bedeutung: Mittlere Bandbreite und Paketrage bilden im Modell die Kostentreiber für die Einrichtungen des logischen und physikalischen Netzes, ergänzt durch die mittlere Verzögerung sowie ggf. mittlere Verlustrate zur Beschreibung der Verkehrsklasse und des sich daraus ableitenden Bandbreitenbedarfs im Netz.

Verbindungsstopologie und Verkehrsverteilungsfunktion bestimmen die Verkehrsmatrix und bilden die Grundlage für die – unter Berücksichtigung der Vorgaben zur Verkehrsführung – nach Standorten und Kanten differenzierte Ableitung der Nachfrage nach Netzelementen. Dazu ist im Allgemeinen eine Verkehrsmatrix zu beschreiben, die einen Zusammenhang zwischen Quelle und Ziel herstellt. Dabei kann abstrakt unterschieden werden zwischen

- Ende-zu-Ende Relationen sowie
- Client- Server Relationen,

wobei die **Anzahl der Endpunkte  $\geq 2$**  betragen kann.

Jeder Dienst kann hinsichtlich dieser Merkmale beschrieben werden, und eine nachfragegetriebene Netzdimensionierung macht es letztlich erforderlich, diese Verkehrseigenschaften entsprechend zu berücksichtigen.

Diese Anforderungen können mit dienstespezifischen Verkehrsverteilungsfunktionen erfüllt werden. Im Unterschied zum bestehenden Verbindungsnetzmodell, welches **eine** Verkehrsverteilungsfunktion für den ausgehenden busy hour Verkehr implementiert hat [WIK-98], ist für das Breitbandnetz eine Vielzahl von Verkehrsverteilungsfunktionen und damit eine entsprechende Anzahl von Quelle-Ziel-Matrizen zu erstellen.

Als Quelle bzw. Ziel kommen prinzipiell sämtliche MPoP-Standorte in Betracht.<sup>17</sup> Vor dem Hintergrund, dass die über das Breitbandnetz angebotenen Dienste in der Regel im Kernnetz realisiert werden (da nur dort mittels des IP/MPLS-Protokolls eine virtuelle Verbindung aufgebaut werden kann, während die Verkehre im Konzentrationsnetz in der Regel bis zu dem zugehörigen IP-PoP des Ursprungsstandorts des nutzerinduzierten Verkehrs hoch bzw. her-

---

<sup>17</sup> Alle Nutzer sind an MPoP-Standorte angeschlossen. Ferner werden Server an Standorten höherer Netzebenen angesiedelt, die aber auch über teilnehmeranschließendes Equipment verfügen.

unter geführt und am zugehörigen IP-PoP des Zielstandortes wieder abgeführt werden müssen<sup>18</sup>), lässt sich die Modellierung vereinfachen und in zwei Elemente aufspalten:

- Verkehrsmatrix des Konzentrationsnetzes
- Verkehrsmatrix des Kernnetzes

Da ausschließlich IP-basierte Dienste<sup>19</sup> Gegenstand dieser Beschreibung der Nachfragemodellierung sind und das Konzentrationsnetz eine reine "Zubringerfunktion" für den IP-Verkehr erbringt, ergibt sich eine für alle Standorte und Teilnehmer uniforme Verkehrsführung vom Standort mit teilnehmeranschließendem Equipment (am MPoP) bis hin zum zugehörigen IP-PoP des Konzentrationsnetz-Clusters, wo der Verkehr an das Kernnetz übergeben wird.

Letztlich läuft die über alle im Konzentrationsnetz-Cluster angeschlossenen Teilnehmer realisierte Nachfrage am IP-PoP zusammen. Man kann auch sagen, dass die Nachfrage nach IP-Diensten in den jeweiligen Konzentrationsnetz-Clustern auf den jeweiligen IP-PoP projiziert wird und dann auf diese aggregierte Nachfrage eine – der Parametrisierung der Nachfrage entsprechenden Verkehrsverteilung über die Standorte des IP-Kernnetzes zu unterziehen ist. D.h., die Verkehrsmatrix je Dienst im Kernnetz muss nicht auf der Basis der MPoP vom Modell generiert, sondern kann auch auf Basis des am zugehörigen IP-PoP konzentrierten Verkehrs berechnet werden.

Hinsichtlich der Verkehrsverteilung und Verkehrsziele sind dabei dienstespezifische Merkmale zu beachten. Messaging/Transaction- und Retrieval-and-Distribution-Dienste benötigen in der Regel eine virtuelle Verbindung zwischen dem Nutzer und einem zugehörigem Dienst-Server. Die entsprechenden Dienst-Server sind i.d.R. an Standorten des Kernnetzes und dort bei Vorliegen einer Hierarchie an den höheren Standorten angebunden. Damit ist der upstream Verkehr immer vom Nutzer bis zum zugehörigem IP-PoP und von dort zum nächstliegenden Server zu führen und der downstream Verkehr in umgekehrter Richtung. Es ist zu beachten, dass ein Anteil dieser Verkehre Dienst-Server in Anspruch nimmt, die in anderen Breitbandnetzen angeschlossen sind. D.h., Teile des Verkehrs sind an entsprechende Standorte zu führen, an denen die Zusammenschaltung stattfindet.

Typischer Weise werden die Verkehre für Sprach-Interconnection (VoIP, PSTN) nach Maßgabe der Verkehrsstärke der einzelnen Knoten verteilt. Gleiches gilt für den Bitstrom Verkehr. Für die Übergabe des Internetverkehrs an andere Netze gibt es in Österreich zwei Netzknoten in Wien (VIX, Vienna Internet Exchange), auf die der auszutauschende Verkehr in gleichem Maße verteilt wird. Sofern exogen keine andere Verteilung vorgegeben wird, wird

---

<sup>18</sup> Eine Ausnahme sind die Verkehre aus virtuellen LAN-Diensten, die es gestatten, dass der Verkehr, der innerhalb eines IP-PoP Clusters verbleibt, direkt mittels TAG-Switching im Konzentrationsnetz "geswitched" werden kann. Weiterhin ist Verkehr über mögliche Zusammenschaltungspunkte im Konzentrationsnetz zu berücksichtigen. Es handelt sich dabei aber i.d.R. um dauerhafte virtuelle Verbindungen und nicht um vermittelte Dienste.

<sup>19</sup> Die Dienste auf den darunter liegenden Netzschichten werden durch vorzugebende Verkehrsmatrizen beschrieben, siehe auch Abschnitt 2.

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.

<i>Kommentaraufforderung 3-2:</i>	Bitte erläutern und begründen Sie Ihre Einschätzung zu der Verteilung der IC-Verkehre.
Antworten:	Der IC-Verkehr verteilt sich geographisch etwa entsprechend der Teilnehmerdichte, wobei weitere Einflussfaktoren dazukommen. Es wird auf die zwei VIX-Standorte für den Austausch des Internet Verkehrs in Wien hingewiesen, die symmetrisch zu belasten seien. Ein Anbieter gibt an, dass insgesamt vier IC-Standorte ausreichend seien.
WIK-Consult:	<p>Das Modell erlaubt komparativ - statische Vergleichsrechnungen hinsichtlich der Anzahl der IC-Standorte. Die Anzahl der IC-Standorte wird pro Netzebene vorgegeben. Sofern die IC-Standorte explizit (d.h. nicht nur die Anzahl pro Netzebene, sondern der konkrete Standort) vorgegeben werden soll, erfordert eine zusätzliche Abgleichung mit der endogen ermittelten Hierarchie (potentiell konnte sich der nun explizit vorgegebene IC-Standort bei der modellendogenen Hierarchieableitung nicht als Standort einer Zusammenschaltungsebene qualifizieren). Die IC-Standorte für Sprachverkehr, Internet und Bitstrom werden unabhängig voneinander bestimmt.</p> <p>Im Fall der expliziten Vorgabe von Hierarchie und IC-Standorten können auch die Mengen der IC-Verkehre zugewiesen werden.</p> <p><b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b></p>

Bei Dialog-Diensten wie VoIP ist eine Verkehrsverteilung i.d.R. sowohl von der geographischen Entfernung zwischen den Ursprung- und Zielknoten abhängig, als auch von der Anzahl der angeschlossenen Nutzer an einem Standort. Eine entsprechende Verteilungsfunktion, die es gestattet, diese Verkehrsmatrix zwischen den IP-PoP Standorten zu berechnen,

wurde schon im Kostenmodell für das Verbindungsnetz eingeführt.<sup>20</sup> Dazu wurde sowohl die Entfernung zwischen den Standorten als auch das Verkehrsaufkommen in jedem Standort berücksichtigt. Wie oben gezeigt, ist im Breitbandnetz diese Verteilungsfunktion nicht auf die ursprünglichen Standorte, sondern nur auf der Basis der Kernnetzstandorte zu berechnen. Damit reduziert sich die Verkehrsverteilungsfunktion auf die Verkehrsgewichte der Knoten, während die Entfernungsabhängigkeit an Bedeutung verliert.

Hinsichtlich des Datenbedarfs ist anzumerken, dass die **Verkehrsmatrizen keinen Modellinput** darstellen. Letztlich bedarf es der Angabe des durchschnittlichen nutzerinduzierten Verkehrs (differenziert nach Nutzertypen bzw. Anschlussprodukten) sowie der Angabe, wie sich dieser Verkehr (für den durchschnittlichen Nutzertyp) auf die verschiedenen Verkehrsziele (Clients, Server oder IC-Punkte) aufteilt. Die Standorte der Server- und IC-Einrichtungen fließen separat als Input in das Modell ein. Das Modell selbst sorgt dann für die Verknüpfung des nutzerinduzierten Verkehrs (und seiner zielspezifischen Angaben) mit den Standortinformationen und damit letztlich die Ableitung der Verkehrsmatrizen.<sup>21</sup>

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass Teile des Verkehrs aus dem Netz an entsprechenden Zusammenschaltungspunkten abgeführt bzw. zugeführt werden, was zu einer Differenzierung der VoIP Dienste nach sog. ON-Net-, OFF-Net-in- und OFF-Net-out-Diensten führt.<sup>22</sup> Damit ergibt sich eine vergleichbare Situation wie in Mobilfunknetzen, in denen der Verkehr aus einer Vielzahl von Basis-Stationen (BTS im Falle von GSM und B-node im Falle von UMTS) an eine reduzierte Anzahl von vermittelnden bzw. routenden Einrichtungen (MSC im Falle von GSM und SGSN) herangeführt und erst dort verteilt wird, vgl. [Hackbarth-03]. Folglich können vereinfachte Verkehrsverteilungsfunktionen aus Kostenmodellen von Mobilfunknetzen übernommen werden, die auf den Verkehrsgewichten in den jeweiligen Standorten basieren. In [ACCC-07] ist ein solches Modell beschrieben, welches auch vom Schweizer Regulator in erweiterter und angepasster Form verwendet wird.

### 3.1.3 Modellierung von Nutzertypen und Anschlusskategorien

Es ist vorgesehen, dass die Anzahl der jeweiligen Nutzertypen und ihre zugehörige Anschlussart als Input in das Nachfragemodell eingepflegt wird. In Verbindung mit dem scorched node Ansatz soll die Differenzierung nach Nutzertypen und Anschlussarten eine räumlich differenzierte Abbildung der Nachfrage erlauben. Die Umsetzung des scorched node Ansatzes wird im Kontext der Ableitung des logischen Netzes in Abschnitt 3.2 behandelt.

---

<sup>20</sup> [WIK-02].

<sup>21</sup> Sofern beispielsweise mehrere Diensteserver an verschiedenen Standorten vorgesehen werden, erfolgt ein Routing des entsprechenden Serververkehrs zum nächstgelegenen Serverstandort.

<sup>22</sup> Für den ON-Net Verkehr ist ferner zu berücksichtigen, dass dieser nicht doppelt erfasst wird. Die Bezeichnung ON- bzw. Off-Net Verkehr ist dabei immer aus der Perspektive des zu modellierenden Netzbetreibers zu interpretieren.

### 3.1.3.1 Nutzertypen

Eine Differenzierung nach Nutzertypen wird vorgesehen, um die Zusammensetzung und den Umfang der nachgefragten Dienste differenziert abbilden zu können.

Wir denken an eine Differenzierung von Nutzertypen, wie sie in der nachfolgenden Tabelle dargestellt ist. Diese Kategorisierung ist jedoch nur beispielhaft. Bestimmend für die Klassifikation soll die Homogenität der Verkehrsnachfrage innerhalb einer Klasse sein. Es kann daher **hier ggf. eine andere als in Tabelle 3-1 dargestellte, auf den österreichischen Markt abgestimmte Klassifizierung vorgenommen werden.**

Tabelle 3-1: Beschreibung einer möglichen Klassifikation von Nutzertypen

<b>Traditionell</b>	Private Nutzer, die das NGN nur für klassische Dienste verwenden wie Telefon, Internetabfragen bzw. private Nutzer in Zonen, die einen Anschluss an das NGN nur mit verminderter Bandbreite ermöglichen
<b>Standard</b>	Private Nutzer, die das NGN für klassische Dienste, aber auch für Internetdienste verwenden, die keine hohe Bandbreite erfordern, bzw. private Nutzer in Zonen, die einen Anschluss an das NGN nur mit verminderter Bandbreite ermöglichen
<b>Premium</b>	Private Nutzer, die das NGN für klassische Dienste für Internet Dienste sowie Multimedia-Dienste verwenden
<b>SOHO</b> Small Offices / Home Offices	Nutzer in der Kategorie von Selbstständigen, Freiberufler bzw. Heim-Arbeiter die aus Heimbüros arbeiten und ein anderes Dienste-Profil als Premium-Nutzer haben
<b>SME</b> Small and medium enterprises	Geschäftsnutzer aus kleinen- und mittleren Unternehmen
<b>LE</b> Large enterprises	Geschäftsnutzer aus großen Unternehmen

**Für die Modellparametrisierung sind diesen Nutzertypen konkrete Dienstenachfragen in Form einer Dienste-Verkehrsmatrix zuzuordnen** (differenziert nach Dienstekategorien, beschrieben durch die Parameter unter Abschnitt 3.1.2).

### 3.1.3.2 Anschlussarten

Eine weitere Differenzierung ergibt sich aus der Berücksichtigung der verschiedenen Anschlussarten (FTTx), die ihrerseits das nachgefragte Verkehrsvolumen mit Blick auf die für die Netzdimensionierung relevante Übertragungsrate in der busy hour **beschränken** können bzw. auch die Nachfrage bestimmter Dienste überhaupt erst ermöglichen. In der Praxis ist zu erwarten, dass sich die Kategorisierung der Anschlussarten mit der der Nutzertypen deckt, was letztlich bedeutet, dass auf eine der beiden Dimensionen bei der Modellparametrisierung verzichtet werden kann. Es ist davon auszugehen, dass Netzbetreiber Verkehrsdaten in Abhängigkeit des Anschlussproduktes angeben können, womit dann gleichzeitig eine Spezifizierung der Anschlusstechnologie verbunden ist.

<i>Kommentaraufforderung 3-3:</i>	Ist aus Ihrer Sicht eine Differenzierung von Nutzertypen und Anschlussart praktikabel? Oder definieren Sie Ihre Nutzertypen über die derzeit realisierte Anschlussart. Falls ja, anhand welcher Merkmale der Nachfrager nehmen Sie eine Abschätzung der zukünftigen Nachfrage vor?
Antworten:	Eine Differenzierung nach Nutzertypen wird als nicht notwendig erachtet.
WIK-Consult:	<p>Das Modell erlaubt eine Vernachlässigung der Dimension "Anschlusstechnologie". Die Profile können über die Nutzertypen abgebildet werden.</p> <p>Dieser Aspekt sollte beim Datenrücklauf nochmals überprüft werden.</p> <p><b>Zum derzeitigen Zeitpunkt sehen wir keinen Modelländerungsbedarf.</b></p>

Diese Dimension ist nur dann von Bedeutung, wenn die Restriktion der maximalen Übertragungsgeschwindigkeit den zugehörigen Nutzertyp in seinem Nachfrageverhalten einschränkt. Entsprechend sind die anzusetzenden Werte für die maximale Übertragungsgeschwindigkeit – differenziert nach up- und downstream für die Bestimmung der Verkehrsnachfrage von Bedeutung. Die Tabelle 3-2 illustriert eine Differenzierung von Anschlusstechnologien, wie sie im Modell zu Grunde gelegt werden soll. Die Übertragungsgeschwindigkeiten sollen über Eingabeparameter im Modell veränderbar und somit technologischen Veränderungen gegenüber offen gestaltet sein.

Tabelle 3-2: Mögliche Attribute der von Anschlusstechnologien auf der Basis von Glasfaser und Kupfer

Bezeichnung	Asymmetrisch mit down BW [Mbps]	Symmetrisch mit BW je Richtung [Mbps]	Cu Länge zum Nutzer km	FTTx	xDSL asymmetrisch	xDSL symmetrisch
Basis	0,192	---	5	E	ReADSL	---
Standard	5	2	2,5	E	ADSL	G.SHDSL
Verbesserter Standard	15	6	1,5	E	ADSL2+	G.SHDSL
Advanced	50	25	0,5	C	VDSL	VDSL
Emergent I	100	50	0,05	B	PON/VDSL	PON/VDSL
Emergent II	100 / 1 GbE	100 / 1 Gbps	0	H	P2P <sup>*)</sup>	P2P <sup>*)</sup>

<sup>\*)</sup> Bei FTTH P2P kommt keine DSL-Technologie zum Einsatz.

Quelle: vgl. [Palm-04]

Im Nachfragemodell soll die Möglichkeit bestehen, einen Mix der Anschlussarchitekturen abzubilden, um die Heterogenität in der Verkehrsnachfrage abbilden zu können. Letztlich fließen die Nachfragewerte aggregiert in das Konzentration- und später IP-Kernnetz ein.<sup>23</sup>

### 3.1.4 Ableitung der standortbezogenen nutzerinduzierten Verkehrsnachfrage

Mit der Beschreibung von Dienstekategorien, Anschlussarten und Nutzertypen kann eine standortbezogene Ableitung der Verkehrsnachfrage erfolgen. Das Modell sieht – wie bereits ausgeführt – eine Zuweisung von Dienstekategorien und Anschlussarten zu Nutzertypen vor. Diese Zuweisung bedarf einer Zuordnung von

- Durchschnittlichen Bandbreiten und Paketlängen zu Diensten/Dienstekategorien
- Dienstekategorien zu Nutzertypen
- Anschlussarten zu Nutzertypen

Die nachfolgenden Tabellen illustrieren die Informationsanforderungen für eine Modell-Parametrisierung. Darin zeigt Tabelle 3-3 ein Beispiel für die Dienstekategorien und deren charakteristische Werte wie Bandbreite und Ursprungs-Ziel Beziehung sowie die mittlere Anzahl von Zielen. Tabelle 3-4 zeigt ein Beispiel für die Bandbreitenwerte, die je Dienst ein Nutzer in der BH in Anspruch nimmt. Diese Werte ergeben sich aus dem Produkt des Bandbreitenwertes eines Dienstes und dem BH Verkehrswert eines Nutzers<sup>24</sup>. Man beachte, dass es bei der Anzahl der Dienstekategorien, deren Parametern und deren Zahlenwerten in Tabelle 3-3 und Tabelle 3-4 um Eingangsparameter handelt, deren jeweilige Werte in einem Diensteszenario zu bestimmen sind. Die hier angenommen Dienstekategorien und die zugehörigen Zahlenwerte sind daher nur beispielhaft zu verstehend und nicht im Sinne einer Festlegung hinsichtlich des definitiven Kostenmodells.

---

<sup>23</sup> Es sei darauf verwiesen, dass eine starke Differenzierung im Modell nicht immer mit belastbaren empirischen Daten befüllt werden kann. In diesen Fällen sind einfache Durchschnittsbildungen vorzuziehen, die sich nicht dem Vorwurf einer Scheingenauigkeit aussetzen.

<sup>24</sup> So ergibt sich der Bandbreitenwert für die Sprachdienste von LE Nutzern aus dem Produkt von 92 kbps und einem BH Verkehrswert von 5 Erlang. Man beachte dabei, dass LE Nutzer i.d.R. eine Vielzahl von angeschlossenen Teilnehmern repräsentieren, z.B. mittels einer klassischen PBX für Sprachdienste bzw. einem Intranet, das über einem entsprechenden Router mit dem NGN verbunden ist.

Tabelle 3-3: Beispiel für Dienstekategorien und ihre Attribute im Dienstemodell mit einer möglichen Zuordnung zu den Verkehrsklassen

Name	Attribute	BW Down [kbps]	BW up [kbps]	Ursprung	Ziel(e)	Nº der Ziele	Verkehrs- klasse (Beispiel)
Dienstekategorie							
Interner Verkehr aus Signali- sierung und OAM							0
Premium Business Dienste		384	384	user	user	3	1
Sprachdienste mit ISDN Qualität		92	92	user	user	1	2
Konferenzdienste		2000	384	user	Konferenzserver	5	2
VoD Dienste		3200	10	user	VoD Server	1	3
IPTV (STV) pro Kanal		2000	0	IPTV Server	User	alle	4
IPTV (HDTV) pro Kanal		8000	0	IPTV Server	User	alle	4
Business Data Dienste		384	128	user	User	1	5
Peer-to-Peer <sup>25</sup>		50	50	user	user	4	7
Sonstige best effort Dienste		128	64	user	Internet Server	1	6

Im Einzelnen ist zu dieser Tabelle folgendes anzumerken:

In der vorstehenden Tabelle sind u.a. die Bandbreiten für die Dienstekategorien angegeben, wobei auch IPTV Dienste aufgeführt sind. Diese finden in der nachfolgenden Ableitung der IP-PoP bzw. MPoP bezogenen Verkehrsmatrizen jedoch keine Beachtung mehr. Dies liegt darin begründet, dass mit Ausnahme des IPTV-Verkehrs, der über Multicast realisiert wird, jede Dienstenachfrage mit dem angegebenen Verkehrsvolumen das Netz belastet und entsprechend in die Netzdimensionierung, bei der sämtliche Verkehrsnachfragen aggregiert werden, einfließt. Demgegenüber wird der IPTV Multicast-Strom auf jedem „Ast“ des Netzes nur einmal übertragen, unabhängig davon, wie viele angeschlossene Teilnehmer diesen Dienst nutzen. Entsprechend hat die Berücksichtigung des IPTV-Verkehrs bei der Netzdimensionierung eine andere Qualität als die sonstige Dienstenachfrage und wird erst nach Erstellung der Verkehrsverteilung der übrigen Verkehre „auf das Netz gelegt“.<sup>26</sup>

<sup>25</sup> Man beachte, dass „Peer-to-Peer“ (P2P) im Zusammenhang mit der Nachfragemodellierung nicht mit der Abkürzung Point to Point (P2P) für einer Anschlusstechnologie zu verwechseln ist. Der Vorschlag der Einstufung in eine Verkehrsklasse unterhalb de best efforts sicher noch diskussionswürdig.

<sup>26</sup> Neben dem statischen Multicast ist die Modellparametrisierung auch für ein dynamisches Multicast offen. Letztlich besteht der Unterschied darin, dass beim statischen Multicast ständig das komplette Programm übertragen wird, wogegen die Zahl der Programme beim dynamischen sich nach der Nachfrage richtet. – Da es bei der Modellparametrisierung um die Frage der Spitzenlast zur Netzdimensionierung geht, muss zur Abbildung des dynamischen Multicasts die Frage beantwortet werden, wie viel Programme maximal und in der BH nachgefragt werden, um für hinreichende Übertragungskapazitäten zu dimensionieren. Aus Gründen der Datenverfügbarkeit gehen wir dabei von einer Anzahl durchschnittlich nachgefragter Programme aus.

Hinsichtlich der Sprachdienste ist anzumerken, dass mit ISDN Qualität ein entsprechender Codec sowie Echtzeit zugrunde gelegt wird, so dass es letztlich möglich ist, den Bandbreitenbedarf für diesen Dienst zu ermitteln. Bei der Modellanwendung ist daher immer zu prüfen, über welche Verkehrsklasse und welchen Codec der Sprachdienst realisiert wird.<sup>27</sup> Grundsätzlich ist das Modell auch offen für eine andere oder auch differenzierte Kategorisierung von Sprachdienst bzw. VoIP. Entscheidend ist letztlich, wie diese Verkehre in der Nachfragemodellierung abgebildet werden und insbesondere, welcher Verkehrsklasse sie zugeordnet werden.

Hinsichtlich der in der Tabelle dargestellten Kategorien „Ziele“ und „Anzahl der Ziele“ ist anzumerken, dass diese Einordnung für die Umsetzung der Verkehrsverteilung notwendig ist. Letztlich sind Client-Server Dienste von Ende-zu-Ende Diensten zu unterscheiden. Für Ende-zu-Ende Dienste ist eine entsprechende Verkehrsverteilungsfunktion zu spezifizieren (Verteilung der Verkehre nach Maßgabe der Knotengewichte). Im Unterschied zu den Ende-zu-Ende Diensten sind bei Client-Server-Diensten die Standorte der Verkehrsziele nicht a priori bekannt, sondern es müssen die Serverstandorte – nach vorheriger Kategorisierung der Verkehrsströme – durch den Modellanwender vorgegeben werden (siehe hierzu auch Abschnitt 0).

Die in der letzten Spalte beschriebene Verkehrsklasse stellt für die Netzdimensionierung eine weitere zusätzliche Information bereit, die im Kontext der Qualitätsdifferenzierung näher erläutert wird.

Bei dem angegebenen Bandbreitenwerten handelt es sich um das zu übertragende Datenvolumen inklusive des Overheads für die Schichten 3 bis 7 des OSI Schichtenmodells<sup>28</sup>.

---

<sup>27</sup> Die herkömmliche Unterteilung in analog-, ISDN- und Primärmultiplexanschlüsse ist lediglich für die Bestimmung der Nachfragemenge (gleichzeitige Calls) von Bedeutung).

<sup>28</sup> Für Sprachdienste sind dies das RTP/RTCP, UDP und IP, ggf. auch der Protokoll-Overhead für die Verschlüsselung.

Tabelle 3-4: Bandbreitenwerte je Nutzer in der busy hour (Beispielwerte)

Name Nutzertyp Dienstekategorie	Trad.	Standard	Premium	SOHO	SME	LE
Premium Business Dienste	0	0	0	0	76,8	384
Sprachdienste	4,6	6,9	9,2	13,8	138	460
Konferenzdienste	0	0	0	2	10	20
VoD Dienste	0	32	64	0	0	0
Business Data Dienste	0	0	0	38,4	192	1920
Peer-to-Peer	5	10	25	0	0	0
Sonstige Best effort Dienste	12,8	25,6	64	25,6	64	640
<b>Total Downstream</b>	<b>22,4</b>	<b>74,5</b>	<b>162,2</b>	<b>79,8</b>	<b>480,8</b>	<b>3424</b>
Premium Business Dienste	0	0	0	0	76,8	384
Sprachdienste	4,6	6,9	9,2	13,8	138	460
Konferenzdienste	0	0	0	0,384	1,92	3,84
VoD Dienste	0	0,1	0,2	0	0	0
Business Data Dienste	0	0	0	12,8	64	640
Peer-to-Peer	5	10	25	0	0	0
Sonstige Best effort Dienste	6,4	12,8	32	12,8	32	320
<b>Total up stream</b>	<b>16</b>	<b>29,8</b>	<b>66,4</b>	<b>39,784</b>	<b>312,72</b>	<b>1807,84</b>
<b>Total down+upstream</b>	<b>38,4</b>	<b>104,3</b>	<b>228,6</b>	<b>119,584</b>	<b>793,52</b>	<b>5231,84</b>

Die Modellanwendung verlangt, dass für jeden Standort der untersten Netzebene folgende Größen vorliegen, die sich u.a auch aus den an einen MPoP bzw. IP-PoP angeschlossen NGAs ergeben:

- Anzahl der Nutzer je Nutzertyp (inkl. der zugehörigen, nachgefragten Dienstekategorien),
- die am Standort anzuwendende Anschluss Technologie (Anschlussmix).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Verkehrsnachfragen je Dienst und Nutzertyp durch Matrizen pro Anschlussart für jeden Standort (MPoP) anzugeben sind. Damit wird sichergestellt, dass die Bandbreitennachfrage eines Nutzers nicht die Bandbreitenwerte der Anschlussart überschreiten.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> So können z.B. Nutzer aus ReADSL, die nach Tabelle 3-2 nur eine maximale Geschwindigkeit von 192 kbps in Anspruch nehmen und damit, nur Sprachdienste, P2P, und best effort realisieren, da alle anderen Dienste Bandbreiten von über 192 kbps verlangen und damit deren Verkehrswerte auf Null zu setzen sind. Dagegen können unter ADSL2+ (verbesserter Standard) in der Theorie alle Dienste in Anspruch genommen werden. Da Nutzer gleichzeitig mehrere Dienste aufrufen können, ist zusätzlich sicherzustellen, dass der Bandbrei-

Die vorgeschlagene Nachfragemodellierung erlaubt die Abbildung von Verkehrsstrukturen, die sich aus bestehenden Diensten ergeben, als auch Verkehrsstrukturen, die Dienste-Szenarien unter Berücksichtigung zukünftiger Dienste und deren Verkehre mit einbeziehen. Auf diese Weise können die durchschnittlichen Nachfragewerte der Nutzertypen bzw. Anschlussprodukte vom Modell standortbezogen in Form von Matrizen aggregiert werden. Tabelle 3-5 illustriert die **für die Netzdimensionierung relevante Bandbreite** für einen IP-PoP (auf den die Verkehrsnachfrage der angeschlossenen MPoP projiziert ist). Mit den Werten für die Bandbreite können alle Systeme der physikalischen Schicht dimensioniert werden, während zu Dimensionierung der Layer 2 Switching und Layer 3 Routing Einrichtung auch noch die mittlere Paketrate anzugeben ist<sup>30</sup>. Alternativ kann auch die mittlere Paketlänge angegeben werden, die es gestattet, unter Rückgriff auf die mittlere Bandbreite die entsprechende Paketrate zu berechnen (mittlere Bandbreite = mittlere Paketlänge \* mittlere Paketrate).

Tabelle 3-5: Verkehrsmatrix für einen IP-PoP (jeweils für Up- und Downstream)

Summe über alle am IP-PoP-Standort i angeschlossenen Teilnehmer						
Ziel	Ziel 1	Ziel 2	Ziel 3	[...]	Ziel n	$\Sigma$ Verkehrsnachfrage nach Verkehrsklassen
Verkehrsklasse für						
Verkehrsklasse 1	[kBit/s]					$\Sigma$ Verkehrsnachfrage Klasse 1 IP-PoP-Standort i
Verkehrsklasse 2						
...						
...						
...						
Verkehrsklasse n						
$\Sigma$ Verkehrsnachfrage nach Verkehrszielen						$\Sigma$ Verkehrsnachfrage IP-PoP-Standort i

tenwert aus dem BH downstream bzw. upstream den Bandbreitenwert, den die Anschlusstechnologie bereitstellt, nicht überschreitet.

- <sup>30</sup> Ein erste Durchsicht von Datenblättern der Hersteller für Switching bzw. Router-Einrichtungen zeigt, dass diese Einrichtungen in ihren Kapazitätsgrenzen sich durch die Anzahl und Bandbreite der Schnittstellenkarten definieren und die sich daraus ergebene Prozessorleistung vom Hersteller entsprechend angepasst wird. D.h., eine explizite Angabe der Paketrate scheint für Zwecke der Dimensionierung nicht unbedingt erforderlich.

### 3.1.5 Qualitätsdifferenzierung und äquivalente Bandbreite

Die unterschiedlichen Qualitätsanforderungen der verschiedenen Dienste drücken sich auf der logischen und physikalischen Ebene durch unterschiedliche Bandbreitenanforderungen und daraus resultierende unterschiedliche Kosten aus. Um den unterschiedlichen Qualitätsanforderungen Rechnung zu tragen, können typischerweise nachfolgende Methoden zur Dimensionierung des Netzes herangezogen werden:

- Vollständige Integration der aus den Verkehren resultierenden Paketströme (auch Overengineering genannt)
- Partielle Integration der aus den Verkehren resultierenden Paketströme in Form separierter Warteschlangen, aber gemeinsamer Nutzung der Kapazitäten der Einrichtungen (DiffServ Konzept, Prioritätensteuerung)
- Vollständige Separierung der Verkehre für jede oder Teile der Verkehrsklassen in Form virtueller Verbindungen mit reservierten Bandbreiten (Tunnel) mit definierter Qualität, z.B. mittels des im Frame Relay angewandten Konzepts von CIR/EIR bzw. das durch mehrere IETF RFC spezifizierte Konzept von MPLS-TE<sup>31</sup>.

Entsprechende Netzdimensionierungsmodelle **resultieren aus der Warteschlangentheorie** und werden im WIK Modell durch das Konzept der „äquivalenten Bandbreite“ ausgedrückt. Die äquivalente Bandbreite berechnet sich aus der mittleren Bandbreite der jeweiligen Verkehrsanforderungen je Verkehrsklasse, multipliziert mit einem Mark Up Faktor (MuF). Dieser Mark Up Faktor hängt von den QoS und von den oben aufgeführten Dimensionierungsregeln ab und wird im Modell endogen durch eine entsprechende Routine behandelt, die auf einem Warteschlangenmodell basiert. Mitarbeiter des WIK haben entsprechende Modelle zur Bestimmung der Mark Up Faktoren entwickelt und zugehörige Algorithmen implementiert, die es gestatten, die Mark Up Faktoren in Abhängigkeit von der Verkehrsklasse und den daraus resultierenden QoS Anforderungen außerhalb des Modells zu berechnen, die daraus resultierenden MuF in das Modell einzuspeisen, und somit aggregierte Bandbreitewerte in den Netzelementen sowie dem gewählten Dimensionierungsmodell festzulegen.<sup>32</sup>

In dem hier vorgestellten Modell soll es jedoch darüber hinaus die Möglichkeit geben, von diesem vereinfachten Modellierungsansatz auf Basis von vorzugebenen Mark-Up-Faktoren abzuweichen und statt dessen den erforderlichen Dimensionierungsbedarf entsprechend der

---

**31** Dabei ist es denkbar, dass die Paketflüsse der entsprechenden Dienstekategorie innerhalb des reservierten Tunnels nochmals aufgeteilt werden und mit über getrennte Warteschlangen unterschiedlicher Priorität behandelt werden. Im Modell wird aber für alle Verkehre einer Dienstekategorie ein einheitlicher Mark Up Faktor berechnet, da sich eine solche Feinoptimierung auf Grund der Unsicherheit in den Vorhersagen für die Verkehrsdaten und deren Verkehrscharakteristiken nicht rechtfertigt, sondern lediglich für den Netzbetrieb von Bedeutung ist.

**32** Vgl. A. García, L. Rodríguez de Lope, K. Hackbarth, Application of Cost Models over Traffic Dimensioning with QoS Restrictions, forthcoming in Annal de Telecommunication, Special Issue on Quality of Experience and Socio-Economic Issues of Network-Based Services Vol. 65 n° 3/4 March/April 2010

Bandbreite der Verbindungen und der Verkehrsmischung individuell je Netzebenen und Dienstekategorie zu bestimmen. Eine solche "genaue" Modellierung und Dimensionierung eines jeden Netzelementes nach Maßgabe der Bandbreite und QoS-Anforderungen der Dienste ist jedoch nur möglich, wenn für die Modellparametrisierung stabile Aussagen über die Statistik der Verkehrsströme für jede Verkehrsklasse vorliegen (z. B. könnten dann M/G/1- oder sogar G/G/1-Modelle herangezogen werden). Dabei ist es auch möglich, eine individuelle Dimensionierung für jedes Netzelement vorzunehmen (diese Vorgehensweise würde den Einsatz von Mark-up-Faktoren ersetzen. Aus praktischen Gründen werden im Modell M/M/1 Warteschlangenmodelle verwendet bei der sich die QoS Anforderungen durch einen Parameter beschreiben lassen, nämlich die mittlere Ende-zu-Ende Laufzeitverzögerung der Pakete und deren Aufteilung auf die Netzelemente des Weges, über den die Pakete im Netz zu führen sind.

Bei der Dimensionierung sind neben der Kapazitätserhöhung gegenüber den mittleren Bandbreitenanforderungen durch die äquivalente Bandbreite (infolge der Anwendung der MuF) auch globale Auslastungsfaktoren je Netzebene zu bestimmen. Die globalen Auslastungsfaktoren sind im Model als Input Parameter je Netzebene vorzugeben und ebenfalls als Zuschlag auf die mittlere Bandbreitenanforderung zu interpretieren. Sie liegen aus heutiger Sicht im Wertebereich von 65-85%. Um abschließend über die vorzunehmende Dimensionierung zu entscheiden, sind die beiden Zuschläge (einerseits aus MuF und andererseits aus den Auslastungsgraden) miteinander zu vergleichen und die maximale Erhöhung zu verwenden.

Für den Modellierungsansatz ergibt sich damit folgender Sachverhalt: Die Basis für die Berechnung von Bandbreitenanforderungen sind die Mittelwerte aus den Verkehrswerten eines Dienstes, da diese die Mindestanforderung an die zu realisierenden Kapazitäten beschreiben. Diese Mittelwerte sind jedoch noch nicht hinreichend für die Netzdimensionierung und nach zwei Aspekten zu erhöhen (wobei lediglich das Maximum Anwendung findet):

1. Aus Gründen der Absicherung des Netzbetriebes gegen kurzfristige unvorhersehbare Verkehrsspitzen sind in paketvermittelten Netzen die globalen Auslastungsgrade der Netzelemente begrenzt und liegen zwischen 65-85%
2. Bedingt durch die Verkehrscharakteristik des Paketstroms, den der Dienst erzeugt, und der korrespondierenden Paketlänge, ergeben sich aus den QoS Anforderungen i.d.R. Bandbreitenwerte, die oberhalb der mittleren Bandbreite liegen. D.h., die Berücksichtigung von QoS-Anforderungen, die die mittlere Verzögerung in einem Netzelement und den mittleren Paketverlust minimieren, machen Bandbreitenwerte erforderlich, die oberhalb des Mittelwertes liegen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass für Netzelemente mit hoher Verkehrsaggregation sich große Bandbreitenwerte ergeben, die im Bereich von mehr als 100 Mbps bis hin in den Gigabitbereich liegen können. Da hier die Bearbeitungsdauer eines Pakets im Micro- bzw. Nanosekundenbereich liegt, ist auch die Verzögerung in den Wartespeichern weit unterhalb der maximalen Verzögerung, die sich aus den QoS Anforderungen ergeben. Damit können theoretisch aus QoS Sicht die entsprechenden Systeme hoch ausgelastet werden ,

wobei die Qualitätsanforderungen der einzelnen Dienste gleichwohl erfüllt bleiben. Das bedeutet, dass in diesem Fall die Kapazitätserhöhung aus den globalen Auslastungsgraden die Kapazitätserhöhung bestimmt und nicht die QoS Anforderungen.

Durch die individuelle Vorgabe der Auslastungsgrade je Netzebene wird dieser Zusammenhang differenziert berücksichtigt werden, wobei zu beachten ist, dass Netzbetreiber aus verschiedenen Gründen ihre Netze auch in der BH nicht zu 100% auslasten, sondern einen Sicherheitszuschlag vorsehen. Die hier vorgeschlagene Differenzierung der Auslastungsgrade nach Netzebenen wird auch von den Netzbetreibern als sinnvoll erachtet.<sup>33</sup>

<i>Kommentaraufforderung 3-4:</i>	Wir bitten um Stellungnahme, ob eine nach Netzebenen differenzierte Festlegung von Auslastungsgraden den praktischen Erfahrungen der Netzbetreiber entspricht. Wenn möglich, bitten wir die Angaben zu begründen und zu quantifizieren.
Antworten:	Eine Differenzierung nach Auslastungsgraden zwischen den Netzebenen wird nicht von allen antwortenden Betreibern angewendet.
WIK-Consult:	Wir werden eine Differenzierung vorsehen. Im Rahmen der Parametrierung kann der Anwender entscheiden, ob er davon Gebrauch macht.
<b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b>	

Die Zusammenhänge zwischen QoS-Klassen, Auslastungsgraden und ihren Dimensionierungserfordernissen – hier ausgedrückt durch die Verkehrsklassen spezifischen Mark-up Faktoren lassen sich auch bei der Kostenzurechnung heranziehen. Sofern die QoS-Differenzierung mit den zugehörigen Verkehrsklassen die Bereitstellung zusätzlicher Ressourcen erforderlich macht, sind diese entsprechend (differenziert nach Verkehrsklassen) bei der Kostenzurechnung anzuwenden. Entscheidend ist dabei auch hier das Kriterium der Kostenverursachung. Gegebenenfalls sind Aspekte der Netzauslastung, dienstespezifische Lastspitzen sowie QoS-Differenzierung hinsichtlich ihrer Relevanz als Kostentreiber gegeneinander abzuwägen.

---

<sup>33</sup> Im Modell werden die Auslastungsgrade durch Eingabeparameter bestimmt, deren Werte nach unserer praktischen Erfahrung zwischen 0,6 und 0,8 liegen, und die bei den oberen Netzebenen - bedingt durch die höhere Verkehrs- und Bandbreitenaggregation - höher liegen als in den unteren Netzebenen. Der Einfluss der Auslastungsgrade und deren Verteilung über die Netzebenen auf die Sprachterminierungskosten ist dann an konkreten Netzszenarien zu untersuchen. Dabei sind auch GoS und QoS Aspekte einzubeziehen.

### 3.2 Logisches Netz

Die im letzten Kapitel dargestellte Bestimmung der Verkehrsnachfrage bildet die Grundlage für die Netzgestaltung und Dimensionierung. Bei der Netzgestaltung ist zwischen der logischen- und der physikalischen Netzschicht zu unterscheiden.<sup>34</sup>

Die logische Netzschicht beschreibt die Netzhierarchie und in jeder Netzebene dieser Hierarchie eine Struktur, welche Standorte diese umfasst sowie die zwischen den Standorten sich ergebenden Bandbreitennachfragen aus der Dimensionierung der OSI Schicht 2 bzw. 3. Diese Bandbreitennachfragen sind dann von einer physikalischen Netzschicht zu realisieren, die im nächsten Abschnitt behandelt wird.<sup>35</sup> Damit wird die logische Netzschicht in jeder Netzebene durch einen gerichteten Graphen beschrieben, dessen Knoten  $v_i$  die Standorte beschreiben und deren gerichtete Kanten  $a_{ij}$  die jeweilig erforderlichen Bandbreiten vom Standort  $v_i$  zum Standort  $v_j$  angeben.

Dagegen beschreibt die physikalische Netzschicht für jede Netzebene die zugehörige Topologie, die durch entsprechende Übertragungssysteme und Medien realisiert wird. Dies kann wieder graphentheoretisch, allerdings in diesem Fall durch einen ungerichteten Graphen<sup>36</sup>, beschrieben werden, dessen Standorte mit denen der logischen Netzschicht übereinstimmen und dessen Netzkanten die jeweiligen Übertragungsstrecken angeben.

Das Modell soll auf Basis der Menge der Ausgangsstandorte (MPoP-Knoten bzw. HVT-Standorte - Modelleingabe) eine Zuordnung sowie eine Ableitung der zugehörigen Netzhierarchie berechnen. Diese unterteilt sich grob in Konzentrationsnetze, welche durch Einrichtungen, die gegenwärtig in der Regel auf der OSI-Schicht 2 realisiert werden, und ein darüber liegendes Kernnetz, das zur Zeit Einrichtungen zur OSI Schicht 3 implementiert. Jedes dieser beiden Netzsegmente kann dann ggf. weiter unterteilt werden. Gleichfalls ist es möglich, auf die Systeme der Layer 2 gänzlich zu verzichten.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Schichten des logischen und physikalischen Netzes. Im Anhang 1 zu diesem Dokument findet sich eine Übersicht zu verschiedenen Realisierungsformen des Breitbandnetzes auf den hier dargestellten Schichten 0 bis 3, die die Grundlage für die ersten Modellanwendungen darstellen sollen. Die dort aufgeführten Realisierungsformen sind nicht abschließend. Vielmehr ist das Modell auch für sonstige (ggf. auch unsinnige Protokollstacks) offen. Diese manifestieren sich in den einzusetzenden technischen Einrichtungen und den damit verbundenen Kosten. Die genaue Realisierung der

---

<sup>34</sup> Auf die Kontrollschicht wird in Abschnitt 3.5 eingegangen.

<sup>35</sup> Man beachte, dass bei der Systemzuweisung diese Einteilung nicht mehr streng unterscheidbar ist, da die Schicht 2 und 3 Einrichtungen in den Schnittstellenkarten Bandbreiten getrieben sind und damit den Übergang zur Schicht 1 bilden. In den Kostengrößen werden diese „Schnittstellen“ dem logischen Netz zugeordnet. Dabei handelt es sich um eine Konvention.

<sup>36</sup> Es ergibt sich ein ungerichteter Graph, da die Übertragungssysteme symmetrisch sind.

Layer 2 oder 3 Technologie hat keinen nennenswerten Einfluss auf die Dimensionierung,<sup>37</sup> sondern beeinflusst nur die Kosten.

Tabelle 3-6: Schichten der logischen und physikalischen Ebenen

Schicht/ Layer	Name	Kommentar	Beispiel für Equipment
3	IP	Erfüllt Aufgaben der Verkehrsmatrix	IP/MPLS Router
2-3	Shim	Schaltung fester Wege in verschiedenen MPLS Architekturen	MPLS-TP, IP-MPLS Router
2	Ethernet	Stellt konzentrierende Systemports bereit und schaltet bei Bedarf Verbindungen	Ethernet Switch und Ethernet Konzentrator
1a	eph1	Multiplexing und Cross Connection auf Ebene elektrischer Signale	SHD, NG-SDH
1b	oph1	Multiplexing und Cross Connection auf Ebene optischer Signale	OTN
0a	Faser/ Kabel	Beschreibt die Glasfaserkabelstruktur	
0b	Leerrohr/ Graben	Beschreibt die physikalische Topologie, die Kabel unterschiedlicher Netzteile können Leerrohre und Gräben teilen, so dass Schicht 0a und 0b nicht identisch sein müssen.	

Auf der Grundlage der modellendogen abgeleiteten Netzhierarchie (siehe Abschnitt 3.2.1) ist die Verkehrsnachfrage von ihrem Ursprung zu ihren Zielen aufzuteilen, was durch eine zugehörige Verkehrsmatrix beschrieben wird. Wie bereits in Abschnitt 3.1 ausgeführt, soll diese Verkehrsmatrix mit zu parametrisierenden Verkehrsverteilungsfunktionen (für Punkt-zu-Punkt Dienste) abgeleitet werden. Dies ist für die Verkehre jeder Dienstkategorie individuell vorzunehmen bzw. kann oder muss – aus Gründen der Datenverfügbarkeit – gemeinsam vorgenommen werden. Dabei sind neben Kostengesichtspunkten auch Aspekte der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des Netzes zu betrachten. Dies gilt vor allem hinsichtlich der Anzahl und Verteilung von Serverstandorten und Standorte für die Zusammenschaltung.

Unter Rückgriff auf die Verkehrsnachfrage, dargestellt durch die Verkehrsmatrix ist die Struktur der logischen Netzschicht<sup>38</sup> in Abhängigkeit von der Netzhierarchie zu bestimmen und die Verkehrsflüsse aus der Verkehrsmatrix sind über diese Struktur zu führen. Nach Abschluss sind die Verkehrsflüsse und ihre zugehörigen Bandbreitenanforderungen für jeden Netzknoten und jede Netzkante der logischen Netzschicht berechnet. Diese Größen bilden

<sup>37</sup> Im Vergleich zu den durch die Dienstenachfrage ausgelösten Datenströme sind die Signalisierungs- oder auch Überwachungsverkehre – selbst im Fall von BFD – zu vernachlässigen.

<sup>38</sup> Mit der „logischen Netzstruktur“ wird die Form der Anbindung der Netzknoten im logischen Netz (Layer 2 und Layer 3) Einrichtungen beschrieben. Der Begriff der Topologie bleibt der Beschreibung der physikalischen Ebene vorbehalten. Man beachte, dass bei der Festlegung der Einrichtungen diese Trennung nicht immer scharf ist. So fällt z.B. die Dimensionierung und Festlegung der Schnittstellenkarten in den Layer-2 und Layer-3 Einrichtungen in den Bereich des logischen Netzes, aber vom OSI Modell in die physikalische Schicht.

dann die Grundlage zur Netzgestaltung und Dimensionierung der physikalischen Netzschicht.

Nachfolgend werden die Netzgestaltung und Dimensionierung der logischen Netzschicht beschrieben und entsprechende Modelle für das Kostenmodell Breitbandnetz entworfen. Dazu wird dieses Kapitel in vier Abschnitte gegliedert. Der erste Abschnitt behandelt Modelle zum Entwurf der Netzhierarchie sowohl für das Konzentrations- als auch das Kernnetz, der zweite Abschnitt betrachtet die Definition der untersten Netzebene und damit die Einbeziehung der Aggregationsstufen im NGA. Der dritte Abschnitt beschäftigt sich mit der Festlegung der logischen Netzstruktur und Verkehrsführung. Im vierten Abschnitt werden Aspekte der Standortwahl und Verkehrsaufteilung von Server- und IC-Verkehren behandelt.

### 3.2.1 Entwurf der Netzhierarchie

Der vorgeschlagene Modellierungsrahmen, der auch dem Analytischen Kostenmodell für das nationale Verbindungsnetz [WIK-02] zu Grunde liegt, lässt sich dabei wie folgt skizzieren:

- Vorgabe der maximalen Anzahl von Netzebenen  
=> **Modellimplementierung**
- Vorgaben zu den Netzknoten:
  - jeder Netzknoten enthält Funktionen der untersten Netzebene  
=> **Modellimplementierung**
  - Funktionen der Netzknoten höherer Netzebenen werden **modellendogen** bestimmt (Knotenstärke und Abstandskriterien)
  - Anzahl der Gesamtzahl der Netzknoten  
=> **Modellinput** (zu Grunde liegende Datenbank)
  - Anzahl der Netzknoten pro Netzebene  
=> **Modellinput** (Inputparameter)

Soll eine Abbildung von Ist-Strukturen über den scorched node-Ansatz hinaus vorgenommen werden, so sind die Standorte der höheren Ebenen vorzugeben und damit der modellendogene Ansatz zur Zuweisung von Knoten zu höheren Netzebenen auszuschalten<sup>39</sup> (d.h. die Standorte werden vom Modell eingelesen).

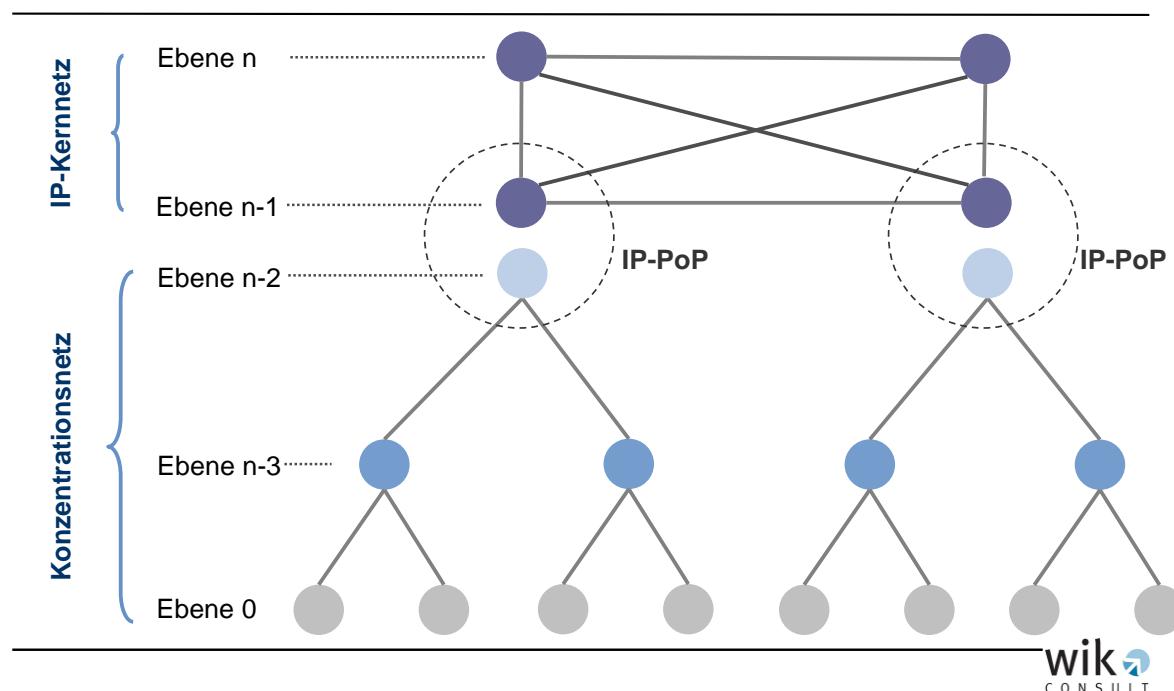
---

<sup>39</sup> Man beachte, dass eine Mischung aus endogener Berechnung in einer Ebene und vorzugebenen Standorten einer darüberliegenden Ebene nicht möglich ist, da die Standorte einer höheren Ebene immer eine Untermenge der Standorte der darunterliegenden Ebene darstellen.

Der Modellierungsrahmen für das Kostenmodell Breitbandnetz sieht die **Vorgabe einer maximalen Anzahl von Netzebenen** vor, innerhalb derer verschiedene Netzstrukturen mit unterschiedlicher Anzahl von Netzebenen spezifiziert (Modellparametrisierung) werden können. Dies erlaubt die Kostenberechnung für verschiedene Netzstrukturen – hier mit Blick auf die Netzebenen. Diese maximale Anzahl an Netzebenen ist bei der Modellimplementierung so zu wählen, dass alle zukünftig für realistisch erachteten Szenarien innerhalb dieses Rahmens abgebildet werden können, um auf Basis komparativ-statistischer Analysen unter anderem kostenminimale, effiziente Netzstrukturen ermitteln zu können.

Die nachfolgende Grafik soll eine Netzstruktur in allgemeiner Form illustrieren. Die Ebenen  $n$  und  $n-1$  bilden in diesem Beispiel das Kernnetz ab – die hier angedeutete Vollvermaschung ist lediglich eine denkbare Realisierungsform. Letztlich soll an dieser Stelle betont werden, dass durch den Modellanwender sowohl die Anzahl der Netzebenen als auch die Zahl der Netzknoten je Netzebene vorgebar ist. Dieser methodische Ansatz wurde bereits im Analytischen Kostenmodell für das nationale Verbindungsnetz umgesetzt [vgl. WIK-02]. Aufgrund dieser Eigenschaften erfüllt das Modell damit die Anforderungen an einen Scorched-Node-Ansatz.

Abbildung 3-1: Modellierungsrahmen Netzstruktur



Ferner soll das Modell so ausgestaltet werden, dass bei einer Modellanwendung **Vorgaben zu den Netzknoten der untersten Ebene** gemacht werden müssen. D.h., die Gesamtheit der Netzknoten stellt einen veränderbaren Modellinput dar. Diese Standorte werden als **Geo-Koordinaten und zugehörige Verkehrsnachfrage** über eine zu Grunde liegende Datenbank in das Modell eingelesen.

Mit dieser Vorgehensweise soll zum einen die Umsetzung eines scorched node Ansatzes gewährleistet werden, zum anderen lässt sie die Möglichkeit offen, auf alternativen Wegen bestimmte Knotenstandorte in das Modell einpflegen zu können bzw. bestehende verändern zu können. Aus der Grundgesamtheit aller Hauptverteilerstandorte (als Scorched Nodes) kann damit beispielsweise auch eine Teilmenge als Netzknoten herangezogen oder bestimmten Knoten besondere Funktionen zugewiesen werden. **Grundsätzlich enthält jeder Netzknoten Funktionen der untersten Netzebene<sup>40</sup>** (Modellimplementierung), unabhängig davon, wie viele Netzebenen für eine Modellanwendung parametrisiert werden. Die **Anzahl der Netzknoten in den höheren Netzebenen ist ebenfalls Modellinput**. Welchen Netzknoten neben ihrer Funktion auf der untersten Netzebene auch eine Funktion höherer Netzebenen zugewiesen wird, soll prinzipiell modellendogen bestimmbar sein.

Im Modell sollen dabei **sowohl Kriterien der Knotenstärke als auch Abstandskriterien** hinterlegt werden, wobei der anzuwendende Mindestabstand zwischen den Knoten im Modell **parametergesteuert** sein soll (und somit auch eliminiert werden kann, wenn er einen Wert nahe Null annimmt). Letztlich bildet die Knotenstärke das Auswahlkriterium und der parametergesteuerte Abstandswert stellt eine Nebenbedingung dar.<sup>41</sup> Damit wird eine Verteilung der Funktionen höherer Netzebenen auf die verkehrsstärksten Netzknoten ermöglicht und eine Akkumulation in einigen dicht besiedelten Gebieten vermieden.

Alternativ zur modellendogenen Bestimmung der Netzhierarchie (endogene Auswahl der Standorte höherer Netzebenen) soll es auch möglich sein, dem Modell auch für die Funktionen höherer Netzebenen die Standorte über eine externe Datenbank vorzugeben und auf die modellendogene Bestimmung der Netzhierarchie zu verzichten. Eine solche Vorgehensweise erlaubt die Abbildung existierender Netzstrukturen und eine entsprechende Kostenbestimmung. – Grundsätzlich gilt als Nebenbedingung, dass Standorte höherer Netzebenen immer eine Teilmenge der MPoP-Standorte sind.<sup>42</sup>

Die **Knotenstärke** wird im Modell **über die zugehörige Verkehrsnachfrage** der an den Standort angeschlossenen Nutzer bestimmt. Diese ergibt sich über das Datenvolumen, welches von den Endkunden generiert wird, deren Verkehr über diesen Netzknoten aggregiert und zum Kernnetz weitergeleitet wird.<sup>43</sup> Diese Verkehrsnachfrage wird – unter Rückgriff auf dienstspezifische Verkehrsverteilungsfunktionen sowie im Modell zu implementierenden Re-

---

<sup>40</sup> Dabei handelt es sich um das teilnehmeranschließende Equipment im MPoP.

<sup>41</sup> Diese Auswahlkriterien nehmen bereits eine erste Optimierung des physikalischen Netzes vorweg, als dass darauf abgestellt wird, dass Verkehre aus verkehrsstarken Knoten nicht über weite Entfernungen durch ein Konzentrationsnetz zum Kernnetz geführt werden müssen.

<sup>42</sup> Jedoch ist bei dieser Anwendungsvariante des Modells (Vorgabe der Netzhierarchie) bei der weiteren Modellparametrisierung darauf zu achten, dass diese zu der vorgegebenen Hierarchie konsistent ist.

<sup>43</sup> Diese Verkehrsnachfrage wird in der Verkehrsmatrix je MPoP zusammengefasst (siehe Tabelle 3-5). Bestimmt wird sie entweder über das Nachfragemodell oder die von Betreibern bereitgestellten Verkehrsdaten.

geln der Verkehrsführung – herangezogen, um sowohl die Netzhierarchie zu bestimmen als auch die Netzdimensionierung nach Maßgabe des Total-Element-Ansatzes<sup>44</sup> vorzunehmen.

Abbildung 3-2 stellt dies schematisch für ein Netz mit drei Ebenen im Konzentrationsnetz und zwei Ebenen im NGN-Kernnetz dar, wobei die oberste Ebene des Konzentrationsnetzes mit den Standorten der untersten Ebene des NGN Kernnetz übereinstimmt.

*Kommentaraufforderung 3-5:*

Für die Ableitung der Knotenstärke schlagen wir vor, auf die Layer 3 IP-Nachfrage zurückzugreifen, da wir davon ausgehen, dass die Verkehrsnachfragen im Multiservicenetzt weitestgehend über IP realisiert werden. – Darüber hinaus gehen wir davon aus, dass die Layer 1 und Layer 2 Nachfrage die Verteilung der Knotenstärke aus der IP-Nachfrage nicht grundlegend verändert (Annahme, dass Standorte mit starker IP-Verkehr Nachfrage auch Standorte mit starker Layer 1 bzw. Layer 2 Nachfrage darstellen). Bitte kommentieren Sie, inwieweit Sie diese Sicht teilen, und begründen Ihre Auffassung.

Antworten:

Die Dimensionierung der Knotenstärke auf Basis der Layer 3 IP-Nachfrage entspricht der Erfahrung. Ggf. könnte dies zukünftig von der Nachfrage nach virtueller Entbündelung beeinträchtigt werden. Im Kontext von LTE könnte zukünftig der Einsatz von Layer 3 Equipment im Konzentrationsnetz sinnvoll werden.

WIK-Consult:

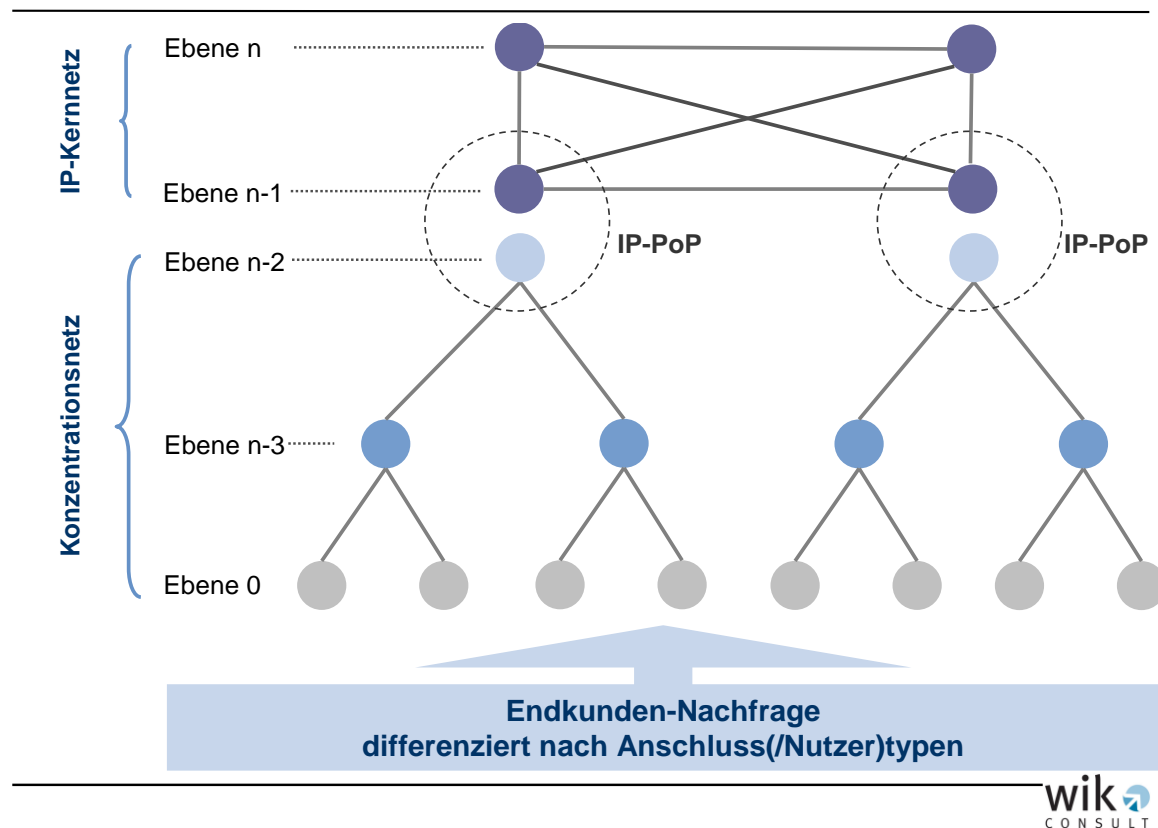
Bei Abführung vULL-Verkehr am MPoP haben diese Verkehre keinen Einfluss auf die Hierarchiebildung und weitergehende Verkehrsdimensionierung.

#### **Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.**

Die angesprochene Option, Layer 3 Equipment für LTE einzusetzen sehen wir derzeit noch nicht. Nach unserer Auffassung werden künftig einzelne benachbarte LTE Basisstationen eher mit Layer 1 oder Layer 2 Verbindungen realisiert. Auch dann wäre keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.

<sup>44</sup> Der Total-Element-Ansatz stellt darauf ab, dass bei der Netzdimensionierung sämtliche Dienste, die die Netzelemente des betrachteten Inkrementes in Anspruch nehmen, bei der Dimensionierung Berücksichtigung finden.

Abbildung 3-2: Nachfragegetriebene Netzmodellierung



Diese skizzierte Vorgehensweise zur Modellierung der Netzhierarchie und der Parameter gesteuerten Veränderbarkeit der Anzahl der Netzebenen sowie der Knotenanzahl je Netzebene hat sich im Kostenmodell für das nationale Verbindungsnetz in der Vergangenheit bewährt.

Die für die Ableitung der Hierarchie vorgesehenen Kriterien wurden von den Marktteilnehmern weitestgehend bestätigt. Die Verkehre des vULL (virtuell Unbundled Local Loop) werden als Bitstrom bereits im MPoP (Ebene 0) wieder abgeführt und bestimmen somit die Verkehrsverteilung auf den höheren Netzebenen nicht mit.

Für die Modellimplementierung muss eine Einschätzung über die maximale Anzahl von Netzebenen gewonnen werden.

Um das Netzmodell ausreichend flexibel zu gestalten, wird im Breitband Kostenmodell eine Trennung in zwei separate Module vorgenommen:

- Konzentrationsnetz und
- IP-Kernnetz.

Für jedes der Module muss für die Modellimplementation eine maximale Anzahl von Hierarchieebenen (jeweils Konzentrationsnetz und Kernnetz) vorgegeben werden.<sup>45</sup> Dabei ist hervorzuheben, dass die Anzahl der als Modellinput vorzugebenden Netzebenen national einheitlich als Obergrenze vorgegeben werden muss. Dies hat nicht zur Folge, dass die vorgegebene Anzahl an Ebenen im Konzentrationsnetz tatsächlich auf jedem angebundenen Ast auch ausgeschöpft wird. Das Modell berücksichtigt beim Netzentwurf und der Dimensionierung regionale Unterschiede durchaus:

- So fließen MPoP-genau die Endkundenzahlen unter Berücksichtigung der lokalen Verteilung in Nutzergruppen ein. Den Nutzertypen werden im Nachfragemodell Dienstekategorien zugeordnet. Die an den jeweiligen MPoP vorherrschenden Anschlussarten beschränken dann ggf. das nachfragbare Spektrum an Diensten.
- Hinsichtlich der Anzahl der Netzebenen sieht das Modell eine bundeseinheitliche Obergrenze vor. Darüber hinaus kann z.B. bei der Berechnung der Standorte höherer Ebene, vor allem der Ebene Eins, die minimale Entfernung zwischen den Standorten verkleinert bzw. vergrößert werden. Im ersten Fall werden vor allem verkehrsstarke Standorte ausgewählt und dünn besiedelte Gebiete erhalten weniger oder überhaupt keine Standorte in der höheren Ebene. Im zweiten Fall werden die höheren Standorte gleichmäßiger über das gesamte Gebiet verteilt.  
Grundsätzlich ist anzumerken, dass in einem 3-Ebenen-Netz nicht in jeder Verzweigung des IP-PoPs (Ebene 2) auch zwei nachgelagerte Standorte realisiert werden.

Um einen Vorschlag für die maximale Anzahl an Netzebenen für Österreich zu begründen, wurde auf eine für Deutschland (BNetzA) durchgeführte Studie zurückgegriffen, vgl. [Hackbarth-06], bei der die Frage nach der Anzahl der Ebenen und der Anzahl der Standorte pro Ebene untersucht wurde. Diesen Erkenntnissen und den absehbaren technologischen Entwicklungen zufolge wurde ein Netz **mit maximal drei Ebenen sowohl für das Kern- als auch das Konzentrationsnetz** für sinnvoll erachtet. – Aufgrund der Strukturmerkmale (Teilnehmerzahl und –dichte sowie räumliche Erstreckung und Verteilung) glauben wir, dass der für Deutschland gewählte Modellierungsrahmen auch für Österreich hinreichend groß ist. Eine Beschränkung durch eine Obergrenze auf jeweils 3 Netzebenen wird von den Marktteilnehmern nicht gesehen.

<i>Kommentaraufforderung 3-6:</i>	Die vorgegebene maximale Anzahl von Netzebenen je Netzsegment definiert den Rahmen, innerhalb dessen Variationen und Szenarien berechnet und komparativ-statisch analysiert werden können.
-----------------------------------	--

<sup>45</sup> Man beachte, dass die Anzahl der Hierarchieebenen aus Sicht der Einrichtungen vorgenommen wird. Aus Sicht der Standorte ergibt sich eine Ebene weniger, da die Einrichtungen in der obersten Ebene des Konzentrationsnetzes mit denen der untersten Ebene des Kernnetzes am selben Standort kolloziert sind.

	Wir bitten um Stellungnahme, ob mit der Beschränkung auf maximal 3 Netzebenen sowohl für das Konzentrationsnetz als auch das IP-Kernnetz der Analyserahmen des Modells unangemessen beschränkt wird und wenn ja, in welchem Umfang und aufgrund welcher Begründungen.
Antworten:	Die Antwortenden sind der Ansicht, dass 3 Netzebenen sowohl für das Konzentrationsnetz als auch für das Kernnetz ausreichend seien.
WIK-Consult:	Die Antworten bestätigen den vorgesehenen Modellierungsrahmen für die Netzebenen.
<b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b>	

Dieser in Abbildung 3-1 dargestellte Modellierungszusammenhang und die damit in Verbindung stehende Anzahl an Netzebenen wird durch Angaben zu den Kostenstrukturen eines NGA Netzes bei Bedarf ergänzt und erlaubt somit die Berücksichtigung einer 4. Konzentrationsstufe unterhalb der in Abbildung 3-1 dargestellten untersten Netzebene.

Die Modellierung der 4. Konzentrationsstufe erfordert die Berücksichtigung der Anzahl von Standorten, an denen die Verkehrsaggregation beginnt. Ergänzend sind Angaben zu Endkundenzahlen inkl. ihrer Anschlusstechnologien – differenziert nach MPoP-Standorten – zu erheben. Die Bestimmung der Kosten der den MPoP vorgelagerten, die Teilnehmeranschlüsse architekturenspezifischen aggregierenden Systeme erfolgt auf der Ebene der MPoP.<sup>46</sup>

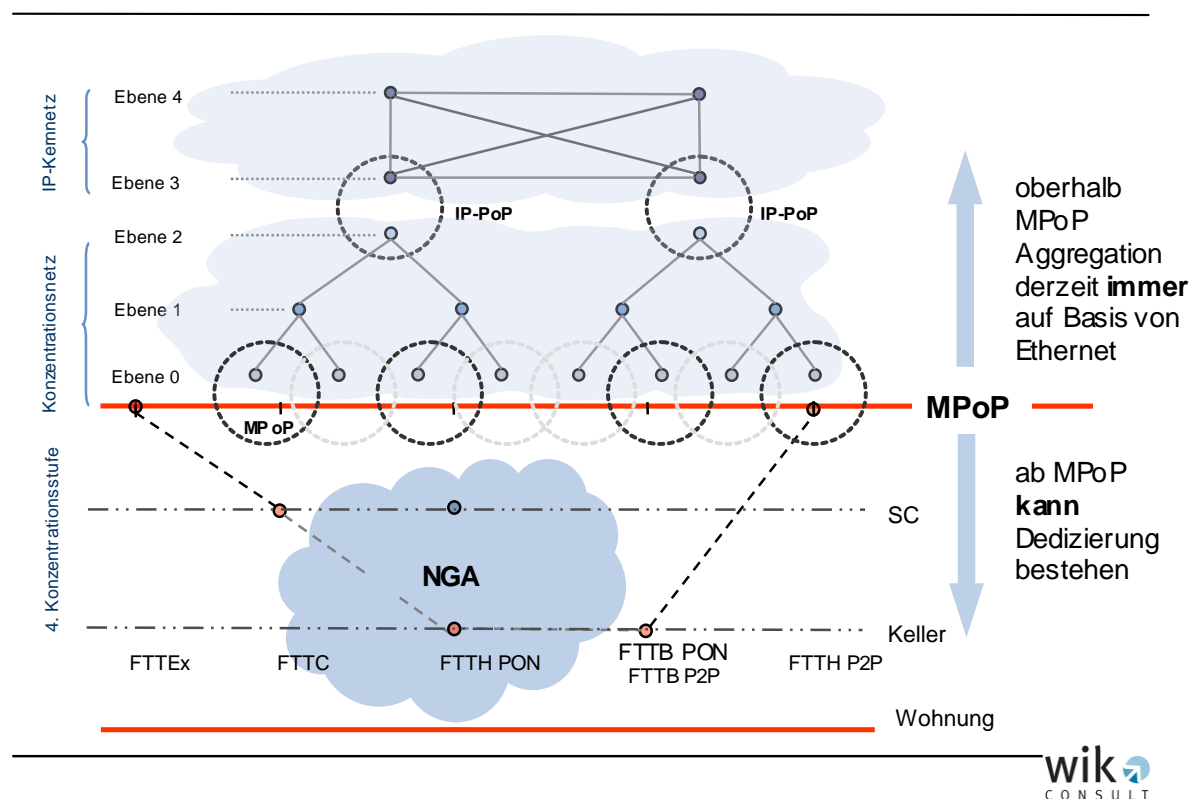
### 3.2.2 Definition der untersten Netzebene

Die Modellierung der Kosten der 4. Konzentrationsstufe (die sich innerhalb des NGA befindet), wird in dem vorliegenden Modell auf die Ebene der MPoP projiziert. Annahmegemäß bilden die MPoP die unterste Ebene des geschlossen zu modellierenden Konzentrationsnetzes. Dies ist in der nachfolgenden Grafik skizziert.

---

<sup>46</sup> Ggf. wird es erforderlich sein, aufgrund der umfangreichen Datenmengen Teile des Kostenmoduls für die 4. Konzentrationsstufe auf Basis von C++ zu programmieren und erst etwas aggregierte Größen in das Excel-basierte Kostenmodul zu übergeben.

Abbildung 3-3: Vierte Konzentrationsstufe unterhalb des MPoP im NGA



Das Konzentrationsnetz in einem NGN endet im MPoP. Das ist der Punkt, in dem unabhängig von den verschiedenen Optionen eines NGA spätestens das Ethernet Konzentrationsnetz beginnt. Von dort in Richtung der Endteilnehmer können, abhängig von der Architektur des Zugangsnetzes, bereits Vorkonzentrationen beginnen, bei denen die einzelnen Elemente des Zugangsnetzes nicht kundendediziert zugeordnet werden können, sondern um die bzw. um deren Kapazität die Kunden im Wettbewerb zueinander stehen.<sup>47</sup> Unter diesen Umständen mag der Demarcation Point (s. EU MTR/ FTR Recommendation 2009) für die Bestimmung von Terminierungs- und Generierungs-entgelten sich vom MPoP weg zum Endkunden hin verlagern (z.B. der DSLAM-Standort bei FTTC/ VDSL im KVZ, der ONU-Standort bei FTTB).

Das Kostenmodell für die Bestimmung von Terminierungsentgelten sollte einheitlich aufgebaut werden und nicht von den sich über die Zeit ändernden Randbedingungen/ Architekturen eines NGA Netzes abhängen. Vielmehr sind die Komplexitäten eines NGA Zugangsnetzes aus dem ohnehin schon komplexen NGN Modell herauszuhalten. Das Modell soll schließlich auch in der Lage sein, die Terminierungskosten bei herkömmlichen Kupfer-Anschlussnetzen oder bei reinen FTTH P2P Netzen zu rechnen, deren Kundenanschlüsse

**47** Die Entscheidung darüber, ob es sich um ein konzentrierendes Netzelement handelt wird dabei nicht nach Maßgabe der Auslastung des einzelnen Netzelementes entschieden, sondern in Abhängigkeit seiner Funktion.

rein kundendediziert sind und die kein konzentrierendes Equipment auf der Strecke vom MPoP zum Endkunden hin beinhalten. In diesen Fällen ist eine Berücksichtigung des Anschlussliniennetzes nicht erforderlich. Das Modell soll zudem ermöglichen, dass das Anschlussnetz aus einem Mix verschiedener Architekturen in einem Anschlussbereich errichtet werden kann. Die Entscheidung, an welcher Stelle im Netz bei welcher NGA Architektur der Demarcation Point anzusetzen ist, ist weder auf EU-Ebene noch bei RTR oder einer anderen europäischen Regulierungsbehörde bisher gefallen. Das Modell soll daher auf entsprechende Vorgaben flexibel reagieren können.

Daher schlagen wir vor, den MPoP als festen Anker zu verwenden, auf den, abhängig von der vorgelagerten NGA Architektur, die für die Bestimmung der Terminierungs-/ Generierungsentgelte relevanten Investitionen und OPEX projiziert werden können, sozusagen als 4. Ebene des Konzentrationsnetzes, wobei die exakte Lage der vorgelagerten Konzentrationsstandorte (wie es bei einem Scorched Node Ansatz erforderlich ist) und deren Infrastrukturkosten für eine effiziente Anbindung über exogene Daten in die Kostenmodellierung Eingang findet.

Hierzu müssen dem Breitbandkostenmodell je MPoP die folgenden Informationen mitgegeben werden, die ggf. aus anderen Datenquellen oder Modellen abgeleitet werden müssen:

Je MPoP:

- Anzahl der Teilnehmer aufgeteilt nach Nutzertypen je NGA Architektur
- Anzahl der vorgelagerten NGA Knotenstandorte (Demarcation Points) je NGA Architektur mit den erforderlichen Glasfasern bzw. Faserpaare zur Übernahme des Verkehrs aus den Demarcation Points in den MPoP
- Invest je NGA Architektur für die Infrastruktur (differenziert nach Positionen mit unterschiedlicher Abschreibungsdauer) einer effizienten Anbindung der Demarcation Points an den MPoP. OPEX dazu, ggf. als Mark Up Faktor.
- Angabe darüber, inwieweit Teile der Infrastrukturkosten und Kosten für Übertragungssysteme auch anderen, hier nicht betrachteten Diensten zugerechnet werden müssen (z.B. Outband TV, z.B. RFoG auf separater Faser oder im GPON, Mietleitungen, Dark Fibre zu Endkunden oder Mobilfunkmasten, ...), und deren Quote/ Höhe..., je NGA Architektur, OPEX dazu.

Zudem werden in jedem MPoP die Kosten der vorgelagerten konzentrierenden Systeme je NGA Architektur bestimmt:

- Invest je NGA Architektur für die den Verkehr konzentrierenden Übertragungssysteme (Demarcation Points) ohne die kundendedizierten Ports sowie OPEX, ggf. als Mark up Faktor. Für die GPON Architekturen sind die Splitter inklusive des dem Kunden nächstgelegenen Splitter relevant.

- Angaben dazu, inwieweit Kosten der vorgelagerten Übertragungssysteme des NGA variant sind bzgl. der Veränderung des Verkehrsvolumens, z. B. sich bei Wegfall des Terminierungsverkehrs ändern würden.

Bei dieser Vorgehensweise werden die konzentrierenden Systeme der Demarcation Points über Durchschnittswerte dimensioniert, eine Kostenvarianz bzgl. Mengenveränderungen, die z.B. durch die Herausnahme des Terminierungsverkehrs geschehen könnte, lässt sich damit nur begrenzt ermitteln. Gleichfalls unscharf bleibt eine Dimensionierung des Glasfaserbedarfes für die Anbindung der vorgelagerten Standorte, weil die bei genauer Modellierung entstehenden sprungfixen Kosten einer Verkehrsmengenzunahme im Rahmen der Durchschnittsbildung nur sehr ungenau nachgebildet werden. Der erste Aspekt könnte wegen der inhärenten Unschärfe dazu führen, dass für beide Volumenberechnungen (mit und ohne Terminierungsverkehr) eine gleiche Dimensionierung vorgenommen wird, obgleich dies bei einer feiner granularen Untersuchung nicht der Fall wäre. Der letzte Aspekt (Infrastrukturdimensionierung) ist für die Bestimmung der pure LRIC irrelevant, weil er in beiden Volumenberechnungen annähernd gleich groß sein wird. Zu berücksichtigen bleibt auch, dass mit schwindendem Sprachanteil in den Netzen und insbesondere bei Hinzukommen von IP-TV in den All-IP Verkehrsmix langfristig der Einfluss des NGA auf die Terminierungskosten wieder sinkt und sich dann eine feinere Betrachtung erübrigt (vgl. [Jay-10]).

Im Grundsatz bilden diese Daten eine vorgelagerte 4. Konzentrationsebene ab, die mit ihren relevanten wirtschaftlichen Eckgrößen berücksichtigt wird, ohne in ihrer Heterogenität (noch einmal) modelliert werden zu müssen.

### 3.2.3 Modellierung der Netzstruktur und Einrichtungen im logischen Netz

#### 3.2.3.1 Methodischer Ansatz zur Modellierung der logischen Netzstruktur<sup>48</sup>

Grundsätzlich ist die Struktur und Dimensionierung des logischen Netzes durch die Verkehrsnachfrage und deren Verkehrsziele getrieben. Werden andere Kriterien, ggf. auch nur ergänzend, zur Bestimmung der Struktur herangezogen, die sich nicht an der Verkehrsnachfrage orientieren, so sind die sich daraus ergebenden Strukturen dann i.d.R. mit einer stärkeren Inanspruchnahme von Einrichtungen des logischen Netzes verbunden (da in weniger Fällen die direkte Verbindung realisiert wird) und somit kostenintensiver. Nebenbedingungen, wie die Einhaltung einer maximalen Anzahl von Routerdurchläufen (Hops), können ebenfalls eine Rolle spielen.

---

<sup>48</sup> Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Bezeichnung „Topologie“ der physikalischen Schicht vorbehalten bleibt.

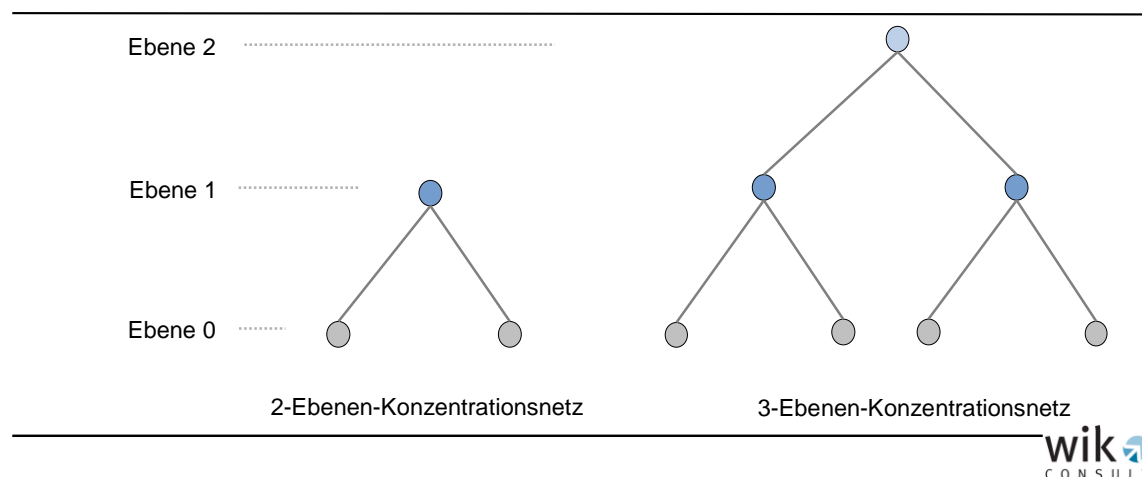
Da bei dem vorgestellten bottom-up Ansatz zahlreiche Strukturparameter durch den Modelanwender gesteuert werden, die Einfluss auf die Netzstruktur haben, und diese letztlich interdependent sind, ist es nicht möglich, eine Auswahl der Netzstruktur aus einem Set von Basiskonzepten je Netzebene vorzusehen. Vielmehr wird – ausgehend von Basisstrukturen unter Rückgriff auf die Steuerungsgrößen „Schwellwerte zur Einrichtung von Direktverbindungen“ sowie „Absicherung von Einrichtungen und Standorten“ Einfluss auf die Netzstruktur genommen. In Abhängigkeit von der Verkehrsnachfrage sind dann verschiedene Strukturen – nach Maßgabe ihrer Wirtschaftlichkeit (das Modell leitet das effiziente Netz ab) abbildbar.

Wie einführend dargestellt, wird die Netzmodellierung in das Konzentrations- und das Kernnetz unterteilt, insbesondere wegen der ihnen zu Grunde liegenden unterschiedlichen Funktionen (mit Blick auf IP-basierte Dienste). Entsprechend (d.h. aufgrund der Verkehrsnachfrage im Sinne der Verkehrsmatrix) unterscheiden sich die logischen Netzstrukturen grundlegend und werden daher nacheinander abgehandelt.

### 3.2.3.2 Konzentrationsnetz

Mit der Festlegung der Netzhierarchie werden gleichzeitig die Standorte für die Netzstruktur je Netzebene des logischen Netzes bestimmt. Für das **Konzentrationsnetz** ergeben sich aus heutiger Sicht vor allem **Sternstrukturen bzw. Doppelsternstrukturen** (siehe Abbildung 3-4). Dies erklärt sich aus der Rationalität der Verkehrsnachfragen, da, wie eingangs ausgeführt, das Konzentrationsnetz die dominante Funktion hat, IP Verkehr der Teilnehmer an das IP-Kernnetz weiterzuleiten, woraus sich eine Stern- bzw. Doppelsternstruktur ergibt.

Abbildung 3-4: Sternstrukturen im 2- bzw. 3-Ebenen-Konzentrationsnetz

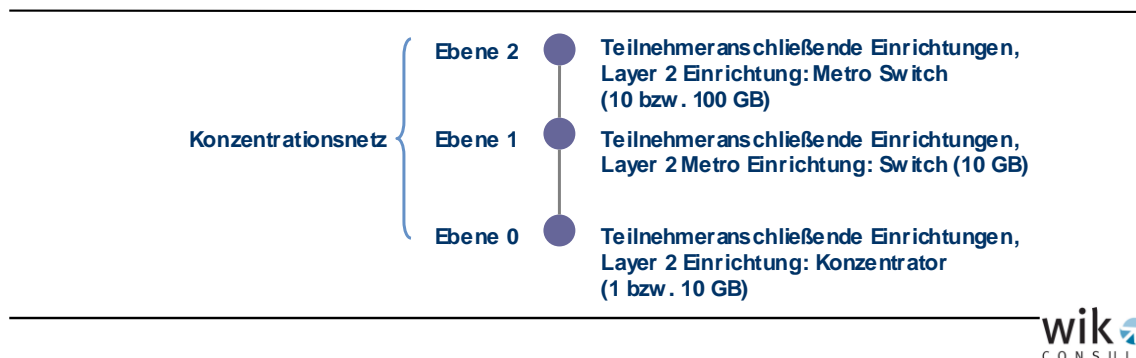


Für jede Netzebene ist zu definieren, welche Einrichtungen mit welchen Funktionalitäten vorgehalten werden sollen.

Die Gesamtheit der im Modell berücksichtigten Netzstandorte weist teilnehmeranschließende Einrichtungen auf. Sämtliche Standorte sind daher als MPoP zu klassifizieren. In allen Netzebenen oberhalb des MPoP befindet sich verkehrskonzentrierendes Equipment, wobei der

Konzentrationsgrad mit der Netzebene steigt. Dies soll auch durch die schematische Darstellung in der nachfolgenden Abbildung 3-5 am Beispiel von Layer 2 Einrichtungen skizziert werden.

Abbildung 3-5: Layer 2 Einrichtungen im Konzentrationsnetz



In Abhängigkeit der zugehörigen NGA-Architekturen unterscheidet sich das teilnehmeranschließende Equipment in den MPoP und ist entsprechend der Kostentreiber zu spezifizieren.

Obwohl derzeit (Carrier) Ethernet bzw. Ethernet/MPLS als dominante Layer 2 Technologie im Konzentrationsnetz anzusehen ist, soll das Modell technologieneutral formuliert werden. Die Einrichtungen werden hinsichtlich ihrer kostenrelevanten Eigenschaften im Kostenmodul berücksichtigt und dort über Eingabeparameter veränderbar gemacht.<sup>49</sup>

<i>Kommentaraufforderung 3-7:</i>	Welche Realisierungsformen des Konzentrationsnetzes sind aus Ihrer Sicht heutzutage und mittelfristig von Bedeutung? Bitte begründen Sie Ihre Ausführungen.
Antworten:	Ein Betreiber gibt an Multi-Service Access Router einsetzen zu wollen, während ein anderer von Mischkonfigurationen spricht.
WIK-Consult:	<p>Aus den Kommentaren geht kein Änderungsbedarf hervor. Wir betonen, dass wir im Festnetz ausschließlich Glasfaser zugrunde legen.</p> <p>Der Einsatz von Layer 3 Equipment im Konzentrationsnetz ist im Modell implementierbar. Der Nachweis, dass</p>

<sup>49</sup> In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass eine sinnhafte Parametrisierung in der Verantwortung des Modellanwenders liegt. Dies betrifft insbesondere das Zusammenspiel von Systemzuweisung (Technologie) und Netzstruktur.

Layer 3 die effizientere Technologie sei, ist über komparativ-statische Modellrechnungen noch zu leisten.

**Keine Änderungen im Modellkonzept erforderlich.**

Eine wesentliche Funktion moderner Ethernet Konzentrationsnetze<sup>50</sup> ist die Möglichkeit, Protection Switching unmittelbar auf Layer 2 vorzunehmen, ohne auf die relativ langen Konvergenzzeiten der Spanning Tree Algorithmen angewiesen zu sein. Das Modell wird diese Option für das Konzentrationsnetz berücksichtigen. Damit können Einrichtungen (NG-SDH, OTN) auf der physikalischen Ebene ggf. eingespart werden, sofern sie nur für diese Sicherungsfunktion benötigt werden, und Layer 2 kann direkt auf Layer 0 aufsetzen.

Sofern Ethernet-Einrichtungen mit schnellem Protection Switching zum Einsatz kommen, die keine Ersatzschaltungsfunktionen unterliegender Layer 1 Netze voraussetzen, weil sie in im Markt akzeptierter Zeit ersatzschalten können, sind logische Ringe auch im Layer 2 vorgesehen.

Neben den IP-Verkehren – für die das Konzentrationsnetz eine reine „Zubringerfunktion erfüllt – schlagen wir vor, spezifische Layer 2 **Verkehre**, in denen der Verkehrsursprung und das Verkehrsziel im gleichen IP-PoP Cluster<sup>51</sup> liegen, und die Verkehre, die ggf. an Zusammenschaltungspunkten des Konzentrationsnetzes abgeführt werden, **zu berücksichtigen**<sup>52</sup> <sup>53</sup>. Diese Verkehre sollen **virtuelle LAN-Dienste (VLAN)**<sup>54</sup>, die mittels TAG-Switching innerhalb des Konzentrationsnetzes geführt werden, sowie andere Layer 2 Dienste umfassen, wie etwa über Pseudowire realisierte TDM-Dienste (ATM, FR etc.), oder bspw. Mietleitungen mit traditionellen Schnittstellen (bspw. E1 oder E3).

Im Unterschied zum IP-Verkehr wird **für die Layer 2-Verkehre die Möglichkeit von Direktverbindungen berücksichtigt**. D.h., für diese Verkehre kann von der Sternstruktur abgewichen - und eine **Vermaschung bei der Erreichung definierter Schwellwerte zwischen zwei im selben Cluster liegenden Konzentradorstandorten** berücksichtigt werden (solange diese Layer 2 Verkehre klein sind gegenüber den dominanten IP Verkehren, ist es sinnvoll, die Layer 2 Verkehre über den oberen Knoten der Netzhierarchie zu führen, da sonst zusätzliche Schnittstellenkarten in den Layer 2 Einrichtungen erforderlich werden). – Die nachfolgende Abbildung 3-4 illustriert für den Fall eines 2-Ebenen Konzentrationsnetzes eine über Schwellwerte gesteuerte verkehrsgetriebene Vermaschung. Links in der Abbildung ist

<sup>50</sup> Z.B. über das derzeit noch in der Standardisierung befindliche MPLS-TP, aber auch über das 2010 standardisierte BFD Protokoll (RFC 5880)

<sup>51</sup> Ein IP-PoP Cluster wird durch sämtliche MPoP-Standorte definiert, die ein und demselben IP-PoP bzw. BRAS-Standort zugeordnet sind.

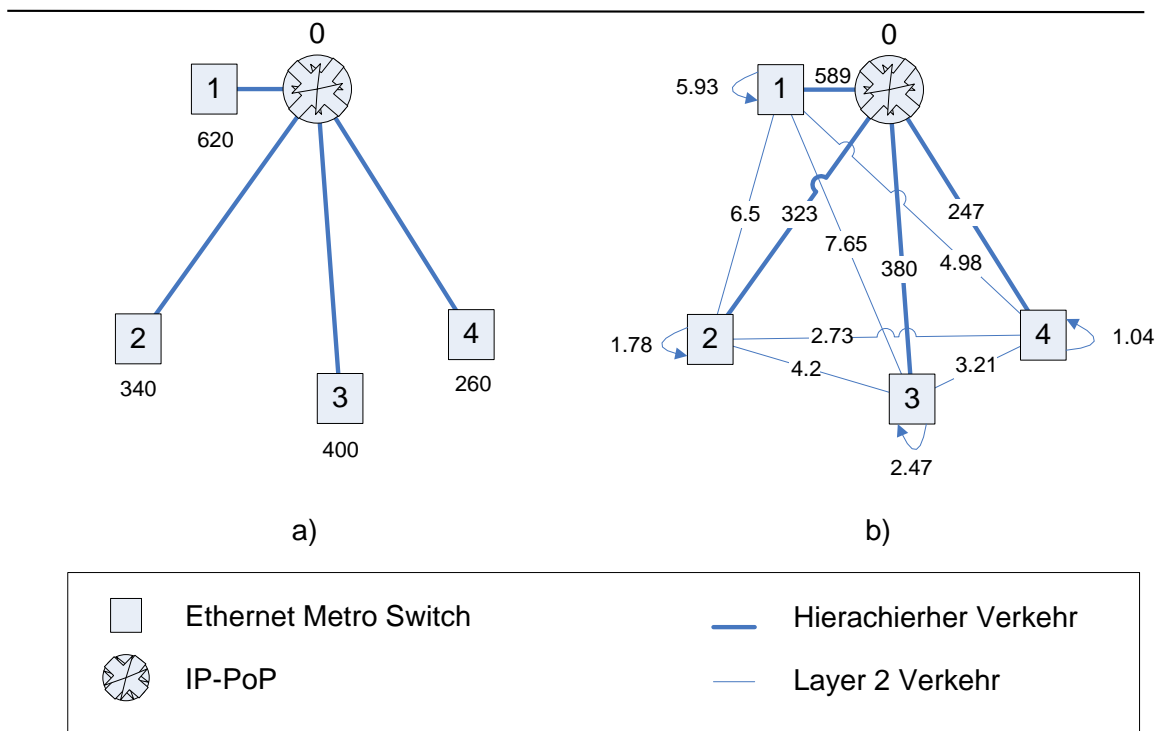
<sup>52</sup> Szenarien für die Zusammenschaltung werden im Unterabschnitt 4.2.3 behandelt.

<sup>53</sup> Diese VLAN Verkehre sind bei einer Verkehrsklassendifferenzierung vermutlich der Dienstkategorie „Premium Business-Dienste“ zuzuordnen.

<sup>54</sup> Die derzeit wichtigsten VLAN- Dienste sind Ethernet Virtual Private Line (EVPL) und Ethernet Virtual Private LAN (EVPLAN), vgl. [Caballero-05]

die reine Sternstruktur des IP-Verkehrs mit den zugehörigen Verkehrswerten dargestellt und rechts die durch den Layer 2-Verkehr ergänzte Verkehrsmatrix – dargestellt durch die dünnen gezeichneten Verbindungen mit beispielhaft angegebenen Verkehrswerten –, welche eine Vermaschung des ursprünglichen Sterns bewirkt.

Abbildung 3-6: Sternstruktur 2-Ebenen-Konzentrationsnetz und Verkehrsmatrix  
[a) hierarchischer IP-Verkehr; b) Layer 2 Verkehr]



**Kommentaraufforderung 3-8:**

Bitte nehmen Sie Stellung zu der von uns vorgeschlagenen hierarchischen logischen Netzstruktur sowie der Schwellwert gesteuerten Einrichtung von Direktwegen für Layer 2 Verkehre.

Von einer zusätzlichen Berücksichtigung einer Ringstruktur bzw. Kettenstruktur in der logischen Schicht des Konzentrationsnetzes nehmen wir Abstand, da diese

dem bereits angeführten Argument einer effizienten Verkehrsführung und entsprechend ökonomischen Ressourceneinsatz entgegensteht sowie

	<p>der Einsatz einer Ringstruktur aufgrund der Natur der Punkt-zu-Punkt Verbindung des Ethernets keine Vorteile bringt (bzw. die Absicherung im Ethernet über den Spanning Tree gegenüber der Absicherung auf der Layer 1 Schicht des SDH oder OTN inferior ist)</p> <p>eine Absicherung allein auf Basis des MPLS nicht die gleichen Leistungsmerkmale bietet wie unter Einsatz von optischen und/oder elektrischen Einrichtungen auf Schicht 1.</p> <p>Bitte nehmen Sie dazu Stellung, ob Sie diese Auffassung teilen oder Ihrer Ansicht nach Ringstrukturen im logischen Netz von Relevanz sind. Begründen Sie Ihre Ausführungen.</p>
Antworten:	<p>Für das logische Konzentrationsnetz werden seitens eines Betreibers ebenfalls nur Sternverbindungen gesehen, wobei direkte Verkehrsbeziehungen nicht ausgeschlossen werden können. Im Übrigen werden die in Kommentaraufforderung 3-8 dargelegten Argumente geteilt.</p>
WIK-Consult:	<p>Die Antworten bestätigen den vorgesehenen Modellierungsansatz.</p> <p><b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b></p>

### 3.2.3.3 Einrichtungen des NGA

Zur Berücksichtigung der vorgelagerten konzentrierenden Teile der NGA Demarcation Points werden wir die Architekturen FTTC mit VDSL 2, FTTB mit GPON sowie P2P und FTTH mit GPON berücksichtigen. Die Architekturen FTTE<sub>x</sub> und FTTH P2P haben letztlich keine vorgelagerten Einrichtungen, die zu berücksichtigen wären.

### 3.2.3.4 Kernnetz

Unter Berücksichtigung von maximal drei Ebenen im Kernnetz ergeben sich folgende mögliche Strukturen im logischen Netz:

- rein flaches Ein-Ebenen-Netz

- hierarchisches Zwei-Ebenen-Netz
- hierarchisches Drei-Ebenen-Netz<sup>55</sup>

Um die Struktur des logischen Kernnetzes festzulegen, sind die Funktionen zu betrachten, die von den Standorten in jedem dieser Fälle wahrgenommen werden. In IP-Transportnetzen wird in der Regel nicht mehr die Paketführung mittels des Datagram-Protokolls vorgenommen. Vielmehr werden derzeit Router verwendet, die über das sog. MPLS-Protokoll virtuelle Verbindungen von einem Eingangs- zu einem Ausgangsrouter aufbauen, vgl. [Black-02]. Die Eingangs- und Ausgangs-Router werden als „Label Edge Router“ (LER) – die Router in den Zwischenknoten der Verbindung demgegenüber als „Label Switch Router (LSR)“ bezeichnet.<sup>56</sup> Sinngemäß gilt dies auch für das GMPLS-Protokoll, einer Erweiterung des MPLS vor allem für den Einsatz in optischen Transportnetzen,<sup>57</sup> vgl. [Mannie-04]. Unterschiede zwischen MPLS und GMPLS sind allerdings nur in der physikalischen Netzebene wirksam und beeinflussen daher den Netzentwurf und die Dimensionierung der logischen Netzebene aus methodischer Sicht nicht.

MPLS erlaubt, auf unterliegende Layer 2 oder Layer 1 Systeme für Zwecke eines sehr schnellen Protection Switching zu verzichten, sofern neue Features wie MPLS-TE FRR (Fast ReRoute) oder derzeit in der Standardisierung befindliche Ergänzungen (MPLS-TP, RFC 5921) zum Einsatz kommen. In diesem Falle sind die entsprechenden Routerschnittstellen zu doppeln und der Verkehr ist paritätisch zu verteilen.

Im IP-Kernnetz sind auf der logischen Schicht die in Abbildung 3-7 skizzierten Einrichtungen zu berücksichtigen. Dabei wird zwischen **Label Edge Routern** und **Label Switch Routern** unterschieden. Ergänzend sei angemerkt, dass die BRAS Funktionalität in der untersten Ebene des IP-Kernnetzes vorgehalten werden muss. Allerdings handelt es sich beim BRAS um eine Einrichtung der Kontrollschicht, deren Standort auch zentral gewählt werden kann.<sup>58</sup> Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass beispielsweise an einem Standort der Ebene n auch die Funktionen der hier dargestellten unteren Netzebenen vorgehalten werden. Mit

<sup>55</sup> Ein 3-Ebenen Kernnetz ist aus Sicht der Autoren für Österreich nur sinnvoll, wenn IP direkt am MPoP aufgesetzt und damit das Konzentrationsnetz in seinen Ebenen auf Null schrumpft.

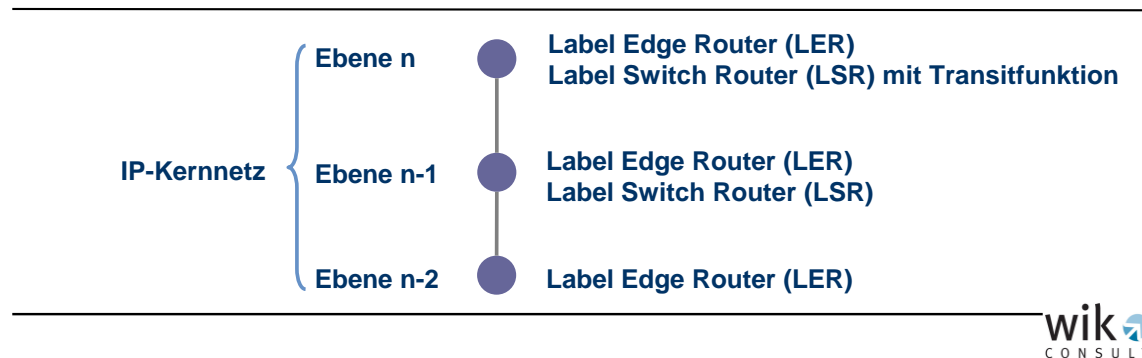
<sup>56</sup> Die LER nehmen im Ursprung die IP-Pakete aus den Konzentrationsnetzen auf und sind für das Einfügen des MPLS Labels zuständig und im Ziel wird vom LER u.a. das Label entfernt. Die LSR führen dann die Pakete von einem Eingangsport zu einem Ausgangsport nicht mehr auf der Basis der IP Adresse, sondern nur auf der Basis des MPLS Label vor und während der Verbindung immer auf dem gleichen Weg, wodurch ein wesentlich erhöhter Durchsatz und eine Reduzierung des Jitters erreicht wird. Die Erhöhung des Durchsatzes war eine Motivation für die Entwicklung von MPLS. Gründe für die Verbreitung von MPLS dürften aber auch darin liegen, dass es mit IP/MPLS für Betreiber möglich wurde IP-VPNs anzubieten und dass IP/MPLS zu MPLS-TE ausgeweitet werden konnte und damit auch für Traffic Engineering verwendet werden kann. Die derzeit in der Standardisierung befindliche Erweiterung MPLS-TP erlaubt zudem Ersatzschaltungen (Protection Switching) auf einem SDH-vergleichbaren Niveau, gleichfalls MPLS-TE Fast ReRoute (FRR).

<sup>57</sup> MPLS wird vor allem unter elektrischen Schicht 2 Schnittstellen wie ATM, FR oder Ethernet verwendet während GMPLS als eine Erweiterung von MPLS für den Einsatz von NG-SDH und OTN eingesetzt wird. GMPLS erlaubt eine generische Interpretation des Labels, um Paketströme über gleiche Einheiten zu lenken, wobei eine solche Einheit z.B. einen optischen Weg (eine entsprechende Wellenlänge) beschreibt, vgl. [Shukla-07].

<sup>58</sup> Zur Modellierung der Kontrollschicht siehe Abschnitt 3.5.

anderen Worten: An einem Standort der Ebene n werden sämtlichen Einrichtungen für die Funktionen des logischen Netzes vorgehalten.

Abbildung 3-7: Layer 3 Einrichtungen im IP-Kernnetz (3-Ebenen)



Hinsichtlich der logischen Netzstruktur des Kernnetzes ist anzumerken, dass es sich dabei im Prinzip um ein vermaschtes Netz handelt, da dies den eigentlichen Charakter des Kernnetzes darstellt. Die Vermaschung orientiert sich an der benötigten, „nachgefragten“ Verkehrslenkung (Verkehrsmatrix). Ergänzend ist das Kriterium der Latenzminimierung zu erwähnen, was dem Vermaschungsgrad eine Untergrenze vorgibt, um die Anzahl von Hops zu begrenzen.<sup>59</sup>

In Abhängigkeit der Größe des IP-Kernnetzes ist daher die Entscheidung für ein 1-, 2- oder 3-Ebenen Kernnetz, der Frage der topologischen Anbindung der Einrichtungen vorgelagert.

Die Netzstruktur im **Kernnetz ist auf der obersten Ebene vermascht**. Der **Vermaschungsgrad** soll mittels Schwellwertfestlegung **parametergesteuert** werden. Dies gilt sowohl für ein flaches Kernnetz als auch für die oberste Ebene des 2- bzw. 3-Ebenen-Kernnetzes.

Werden 2 Netzebenen betrachtet, so werden für die Anbindung der Knoten der unteren Ebene an die der oberen Sternstrukturen oder eine doppelte Anbindung an die obere Netzebene vorgesehen (2-Ebenen-Kernnetz). Sofern auf Einrichtungen auf Layer 1 verzichtet wird und IP/MPLS direkt über die Glasfaser realisiert wird, kommt im logischen Netz auch die Ringstruktur zur Anwendung.

Im Fall eines **3-Ebenen-Kernnetzes** schlagen wir die **nachfolgenden Optionen** für die logische Struktur vor.

<sup>59</sup> Dieses Argument hat infolge des Einsatzes von MPLS nicht an Bedeutung verloren. Der Mittelwert der Latenz hängt von der Anzahl der Hops auf dem Minimalweg ab.

Tabelle 3-7: Optionen für die logische Struktur eines 3-Ebenen Netzes

	Vollvermascht	Hierarchisch vermascht	Ring	Stern/ Doppelanbindung
Obere Ebene	X		X	
Mittlere Ebene		x		
Untere Ebene				X

Für die obere Ebene ist sowohl die Vollvermaschung als auch der Ring angekreuzt. Letztlich bilden diese beiden Strukturen Randformen der Netzstruktur, die unter Rückgriff auf Schwellwerte in Mischformen transformiert werden können. Der von uns favorisierte Modellierungsansatz sieht vor, von einer Vollvermaschung auszugehen und diese – unter Rückgriff auf Schwellwerte – um wenig ausgelastete Kanten zu reduzieren. Da eine stetige Erhöhung der Schwellwerte nicht zwingend zu einem Ring führen muss, soll es im Modell auch die Möglichkeit geben, den Ring als eine explizit einstellbare Netzstruktur für die Kostenbestimmung anzunehmen.

Für die mittlere Ebene wird eine hierarchische Vermaschung angenommen. Darunter wird eine hierarchische Anbindung der Knoten der mittleren Netzebene an die der oberen Ebene verstanden, wobei auch hier in Abhängigkeit von Schwellwerten die Verkehrsnachfrage (Verkehrsmatrix) über Direktwege, Überlaufwege oder Letztwege ergänzt wird.

Auf der untersten Ebene wird für das Kernnetz eine Sternstruktur angenommen, bzw. bei entsprechenden Redundanzanforderungen eine Doppelanbindung vorgesehen. Für Zwecke der Ersatzschaltung müssen zudem logische Ringe planbar sein, was eine entsprechende physikalische Anbindung voraussetzt.

Sowohl die Doppelanbindung auf der untersten Kernnetzebene als auch die hierarchische Vermaschung auf der mittleren Ebene sind für das 3-Ebenen-Kernnetz vorgesehen, um die Anzahl von Hops und die damit verbundene Verzögerung im Datentransport zu begrenzen.

Abschließend sei betont, dass durch Steuerung des Parameters „Schwellwert“ die logische Netzstruktur verändert werden kann. Die Schwellwerte sollten unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeitsaspekten gesetzt werden. Dieser Modellierungsansatz für die logische Netzstruktur folgt damit vor allem dem Anspruch einer modellendogenen Ableitung eines effizienten Netzes und ist auch aus Sicht der Marktteilnehmer ein angemessener Ansatz für die Modellierung.

<i>Kommentaraufforderung 3-9:</i>	Wir bitten um Stellungnahme zu dem von uns vorgeschlagenen, im Wesentlichen schwellwert-gesteuerten Ansatz zur Bestimmung der logischen Netzstruktur.
Antworten:	Grundsätzlich stimmen <b>die Betreiber</b> dem schwellwert-gesteuerten Ansatz zu.

WIK-Consult:	Die Antworten bestätigen den vorgesehenen Modellierungsansatz.  <b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b>
--------------	--

### 3.2.4 Modellierung von Netzstandorten mit dienstespezifischen Funktionalitäten

#### 3.2.4.1 Dienstespezifische Standortauswahl

Wie bereits in Abschnitt 3.1.2 dargestellt, ist in einem Multiservicenetz eine Vielzahl von Diensten zu berücksichtigen und im Unterschied zum traditionellen PSTN/ISDN eine große Zahl von Diensten als "Client-Server" Dienste zu kategorisieren. Wie bereits ausgeführt wurde, ist einer der ersten Schritte der bottom-up Modellierung die Ableitung der Verkehrsmatrix. D.h., es müssen dazu die Standorte der betrachteten Server bekannt sein.

Wir schlagen eine vom Modellanwender kontrollierte Vorgabe von Standorten vor, wobei wir vier Kategorien unterscheiden:

- Interconnection-Standorte (PoI)
- Cache
- VoD-Server
- sonstige Server

Diesem Ansatz folgend, werden für jede der genannten Kategorien Standorte einer Netzebene ausgewählt.

Mit Blick auf Interconnection soll es auch möglich sein, die Anzahl an Zusammenschaltungspunkten unabhängig von der Zahl der Netzknoten der jeweiligen Netzebene festzulegen. Damit kann vermieden werden, dass durch die „zwangsweise“ Zusammenschaltung an allen Standorten einer Ebene eine zu große Anzahl an Zusammenschaltungspunkten entsteht. – Um dieses Problem zu vermeiden, ist es zwar im Modell möglich, die Zusammenschaltung auf die höchste Ebene zu begrenzen, allerdings ist im Falle eines flachen Kernnetzes eine solche Steuerung nicht umsetzbar.

Vor diesem Hintergrund soll die Anzahl der Zusammenschaltungspunkte für jede Netzebene durch individuelle Parameter festgelegt werden. Das Modell wählt dann die Standorte mit der höchsten Verkehrsdichte aus. Im Falle einer exogenen Vorgabe der Kernnetzstandorte des

flachen Kernnetzes und damit auch der exogenen Vorgabe aller Konzentrationsnetzstandorte können die Interconnectionstandorte (aus der Menge der Standorte der betreffenden Netzebene) vorgegeben werden.

Grundsätzlich gilt im Modell, dass Zusammenschaltungspunkte über Eingabeparameter festgelegt werden. Dabei wird es die Möglichkeit geben, eine für Sprachdienste differenzierte (d.h. PSTN POI abweichend von den POI für VoIP und Internetverkehr mögliche) Vorgabe für Zusammenschaltungspunkte zu machen. Gleichfalls wird es eine gesonderte Vorgabe für die Zusammenschaltungspunkte von Bitstrom geben. Die Zusammenschaltungspunkte werden nach Netzebenen differenziert vorgegeben. An einem Zusammenschaltungspunkt können Zusammenschaltungsverkehre ab- und zufließen.<sup>60</sup>

Das Modell erlaubt es, die Internetverkehre an den zwei VIX-Standorten (Vienna Internet Exchange) paritätisch zu übergeben.

#### 3.2.4.2 Serverstandorte und Verkehrsführung auf den Netzschichten

Bereits zu Beginn dieses Dokuments wurde darauf hingewiesen, dass für die spezifischen Netzschichten eine Nachfrageparametrisierung vorzunehmen ist. Dabei wurde auch auf die Freiheitsgrade hingewiesen, Verkehre auf unterschiedlichen Schichten des Netzes zu führen. Es kann festgehalten werden, dass mit der Modellierung der physikalischen Schicht die Layer 2 und Layer 3 Nachfrage in eine Layer 1 Nachfrage überführt wird.

So wird für VoD im Modell eine Option vorzusehen, welche es gestattet, diese Verkehre alternativ unter Umgehung der logische Schicht **direkt** an den Metro Switch (der am Standort des IP-PoP kolloziert ist) **über einen eigenen OCh bzw. eine eigene Glasfaser zu führen** und im Falle eines 3-Ebenen Konzentratornetzes den zwischengeschalteten Metro-Switch zwischen dem unteren und dem oberen Ring zu entlasten, vgl. [Jenkins-06], [cienna-08].<sup>61</sup> Eine solche Vorgehensweise bedeutet, dass für diese Dienstekategorie die Integration erst auf der physikalischen Schicht erfolgt.

Letztlich erlaubt die wahlweise Realisierung des VoD Verkehrs auf Layer 1 oder Layer 2/Layer 3 einen Kostenvergleich im Rahmen komparativ-statistischer Analysen.

Mit Blick auf IP-TV Verkehr ist eine solche Tunnelung des Verkehrs in eigenen OCh jedoch nicht sinnvoll, da der Multicast-Strom letztlich jeden Knoten des Netzes ansteuert und daher keine Einsparpotentiale auf der logischen Schicht bestehen.

<sup>60</sup> Eine dienstspezifische Zusammenschaltung erfordert dienstspezifische Werte über die Zusammenschaltungsverkehre für jede Netzebene.

<sup>61</sup> Im Fall von OCh werden Vier-Wege-ROADM eingesetzt, um den OCh vom ROADM des unteren Ringes in den ROADM des oberen Ringes zu lenken, im Fall von Glasfaser sind keine Elemente der Schicht 1 erforderlich.

*Kommentaraufforderung 3-10:*

Mit Blick auf Dienste(kategorien), die mit sehr hohen Bandbreitenanforderungen verbunden sind – wie z.B. VoD –, schlagen wir vor, im Modell eine Option vorzusehen, welche es gestattet, diese Verkehre alternativ unter Umgehung der logische Schicht, direkt an den Metro Switch (der am Standort des IP-PoP kolloziert ist) über einen eigenen OCh bzw. einer eigenen Glasfaser zu führen und im Falle eines 3-Ebenen Konzentratornetzes den zwischengeschalteten Metro-Switch zwischen dem unteren und dem oberen Ring zu entlasten, vgl. [Jenkins-06], [cienna-08]. Eine solche Vorgehensweise bedeutet, dass für diese Dienstekategorie die Integration erst auf der physikalischen Schicht erfolgt.

Methodisch ist diese Vorgehensweise auch für das Kernnetz anwendbar, jedoch möglicherweise aufgrund der Kapazitäten der dort realisierten Einrichtungen weniger virulent.

Letztlich erlaubt die wahlweise Realisierung des VoD Verkehrs auf Layer 1 oder Layer 2/Layer 3 einen Kostenvergleich.

Wir bitten um Stellungnahme, ob diese Option Marktrelevanz hat und im Kostenmodell Breitbandnetz zu betrachten sein soll.

## Antworten:

Die Betreiber haben entweder keine eigenen Erfahrungswerte oder befürworten die dargestellte Option. Die zukünftige Relevanz sei vom Einsparungspotenzial abhängig.

## WIK-Consult:

Die vorgeschlagene Option soll implementiert werden.

**Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.**

## 3.2.4.3 Abbildung von Netzzugang (IC-Verkehr und Bitstrom)

Das Kostenmodell für das Festnetz soll vor allem zur Bestimmung der Terminierungsleistungen herangezogen werden. Um dem LRIC-Maßstab genügen zu können, ist es erforderlich, auch die Interconnectionverkehre im Modell adäquat zu berücksichtigen. Relevant ist diese methodische Vorgehensweise für

- dienstespezifische Zusammenschaltung, wie bspw. Sprache (VoIP und TDM-basiert), oder
- Internetkonnektivität (IP-Interconnection)
- Bitstrom

Wir schlagen vor,

- diese **Interconnectionverkehre als Anteile der Verkehrsnachfrage parametergesteuert festzulegen** sowie
- eine **Inputparameter gesteuerte Vorgabe der Standorte der Zusammenschaltungspunkte** vorzunehmen.<sup>62</sup>

Der Anteil von Interconnection-Verkehr ist vor allem Ausdruck der Markstruktur und insbesondere in einem regulierten Markt nicht in der Kontrolle des nationalen Netzbetreibers. Aus diesem Grund schlagen wir vor, den Umfang des Interconnection-Verkehrs durch den Modellanwender über Inputparameter zu steuern, und zwar in Form von Anteilen der Verkehrsnachfrage des betrachteten Dienstes.

Im Modell soll eine individuelle Parametrisierung für Sprachverkehr einerseits TDM-basiert und andererseits IP-basiert vornehmbar sein. Für IP-Interconnection sowie Bitstrom sind ebenfalls individuelle Verkehrswerte ansetzbar<sup>63</sup>. – Dieser Differenzierung auf der Nachfrageseite soll auch eine entsprechende Differenzierung auf Seite der Standortwahl daneben gestellt werden.

Die Art der Zusammenschaltung (TDM oder IP basiert) stellt eine Frage nach der Technologie dar und ist entsprechend im Kostenmodul im Zuge der Systemzuweisung umzusetzen.

Mit Blick auf Bitstromdienste ist bei der Netzplanung zu berücksichtigen, dass die (über Bitstromzugang realisierten) Endkunden alternativer Netzbetreiber an den MPoP des Breitbandnetzes des nationalen Netzbetreibers angeschlossen sind. Die zugehörigen Verkehre werden, abhängig von der Tiefe der Infrastruktur des alternativen Betreibers, an entsprechenden Netzzugangs- oder Zusammenschaltungspunkten ab- bzw. zugeleitet. Aus heutiger Sicht werden diese Zusammenschaltungspunkte vor allem im Kernnetz realisiert. Aus allgemeiner Sicht sollte das Kostenmodell für das Breitbandnetz eine flexible Lösung bereitstellen, die eine Zusammenschaltung an allen Standorten des Breitbandnetzes vorsieht. Dies

---

<sup>62</sup> Alternativ wären tatsächlich realisierte bzw. zu realisierende Interconnectionverkehre betragsmäßig anzugeben. Eine solche Vorgehensweise ginge jedoch mit erhöhten Informationsanforderungen einher und würde auch hier bei zu prognostizierenden Größen eine Scheingenauigkeit suggerieren. Ergänzend ist anzumerken, dass eine Übernahme von Betreiberdaten auch hinsichtlich der Orte der Zusammenschaltung ggf. ineffiziente Zusammenschaltungsstrukturen reflektiert.

<sup>63</sup> Diese Flexibilität wird für IP-Interconnection bei einer Festlegung auf die zwei existierenden VIX-Standorte (Vienna Internet Exchange) und die paritätische Verteilung des Verkehrs nicht genutzt.

würde es erlauben, auch Dienste wie die des Virtual Unbundled Line Access (VULA (OFCOM 2010), vULL (RTR-2010)) berücksichtigen zu können.

Wir schlagen vor, im Kostenmodell den relativen Verkehrsanteil und zugehörige Bandbreiten in Form einer Eingangstabelle anzugeben. Eine solche Beschreibung muss für jeden der oben genannten Interconnection Dienste erfolgen. Für ein 2-Ebenen-Konzentrationsnetz und ein flaches-1-Ebenen-Kernnetz zeigt die nachstehende Tabelle ein Beispiel für verschiedene Zusammenschaltungsszenarien. Mittels dieser Parameterwerte können die Verkehre der Nutzer, die den alternativen Betreibern zugeordnet werden, in der Verkehrsmatrix den Zusammenschaltungspunkten zugeordnet werden.

Tabelle 3-8: Beispiel für ein Zusammenschaltungsszenario (Sprache) in einem 2-Ebenen-Konzentrations- und 1-Ebenen-Kernnetz – Aufteilung des ausgehenden IC-Verkehrs auf die verschiedenen Netzebenen

Zusammenschaltungsszenario	MPoP Ebene 0	Metro Switch Ebene 1	IP PoP Ebene 2
An allen IP-PoPs	0	0	1
An allen IP-PoPs und oberste Ebene im Konzentrationsnetz	0	0,3	0,7
An allen Knoten	0,1	0,3	0,6

Über einen weiteren Steuerungsparameter soll es möglich sein, die Verteilung des IC-Verkehrs über die Standorte einer Netzebene zu kontrollieren. Dieser Aspekt ist insbesondere für den allgemeinen IP-Interconnection Verkehr von Bedeutung.

Die für eine Zusammenschaltung notwendigen Einrichtungen sind im Rahmen der Systemzuweisung zu berücksichtigen.

<i>Kommentaraufforderung 3-11:</i>	Wir bitten um Stellungnahme zu dem von uns vorgeschlagenen parametergesteuerten Modellierungsansatz des Interconnection-Verkehrs. Bitte gehen Sie sowohl auf die Verkehrsdifferenzierung als auch die Vorgabe von Koeffizienten für die Gewichtung von Netzebenen und Standorten ein. Begründen Sie Ihre Ausführungen.
Antworten:	Dem Grundsatz der parametergesteuerten Modellierung wird von den Betreibern zugestimmt. Eine Differenzierung zwischen TDM- und IP-Verkehr in der Sprachzusammenschaltung wird von einem Betreiber explizit begrüßt.
WIK-Consult:	Wir interpretieren die gegebenen Antworten als Zustimmung zu unserem Modellierungsansatz.

**Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.**

Wir sind uns darüber im Klaren, dass insbesondere die Internetkonnektivität und das über die zugehörigen Zusammenschaltungspunkte abgewinkelte Datenvolumen einer Vielzahl von Einflussfaktoren unterliegen, die begrenzt vom betrachteten Netzbetreiber gesteuert werden können. So ist die Verfügbarkeit von attraktiven Dienste- oder Inhalte-Servern ON- oder OFF-Net von zentraler Bedeutung für den Umfang des aus- als auch eingehenden Verkehrs.

Welche empirische Bedeutung dieser theoretisch bedeutenden Volatilität der Interconnection-Verkehre zukommt, entzieht sich unserem Kenntnisstand. Eine modellendogene Berücksichtigung von Handlungsparametern, die den Netzbetreibern zur Verfügung stehen, um auf etwaige Veränderungen zu reagieren (z.B. zusätzliches Hosting von Dienste- und Inhalte-Servern sowie Cache Server, die umfangreiche Verkehre generieren), übersteigt den Rahmen des Kostenmodells, da es die Freiheitsgrade zur Ableitung effizienter Netz- und Zusammenschaltungsstrukturen unverhältnismäßig vergrößert. Bei einer starken Volatilität der Zusammenschaltungsverkehre werden die Netzübergänge auf den Peak-Wert ausgelegt.

*Kommentaraufforderung 3-12:*

Wir halten es für angemessen, an einer Inputparameter gesteuerten Festlegung des ein- und ausgehenden Interconnection-Verkehrs festzuhalten. Teilen Sie diese Auffassung?

Wir bitten um Stellungnahme, ob die im Peering oder Transit abgewinkelten Interconnection-Verkehre tatsächlich einer starken Volatilität unterliegen, oder ob – zumindest mittel- bis langfristig – relativ stabile Verkehrsanteile das Netz verlassen bzw. hinzukommen

Antworten:

Die Betreiber berichten von stark wachsenden Verkehren und in einem Fall von starker Volatilität

WIK-Consult:

Die Inputparameter werden festgelegt unter Berücksichtigung der vom Incumbent zu berichtenden Volatilität. Dies hat Auswirkungen auf die Parametrisierung.

**Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.**

### 3.3 Physikalisches Netz

#### 3.3.1 Architektur des physikalischen Netzes

Aufgabe der physikalischen Netzschicht ist es, die aus der logischen Schicht resultierenden Leitungsnachfragen zwischen den Standorten physikalisch zu realisieren. Dazu stellt die physikalische Schicht folgende Funktionen durch entsprechende Einrichtungen bereit, vgl. Abbildung 3-8.<sup>64</sup>

Zu unterscheiden sind die nachfolgend beschriebenen Funktionen des physikalischen Transports mittels:

- Zusammenfassung (Multiplexen) und Auflösung (Demultiplexen) von Leitungsnachfragen zu entsprechenden Leitungsgruppen mit höherer Bandbreite
- Lenkung von Leitungsnachfragen und Leitungsgruppen an Standorten zu ihrer Verteilung in verschiedene Richtungen mittels sogenannter Cross-Connector Einrichtungen<sup>65</sup>
- Signalwandlung, typischerweise von digitalen elektrischen Signalen in optische und umgekehrt
- Anpassung der Signale der resultierenden Leitungsgruppen an die Charakteristiken des Übertragungsmediums mittels entsprechender Übertragungssysteme, die einen Übertragungsabschnitt beschreiben
- Regenerierung der Signale auf den Übertragungsabschnitten, wodurch der Übertragungsabschnitt in Regenerierungsabschnitte unterteilt wird
- Übertragung der Signale auf Glasfasern einer entsprechend Glasfaserkabel-Infrastruktur, die durch die physikalische Netztopologie abgebildet wird.

---

<sup>64</sup> Die passiven Netzelemente der Linientechnik sind an dieser Stelle nicht thematisiert, aber selbstverständlich Gegenstand der Kostenmodellierung.

<sup>65</sup> Im Prinzip ist eine Cross-Connector-Einrichtung ein Switch auf elektrischer bzw. optischer Basis. Im Unterschied zur klassischen Vermittlungsstelle bzw. einem Ethernetswitch oder einem IP Router werden die Einstellungen in den Cross-Connector-Einrichtungen durch den Betreiber mittels seines Netzverwaltungsplanes in der Regel für längere Zeiträume vorgenommen, während die Vermittlung von Leitungen, Ethernet Rahmen oder IP Paketen in Echtzeit verläuft und entsprechende Verbindungen durch Netzsignalisierung vorgenommen werden.

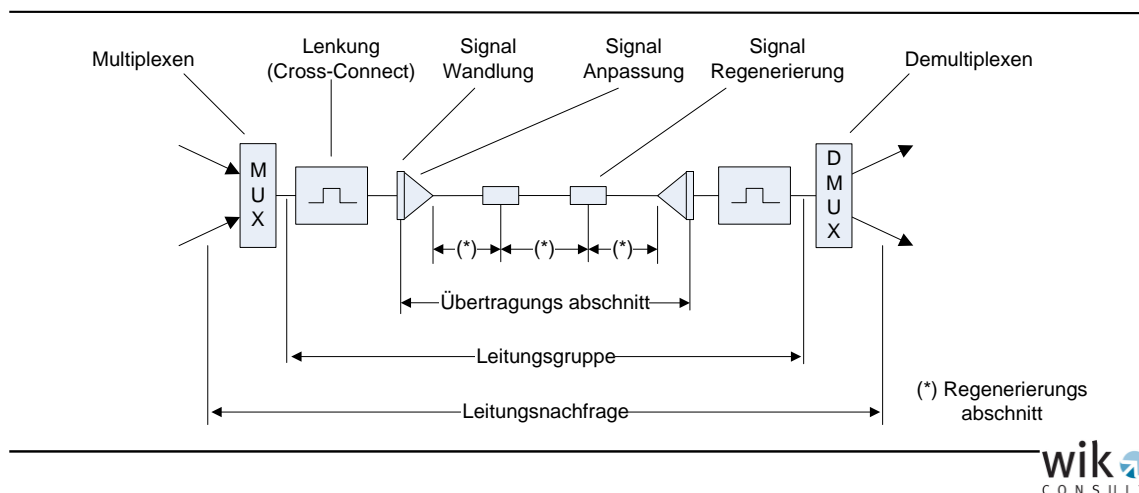
Darüber hinaus sind Funktionen der Bereitstellung, Überwachung und Sicherung der Transportkapazitäten<sup>66</sup> mittels

- Bereitstellung durch Steuerung der Crossconnector-Einrichtungen
- Überwachung durch Monitoring der Signale auf allen Ebenen (Leitungsnachfragen, Leitungsgruppen, Leitungsabschnitte und Regenerierungsabschnitte)
- Sicherung durch Ersatzschaltung von gestörten Transportkapazitäten

zu unterscheiden. Diese Funktionen sind – in Abhängigkeit von der jeweilig eingesetzten Technologie – durch die dargestellten Einrichtungen zu realisieren.

Im Grenzfall, in dem die Switch- bzw. Router-Einrichtungen direkt mit optischen Trägern (z.B. Ethernet over DWDM) oder Glasfasern verbunden werden, sind der gesamte Überwachungsaufwand und die entsprechenden Ersatzschaltungen durch die Einrichtungen der logischen Ebene vorzunehmen.

Abbildung 3-8: Grundsätzliche Funktionen der physikalischen Transportschicht und ihrer zugehörigen Netzelemente



Die Leistungsmerkmale der Einrichtungen der physikalischen Netzschicht haben seit der Digitalisierung in den 80er Jahren und der Übertragung von optischen Signalen auf Glasfasern eine dynamische Entwicklung genommen, die für die enormen Bandbreitenbedarfe von Internet- und Videodiensten genutzt werden (sollen). Sie unterscheiden sich technologiebedingt insbesondere mit Blick auf ihre Verarbeitungskapazitäten und natürlich Kosten.

<sup>66</sup> In derzeitigen Netzen werden diese Funktionen durch zentrale Einrichtungen vorgenommen, in denen die von den Einrichtungen des physikalischen Transports generierten Kontrollsignale zusammengefasst und ausgewertet werden.

Man beachte, dass in traditionellen Netzen (im Gegensatz zum NGN) die logische Schicht für jede Dienstekategorie separiert implementiert wird, aber die physikalische Schicht die Bandbreitenanforderungen der logischen Schicht schon unter der SDH/SONET-Architektur integriert. D.h., aus den traditionellen Netzen liegt schon eine integrierte physikalische Infrastruktur vor, in die ggf. die Bandbreitenanforderungen anderer Netze integriert werden konnten. Allerdings zeichnet sich schon jetzt ab, dass durch steigende Verkehrsnachfragen vor allem aus Internet- und Multimediadiensten die Kapazitäten einer SDH/SONET-Infrastruktur nicht ausreichen und entsprechend leistungsfähigere Technologien vorzusehen sind. Die Zunahme von Verkehrsnachfragen aus Paketsdiensten, die aus der OSI-Schicht 2 dem physikalischen Transportnetz in Form von Ethernetrahmen übergeben werden, erfordert ebenfalls eine Anpassung im bisherigen SDH/SONET, die bei Weiterwendung der SDH/SONET Architektur durch vorgeschaltete Einrichtungen angepasst werden und die durch das sogenannte Next Generation SDH beschrieben wird.

Die Entwicklung der Übertragungssysteme lässt sich seit der Einführung des SDH in drei große Blöcke einteilen, die in Tabelle 3-9 zusammenfassend dargestellt sind und in den entsprechenden Abschnitten dieses Kapitels ausführlich betrachtet werden.

Tabelle 3-9: Entwicklung der Übertragungssysteme

Name	Multiplexen Mx	Crossconnecten CC	Signalwandlung- und Anpassung	Signal-Regenerierung
SDH/SONET über WDM	elektr.	Elektrisch	elektr.-optisch	Optisch-elektrisch-optisch
NG.SDH über OTN	elektr.	elektr./optisch	elektr.-optisch	optisch
GFP über OTN	elektr.	elektr./optisch	elektr.-optisch	optisch
Optisches Wellenlängen multiplexen über DWDM	opt.	opt.	opt.	opt.

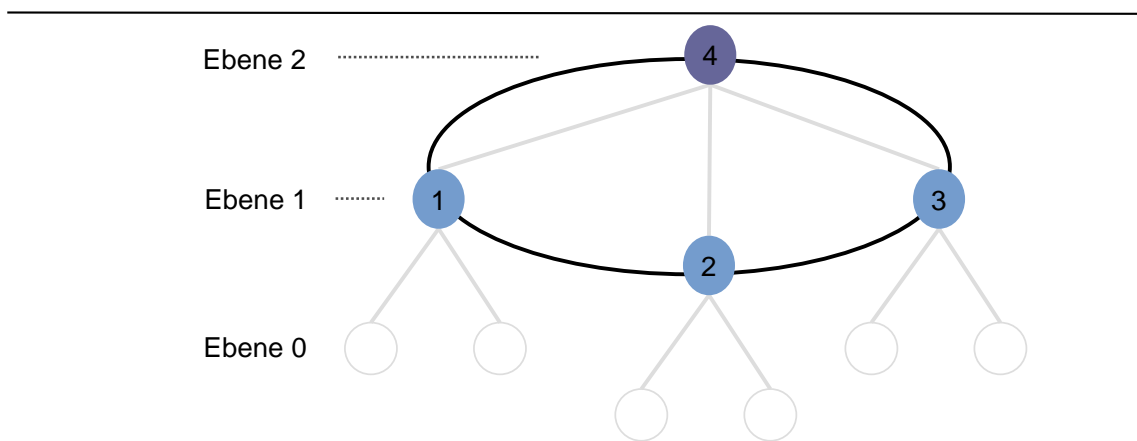
Durch das Multiplexen von Leitungsnachfragen zu Leitungsgruppen und ggf. deren weitere Zusammenfassung vor allem auf der optischen Ebene mittels WDM bzw. DWDM wird eine hohe Konzentration von Leitungsnachfragen auf den zugehörigen Leitungsabschnitten erreicht (economies of scale). Daraus folgt, dass die Topologie des physikalischen Netzes von der Struktur der logischen Netzschicht verschieden und vor allem im Kernnetz wesentlich schwächer vermascht sein kann. Auf diese Weise können hohe Einsparungen erzielt werden. Dem sind aber aus Gründen der Netzverfügbarkeit und der Bereitstellung von Ersatzkapazitäten bei Störungen Grenzen gesetzt, und die Topologie der physikalischen Netzschicht muss zwischen den Standorten wenigstens zwei unabhängige, disjunkte Wege bereitstellen, was wenigstens eine Ringtopologie impliziert.

Ergänzend soll das Modell auch den Fall abbilden können, dass im Konzentrationsnetz eine Anbindung von einzelnen (ausgewählten und durch den Modellanwender vorgegebenen) MPoP Standorten über ungesicherte Baumstrukturen erfolgen kann.

<b>Kommentaraufforderung 3-13:</b>	Wir bitten um Stellungnahme, ob es sich bei der vorgesehenen Nebenbedingung, dass zwischen 2 Standorten wenigstens 2 disjunkte Wege bestehen müssen, um eine notwendige Voraussetzung für eine Mindestverfügbarkeit handelt. Begründen Sie Ihre Position, falls Sie diese Nebenbedingung ablehnen.
<b>Antworten:</b>	Die Doppelanbindung wird von den Betreibern für den Regelfall bestätigt. Für die unterste Netzebene geschieht empfiehlt sich dies unter ökonomischen Abwägungen.
<b>WIK-Consult:</b>	Die Modell vorgesehene einfache Anbindung einzelner Standorte in Tallagen wird berücksichtigt.
<b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b>	

Daraus folgt, dass die Leitungsnachfragen, die die Struktur der logischen Netzschicht bestimmen, auf die Topologie der physikalischen Netzschicht abzubilden sind. Abbildung 3-9 zeigt als Beispiel die Abbildung der Sternstruktur aus dem logischen Konzentrationsnetz auf eine Ringtopologie.

Abbildung 3-9 Abbildung einer Sternstruktur aus der logischen Netzschicht auf eine Ringtopologie in der physikalischen Netzschicht



In welchem Umfang die angesprochenen economies of scale im physikalischen Netz realisiert werden können, bzw. welche Relevanz die Restriktionen traditioneller Systeme (SDH) faktisch haben, hängt letztlich auch von der vorherrschenden Verkehrsnachfrage in den zu

betrachtenden IP-PoP-Clustern (Konzentrationsnetzen), und somit indirekt von den vorherrschenden Anschlusstechnologien ab.<sup>67</sup> – **Die Entscheidung über die einzusetzende Technologie soll im Modell unter Rückgriff auf die jeweilige Verkehrsnachfrage vorgenommen werden.** Sofern Ringtopologien zum Einsatz kommen, soll dabei im Konzentrationsnetz und in der untersten Ebene eines hierarchischen Kernnetzes jeweils eine einheitliche Technologie ausgewählt werden, weil Medienbrüche zu deutlichen technischen wie ökonomischen Ineffizienzen führen würden. Für das Kernnetz wird grundsätzlich eine einheitliche Technologie unterstellt, da davon auszugehen ist, dass die Verkehrsmengen stark konzentriert und so groß sind, dass daher kein (NG-) SDH – auch auf der unteren Kernnetzebene – mehr zur Anwendung kommt.

Lediglich hinsichtlich des Einsatzes von DWDM wird auf den Trassen des Kernnetzes (sofern vermaschte bzw. Multi-Ring-Topologien im Kernnetz zur Anwendung kommen) ein einzelfallbezogenes Entscheidungskriterium angewandt: In Abhängigkeit der Länge einer Kante wird darüber entschieden, ob DWDM zum Einsatz kommt, um den Einsatz von Regeneratoren zu reduzieren bzw. ganz zu vermeiden.

Die Summe der Nachfragen aller Standorte im Ring ergibt die zu führende Leitungsnachfrage und bestimmt damit die Technologie.

Bei dem Einsatz von Ringtopologien auf Layer 1 Ebene ergeben sich für den Fluss auf den Kanten des Rings die Summe aus den Bandbreitennachfragen aller Knoten. Dabei werden die Nachfragen zu 50% im Uhrzeigersinn und zu 50% in der anderen Richtung geführt, wodurch sich ein 50% Schutz der Kapazitäten im Störfall ergibt. Optional können bis zu 100% in jeder Richtung geführt werden, wodurch der Schutz zu 100% erfolgt, aber auch eine Verdoppelung der Kapazitäten auf den Ringen erfordert. Innerhalb eines Ringes wird immer eine einheitliche Technologie eingesetzt, weil Medienbrüche zu technischen und ökonomischen Ineffizienzen führen würden.

Sofern auf eine Absicherung auf Layer 1 verzichtet wird, kann die Absicherung auf Layer 2/3 prinzipiell auch differenziert nach Verkehrsklassen erfolgen.

Die Methodik und die bestimmenden Größen der Ringbildung, welche von den Marktteilnehmern befürwortet werden, lassen sich allgemein wie folgt beschreiben:

Die Ringbildung wird modellendogen vorgenommen. Diese modellendogene Bestimmung basiert bspw. im Konzentrationsnetz auf den endogen abgeleiteten Sternstrukturen des logischen Netzes und findet für die zugehörigen physikalischen Ringe Anwendung (Standorte eines Clusters des logischen Netzes werden zu einem oder mehreren Ringen zusammengefasst). Das Modell geht davon aus, dass der dominante Kostenaspekt für einen Ring durch die Infrastrukturkosten und das Glasfaserkabel determiniert wird und damit weitestgehend

---

<sup>67</sup> Dabei sei noch mal betont, dass für eine Parametrisierung der Nachfrage das zu erwartende Verkehrswachstum innerhalb der Lebensdauer der betrachteten Anlagen zu erfolgen hat.

von der geographischen Entfernung zwischen jeweils benachbarter Standorte im Ring abhängig ist. Daraus folgt, dass das Modell eine Ringbildung auf der Basis einer Längenminimierung vorsieht. Der Modellanwender steuert die Anzahl der benötigten Ringe sowohl durch die Auswahl der Hierarchie im logischen Netz, als auch durch die maximale Anzahl von Standorten in einem Ring. Bei der Festlegung der Anzahl der Standorte in einem Ring ist neben Kapazitätsaspekten auch zu beachten, dass die Entfernung zwischen zwei benachbarten Standorten im Ring einen vorzugebenden Maximalwert nicht überschreiten sollte, um den Einsatz zusätzlicher Regeneratoren zu vermeiden, da ja die jeweilige ADM Einrichtung das Crossconnecting mit der Signalregenerierung in einer Einrichtung integriert.

*Kommentaraufforderung 3-14:*

Wir bitten zu der nachfolgend dargestellten Methodik der Ringbildung Stellung zu nehmen. Bitte begründen Sie Ihre Ausführungen.

Die Methodik und die bestimmenden Größen der Ringbildung lassen sich allgemein wie folgt beschreiben:

Die **Ringbildung** wird **modellendogen** vorgenommen. Diese modellendogene Bestimmung basiert bspw. im Konzentrationsnetz sowohl auf den ebenfalls endogen abgeleiteten **Stern-strukturen des logischen Netzes als auch der zugehörigen physikalischen Ringe** (Standorte eines Clusters des logischen Netzes werden zu einem oder mehreren Ringen zusammengefasst). Das Modell geht davon aus, dass der dominante Kostenaspekt für einen Ring durch die Infrastrukturkosten und das Glasfaserkabel determiniert wird und damit weitestgehend von der geographischen Entfernung zwischen jeweils benachbarter Standorte im Ring abhängig ist. **Daraus folgt, dass das Modell eine Ringbildung auf der Basis einer Längenminimierung vorsieht. Der Modellanwender steuert die Anzahl der benötigten Ringe sowohl durch die Auswahl der Hierarchie im logischen Netz, aber auch durch die maximale Anzahl von Standorten in einem Ring.** Bei der Festlegung der Anzahl der Standorte in einem Ring ist neben Kapazitätsaspekten auch zu beachten, dass die Entfernung zwischen zwei benachbarten Standorten im Ring einen vorzugebenden Maximalwert nicht überschreiten sollte, um den Einsatz zusätzlicher Regeneratoren zu vermeiden, da ja die jeweilige ADM Einrichtung das Crossconnecting mit der Signalregenerierung in einer Einrichtung integriert.

Antworten:	Ein Betreiber konstatiert, dass man nicht von einer verallgemeinerten modellendogenen Ringbildung im Kernnetz bzw. einer modellendogenen Sternbildung im Konzentrationsnetz ausgehen kann. Ein weiterer Betreiber erachtet die <u>in Kommentaraufforderung 3-14 dargestellte</u> Herangehensweise als sinnvoll und praxistauglich.
WIK-Consult:	Beschrieben wird die Ringbildung im physikalischen Netz für alle diejenigen Netzebenen in denen eine Ringbildung sinnvoll ist. Dies ist nur in Teilen des Kernnetzes bzw. im Konzentrationsnetz der Fall. Für das Konzentrationsnetz gilt noch die Ausnahme der Stichleitung in besonderen Tallagen. Aus unserer Sicht:  <b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b>

Die Modellierung der Systemauswahl erfolgt generisch durch seine Kapazitäten hinsichtlich der Anzahl und Bandbreite der Einsteckkarten und der Prozessorgeschwindigkeit und der Kosten, **die als Eingabedaten in der Systemzuweisung vorzugeben sind**, siehe Abschnitt 4.3. Da sich die verschiedenen Systeme nicht nur nach deren Kosten, sondern auch hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit unterscheiden, können durch entsprechende Untersuchungen die optimale Systemauswahl vorgenommen und daran anschließend die Kosten unter Berücksichtigung von Zuverlässigkeitsaspekten bestimmt werden. Wir schlagen vor, aus heutiger Sicht für das Konzentrationsnetz folgende Systemauswahl zu berücksichtigen (eine tabellarische Darstellung der im Modell implementierten Technologien anhand der Protokollschichten findet sich in Anhang 1): Systeme

- auf der Basis von Glasfasern mit Layer 2 Protection (BFD o.ä.)
- unter (zusätzlichem) Einsatz von NG-SDH
- unter Einsatz von (D)WDM
- unter Einsatz von OTN (DWDM ist in OTN integriert).

<i>Komentaraufforderung 3-15:</i>	Wir bitten um Stellungnahme, ob Sie die Realisierungsform Ethernet over Fibre für vernachlässigbar halten. Bitte begründen Sie Ihre Ausführungen.
-----------------------------------	---

	<p>Sind Sie der Auffassung, dass MPLS/ TP eine bereits ausgereifte Technologie für den Einsatz in Konzentrationsnetzen ist? Sind Sie der Auffassung, dass für die Erbringung von Carrier-Class Telekommunikationsdiensten beim Einsatz von MPLS/ TP im Konzentrationsnetz auf ergänzende Schutzmechanismen unterliegender Transportnetze (OTN, NG-SDH, SDH) verzichtet werden kann? Bitte erläutern Sie kurz Ihre Position.</p>
Antworten:	<p>Ethernet over Fibre sei nicht zu vernachlässigen. Während ein Betreiber über den Einsatz von MPLS/ TP in Österreich kein Wissen hat, gibt ein anderer an, T-MPLS einzusetzen.</p>
WIK-Consult:	<p>Aus Sicht der Marktteilnehmer sind Ethernet over Fibre und MPLS-TP nicht zu vernachlässigen. Beim Einsatz von MPLS-TP kann auf unterliegende Transportnetze nach Auffassung eines Betreibers verzichtet werden. Bei Modellanwendungen unter Berücksichtigung von MPLS-TP ist auf unterliegende Transportnetzarchitekturen (SDH) zu verzichten. Das physikalische Ringkonzept wird grundsätzlich beibehalten.</p> <p><b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b></p>

**Grundsätzlich gilt für die Modellanwendung, dass die Systemauswahl durch den Benutzer vorgeben wird. Diese Vorgabe erfolgt im Konzentrationsnetz netzebenenbezogen, wobei immer die betroffenen Netzebenen einer physikalischen Anbindung gemeinsam betrachtet werden.**

**Für das IP-Kernnetz wird eine einheitliche Technologie implementiert.** Als alternative zu berücksichtigende Technologien schlagen wir vor:

- IP/MPLS über Glasfaser (mit MPLS-TE/ FRR oder -TP)
- IP/MPLS over NG-SDH
- IP/MPLS over OTN
- IP/MPLS over DWDM

*Kommentaraufforderung 3-16:*

Halten Sie die von uns vorgeschlagenen Realisierungsformen im Kernnetz für hinreichend? Welche sind ggf. zu ergänzen bzw. auszuschließen und warum?

Sind Sie der Auffassung, dass Layer 2 Technologien für den Einsatz im Kernnetz bereits ausgereifte Technologien sind? Welche könnten das sein? Sind Sie der Auffassung, dass für die Erbringung von Carrier-Class Telekommunikationsdiensten beim Einsatz von Layer 2 Technologien im Kernnetz auf ergänzende Schutzmechanismen unterliegender Transport-netze (OTN, NGSDH, SDH) verzichtet werden kann?

Bitte erläutern Sie kurz Ihre Position.

Antworten:

Ein Netzbetreiber fordert IP/MPLS over DWDM als zusätzliche Realisierungsvariante für das Kernnetz. Im Übrigen seien Layer 2 Technologien für das Kernnetz noch nicht ausgereift. Ein anderer Betreiber verwende bereits Layer 2 mit T-MPLS im Kernnetz. Diese Aussage steht jedoch im Widerspruch zu vorher gemachten Aussagen. Während ein Betreiber MPLS-TP mit den inhärenten Schutzmechanismen für ausreichend hält, stellt ein anderer dies in Abrede.

WIK-Consult:

Diese Frage adressiert den gleichen Themenkomplex, der auch in Frage 3.15 im Vordergrund steht (Verzicht auf SDH), hier jedoch mit Bezug auf das Kernnetz. IP-MPLS over DWDM ist eine der vorgesehenen Architekturvarianten für das Kernnetz. Im Rahmen der Parametrierung ist von Seiten des Regulierers eine Einschätzung der Leistungsfähigkeit von MPLS-TP vorzunehmen (Einschätzung der Netzverfügbarkeit beider Technologien und dem Bedarf danach). Die verschiedenen Architekturen sind komparativ-statischen Vergleichsanalysen zugänglich.

**Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.**

Auf Basis komparativ statischer Analysen können dann kosteneffiziente Lösungen bestimmt werden.

<i>Kommentaraufforderung 3-17:</i>	Wir bitten um Stellungnahme zu unserem Vorschlag, auf Basis komparativ statischer Analysen kosteneffiziente Technologien zu identifizieren, wobei das Modell eine nach Anbindung von Netzebenen differenzierte Technologieimplementierung erlaubt.
	Erachten Sie es als praktikabel, im Konzentrationsnetz unterschiedliche Technologien zu realisieren?
	Erachten Sie es als praktikabel, in einem 3-Ebenen Kernnetz unterschiedliche Technologien zu realisieren? Bitte begründen Sie Ihre Ausführungen.
Antworten:	Ein Betreiber spricht sich für die Annahme einheitlicher Technologien in allen Netzebenen aus. Ein anderer vertritt demgegenüber die Auffassung, dass bis zu einem bestimmten Grad verschiedene Technologien nebeneinander einzusetzen sind.
WIK-Consult:	Der Modellansatz erlaubt es, die Technologie nach Netzebenen zu differenzieren. Es sind komparativ-statische Analysen möglich.
	<b>Wir sehen keinen Änderungsbedarf im Modellkonzept.</b>

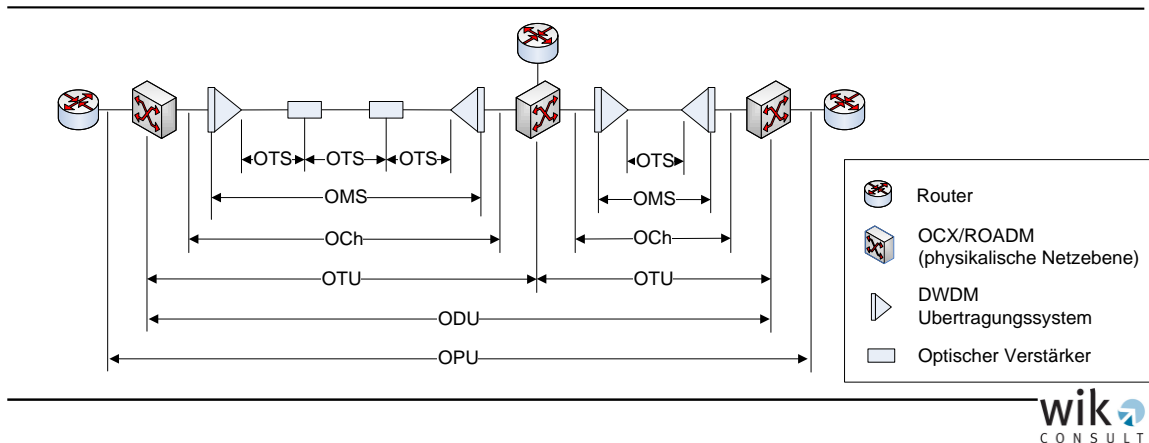
Sofern beim direkten Einsatz von Ethernet Switches (Layer2) oder IP-Routern über Glasfasern die zu überbrückenden Strecken zu lang für das optische Budget der Schnittstellen werden, kann ergänzend WDM unterlegt werden.

### 3.3.2 Topologie des physikalischen Netzes

Im physikalischen Netzteil sind für jede Unterschicht entsprechende Netzstrukturen festzulegen. Ausgangspunkt ist die Struktur des logischen Netzes mit ihren Bandbreitenanforderungen je Netzkante, die zugleich die Struktur der ODU (obersten Schicht im OTN) abbildet.

Die nachfolgende Abbildung illustriert die Zusammenhänge:

Abbildung 3-10: OTN-Schichten



Die Struktur der OTU (unterste elektrische Schicht im OTN) ist mit der Struktur der Optical Channel (Och) und der OMS identisch und beschreibt die Signale zwischen zwei Standorten des physikalischen Netzes, die mit einer Netzkante verbunden sind, vgl. Abbildung 3-10.

Die OTS ist von der OMS nur insofern verschieden, als dass auf einer Netzkante zwischen zwei physikalischen Standorten optische Verstärker eingesetzt werden. Die OTS unterteilt somit eine physikalische Netzkante in Kantenabschnitte.

Die Topologie der Glasfaserinfrastruktur ist damit mit der OMS-Struktur identisch. Daraus folgt, dass aus den Breitbandnachfragen des logischen Netzes und den zugehörigen ODU die entsprechenden OTU bzw. OCh in Form von (schwarz-weiß) optischen Signalen abzuleiten und diese dann über die physikalische Topologie zu führen sind. Aus den auf den physikalischen Netzkanten aggregierten OCh können dann die notwendigen optischen Übertragungssysteme bestimmt werden.

### 3.3.2.1 Konzentrationsnetz

Hinsichtlich der physikalischen **Topologie werden im Konzentrationsnetz und in der unteren Ebene eines hierarchischen Kernnetzes Ringe unterstellt.**<sup>68</sup>

Darüber hinaus soll es möglich sein, ungesicherte Baumstrukturen im Konzentrationsnetz zu berücksichtigen.<sup>69</sup> Dazu bedarf es bei der Modellparametrisierung ergänzender Vorgaben:

<sup>68</sup> Bei der Modellierung berücksichtigen wir auch sog. Kleeblatt-Topologien. Sie setzt sich aus mehreren Ringen zusammen.

<sup>69</sup> Letztlich handelt es sich hierbei um die Abwägung „Verfügbarkeit“ vs. „Kosteneinsparung“.

- (1) Es ist im Modell eine parametergesteuerte Auswahl von Standorten für die ungesicherte Anbindung vorzusehen. Dazu wird vorgeschlagen, ein kombiniertes Distanz- und Größenkriterium (beides individuell parametrisierbar) zu implementieren zur Auswahl der nur einfach anzubindenden MPoP an die nächst höhere Netzebene
- (2) die einfach anzubindenden MPoP (Standorte) sind exogen vorzugeben<sup>70</sup>

Die Variante (2) hat den Nachteil, dass eine modellendogene Hierarchiebildung möglicherweise nicht mit der getroffenen Auswahl der MPoP vereinbar ist. Es müsste dann auf die Anwendungsvariante der kompletten Vorgabe der Netzhierarchie zurückgegriffen werden.

Ist die Auswahl der einfach anzubindenden Standorte erfolgt, so ist festzulegen, wie deren Anbindung zu realisieren ist, d.h. welchem Standort sie zugewiesen werden. Hierzu schlagen wir eine Anbindung an den nächstgelegenen Standort des übergeordneten Rings vor.

Zur weiteren Umsetzung der Einfachanbindung auf Layer 0 ist zu entscheiden, ob die Anbindung über nur eine Glasfaser erfolgen soll oder ob diese alternativ in Form eines „flachen Ringes“, d.h. mittels einer zweiten parallelen Glasfaser (im selben Kabel, im selben Graben oder aber auf der anderen Straßenseite) geführt werden soll.

### 3.3.2.2 Kernnetz

Im Gegensatz zum Konzentrationsnetz ist die physikalische Topologie im Kernnetz i.d.R. vermascht. Dies erlaubt verschiedene Realisierungsformen:

- eine paritätische Führung der Bandbreitenanforderungen über mehrere Wege. Dieser Fall sichert, dass im maximalen Störfall (Unterbrechung eines Kabelabschnitts) 50% der Kapazitäten bei Zweiwegeführung (und 66% bei Dreiwegeführung) ohne zusätzliche Ersatzschaltungen zur Verfügung stehen.
- eine Führung auf dem Weg mit der kürzesten Anzahl von Zwischenknoten. Dieser Fall erlaubt die Führung über die kürzesten Wege, um die Belastung der OXC/ROADM bzw. LSR zu vermindern (im Gegensatz zu den Ringstrukturen im Konzentrationsnetz), vgl. [Perrin-09]. Aus Sicherheitsgründen sind allerdings entsprechende Kapazitätzuschläge auf allen Netzkanten vorzusehen, damit mittels Ersatzschaltungen auf der Basis der ODU bzw. LSP die gestörten Kapazitäten global über das Netz verteilt werden können.

Ggf. sind Mischfälle aus beiden Lösungen zu betrachten und damit ein mit dem SDH Fall vergleichbares Optimierungsmodell zu lösen, vgl. [Hackbarth- 92].

---

<sup>70</sup> Siehe hierzu auch Abschnitt 3.3.1.

Für die Implementierung wird vorgeschlagen, eine gemischte Topologie zu verwenden, die in der Basis aus Ringen besteht, welche in Abhängigkeit von Schwellwerten durch direkte Kabelabschnitte vermascht werden, wodurch sich Multi-Ring Topologien ergeben.<sup>71</sup> Die Festlegung dieser Kabelabschnitte erfolgt – wie auch im Entwurf der logischen Struktur des Kernnetzes – auf der Basis von Schwellwerten.<sup>72</sup> Die Verkehrsführung kann über einen Weg oder aber optional paritätisch über zwei Wege erfolgen. Dabei ist gleichzeitig zu beachten, dass der Diameter<sup>73</sup> der Topologie einen vorzugebenen Wert nicht überschreitet, womit die Anzahl der maximalen Hops und damit die Belastung der Knoten-Einrichtungen begrenzt wird.

Wegen der entfernungsabhängigen<sup>74</sup> Infrastrukturkosten ist eine Schwellwertfunktion festzulegen, die sowohl die direkte Bandbreitenanforderung aus den entsprechenden Ergebnissen des logischen Netzentwurfes, aber auch die geografische Entfernung zwischen den Standorten berücksichtigt, und der Schwellwert ist so festzulegen, dass der Maximalwert des Diameters eingehalten wird. D.h., als Ausgangsbasis zum physikalischen Netzentwurf sind zwei Matrizen zu betrachten, die der Bandbreitenanforderung und die der geographischen Entfernung. Vergleichbares wurde schon im Analytischen Kostenmodell für das nationale Verbindungsnetz beim Topologie-Entwurf des physikalischen Netzes vorgenommen.

Der tatsächliche Topologie-Entwurf ist getrennt für jede Kernnetzhierarchie zu betrachten, was in den folgenden Absätzen dargestellt wird.

## 1-Ebenen Kernnetz

Im 1-Ebenen-Kernnetz (auch flaches Kernnetz genannt) ist eine Multi-Ring-Topologie zu berechnen, die alle Standorte enthält. Eine Multi-Ring-Topologie wird erreicht, indem eine Untermenge der Standorte einen äußeren Ring bildet, während die verbleibenden Standorte durch Kabelabschnitte mit diesem äußeren Ring verbunden werden. Abbildung 3-11 zeigt dies an einem Beispiel. Die Standorte des äußeren Rings sind sowohl nach geographischen als auch nach ihren aggregierten Bandbreitenanforderungen auszuwählen und dann mittels eines Algorithmus zur Lösung des Traveling-Salesman Problems (TSP) zu verbinden. Die verbleibenden Standorte sind dann optimal darin einzubinden, wobei wieder ein gemischtes Kriterium aus aggregierter Bandbreitenanforderungen und Entfernung zum nächsten, schon

---

<sup>71</sup> Da der Layer 0 vor allem durch die entfernungsabhängigen Fixkosten bestimmt wird, sollen die starken Knoten über einen Ring verbunden werden und die anderen Knoten zweifach durch Ketten an den Ring angebunden werden. In den Strukturen für Layer 2 und 3 kommen die vorgeschlagenen Algorithmen des Drop Out zur Anwendung.

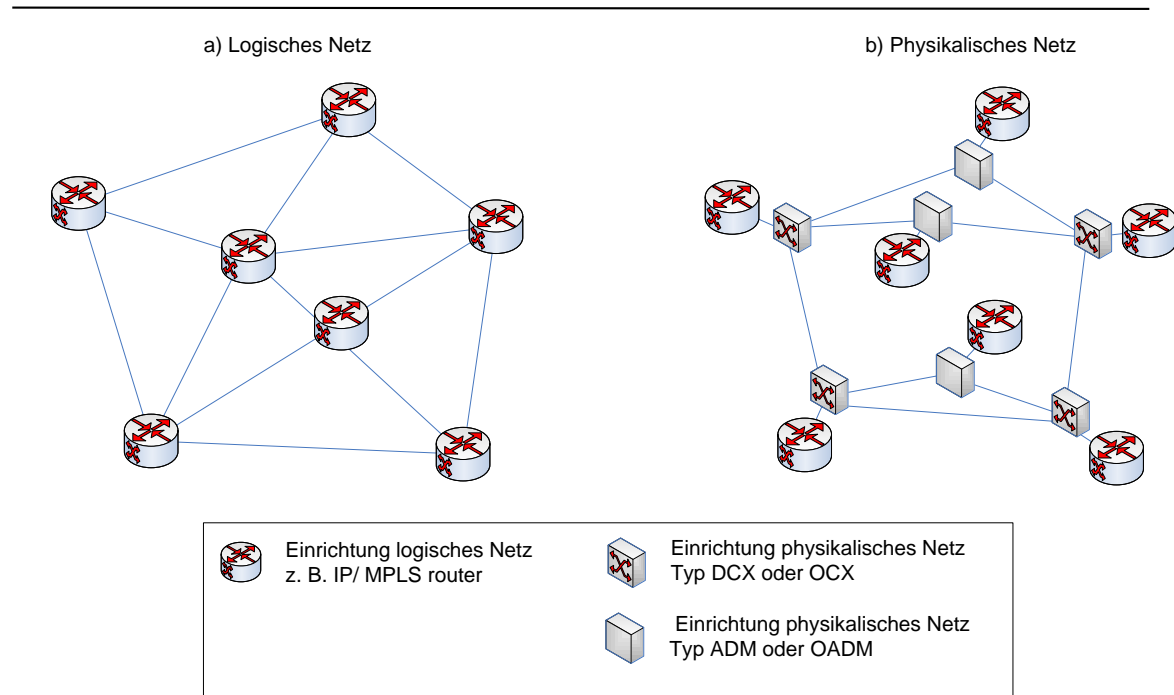
<sup>72</sup> Diese Schwellwerte hängen u.a. auch von den gewählten Einrichtungen ab. Für den derzeit in der Literatur vorgeschlagenen Fall von ROADM mit Multiport (zwei, drei bzw. vier) ist die gute Füllung der Kapazitäten einer Wellenlänge des OCh (2,5, 10, 40Gbps) von Bedeutung, da die ROADM auf der Basis dieser Wellenlänge Bandbreiten einfügen bzw. entnehmen, vgl. [Jenkins-06], [cienna-08]. Im Fall von OCX können Einheiten auf der Basis von ODU-n überwacht, geschaltet und im Störfall ersatzgeschaltet werden, vgl. [Horsebridge-08].

<sup>73</sup> Der Diameter ist ein Konzept aus der Graphentheorie und beschreibt die maximale Anzahl der Kanten in der Längenmatrix der kürzesten Wege zwischen allen Knotenpaaren, vgl. [Berge-73].

<sup>74</sup> Um die topologischen Rahmenbedingungen in Österreich adäquat abzubilden, sollen die Verbindungslinien des physikalischen Netzes entlang der existierenden Straßen mit Hilfe eines GIS-Straßenlayers geplant werden, so dass exakte Längen für die Kostenberechnung berücksichtigt werden können.

eingebundenen Standort sowie der Diameter der Topologie zu berücksichtigen ist. Ein entsprechender Algorithmus ist ggf. zu entwerfen, wobei dessen Effizienz an praktischen Netzbeispielen zu untersuchen ist.

Abbildung 3-11: Flaches Kernnetz



**Kommentaraufforderung 3-18:**

In einem weiteren Schritt ist zu untersuchen, ob geographisch benachbarte Kabelabschnitte gemeinsam realisiert werden können, um die Infrastrukturkosten zu minimieren. Ein entsprechendes Verfahren wurde schon im Kostenmodell für das nationale Verbindungsnetz vorgeschlagen.

Wir bitten diesen Vorschlag zu würdigen. Bitte bedenken Sie dabei, dass bei dieser Vorgehensweise im Störfall Verfügbarkeitsaspekte zu berücksichtigen sind, weil bei einer totalen Unterbrechung aller Kabel, die in einem Kabelabschnitt gemeinsam geführt werden, die Ersatzkapazitäten unzureichend sein können.

Geben Sie bitte an, in welchen Fällen Sie eine solche Vorgehensweise ggf. für vertretbar halten.

Antworten:

Das Ziel einer möglichst große Störungsfreiheit und damit einhergehenden hohen Verfügbarkeit des Netzes

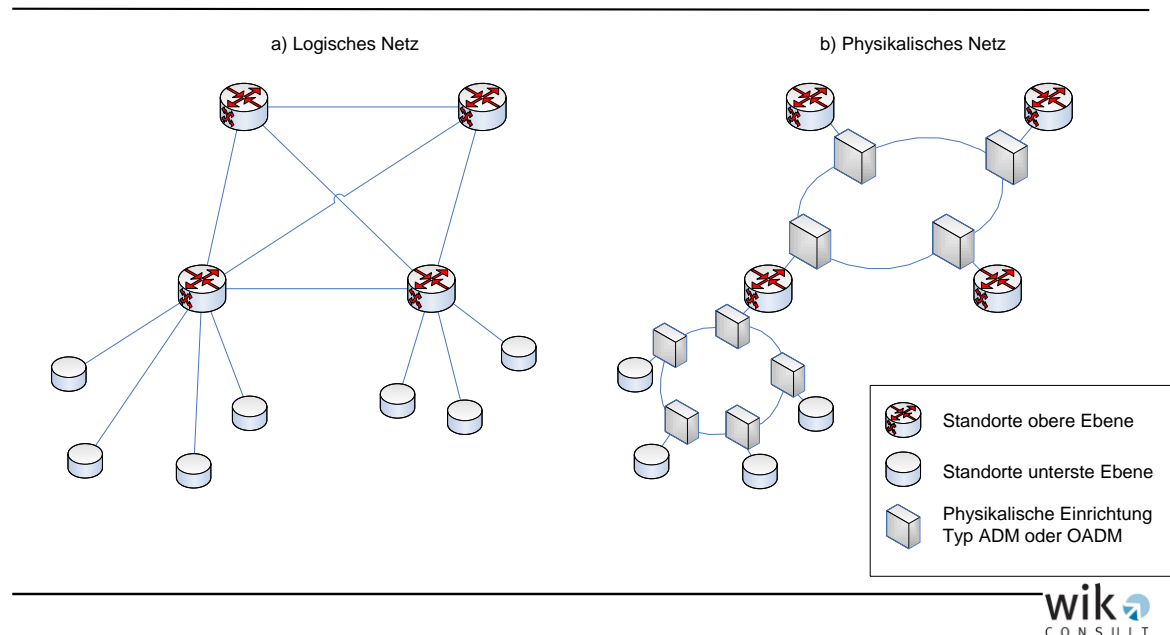
	wird durch eine redundante Wegeführung in Ringstrukturen erreicht. Bei einem Betreiber ist die gemeinsame Realisierung von geographisch benachbarten Kabelabschnitten gängige Praxis.
WIK-Consult:	Im Modell werden Ringe auch in der Trasse als solche geführt. Die Sicherheits- und Verfügbarkeitsansprüche werden somit erfüllt. Weitere Einsparpotenziale werden somit genutzt.
	<b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b>

## 2 Ebenen Kernnetz

In diesem Fall sind untere Standorte, die einem gemeinsamen oberen Standort zugeordnet sind, in Form von Ring-Topologien zu verbinden. Für den Fall, dass im logischen Netz eine Anbindung an zwei unterschiedliche obere Standorte gewählt wurde (fakultativ), ist sinnvollerweise auch in der physikalischen Topologie eine Anbindung an die gleichen oberen Standorte vorzunehmen. Damit wird ein Schutz auch im Fall des totalen Ausfalls eines Standortes (z.B. durch Brand oder Hochwasser) gewährleistet. Für die Topologie der Standorte der oberen Ebene gilt das gleiche, wie für das flache Kernnetze ausgeführt wurde.

Die OCh bzw. LSP sind in den Ringtopologien, die die unteren mit den oberen Standorten verbinden, über wenigstens zwei Glasfaserringe zu führen und zwar zu 50% in einer Richtung und zu 50% in der anderen Richtung. Damit sichert das physikalische Netz im Störfall einer Einrichtung (z.B. ROADM) wie auch im logischen Netz 75% der Kapazitäten ab und im Falle einer Störung eines vollständigen Kabelabschnittes 50% der Kapazitäten.

Abbildung 3-12: 2-Ebenen Kernnetz



### 3 Ebenen Kernnetz

Die physikalische Topologie des 3-Ebenen-Kernnetzes bindet die untersten Standorte wie im Zwei-Ebenen-Kernnetz an die zugehörigen Standorte der mittleren bzw. obersten Ebene an. Für die Topologie der oberen Ebene sind wieder Multiring-Topologien zu implementieren und die Knoten der mittleren Ebene über Ringe bzw. Ketten anzubinden.

Es bleibt zu untersuchen, ob für die Standorte der mittleren- und der oberen Ebene eine gemeinsame Topologie aus Kabelabschnitten entworfen wird oder aber eine getrennte. Im Falle eines gemeinsamen Entwurfs sind erneut Multi-Ring-Topologien zu entwerfen, wie in den beiden vorhergehenden Abschnitten ausgeführt. Der Vorteil ergibt sich aus einer Optimierung der Anzahl und Längen der Kabelabschnitte und damit der Kosten für die Kabelinfrastruktur.

Aus Gründen der Netzverfügbarkeit kann jedoch auch eine partielle bzw. vollständige Trennung im physikalischen Netz vorgenommen werden. Bei der partiellen Trennung kann:

- eine separierte Struktur auf der Ebene der Wellenlängen realisiert werden ( $\lambda$ -Struktur), die mit Wellenlängen aus den mittleren Netzebenen „gemultiplext“ und über gemeinsame Glasfasern geführt werden
- eine Separierung auf der Basis der Glasfasern, die in gemeinsamen Kabel geführt werden oder
- eine Separierung auf der Basis der Kabel, die in einer gemeinsamen Infrastruktur aus Leerrohren und Gräben geführt werden

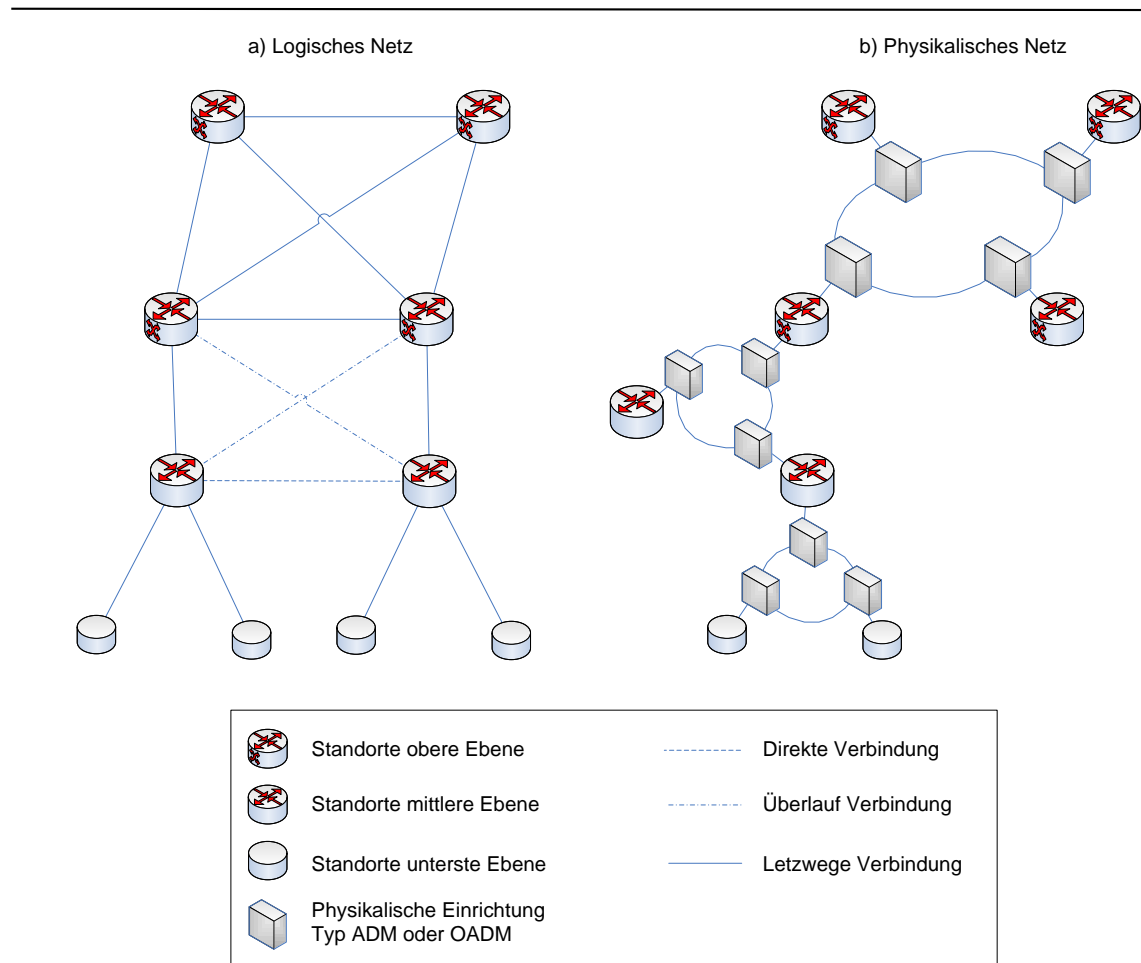
Die Separierung auf Basis der Wellenlängen erfordert einen zusätzlichen Aufwand an ROADM- bzw. OC-X-Einrichtungen, die Separierung auf der Basis der Glasfasern vergrößert die Anzahl der passiven Glasfaserverbindungen in entsprechenden Verteilern, während die Separierung auf der Basis der Kabel bei gemeinsamer Topologie der Infrastruktur aus Leerrohren lediglich, wie auch den beiden andern Fällen, die Kabellängen in der oberen Ebene vergrößert.

Die Vor- und Nachteile sowie die entsprechenden Kosteneinsparungen hängen stark von den aggregierten Bandbreitenanforderungen in beiden Ebenen ab.

<i>Kommentaraufforderung 3-19:</i>	Wir bitten um Stellungnahmen, in welchem Umfang eine Separierung der Topologien der mittleren und oberen Ebene im Kernnetz erfolgen soll und falls ja, anhand welcher Kriterien.
Antworten:	Eine partielle Separierung der Topologien von einem Betreiber wird als erforderlich erachtet, während ein anderer Betreiber infolge der Annahme eines flachen Kernnetzes eine Unterscheidung zwischen Netzebenen nicht sieht.
WIK-Consult:	Bezugnehmend auf die Antworten ist die Separierung redundanter Kabelabschnitte auf Basis der Infrastruktur zu realisieren.
<b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b>	

Generell gilt, dass dort, wo die Konnektivität auf disjunkten Wegen nicht verletzt wird, geographisch benachbarte Kabelabschnitte der verschiedenen Netzebenen gemeinsam realisiert werden können, um die Infrastrukturkosten zu minimieren.

Abbildung 3-13: 3-Ebenen Kernnetz



**Kommentaraufforderung 3-20:**

Ebenso wie die Netzstruktur der logischen Schicht ist die Topologie im physikalischen Netz von der Verkehrsnachfrage und den realisierbaren Kosteneinsparungen getrieben, die durch ein bottom-up Kostenmodell abzubilden sind. Entsprechend sehen die hier vorgeschlagenen Modellierungsansätze für die Topologie ein im Wesentlichen schwellwert-gesteuertes Verfahren vor, welches die Bi-Konnektivität als Nebenbedingung hat. Auf diese Weise sind unterschiedliche Topologien (d.h. unterschiedliche Vermaschungsgrade) abbildbar.

Bitte führen Sie Gründe an, warum von der vorgeschlagenen Vorgehensweise abgewichen werden sollte.

Antworten:

Die antwortenden Betreiber sehen keine Notwendigkeit für ein Abweichen vom beschriebenen.

WIK-Consult: **Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.**

### 3.4 Aspekte der Absicherung

Für die **Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Netze** sind verschiedene Optionen vorgesehen, die **per Parameter vom Anwender wählbar** sind. Dies gilt sowohl für das logische als auch für das physikalische Netz.

Mit der Bereitstellung von Redundanz soll letztlich ein Minimum an Netzverfügbarkeit gewährleistet werden, sei es für den Fall von unerwarteten Nachfragespitzen durch Umrouten im Fehlerfall, dem Ausfall von Übertragungseinrichtungen oder den Ausfall von Übertragungsstrecken.

Um die Netzabsicherung und die damit verbundenen Kosten der Modellierung zugänglich zu machen, werden die folgenden Steuerungsmöglichkeiten vorgesehen:

- Auslastungsgrade für die globalen Kapazitäten der Übertragungswege
- Doppelung von Einrichtungen des logischen Netzes (selbst in Fällen, in denen eine Doppelung der Nachfrage keine Doppelung der Einrichtungen auslösen würde)
- Standortabsicherung durch eine Doppelabstützung an zwei verschiedene Standorte der nächst höheren Netzebene<sup>75</sup>
- Realisierung von Ring- bzw. vermaschten Topologien (Mindestanforderung: Bi-Konnektivität)

---

**75** Der oberste Standort des Konzentrationsnetzes stimmt mit dem unterem Standort des Kernnetzes überein. Die Übergabe der Verkehre aus den Layer 2 Einrichtungen an Layer 3 Einrichtungen findet damit durch interne Verbindungen statt. Aus Zuverlässigkeitsgründen sollten optional die Einrichtungen der entsprechenden Layer 3 Einrichtungen gedoppelt werden, wodurch zwei interne Verbindungen und eine Aufteilung der Verkehre stattfindet. Bei sehr hohen Verkehrsanforderungen könnten ggf. auch die Systeme der Layer 2 Einrichtungen gedoppelt werden, wodurch die Verkehre auf vier Verbindungen aufgeteilt werden. (Eine Anbindung der oberen Konzentrationsebene an zwei verschiedene Standorte, d.h. eine Aufteilung der Verkehre in interne und externe Verbindungen macht durch die Tatsache eines gemeinsamen Standortes für die obere Layer-2 Ebene und die untere Kernnetzebene keinen Sinn, da die Anbindung an zwei Standorte den Totalausfall eines Standorte z.B. durch Erdbeben, Überschwemmung etc. absichern soll. Wenn aber der betrachtete Standort ausfällt, fallen nicht nur die Layer 3, sondern auch die kollozierten Layer 2 Einrichtungen vollständig aus.) Jeder Knoten der oberen Netzebene konzentriert Verkehr von mehreren Netzknoten der unteren Netzebene. Das Konzentrationsverhältnis wird bestimmt durch die Anzahl der Knoten in den verschiedenen Netzebenen (parametergesteuert). – Durch die Kaskadierung der Netzebenen werden insgesamt Baumstrukturen bzw. vermaschte Netze (bei Berücksichtigung entsprechender redundanter Kanten) aufgebaut.

Für das Kernnetz gilt grundsätzlich die Option zwischen einer Einfach- und einer Doppelanbindung in der logischen Ebene zu wählen. In der physikalischen Ebene sind wenigstens bi-connected Topologien vorzusehen, die eine paritätische Mehrwegeführung der Nachfragen optional gestatten und Ersatzkapazitäten durch Zuschlagsfaktoren pro Netzebene berücksichtigen, die im Störfall aktivierbar sind<sup>76</sup>.

Alle Transportnetzverbindungen werden in optimierten Ringen geführt, um den Ausfall einzelner Teilstrecken (z.B. der typische Ausfall durch einen Bagger) abfangen zu können.

### 3.5 Kontrollplattform

Wie schon in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, stellt die Kontrollschicht eines Telekommunikationsnetzes die Infrastruktur für die Generierung, Auswertung und den Transport von Nachrichten bereit, die bei der Verwaltung, Überwachung und Kontrolle des Netzes aufkommen, aber auch die Einrichtungen für die Signalisierungsnachrichten für den Aufbau, die Überwachung und den Abbau von Verbindungen aus normalen und Echtzeitdiensten. Die Entwicklung der Architekturen der Kontrollschicht ist eng mit der Entwicklung der Telekommunikationsnetze verbunden.

In den traditionellen Telekommunikationsnetzen werden für jede Dienstkategorie separierte Netze (PSTN/ISDN, paketvermittelte Datennetze, Breitbandnetze) bereitgestellt, die jeweils eine eigene Kontrollschicht und eine eigene logische Transportschicht implementieren.

Im Gegensatz dazu werden im klassischen best effort Internet die Kontrollmechanismen in den höheren Protokollschichten innerhalb der Endgeräte bzw. in speziellen Servern, z.B. BRAS, SIP-Server, DNS, Bandwidth Broker, implementiert und das IP Transportnetz auf den „Datagram Transport“ der IP Pakete beschränkt. Damit kann das best effort Internet als ein System verteilter Intelligenz unter einem stark vereinfachten Transportnetz angesehen werden, wobei die externen Elemente wie BRAS, SIP-Server, DNS etc. der Kontrollschicht zuzuordnen sind.

Eine Modellierung dienstespezifischer Kosten, die über den reinen IP-Transport hinausgehen, erfordern daher die Modellierung der zugehörigen Einrichtungen auf der Kontrollebene. Die Kostenmodellierung wird maßgeblich durch die zu Grunde gelegte Architektur der Kontrollplattform bestimmt. **Für das Modell wird keine Routine vorgesehen, die eine modell-endogene Auswahl der „effizienten Architektur der Kontrollplattform“ vorsieht. Vielmehr soll das Modell so gestaltet werden, dass die verschiedenen Architekturen über die Eingabeparameter in das Modell eingepflegt werden können. Komparativ-statische**

---

<sup>76</sup> Die Frage der paritätischen Mehrwegeführung wurde schon in der Vergangenheit untersucht und führt zur Aufsplitterung der Kapazitäten, woraus sich digitale Leitungsgruppen vermindelter Größe ergeben, was den Bedarf an Mux und Crossconnectoren erhöht. Ersatzkapazitäten sind von daher eine gute Alternative

## **Vergleichsanalysen lassen dann Schlussfolgerungen für die Vorteilhaftigkeit einzelner Architekturen zu.**

Unabhängig von der zu modellierenden Architektur der Kontrollplattform sind Kostenparameter aus zentralen- und verteilten Netzkomponenten zu berücksichtigen. Dabei liegt im NGN-IMS der Schwerpunkt auf den zentralen- und im NGI auf den verteilten Komponenten. Durch die Wahl der entsprechenden Kostenparameter und Kostentreiber kann das Kostenmodell an beide Architekturkonzepte angepasst werden. Kostentreibend ist in beiden Fällen die Anzahl der abzuwickelnden Verbindungswünsche. Zusätzlich sind Redundanzaspekte zu beachten.

Im folgenden Abschnitt erläutern wir die Entwicklung der Kontrollschicht traditioneller Telekommunikationsnetze in Richtung des Next Generation Network und vor allem deren Variante in Form des IP Multimedia Subsystems (IMS). Im zweiten Abschnitt wird die Entwicklung der Kontrollschicht des best effort Internet in Richtung eines „Next Generation Internet NGI“ dargestellt. Im dritten Abschnitt werden beide Konzepte verglichen und deren Anwendung im Kostenmodell diskutiert.

### **3.5.1 NGN und IMS**

In den traditionellen Netzen ist die Implementierung der Kontrollschicht eng mit den Einrichtungen der logischen Schicht zusammengefasst und kann daher als verteiltes System angesehen werden.<sup>77</sup> In einem nächsten Schritt wurden mit der Entwicklung der Netze zunächst unter einer ATM- und danach der IP Transportplattform mehrere Dienstekategorien unter einer gemeinsamen logischen Schicht integriert und die verschiedenen Dienste durch zentralisierte Diensteserver, auch als Softswitch bezeichnet, bereitgestellt.<sup>78</sup>

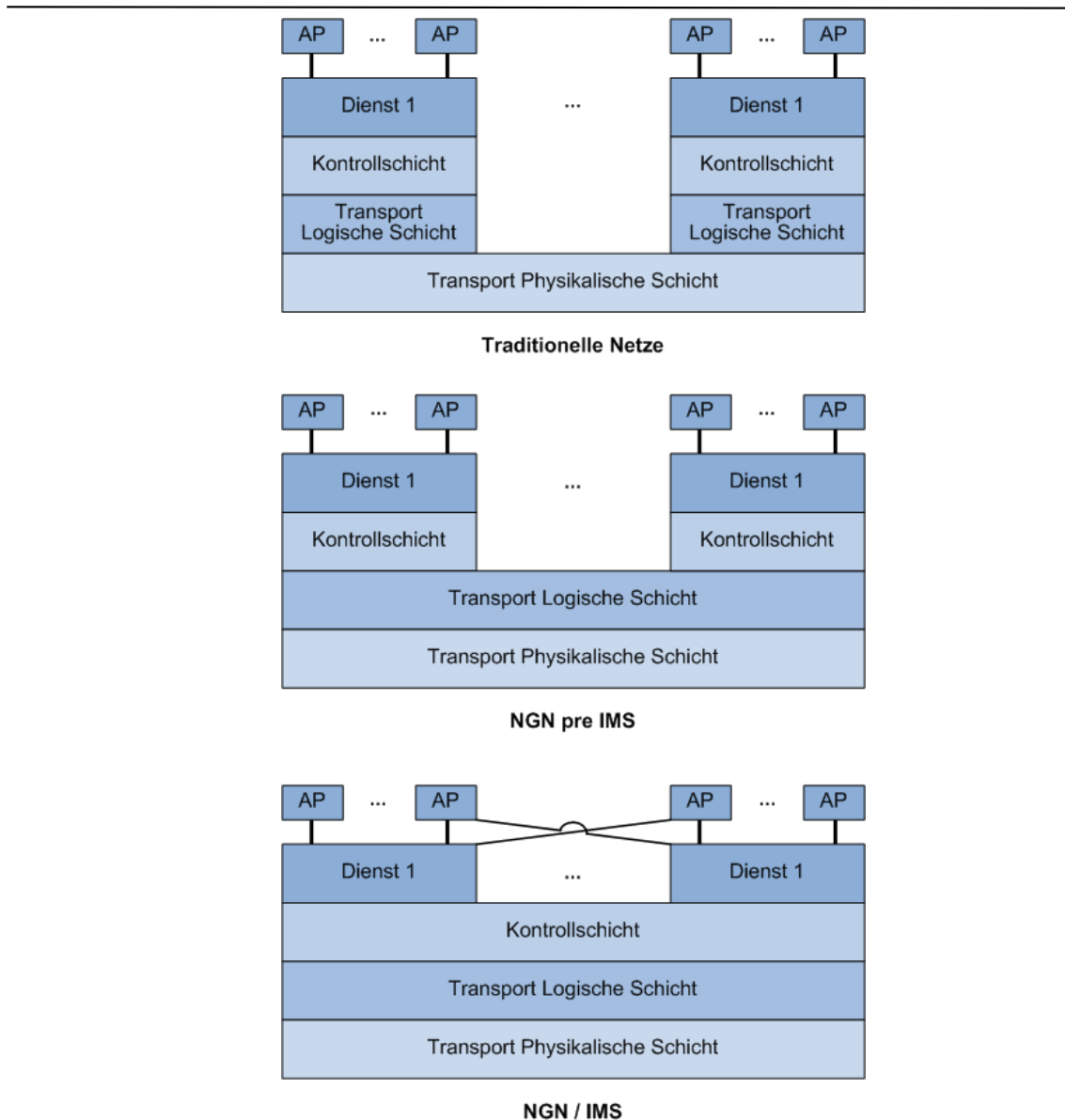
Als Weiterentwicklung dieses Konzepts wurde unter dem Namen IP Multimedia Subsystem (IMS) eine Architektur entwickelt, die es gestattet, unter einer gemeinsamen Kontrollschicht verschiedene Dienste anzubieten. Die zugehörigen Anwendungen können dabei aus Kombinationen standardisierter Dienste zusammengestellt werden, z.B. positions- bzw. standortabhängige Anwendungen. Abbildung 3-14 zeigt die Entwicklung der Netze von ihrer traditionellen Separierung zu einer vollständigen Integration, wobei große öffentliche Netzbetreiber erklärt haben, ihre Netze mittelfristig in Richtung IMS entwickeln zu wollen.

---

<sup>77</sup> So sind im PSTN/ISDN die Funktionen der Signalisierung, aber auch die OAM Funktionen in den Vermittlungseinrichtungen integriert, aber von der logischen Transportschicht separiert, ein Beispiel ist das CCSS-n°7 und deren Implementierung in Form von "Signaling Points SP" und Signaling Transfer Points STP", vergleiche [Siegmund-01].

<sup>78</sup> Ein Beispiel ist Ericsson ENGINE Integral Solution, die sowohl unter ATM als auch IP Sprachdienste mittels eines zugehörigen Servers (Softswitch) anbietet, vgl. [Ericsson-04].

Abbildung 3-14: Entwicklung der Dienste und Kontrollschicht von traditionellen Netzen zum NGN/IMS

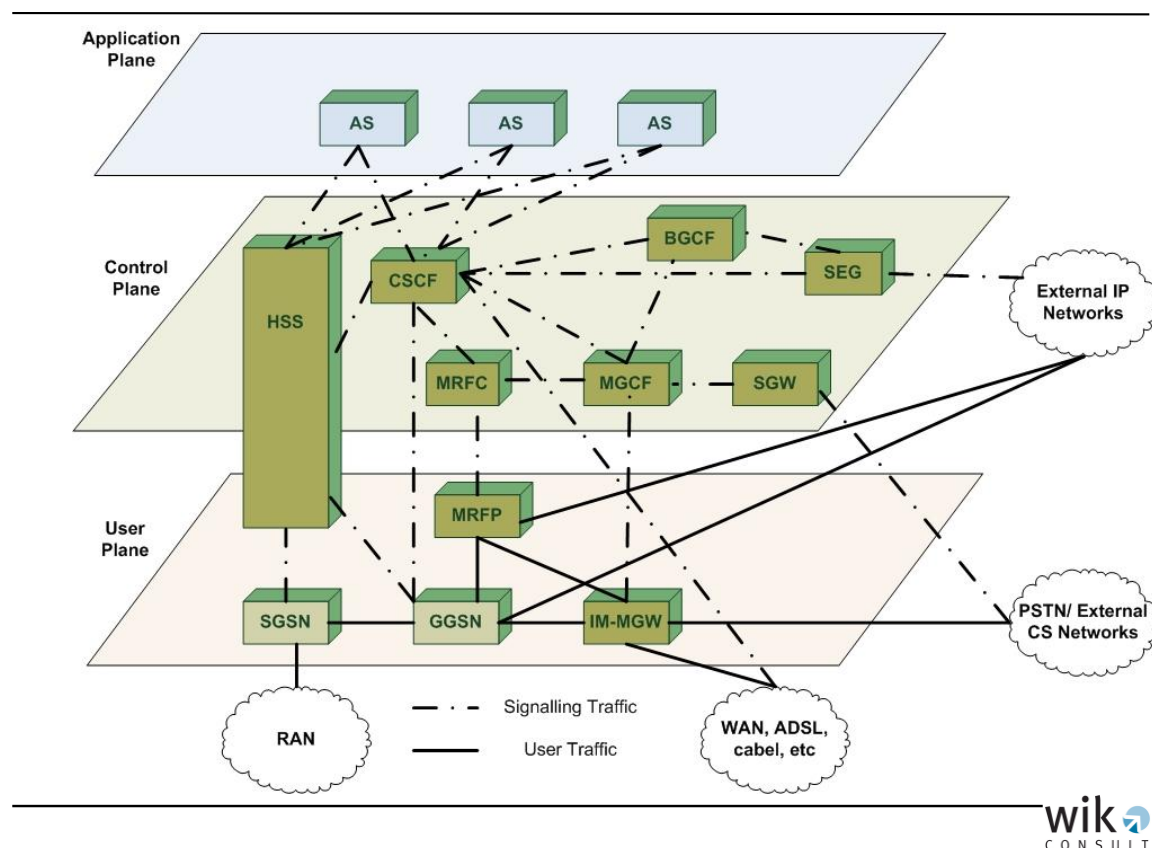


IMS wurde in einem ersten Schritt von der 3GPP-Organisation entworfen<sup>79</sup>, um die Mobilfunknetze weiter zu entwickeln und eine Integration Mobil-Fest zu unterstützen. Aus der Sicht der Festnetzbetreiber wird IMS vom ETSI im Rahmen des TISPAN-Projektes standardisiert, wobei beide Organisationen eng kooperieren. IMS beschreibt im Kern eine zentrale Kontrollschicht, die von allen Diensten gemeinsam verwendet wird. Diese Kontrollschicht besteht aus verschiedenen Funktionsblöcken mit Schnittstellen sowohl zur Diensteanwen-

<sup>79</sup> [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org).

ungsschicht als auch zur gemeinsamen Transportschicht. Für diese Schnittstellen werden vorwiegend bestehende Protokolle der IETF verwendet. Abbildung 3-15 zeigt die wichtigsten IMS-Funktionselemente, wobei im Kern das Call State Control Function (CSCF)-Element steht, welches einen gesicherten Aufbau von Multimediaverbindungen bereitstellt und auf dem bekannten SIP-Protokoll basiert.

Abbildung 3-15: Übersicht über die wichtigsten Funktionsblöcke des IMS und deren Verknüpfung mit den darüber- und darunter liegenden Schichten, und externen Netzen



Abkürzungen:

AS Application Server, BGCF Breakout Gateway Control Function, CSCF Call State Control Function, GGSN Gateway GPRS Support Node, HSS Home Subscriber Server, IM MGW IP Multimedia Gateway, MGCF Media Gateway Control Function, MRFC Media Resource Function Controller, MRFP Media Resource Function Processor, SEG Security Gateway, SGSN Service GPRS Support Node, SGW Signaling Gateway

Dazu unterteilt sich die CSCF in drei Unterfunktionen (Proxy-, Interrogate- und Service CSCF). Die P-CSCF kommuniziert mit der Nutzer- bzw. Transport Schicht, um die Bandbreiten und QoS Anforderungen der gewünschten Verbindung sicherzustellen. Für eine kurze Übersicht von IMS vgl. [Ericsson-07] und für eine breite Darstellung [AI-Begain-09].

Man beachte, dass IMS vor allem den Aufbau und die Überwachung von Multimediaverbindungen sowohl intern als auch mit anderen Netzen unterstützt und damit auch von Bedeutung für die Zusammenschaltung von unterschiedlichen Netzen ist, z.B. für Sprachdienste von VoIP im IMS mit dem PSTN/ISDN-Netz, vgl. dazu Abbildung 3-15. Diese Bandbreiten

und QoS-Anforderungen müssen allerdings in der Transportschicht selbst durch zugehörige Protokolle bereitgestellt werden. Diese hängen von der Architektur der Transportschicht ab, wobei sich aus heutiger Sicht die in Tabelle 3-10 dargestellten Szenarien ergeben.

Tabelle 3-10: Kontrollschicht-Szenarien in Koordination zwischen der logischen– und physikalischen Ebene

Abkürzung	IPoSDH	IPoOTN	IPoOTN	IPoDWDM
Logische Ebene	MPLS	MPLS	GMPLS/ASON	MPLS FRR S-GMPLS
Physikalische Ebene	Overhead des STM-N	TCM aus OTN	GMPLS/ASON	--
Eigenschaften	Vollständige Trennung zwischen beiden Ebenen	Vollständige Trennung zwischen beiden Ebenen	Separiert, aber unter gemeinsamer Koordination	Verwaltung ausschließlich aus der logischen Ebene

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt haben verschiedene Architekturen noch nicht die Marktreife erreicht. Die hier skizzierten Kontrollschicht-Szenarien haben zum Teil hypothetischen Charakter. Der generische Charakter des Modells erlaubt es jedoch, eine Berücksichtigung über eine entsprechende Parametrisierung des Kostenmoduls zu einem späteren Zeitpunkt vorzunehmen. Dies betrifft insbesondere die GMPLS/ASON Variante.

### 3.5.2 Next Generation Internet (NGI)

Mit der Integration von Echtzeitdiensten wie VoIP, VoD und neuen Online Diensten ist das best effort Internet an seine Grenzen gestoßen und eine minimale Dienstqualität kann nur durch eine reduzierte Auslastung der Server und Leitungsgruppen (d.h., Überdimensionierung) erreicht werden, wodurch die Kosten erhöht werden.

Um sowohl den Zugang zum IP Netz eines Internet Service Providers zu gewährleisten, als auch die QoS Parameter zu differenzieren, wurden zusätzliche Protokolle entworfen, die das best effort Internet in Richtung eines diensteintegrierten Breitbandnetzes mit einem System verteilter Intelligenz weiter entwickeln.

Daraus ergibt sich, dass die Integration von verschiedenen Diensten unter einer IP-Transportinfrastruktur nicht nur durch IMS, sondern auch durch die Weiterentwicklung des klassischen best effort Internets hin zum Next Generation- bzw. Future Generation Internet (NGI bzw. FGI) möglich ist und damit der Aufbau der u.U. teuren IMS-Infrastruktur vermieden werden kann. D.h. die im IMS zentralisierte Kontrollschicht wird durch entsprechende Diensteserver und Bandwidthbroker ersetzt, die entsprechend dem Internet-Konzept an die Netzperipherie als externe Elemente angeschlossen werden können. Hinzu kommt, dass diese Diensteserver und Bandwidth Broker ggf. auch von anderen Marktteilnehmern im Rahmen des offenen Dienstezugangs bereitgestellt werden können.

Die beiden Kontrollfunktionen Identifizierung und Autorisierung (NASS) und die Zuweisung von Netzkapazitäten (RACS)<sup>80</sup> sind im klassischen Internetzugang über DSLAM im sog. Broadband Remote Access Server (BRAS) integriert, der oft mit dem LER kombiniert ist und damit in der unteren Schicht des Kernnetzes liegt. Aus Kostengründen kann die BRAS Funktion auch auf weniger Standorte beschränkt werden. Hier zeigt sich auch der Unterschied zum NGN bzw. NGN/IMS, welches diese Funktionen des NASS und RACS über mehrere Funktionselemente verteilt und damit eine Optimierung und Priorisierung in der Zuweisung von Netzkapazitäten gestattet. Einige dieser Funktionen werden im NGN bis in den ersten Zugangspunkt des Nutzers verlegt, womit der klassische DSLAM durch einen Multi Service Access Node (MSAN) ersetzt wird. Für eine vertiefende Betrachtung vgl. [Schröder-05].

Um die verschiedenen Dienste aus QoS Sicht zu differenzieren, wurden die schon erwähnten Protokolle DiffServ unter MPLS und separierte Tunnel unter RSVP durch Verkehrsverwaltungsfunktionen (Traffic Engineering, TE) erweitert und entsprechend das MPLS-TE bzw. das RSVP-TE in zugehörigen RFC definiert. Darüber hinaus wird für Echtzeitdienste das generische SIP Protokoll verwendet, dessen konkrete Anwendung auf einen Dienst jeweils unter dem „Session Description Protokoll SDP beschrieben wird.<sup>81</sup>

Für die Kostenberechnung ist zu beachten, dass die beiden Protokolle MPLS-TE bzw. RSVP-TE im Transportteil der IP Netze durch entsprechende Software in den Router-einrichtungen implementiert werden, während die Signalisierung mittels des SIP Protokolls in externen SIP Servern vorgenommen wird.

### 3.5.3 NGN und NGI im Kostenmodell

Ein Vergleich beider Konzepte zeigt die starke Zentralisierung der wichtigsten Kontrollfunktionen im NGN und vor allem im IMS, während im NGI Konzept die Dezentralisierung und Aufteilung der Intelligenz zwischen Einrichtungen in der Transportschicht, verteilten Servern und Endgeräten vorgenommen wird.. So basiert die „Call State Control Function“ auf dem SIP Protokoll. Die im IMS vorgesehene und mit dem P-CSCF verbundene „Policy Decision Function“ muss im IP-Transportnetz auf Mechanismen für die Verkehrslenkung z.B. DiffServ, MPLS-TE zurückgreifen, um abzusichern, dass die notwendigen Kapazitäten zur Erfüllung der QoS Parameter in der IP Transportschicht bereitgestellt werden, vgl. Abbildung 3-16. Hinzu kommt, dass auch im NGN-IMS die Funktion des P-CSCF in Servern implementiert werden kann, die über die Standorte des Netzes verteilt sind und damit mit den SIP Servern aus dem NGI vergleichbar sind. Dagegen ist zu erwarten, dass die Funktionen des I-CSCF und S-CSCF sowie des HSS aus Abbildung 3-15 i.d.R. an einem oder aus Sicherheitsgründen zwei zentralen Standorten aufgebaut werden.

---

<sup>80</sup> NASS: Network Attachment Subsystem; RACS: Resource and Administration Control subsystem.

<sup>81</sup> Ergänzend sei auf die Entwicklung eines neuen QoS-Konzeptes verwiesen. Dieses orientiert sich vornehmlich an der subjektiven Erwartung der Nutzer (insbesondere Privatanutzer) und wird mit Quality of Experience QoE bezeichnet, vgl. [Fielder-10], [Shaikh-10].

Aus dieser vergleichenden Gegenüberstellung von NGN-IMS und NGI wird deutlich, welche regulatorischen Herausforderungen mit dem Betrieb eines IMS und der damit verbundenen Kontrolle für den Zugang von externen Diensteanbietern verbunden sind. Das Konzept des NGI basiert weiterhin auf den klassischen BRAS Funktionen und erlaubt im Gegensatz zum NGN einen flexibleren Zugang verschiedener Marktteilnehmer für Online- und Multimediadienste, siehe auch [Hackbarth-06]. Allerdings ist zu beachten, dass durch IMS eine Diensteanforderung zurückgewiesen werden kann, wenn sich die benötigten Kapazitäten für die QoS Anforderungen bestehender Verbindungen unzulässig verschlechtern. Im Gegensatz dazu werden im NGI die Diensteanforderungen in der Regel angenommen und die entsprechenden Kapazitäten entsprechend den QoS Anforderungen durch Verkehrslenkungsmechanismen bestmöglichst erfüllt. Zusammenfassend ergibt sich, dass mit IMS ein Blockierungssystem abgebildet wird, während im NGI ein Wartesystem vorliegt.

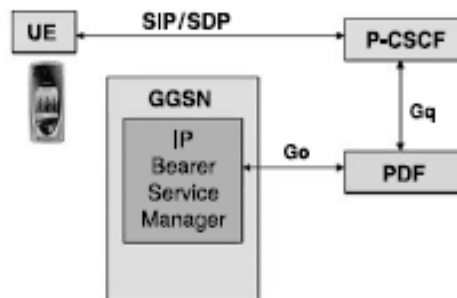
Für die Modellierung bedeutet dies, dass der Modellanwender darüber entscheiden muss, welche Architektur der Kontrollschicht modelliert werden soll. Dazu gehört eine Vorgabe über die Art der Komponenten als auch ihre Verteilung auf mehrere Standorte. Über die Inanspruchnahme der Einrichtungen (ggf. an verschiedenen Standorten) kann dann eine Dimensionierung vorgenommen werden.

Die nachfolgende Abbildung beschreibt die Kapazitätsbereitstellung im IMS, welches – wie bereits ausgeführt – für den Mobilfunkbereich mit einer Fix-Mobil-Integration im Blick, entwickelt wurde. Das IMS-Konzept ist jedoch genauso für Festnetze einsetzbar und hat (ebenso sowie der Einsatz einer Softswitch-Architektur) zum Ziel, das Blockierungssystem auf Basis eines IP-Transportnetzes zu implementieren. Beide Strategien (IMS und Softswitch-Architekturen) werden auch als NGN-Konzepte bezeichnet und sind als Fortführung der traditionellen Telefonnetze zu verstehen. – Es ist selbstredend, dass die Einrichtungen, die ein solches Blockierungssystem realisieren, einen zentralisierten Ansatz<sup>82</sup> darstellen – im Vergleich zu einer offenen NGI Plattform, die keine Blockierung auf der Diensteebene umsetzen kann.

---

<sup>82</sup> Unter zentralisiertem Ansatz wird hier die Konzentration der entsprechenden Einrichtungen in einem oder wenigen Standorten verstanden. Inwieweit die Vielzahl der verschiedenen Funktionsblöcke des NGN-IMS sich auf entsprechende Einrichtungen aufteilen, bleibt im Rahmen der Systemzuweisung und Kostenmodellierung noch zu untersuchen.

Abbildung 3-16: Kapazitätsbereitstellung im IMS mittels der PDF Funktion



Quelle: [Mage-06]

Zusammenfassend ergibt sich, dass in beiden Fällen (NGN-IMS und NGI) Kostenparameter aus zentralen- und verteilten Netzkomponenten zu berücksichtigen sind. Dabei liegt im NGN-IMS der Schwerpunkt auf den zentralen- und im NGI auf den verteilten Komponenten. Durch die Wahl der entsprechenden Kostenparameter und Kostentreiber kann das Kostenmodell an beide Architekturkonzepte angepasst werden. Kostentreibend ist in beiden Fällen die Anzahl der abzuwickelnden Verbindungswünsche. Zusätzlich sind Redundanzaspekte zu beachten.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt stehen die in der Diskussion und Entwicklung befindlichen Systeme für die Kontrollplattformen der neuen Generation nicht vollständig zur Verfügung. Hinsichtlich der Implementierung können bisher folgende Beobachtungen gemacht werden: Die meisten Netzbetreiber realisieren ihr NGN auf Basis von Softswitches für PSTN/ISDN Dienste und greifen auf Media Gateways für die Zusammenschaltung ihres NGN mit traditionellen PSTN/ISDN Netzen zurück.<sup>83</sup> Business data services werden als Layer 3 VPN oder Layer 2 VLAN mittels entsprechenden MPLS Tunneln bereitgestellt zu deren Realisierung auf Bandwidth Broker zurückgegriffen wird. Der Bandwidth Broker verbindet die Transportschicht mit der Kontrollplattform über ein zugehöriges Protokoll, wie beispielsweise das Common Open Policy Server Protocol (COPS, RFC 2748). Multimedia- und Internet Dienste werden durch funktionale Einrichtungen, wie BRAS, DNS etc. unterstützt.

Aufgrund dieser Beobachtungen ist die Kontrollschicht des NGN nach Maßgabe der durch sie ausgeübten Funktionen zu modellieren. Dabei ist entsprechend vom Modellanwender das dazu erforderliche Equipment sowie die Anzahl der zugehörigen Standorte vorzugeben.

<sup>83</sup> siehe Wojcich Michalski, Survey of NGN migration profiles deployed by selected carries in Europe, North America and Asia, Journal of Telecommunications and Information Technology, N°.3 2008 . Ein Beispiel für die Migration des PSTN/ISDN zum NGN findet sich in Alshaih, Almughalees, Technical plans and solutions for smooth migration of tool and tandem layers to NGN, International Journal of Computer Science and Network Security Vol. 10 June 2010. Ökonomische Aspekte der NGN Migration werden diskutiert von der Deutschen Telekom in B. Jacobs, Economics of NGN deployment scenarios. Discussion of migration strategies for voice carries, [ieeexplore.ieee.org/iel5/4082388/4082389/04082392.pdf?arnumber](http://ieeexplore.ieee.org/iel5/4082388/4082389/04082392.pdf?arnumber)

In einer ersten Modellanwendung schlagen wir die Berücksichtigung der in den folgenden Untersektionen beschriebenen technischen Einrichtungen der Kontrollschicht vor:

### 3.5.3.1 Allgemeine Funktionselemente im Breitbandnetz

Für die Steuerung des allgemeinen Netzzugangs:

- Broadband Remote Access Server (BRAS)
- Radius
- DNS

Die Anzahl der Standorte, an denen diese Einrichtungen vorgesehen werden, werden von dem Modellanwender als Modelinput (Vorgabe der Netzebene, auf der sich diese Einrichtungen befinden sowie Vorgabe der Anzahl von Standorten auf den entsprechenden Netzebenen) vorgegeben.

Welche Kapazitäten der Einrichtungen an den jeweiligen Standorten vorzuhalten sind, ergibt sich aus der Nachfrage, die sich in der Anzahl der Verbindungswünsche ausdrückt.

### 3.5.3.2 Funktionselemente für Sprache

Das hier beschriebene Modell soll die Kosten von Sprachterminierung und ggf. Originierung bestimmen. Dabei sollen 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 Softwitch 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 busy hour call attempts (BHCA) gesteuerter Softwitch benötigt, der typischerweise einen SIP Server integriert.

Da allerdings zur Realisierung der beiden Arten von Zusammenschaltung (leitungsvermittelt zu PSTN/ISDN oder PLMN<sup>84</sup> bzw. paketvermittelt zu IP bzw. anderen NGN) unterschiedliche Netzelemente benötigt werden, sollen die beiden zunächst im Kostenmodell zu implementierenden Varianten hier vorgestellt werden:

---

<sup>84</sup> PLMN steht für Public Land Mobile Network.

#### 3.5.3.2.1 TDM-basierte Zusammenschaltung

Es werden folgende Netzelemente vorgesehen:

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

Das Mediagateway muss dabei an allen für TDM-basierte Zusammenschaltung vorgesehenen Standorten installiert werden. Neben dem Übertragungsvolumen treibt die Anzahl der IC-Ports die Kosten des Mediagateways. Die Funktionen des Softswitches und des Mediagateway Controllers können auch remote ausgeführt werden.

#### 3.5.3.2.2 IP-basierte Zusammenschaltung

Es werden folgende Netzelemente vorgesehen:

- Softswitch (mit integriertem SIP-Server)
- Lable Edge Router (am Netzübergang)
- Session Border Controller (SBC)<sup>85</sup>

Bei einer IP-basierten Zusammenschaltung entfällt die Notwendigkeit eines Mediagateways. Der am Standort vorgesehene Router erfüllt die Aufgabe der Netzübergabe. Sofern die Anzahl der für Interconnection benötigten Ports nicht hinreichend ist, müssen weitere Router installiert werden.

Der Session Border Controller übernimmt u.a Aufgaben für die Abrechnung und ersetzt den Mediagateway Controller. Der SBC kann ebenfalls zentralisiert installiert werden (Inputgesteuert).

---

<sup>85</sup> Die Funktion des SBC kann auch in der Einrichtung des Softswitches integriert sein.



## 4 Kostenmodul

### 4.1 Inputparameter gesteuerte Systemzuweisung und Investitionswertbestimmung für Netzelemente

Im Kostenmodul wird die Zuweisung von Einrichtungen zur Befriedigung der Nachfrage auf den Knoten und Kanten betrachtet und deren korrespondierende Kosten.<sup>86</sup> Aus den Betrachtungen in den vorhergehenden Kapiteln ergibt sich, dass eine **Vielzahl von Möglichkeiten bei der Systemzuweisung** zur Auswahl steht, deren Lösungen unterschiedliche Kosten sowohl im CAPEX als auch im OPEX, aber auch unterschiedliche Werte für die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des Netzes und damit der zugehörigen Dienste verursachen. Diese Freiheitsgrade stellen ein Charakteristikum des hier spezifizierten TELRIC-Referenzmodells dar, welches nicht von einer konkreten Technologie abhängt, sondern ausreichend flexibel ist, um den Einsatz verschiedener Technologien zu vergleichen und sich auch an die technologische Entwicklung anpassen zu lassen.

Zu diesem Zweck schlagen wir vor – wie schon in vorhergehenden Kapiteln angedeutet – die **Verwendung einer Technologie in den Parametern einer generischen Kostenfunktion zu modellieren**. Die jeweiligen Kostenfunktionen sind getrennt für das Konzentrations- und Kernnetz zu betrachten und innerhalb jeder dieser beiden Netzteile für das logische Netz mit den zugehörigen Einrichtungen einerseits und für das physikalische Netz andererseits zu entwickeln. Als Ausgangdaten ergeben sich aus der Dimensionierung des logischen- und physikalischen Netzteils die

- Hierarchie und Struktur des logischen Netzes
- Hierarchie und Topologie des physikalischen Netzes
- Verkehrsflüsse in den Knoten und Kanten
  - o des logischen Netzes
  - o des physikalischen Netzes

Eine Erläuterung der Systemzuweisung unterschiedlicher Technologien ist für eine Modell-anwendung durch eine Konkretisierung der Inputparameter zu spezifizieren.

---

<sup>86</sup> An dieser Stelle sei bereits darauf hingewiesen, dass die Systemzuweisung bei der softwaretechnischen Umsetzung noch Bestandteil des in höherer Programmiersprache erstellten Codes ist. Siehe hierzu auch Abschnitt 6.

## 4.2 Kostentreiber

Bereits im Zusammenhang mit der Nachfragemodellierung wurden die zentralen Kostentreiber für die **Einrichtungen des logischen Netzes** benannt:

- mittlere Bandbreite (**B**) und
- mittlere Paketrate ( **$\lambda$** )

Die Dimensionierung der **Einrichtungen des physikalischen Netzes** erfolgt lediglich auf Basis der **Bandbreitenanforderungen**, da die Paketrate keinen Einfluss auf die Dimensionierung ausübt. Der Einsatz von Regeneratoren leitet sich aus der Linientechnik und dem entsprechend Kostentreiber ab.

Für die Kosten der Linientechnik sind selbstredend die Entfernungen zwischen den Knotenstandorten, die im Modell auf Basis des GIS-Straßenlayers ermittelt werden sollen, bestimmend.

Die Kosten der Einrichtungen des NGA sind architekturenspezifisch und überwiegend durch die Menge der zu versorgenden Teilnehmer und deren Nutzungsverhalten bestimmt.

Die **Kosten der Kontrollplattform** sind maßgeblich durch die Einrichtungen für die Signalisierung sowie den Betrieb und die Überwachung des Netzes bestimmt. Die Kapazitäten für die Übertragung des Signalisierungsverkehrs halten wir für vernachlässigbar. Hinsichtlich der Einrichtungen für die Signalisierung ist die Zahl der Verbindungswünsche (call rate) zentraler Kostentreiber.

## 4.3 Systemzuweisung im Kostenmodul

Mit der Systemzuweisung inkl. zugehöriger Bewertung kann die Investitionswertbestimmung erfolgen. Dazu werden für jeden Typ von Netzelement pro Netzebene Systemtabellen angelegt, welche die Parameter der Systeme enthalten, die die Kapazitätsgrenzen beschreiben. Dies sind bei Übertragungssystemen typischerweise die Bandbreite und bei Layer 2 bzw. Layer 3 Einrichtungen die Anzahl und Bandbreiten der Schnittstellenkarten plus die dazugehörige Grundeinrichtung.

D.h. die Systeme werden auf der Basis von Eingabeparameter sowohl in Bezug auf ihre Kapazitäten als auch ihre Beschaffungspreise spezifiziert. Die Wertansätze für die Einrichtungen müssen dabei neben der Beschaffung auch die Installation (Inbetriebnahme) umfassen.

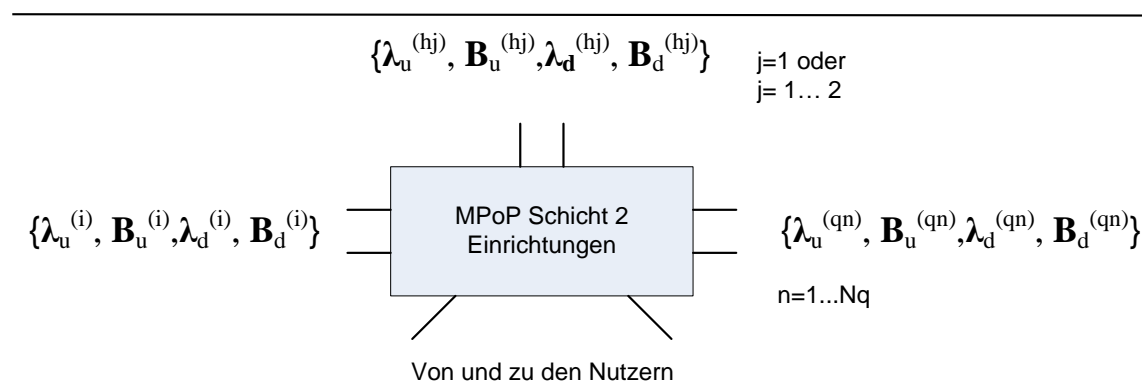
### 4.3.1 Logisches Netz

Für das logische Netz sollen die folgenden Eingabeparameter definiert werden, um alle Möglichkeiten zur Systembeschreibung zu erfassen:

- maximale Paketrage pro Einrichtung<sup>87</sup>
- maximale Anzahl der Schnittstellenkarten und maximale Anzahl von Ports per Schnittstellenkarte
- Anzahl und Werte der Kapazitätsstufen der Schnittstellenkarten
- Kosten der Grundeinrichtung und Kosten der Schnittstellenkarten

Aus der Netzdimensionierung (Netzplanungsmodul) sind die Informationen hinsichtlich der benötigten Kapazitäten bekannt (sowohl in den Knoten als auch den sie betreffenden Kanten, differenziert nach up- und downstream)<sup>88</sup>.

Abbildung 4-1: Verkehrsmatrizen zur Beschreibung des Kapazitätsbedarfs einer Einrichtung des logischen Netzes (am Beispiel einer Layer 2 Einrichtung in einem Knoten der untersten Netzebene)



Auf Grund der bottom-up Modellierung des Kapazitätsbedarfs ist es möglich, eine knotenindividuelle Dimensionierung und damit auch Systemzuweisung vorzunehmen. Auch können diese verkehrsbezogenen Informationen zur Kostenzurechnung verwendet werden.

<sup>87</sup> Aus einigen konsultierten Datenblättern ergibt sich, dass die maximal zu verarbeitende Paketrage bei Layer 2 bzw. Layer 3 Einrichtungen oft nicht explizit betrachtet wird, sondern nur die Konfiguration der Schnittstellenkarten. Die entsprechende Konfiguration der Grundeinrichtung wird dann vom Hersteller vorgenommen.

<sup>88</sup> Bei der Festlegung der Layer 1 Einrichtungen wird beachtet, dass diese in den Bandbreitenwerten symmetrisch sind, d.h. es wird eine Dimensionierung auf der Basis des jeweilig größeren Wertes aus den Up- und Downstream Bandbreiten, die sich im logischen Netz ergeben, vorgenommen.

### 4.3.2 Physikalisches Netz

Für das physikalische Netz sollen folgende Bestandteile Berücksichtigung finden:

- Add Dropp Multiplex- bzw. CrossConnector-Einrichtungen<sup>89</sup> in den Knoten (ADM bzw. CCX oder OADM bzw. OCX)) oder reine lambda Multiplexer bei Einsatz von Ethernet over lambda bzw. IP over lambda
- Punkt zu Punkt Übertragungssysteme<sup>90</sup>
- Signalregeneratoren auf den Übertragungsstrecken
- Glasfaserkabel
- Infrastruktur (Kabelgräben, Rohre etc.)

Auch für die Dimensionierung der Einrichtungen des physikalischen Netzes gilt, dass die Bandbreitenanforderungen je Netzebene aus dem Netzplanungsmodul bekannt sind.

Die Auswahl der verwendeten Technologie wird – wie im logischen Netz – durch den Nutzer mittels der Angaben von konkreten Werten für die Kapazitäten der Einrichtungen und deren Kostenparameter gesteuert.

### 4.3.3 Serverkosten

Mit den im Modell abgebildeten Freiheitsgraden, über die auch ein Netzbetreiber bei der Realisierung seines Multiservicenetzes verfügen kann, soll auch eine Berücksichtigung von Serverkosten im Modell möglich sein. Es wurde bereits ausgeführt, dass der Netzbetreiber mit seiner Kontrolle über die Lage (Standorte) und Anzahl von Servereinrichtungen in der Lage ist, Verkehrsströme zu steuern und Transportkosten durch Serverkosten zu substituieren.<sup>91</sup> Entsprechend sind die Serverkosten in die Modellierung mit einzubeziehen.

Wir schlagen vor, die Kostenmodellierung für die Servereinrichtungen in eine fixe (standortbezogene) und eine variable (verkehrsabhängige) Komponente zu zerlegen. Für beide Werte sind Inputparameter vorzusehen.

*Kommentaraufforderung 4-1:* Wir bitten um Stellungnahme, ob der vorgeschlagene Modellierungsansatz für sinnvoll erachtet wird.

<sup>89</sup> Wir unterstellen, dass die Übertragungseinrichtungen in den CCX bzw. OCX integriert sind.

<sup>90</sup> Dies gilt für den Fall, dass keine (R), (O) ADM oder Crossconnectoreinrichtungen eingesetzt werden, sondern die Ports des Übertragungssystems direkt mit einem Port der Layer 2 bzw. Layer 3 Einrichtungen verbunden werden.

<sup>91</sup> Dieser Aspekt wird insbesondere im Zusammenhang mit der Lage und Anzahl von Video on Demand Servern (VoD) diskutiert, gilt aber genauso für das Caching von Web-Sites.

Antworten:	Der Modellierungsansatz wird von den Marktteilnehmern bestätigt.
WIK-Consult:	<b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b>

#### 4.3.4 Kosten der Kontrollschicht

Die Aufgaben der Kontrollschicht teilen sich in zwei große Gruppen:

- Zuweisung von Kapazitäten und deren Überwachung im Betrieb und Ersatzschaltung im Störfall für alle Verbindungen (OAM)
- Einrichtung, Überwachung und Terminierung für Kapazitäten aus den vermittelten Diensten (Signalisierung)

Einrichtungen, die diese Funktionen wahrnehmen, können in Form von zentralisierten, verteilten Funktionen oder einer Mischung von beiden implementiert werden. Wie auch in den Transportschichten soll das Kostenmodell flexibel und generisch gestaltet werden, um eine flexible Anpassung an die Entwicklung der Technologien und ihrer Architekturen zu gewährleisten.

Die Einrichtungen für die Signalisierung werden bei der Modellierung abgebildet durch:

- fixe (standortbezogene) Kosten und
- variable (durch Verbindungswünsche getriebene) Kosten.

Die Modellierung der Kosten für die OAM-Funktionen soll in Abhängigkeit der Zahl der Netzstandorte und Gesamtverkehrsnachfrage bestimmt werden.

<i>Kommentaraufforderung 4-2:</i>	Wir bitten um Stellungnahme zu unserem vereinfachten Vorschlag, die Kosten der Kontrollschicht zu modellieren.
Antworten:	Ein Betreiber fordert bei beiden Elementen die Aufgliederung in fixe und variable Bestandteile. Ein weiterer Betreiber stimmt unserem Vorschlag zu.
WIK-Consult:	Für beide (OAM und Signalisierung) kommt eine Bestimmung der Fixkosten nach Anzahl der Standorte und eine Bestimmung der variablen Kosten nach Maßgabe der Verkehrsnachfrage zur Anwendung. Das Modellkonzept sieht vor, dass für OAM und Signalisierung sowohl fixe als auch variable Kosten einfließen.

**Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.**

## 5 Aspekte zur Ermittlung der Kosten

### 5.1 Generelles zur Ermittlung der Kosten

#### 5.1.1 Der verwendete Kostenrechnungsmaßstab: der Pure LRIC Ansatz der Europäischen Kommission

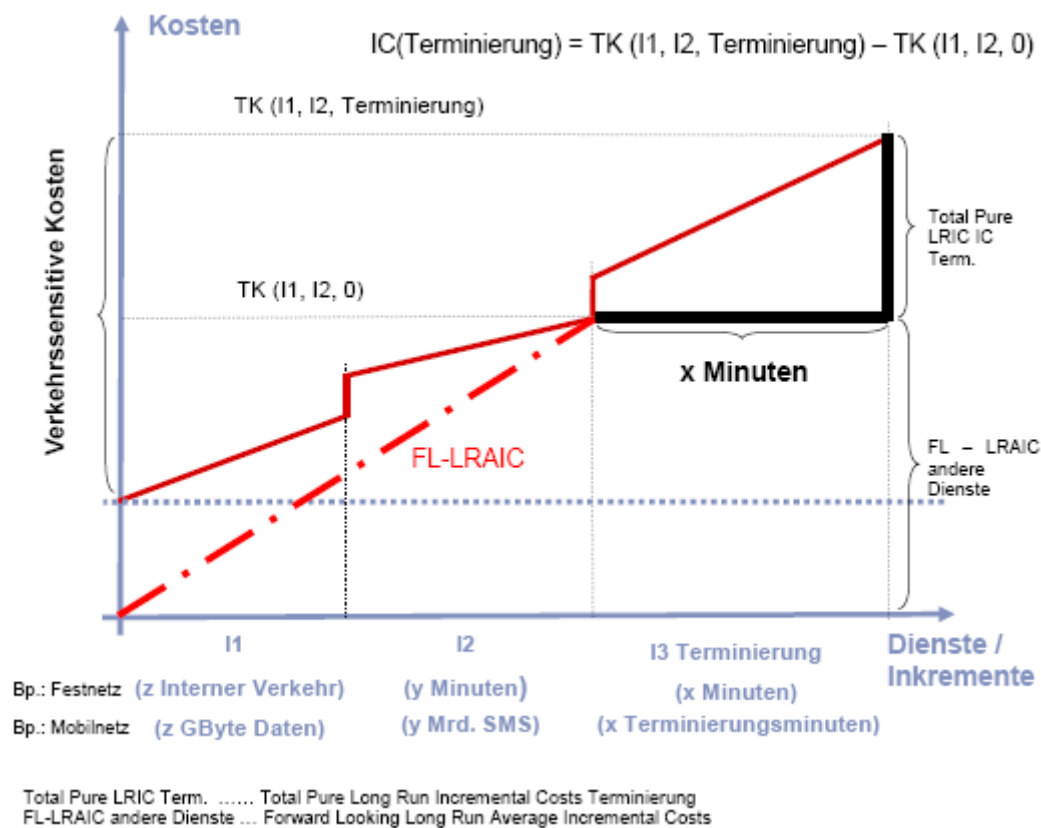
Bislang basierte die Entgeltfestsetzung für Terminierungsleistungen in Österreich auf dem Kostenrechnungsstandard der Long-Run-Average-Incremental-Costs (LRAIC). Durch die „Empfehlung der Europäischen Kommission zur Ermittlung der Kosten der Leistung Mobilfunknetzterminierung“ vom 7. Mai 2009 [EK-2009] kommt es hier zu einem Methodenwechsel (Pure-LRIC), welcher die Erstellung neuer Kostenrechnungsmodelle sowohl für den Festnetz- als auch für den Mobilfunkbereich erfordert. Dementsprechend soll die Ermittlung der Kosten der Leistung Terminierung auf Basis eines reinen Inkrementalkostenansatzes „Pure LRIC“ (Pure Long Run Incremental Costs) erfolgen.

Der Pure LRIC Ansatz ist ein strenger Inkrementalkostenansatz auf Basis eines BU-Modells, basierend auf den aktuellen Wiederbeschaffungswerten (nicht historischen Kosten) eines effizienten Betreibers mit festgelegtem Marktanteil.

Die Inkrementalkosten der Terminierung sind jene Kosten, die für einen Betreiber nicht anfallen würden, würde er die Leistung Terminierung nicht für Dritte anbieten. Die Pure LRIC Kosten für Terminierung entsprechen der Differenz aus den langfristigen totalen Kosten eines Betreibers, wenn alle Dienste erbracht werden, und den langfristigen totalen Kosten aller Dienste ohne die Leistung Terminierung an Dritte. Der Pure LRIC Ansatz muss für die Berechnung der Terminierung als letztes Inkrement im BU-Festnetzmodell Anwendung finden.

Das Konzept ist in Abbildung 3-1 veranschaulicht, wobei beispielhaft drei Dienste eines Netzbetreibers betrachtet werden ( $z$  = GByte Daten,  $y$  = Mrd. SMS und  $x$  = Minuten Terminierung). Die inkrementellen Kosten für den Dienst Terminierung ergeben sich aus der Differenz der totalen Kosten aller drei Services minus der totalen Kosten aller Services ohne die  $x$  Terminierungsminuten.

Abbildung 3-1: Pure LRIC Kosten der Terminierung und FL-LRAIC-Kosten



### 5.1.2 Abhängigkeit der Kosten von Erwartungen und Grad der Präzision in der Modellierung

Der Zweck des Kostenmodells besteht darin, die Kosten der Terminierung in einem Festnetz entsprechend dem Ansatz der pure LRIC zu bestimmen. Dieser Ansatz setzt die Anwendung ökonomischer Abschreibungen voraus und deshalb die Berücksichtigung von zu erwartenden Änderungen sowohl in den Preisen der Anlagegüter und anderer Inputs wie auch das zu erwartende Wachstum bei den bereitgestellten Diensten. Die Verlässlichkeit der ermittelten Kosten wird deshalb von der Güte der Voraussagen über diese Entwicklungen abhängen. Dadurch, dass diese Voraussagen in einem öffentlichen Verfahren mit aller notwendigen Transparenz getroffen werden, wird sichergestellt, dass sie den größtmöglichen Konsens über die Wahrscheinlichkeit ihres Eintreffens darstellen. Gleichwohl wird sich nicht vermeiden lassen, dass die ermittelten Kosten sich innerhalb eines gewissen Konfidenzintervalles bewegen werden.

Die Abhängigkeit der ermittelten Kosten von Erwartungen und die damit verbundene Feststellung, dass die so ermittelten Kosten sich innerhalb eines Konfidenzintervalls bewegen werden, macht die Notwendigkeit deutlich, abzuwägen, welcher Grad der Präzision an ver-

schiedenen Stellen des Modells angestrebt werden sollte. Zum Beispiel besteht der Anspruch, dass das Modell die unter funktionierendem Wettbewerb entstehenden geringsten Kosten ermitteln soll. Wenn man aber weiß, dass aufgrund der Unwägbarkeiten bei den zu schätzenden Inputgrößen die ermittelten Kosten sich in einem Rahmen bewegen werden, der durch einen gewissen Prozentsatz oberhalb und unterhalb des sich aus der Modellberechnung ergebenden Wertes bestimmt wird, dann sollte man nicht versuchen, bestimmte Modellierungsmaßnahmen ins Auge zu fassen, die eine größere Präzision suggerieren, von denen aber von vornherein klar ist, dass sie nur einen Einfluss im Promillebereich haben werden. Beispielhaft sind in diesem Zusammenhang die Berücksichtigung marginaler Dienste zu nennen, die kleinere Verkehrsmengen verursachen als die Mengen aufgrund der zu erwartenden Fehlermargen bei den wichtigen Diensten, die kaum Netzressourcen in Anspruch nehmen und deshalb auch kaum Einfluss auf Skalenerträge ausüben; oder Funktionalitäten im Netz, die von Terminierung, dem hier interessierenden Dienst, nicht in Anspruch genommen werden und auch über den Verkehr, den sie mit abwickeln, die Transportkosten kaum tangieren.

## 5.2 Anwendung von Pure LRIC und LRAIC

In den folgenden Abschnitten beschreiben wir zunächst, wie in dem zu erstellenden Modell die verschiedenen Kostenkomponenten, die bei der Errichtung und dem Betrieb eines Netzes entstehen, ermittelt werden. Bei diesen Kostenkomponenten handelt es sich um die Kosten der Anlagen (Capex), die Kosten des Betriebs und der Instandhaltung dieser Anlagen (Opex), sowie die Gemeinkosten. Capex und Opex werden jeweils für die bereitzustellenden Dienste und die dafür erforderlichen Kapazitäten berechnet. Diese können sich entsprechend dem Marktanteil des Betreibers ändern, aber werden auch dann unterschiedlich zu berechnen sein, wenn im Fall der Anwendung von Pure LRIC einmal das Netz einschließlich von Terminierung und einmal ohne Terminierung dimensioniert wird. Als Gemeinkosten gelten alle Kosten, die auf der Ebene der Verwaltung und der Geschäftsführung anfallen und nicht den einzelnen Diensten zugeordnet werden können. Wie in der COMMISSION RECOMMENDATION on the Regulatory Treatment of Fixed and Mobile Termination Rates in the EU (2009/396/EC) ausgeführt, gilt bei Anwendung von Pure LRIC, dass der Terminierung keine Gemeinkosten zuzurechnen sind, während bei Anwendung des LRAIC-Standards solche Kosten auch der Terminierung zugerechnet werden können.

Letztlich sind die Kosten des Dienstes Terminierung als Differenz zwischen Gesamtkosten einschließlich Terminierung und Gesamtkosten ausschließlich Terminierung zu ermitteln. Dabei werden zur Berechnung der Gesamtkosten lediglich Capex und Opex herangezogen, da Gemeinkosten nicht auf Terminierung verrechnet werden sollen. Gemeinkosten – von denen implizit angenommen wird, dass sie sich nicht ändern, wenn zwischen Bereitstellung von Diensten einschließlich Terminierung und Bereitstellung von Diensten ohne Terminierung variiert wird – werden mittels eines uniformen Aufschlages auf die Kosten aus Capex und Opex der anderen Dienste verteilt.

Bei der Berechnung von Kosten auf Basis des LRAIC-Kostenstandards werden Capex und Opex nur für ein Netz einschließlich Terminierung ermittelt. Dabei werden Fixkosten gleichmäßig über alle Dienste verteilt, so dass, anders als bei Pure LRIC, alle Dienste von den durch die Netzgröße verursachten Verbundvorteilen – gleichermaßen – profitieren. Gemeinkosten werden dann mittels eines uniformen Aufschlages den Kosten aller Dienste zugeschlagen.

Da es sich bei Fixkosten in den meisten Fällen um Sprungfixkosten<sup>92</sup> handelt, fallen solche Kosten auch beim Ansatz der Pure LRIC an. Dies geschieht immer dann, wenn auf Grund der zusätzlichen Bereitstellung von Terminierung bestimmte Dimensionen des Netzes eine gegebene Schwelle überschreiten und deshalb in neue, sonst über weite Bereiche nicht variierende Infrastrukturen investiert werden muss. Um solche Sprungfixkosten im Pure LRIC richtig zu erfassen ist es notwendig, dass das Planungsmodul des Modells das Netz für die gegebene Situation, d.h. insbesondere die zu Sprungfixkosten führende Kapazitäten, jeweils richtig bestimmt, so dass bei der Berechnung des Kostenunterschieds zwischen den beiden Situationen auch zusätzliche Sprungfixkosten erfasst werden. Bereits von der konzeptionellen Anlage her sind die BU-Modelle des WIK dazu geeignet, solche Unterschiede in den Dimensionen des Netzes und somit in den Fixkosten präzise zu erfassen.

Eine Konsequenz der unterschiedlichen Behandlung von Gemeinkosten ist, dass die Kosten der Dienste außer Terminierung auch in unterschiedlicher Höhe bestimmt werden. Der Grund ist, dass ein gegebener Betrag an Gemeinkosten im Fall von Pure LRIC ausschließlich auf die anderen Dienste verteilt wird, während im Fall von LRAIC auch Terminierung mit einem Teil davon belastet wird. Bei Pure LRIC fallen somit die Kosten der anderen Dienste höher aus als bei LRAIC.

Den Aspekt eines sich mit dem Terminierungsverkehr inkrementell verändernden Gemeinkostenblocks halten wir im Festnetz für nicht bedeutend. Zur Illustration des Phänomens verweisen wir auf die Ausführungen zum Mobilfunknetz.

### 5.3 Ermittlung der Kosten

Wir gehen an dieser Stelle davon aus, dass die Informationen zur Struktur des jeweiligen Netzes mit all seinen Netzelementen vorliegen (siehe entsprechende Darstellungen in den Abschnitten 3 und somit die Kostenberechnung vorgenommen werden kann. Netzkosten bestehen im Wesentlichen aus den annualisierten Capex und den Opex, auf die je nach Ansatz und Dienst ein Aufschlag für Gemeinkosten erfolgt. In den folgenden Unterabschnitten

---

<sup>92</sup> Der Begriff "Sprungfixkosten" ist zwar umständlicher aber präziser als der Begriff "Fixkosten". Im FL-LRIC-Konzept gelten alle Kosten als variabel, dem mit dem Begriff "Sprungfixkosten" Rechnung getragen wird. Es gibt in der Tat nur wenige Kosten, die in der langen Frist und über alle in Betracht kommenden Netzgrößen als fix gelten können. Diese Sicht wird auch in der Aufforderung zur Angebotslegung vertreten, wenn auf S. 14 darauf hingewiesen wird, dass unter dem Aspekt der Langfristigkeit auch Fixkosten als veränderbar gelten.

werden wir unsere Ansätze zur Bestimmung dieser Kosten beschreiben, wie auch ihrer Zuordnung zu den verschiedenen Diensten und zur Berechnung der Kosten pro Einheit eines Dienstes, wobei der letzte Schritt sowohl für Terminierung als auch für Originierung erfolgt.

Bezüglich der ökonomischen Lebensdauern der verschiedenen Anlagen, die zusammen mit dem Investitionswert und dem Zinssatz die annualisierten Capex bestimmen, können wir auf Informationen in unserer Datenbank zurück greifen, werden aber auch Informationen, die von den Unternehmen zur Verfügung gestellt werden, mit berücksichtigen.

### 5.3.1 Annualisierte Capex

Der erste Schritt zur Ermittlung der annualisierten Capex in einem BU-Modell besteht darin, den Investitionswert der Anlagen des vom Netzplanungsmodul bestimmten Netzes zu bestimmen. Indem diese Bewertung mit den gegenwärtigen Preisen der Anlagen vorgenommen wird, stellt das Ergebnis den Wert eines vollkommen neuen Netzes dar. Dies ist konsistent mit der konzeptionellen Überlegung, wonach die Kosten des Netzes denen entsprechen sollen, die von einem neu in den Markt tretenden Anbieter aufgebracht werden müssten (siehe hierzu auch die Ausführungen zum Kostenmodul in Abschnitt 4).

Abgeleitet von diesen 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 abdecken müssen. In BU-Modellen ist es üblich, dafür den Annuitätsansatz zu benutzen, bei dem Abschreibungen und Zinsen in einem Berechnungsschritt bestimmt werden. Von diesem Ansatz werden wir in diesem Abschnitt bei der Darstellung unserer konzeptionellen Überlegungen zur Ermittlung der Capex auch ausgehen. Im nächsten Abschnitt werden wir dann darauf eingehen, wie Abschreibungen und Zinsen als getrennte Größen berechnet werden können.

Der konzeptionelle Ansatz zur Bestimmung der annualisierten Capex beinhaltet folgende Überlegungen:

- (1) In Übereinstimmung mit ökonomischer Abschreibung müssen die in einem Jahr zur Anrechnung gebrachten Capex einer Anlage dem Wertverlust während dieses Jahres entsprechen.
- (2) Dieser Wertverlust wird durch den in dem betreffenden Jahr erbrachten Anteil an der gesamten erwarteten Ausbringung der Anlage bestimmt. Die zweite Komponente in diesem Wert, d. h. der Wert je Leistungseinheit, entspricht den durch das Modell zu berechnenden Kosten, die durch die Parametrisierung (ursprünglicher Investitionsbetrag und Lebensdauer der Anlage, Zinssatz) vorbestimmt sind.
- (3) Es wird von der regulatorischen Vorgabe ausgegangen, dass aus Gründen der Nichtdiskriminierung die Kosten einer jeden Leistungseinheit, unabhängig zu welchem Zeitpunkt diese erbracht wird, in einem ökonomischen Sinne gleich sein sollen.

Diese Überlegungen bedeuten, dass die Capex, die für eine Anlage in einem gegebenen Jahr zur Anrechnung gebracht werden, proportional zu dem von ihr erbrachten Leistungsvolumen stehen müssen. Dabei ist dann auch zu beachten, dass Volumina der Ausbringungsmengen in der Regel von Jahr zu Jahr variieren, ferner, dass sich die Preise der Anlagen während der Lebensdauer der Anlagen verändern, so dass der zum jeweiligen zukünftigen Zeitpunkt geltende Investitionswert des Netzes sich ändert. Beide Entwicklungen sind mit zu berücksichtigen, wenn insbesondere der Überlegung unter (3) Rechnung getragen werden soll. Im Folgenden werden wir zeigen, dass diese Anforderungen mit dem Annuitätsansatz erfüllt werden können. Nach unserer Einschätzung muss im Rahmen eines BU-Kostenmodells jeder Ansatz, der den Überlegungen unter (1) bis (3) gerecht werden soll, mit der weiter unten entwickelten Annuitätsformel kompatibel sein. Wir werden diese Formel zunächst in der einfachen Version vorstellen, in der von unveränderten jährlichen Ausbringungsmengen und unveränderten Preisen der Anlagen ausgegangen wird, und dann den Fall betrachten, in dem zukünftiges Wachstum und Änderungen in den Preisen der Anlagen mit einfließen.

Formal gehen wird dabei wie folgt vor. Wir bezeichnen mit  $I$  den Wert der betreffenden Anlage zum Zeitpunkt der Investition und mit  $A$  den jährlichen Betrag, der zur Amortisation von  $I$  erwirtschaftet werden muss. Ferner, lassen wir  $i$  für den Zinssatz stehen, 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. Hervorzuheben ist, dass in dieser Ableitung die Amortisationsbeträge  $A$  über die Zeit hinweg gleich bleiben, da annahmegemäß in dieser einfachen Version Mengen und Preise der Anlagen während der  $n$  Perioden unverändert bleiben.

Während der wirtschaftlichen Lebensdauer einer Anlage ändern sich in der Regel mindestens zwei Parameter, die einen starken Einfluss auf die Kostenbestimmung haben: die jähr-

lichen Ausbringungsmengen der Anlage, die gewöhnlich wachsen, und der Preis der Anlage, der sich in die eine oder andere Richtung verändern kann. Diese erwarteten Änderungen sind bei der Preissetzung in Betracht zu ziehen, da ein zukünftiger potenzieller Wettbewerber, dessen Preissetzung zu antizipieren ist, von diesen dann geänderten Bedingungen ausgehen wird. In der Annuitätsformel können diese Entwicklungen berücksichtigt werden, indem die Formel für  $q$  wie folgt spezifiziert wird:

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

wobei

$g$  = prognostizierte durchschnittliche Wachstumsrate des Leistungsvolumens der Anlage während der wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlage, und

$\Delta p$  = durchschnittliche erwartete Veränderungsrate im Preis der Anlage (als Modern Equivalent Asset) während der wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlage.

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 ceteris paribus von Jahr zu Jahr um  $(1+g)$  größer sind als die im Jahr zuvor, entsprechend dem prognostizierten Wachstum der Leistungsmenge. 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  $\Delta p$  sicher, dass zu jedem Zeitpunkt der Abschreibungsbetrag proportional zum Wert der Anlage erfolgt. Bei sowohl  $g > 0$  wie  $\Delta p > 0$  werden den zukünftigen Perioden größere Amortisationsbeträge zugerechnet als der gegenwärtigen. Falls  $g > 0$  aber  $\Delta p < 0$ , was für bestimmte Anlagen insbesondere neuerer Technologie durchaus der Fall ist, hängt die Entwicklung von  $A$  über die Zeit hinweg von den genauen Werten der beiden Parameter  $g$  und  $\Delta p$  ab, d. h.  $(1+g)*(1+\Delta p)$  kann größer oder kleiner als 1 sein.

Der für die Verzinsung des eingesetzten Kapitals anzusetzenden Zinssatzes wird von der RTR zur Verfügung gestellt.

Der hier beschriebene, das Wachstum des Outputs 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.

### 5.3.2 Abschreibungen und Verzinsung als getrennte Größen

Die Ausführungen im vorangegangenen Abschnitt behandeln den von uns als für ein BU-Modell am ehesten geeigneten konzeptionellen Ansatz zur Bestimmung von Capex. Er wird im Modell als die Option implementiert, bei der der Kapitaldienst bestehend aus Abschreibungen und Zinsen in einem Berechnungsschritt ermittelt wird. Das Modell wird auch die Option anbieten, mit der Abschreibungen und Zinsen getrennt ausgewiesen werden können.

Welcher konzeptionelle Ansatz dabei anzusetzen ist, ist dann von der RTR vorzugeben. Die Formel, die dazu im Modell implementiert wird, kann beliebig danach bestimmt werden, ob z.B. lineare oder ökonomische Abschreibung angesetzt, oder die Berechnung der Zinslast auf der Basis des Restwertes einer Anlage oder entsprechend dem durchschnittlich gebundenen Kapital vorgenommen werden soll. Auch bei Anwendung des Annuitätsprinzips können Abschreibungen und Zinsen getrennt ausgewiesen werden. Entsprechend der Parametrisierung der Annuitätsformel (siehe obigen Abschnitt) ist dann zunächst für die betreffende Periode die Abschreibung zu bestimmen und dann die Zinsbelastung als Differenz zwischen Abschreibung und dem Annuitätsbetrag. Bei Verwendung der einfachen Annuitätsformel wäre die lineare Abschreibung zu verwenden, bei einer Parametrisierung, die prognostiziertes zukünftiges Wachstum und erwartete Preisänderungen berücksichtigt, wäre entsprechend ökonomische Abschreibung zu bestimmen. Es würde sich dabei zeigen, dass wegen der dem Annuitätsansatz zu Grunde liegenden Konzeption die Abschreibungs- und die Zinsbeträge von Periode zu Periode in einem konstanten Verhältnis zueinander stehen.

Generell betrachten wir den Ausweis von Abschreibungen und Zinsen, entweder als getrennte Größen oder als in einer Zahl zusammengeführt, als eine Wahl bezüglich der Darstellungsform und nicht als eine Wahl zwischen konzeptionellen Ansätzen. Wie erwähnt, werden in dem für die RTR zu entwickelnde Modell beide Optionen implementiert. Welche Konzeption bei der Bestimmung von Abschreibungen und Zinsen implementiert werden soll, wird Entscheidung der RTR sein.

### 5.3.3 Opex

Dieser Typ von Kosten wird in BU-Kostenmodellen in der Regel nicht in Abhängigkeit von den sie verursachenden Aktivitäten modelliert, weil die dazu benötigten Informationen nicht vorliegen. Es ist deshalb üblich, Opex in der Form von Prozentaufschlägen auf die Investitionswerte der Anlagen zu bestimmen. Für die Bestimmung dieser Prozentaufschläge kann auf vorliegende Erfahrungswerte aus anderen Projekten des WIK zurück gegriffen werden. In diesem Projekt erwarten wir jedoch, dass Informationen aus den Rechenwerken der Festnetzunternehmen in Österreich zur Verfügung stehen werden, aus denen spezifische Werte für die Prozentaufschläge für die verschiedenen Anlagentypen abgeleitet werden können, sowie Informationen der Hersteller.

Opex wird somit in den zu erstellenden BU-Modellen entsprechend folgender Gleichung ermittelt:

$$O_i = ocf_i I_i$$

wobei

$O_i$  = Opex für den Anlagentyp  $i$ ,

$I_i$  = Gesamte Investition in den Anlagentyp  $i$ ,

$ocf_i$  = Faktor, der Opex als Anteil am Investitionswert des Anlagentyps  $i$  bestimmt, und

$i$  = Index über alle Anlagentypen.

Wir unterstellen eine Technologieabhängigkeit der OPEX und sehen daher eine entsprechende Differenzierung der Inputparameter vor.

<i>Kommentaraufforderung 5-1:</i>	Wir bitten um Einschätzung, ob zum derzeitigen Zeitpunkt belastbare technologiedifferenzierte Zuschlagfaktoren erhoben werden können.
Antworten:	Die antwortenden Betreiber argumentieren grundsätzlich "pro" differenzierte Zuschlagsfaktoren, weisen jedoch auf die Schwierigkeiten bei deren Ermittlung hin.
WIK-Consult:	<b>Keine Änderung im Modellkonzept erforderlich.</b>

### 5.3.4 Gemeinkosten

Dieser Typ von Kosten wird in BU-Kostenmodellen in der Regel nicht in Abhängigkeit von Aktivitäten im Bereich von Geschäftsführung und Verwaltung modelliert, weil die dazu benötigten Informationen nicht vorliegen. Ein üblicher Ansatz ist es, auf die Kosten, die unmittelbar durch die Bereitstellung der Dienste entstehen und durch das Modell ermittelt worden sind, einen Betrag aufzuschlagen, der auf Basis von Erfahrungswerten bestimmt wird. So ist in Modellen, die wir in der Vergangenheit entwickelt und zur Anwendung gebracht haben, vorgegangen worden.

Anstelle von Erfahrungswerten können, falls zugreifbar, Informationen aus den Rechenwerken der in Österreich aktiven Netzbetreiber benutzt werden, um den Gemeinkostenaufschlag zu bestimmen. Die Vorgehensweise würde sein, für Betreiber verschiedener Größen oder Marktanteile aus deren Kostenrechenwerken den Betrag an Gemeinkosten zu ermitteln und zu den Kosten ins Verhältnis zu setzen, die in diesen Rechenwerken für Netzkosten ausgewiesen sind. Auf diese Weise würde man einen Wert erhalten, der als Aufschlag auf die unmittelbaren Kosten der Dienste herangezogen werden könnte.

Wenn beim Pure LRIC-Ansatz auf Erfahrungswerte relativ zu den Netzkosten zurückgegriffen wird, sollte als Betrag für Gemeinkosten derjenige herangezogen werden, der für den

LRAIC-Ansatz bestimmt worden ist. Dies ist der Betrag, der in diesem Fall als der relevante, relativ zu den tatsächlich bereitgestellten Leistungen des Betreibers angesehen werden kann. Wenn dieser Gemeinkostenbetrag im Pure LRIC-Ansatz auf die Dienste außer Terminierung verteilt wird, werden die Kosten pro Einheit eines jeden dieser Dienste, insbesondere von Originierung im Festnetzmodell, höher sein als im LRAIC-Ansatz.

### 5.3.5 Bestimmung der Gesamtkosten und Kosten für einen Dienst

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

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 berechnet worden sind. Es werden dann Informationen genutzt, die während der Netzplanung in Bezug auf den jeweiligen Grad der Inanspruchnahme der verschiedenen Anlagen durch die verschiedenen Dienste eingesetzt bzw. zum Teil durch diesen Prozess 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 Anteile der Kosten eines jeden Anlagentyps, die den verschiedenen Diensten zuzuordnen sind. Durch Aufaddieren der Kostenanteile eines Dienstes über alle Anlagentypen und durch Dividieren mit dem Volumen dieses Dienstes erhält man die Kosten pro Einheit. Dies gilt insbesondere auch für die Kosten pro Minute für Originierung im Core-Festnetzmodell.

Im Pure LRIC-Ansatz wird bei der Bestimmung der Kosten von Terminierung von den Gesamtkosten ausgegangen, die durch Aufsummierung von annualisierten Capex und von Opex über alle Anlagen entstehen. Diese Gesamtkosten müssen zweimal bestimmt werden, einmal mit und einmal ohne Bereitstellung von Terminierung. Die Differenz zwischen diesen beiden Gesamtkosten sind dann die Kosten dieses Dienstes; die Kosten pro Minute ergeben sich, wenn diese Differenz durch das Volumen an Terminierung dividiert wird.

Bei der Bestimmung der Kosten pro Einheit der anderen Dienste im Pure LRIC-Ansatz, was wieder insbesondere Originierung im Core-Festnetzmodell betrifft, wird wie folgt vorgegangen. Es wird die Summe der Capex und Opex bei Bereitstellung ohne Terminierung um den Gemeinkostenbetrag erhöht, der bei der Bereitstellung aller Dienste anfällt (bezüglich seiner Bestimmung siehe den vorangegangenen Abschnitt) und dann mittels der Routing-Faktoren, die diejenigen für Terminierung nicht enthalten, auf die Dienste verteilt.

## **6 Skizzierung der softwaretechnischen Implementierung**

Die softwaretechnische Umsetzung des Netzplanungsmoduls (Algorithmen für das Netzdesign) erfolgt in einer höheren Programmiersprache (C++) und wird auf Basis des Microsoft Visual Net Konzepts kompiliert. Die Umsetzung des Kostenmoduls erfolgt auf Basis von Excel. Aufgrund des Datenumfangs soll die Systemzuweisung des Kostenmoduls noch in den Algorithmen auf Basis von C++ vollzogen werden und lediglich die Bewertung in Excel erfolgen.

Sowohl für das Netzplanungs- als auch das Kostenmodul wird Excel die Anwendungsoberfläche für den Modellanwender bilden.

## Literaturverzeichnis

- [Begain-09]: K. Al-Begain, Ch. Balakrishna, L.A. Galindo, D. Moro:, IMS: A Development an Deployment Perspective, John Wiley and Sons, 2009
- [Black-02]: Uyless Black, MPLS and Label Switching Networks, Prentice Hall 2002
- [Caballero-05]: J. M. Caballero QoS in Metro Ethernet Provision white paper Trendscomms July 2005 Next Generation, [http://www.techonline.com/electronics\\_directory/techpaper/193102978](http://www.techonline.com/electronics_directory/techpaper/193102978)
- [cienna-08]: ROADM in Network Architectures, 2008, [www.cienna.com](http://www.cienna.com)
- [Ericsson-07] Introduction to IMS, White paper
- [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)
- [Europäische 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](http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/doc/library/public_consult/termination_rates/explanatory.pdf).
- [Fielder-10] M. Fielder, , H. Hlavacs, K. Hackbarth, P. Arlos Quality of Experience Metrics and performance evaluation, annals of telecommunications Vol 65 n° ½ 2010
- [Garcia-10] A. García, L. Rodríguez de Lope, K. Hackbarth, Application of Cost Models over Traffic Dimensioning with QoS Restrictions, forthcoming in Annal de Telecommunication, Special Issue on Quality of Experience and Socio-Economic Issues of Network-Based Services Vol. 65 n° ¾ March/April 2010
- [Hackbarth-06]: K. Hackbarth, G. Kulenkampff, Technische Aspekte der Zusammenschaltung in IP-basierten Netzen unter besonderer Berücksichtigung von VoIP, Studie für die Bundetznetzagentur, July 2006
- [Jay-10]: S. Jay. T. Plückebaum, D.Ilic, Der Einfluss von Next Generation Access auf die Kosten der Sprachterminierung , WIK Diskussionbeitrag 335 , [http://www.wik.org/uploads/media/Diskus\\_335.pdf](http://www.wik.org/uploads/media/Diskus_335.pdf)
- [Jenkins-06]: D. W. Jenkins, D.A. Scholtens, Metro WDM Design & Evolution, Tellabs white paper, 2006, <http://www.tellabs.com/resources/papers/tlabmetrowdm.pdf>
- [Mannie-04]: E. Mannie, Ed. Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture Request for Comments: 3945 October 2004, <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3945.txt>
- [Marcus-10]: J. S. Marcus, Comcast vs FCC: Rough water ahead for the US FCC?, in WIK Newsletter Nr. 79, Juni 2010, S. 20-21
- [Palm-04]: ITU- xDSL Standards, ITU Workshop, All Star Network Access, Geneva 2004, [http://www.itu.int/ITU-T/worksem/asna/presentations/Session\\_6/asna\\_0604\\_s6\\_p4\\_palm.pdf](http://www.itu.int/ITU-T/worksem/asna/presentations/Session_6/asna_0604_s6_p4_palm.pdf)
- [Rendon-09] J. Rendon, T. Plückebaum, S. Jay, LRIC cost approaches for differentiated QoS in broadband networks, WIK-Diskussionsbeitrag Nr.325 Bad Honnef Nov. 2009
- [RTR-2010] Bescheid M 3/09-103 der Telekom-Control-Kommission vom 06.09.2010.

- [Schröder-05]: J. Schröder, M. Götzer, R. Müller, Resource management in next generation networks, AEÜ Nr. 60 2006 Elsevier
- [Shaikh-10]: J. Shaikh, M. Fielder, D. Collange, Quality of Experience from user and network perspective, annals of telecommunications Vol 65 n° ½ 2010
- [Shukla-07]: V. Shukla et. All, Next Generation Optical Network- Enabling Dynamic Bandwidth Services, Proc. of the National Fiber Optic Engineers Conference (NFOEC), Anaheim, CA, March 25, 2007, <http://www.opticsinfobase.org/abstract.cfm?URI=NFOEC-2007-NWB3>
- [Siegmond-02]: G. Siegmond, Technik der Netze, Hüttig Verlag Heidelberg 5<sup>o</sup> Auflage 2002
- [WIK-98]: Analytisches Kostenmodell für das Ortsnetz, Referenzdokument <http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/83630/publicationFile/2477/EinanalytischesKostenmodellId259pdf.pdf>, 4. März 1998
- [WIK-00]: Analytisches Kostenmodell Nationales Verbindungsnetz, Referenzdokument 2.0, <http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/14338/publicationFile/859/AnalytischesKostenmodellId270pdf.pdf>, 30. Juni 2000
- [WIK-05]: Analytisches Kostenmodell für ein Breitbandnetz, Referenzdokument 2005, [http://www.bundesnetzagentur.de/cln\\_1931/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Regulierung/Telekommunikation/AnalytischeKostenmodelle/Dokumente\\_Basepage.html?nn=69052#doc83628bodyText5](http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1931/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Regulierung/Telekommunikation/AnalytischeKostenmodelle/Dokumente_Basepage.html?nn=69052#doc83628bodyText5)
- [WIK-07]: WIK Fachtagung „Network Neutrality: Implications for Europe“, Bonn, 3./4. Dezember 2007 (Zusammenfassung und Präsentationsfolien auf [www.wik.org](http://www.wik.org))

## Anhang 1

Der in diesem Dokument vorgestellte Modellierungsansatz hat generischen Charakter. Damit soll eine Robustheit des Modells gegenüber technischen Veränderungen sichergestellt und somit das Modell zukunftssicher gestaltet werden.

Diese Vorgehensweise hat jedoch den Nachteil, dass die Modellbeschreibungen an vielen Stellen abstrakt bleiben.

In dem vorliegenden Anhang wird nun konkretisiert, welche technischen Realisierungsformen für erste Modellanwendungen ausgeprägt werden sollen. Dabei handelt es sich um Realisierungsformen, die wir – vor dem Hintergrund des (Pure) LRIC Ansatzes – gegenwärtig als sinnvoll erachten und für die marktfähige Einrichtungen existieren (bzw. in naher Zukunft erwartet werden).

In der nachfolgenden Tabelle sind für das Konzentrationsnetz 5 (#1 bis #5) und für das Kernnetz 4 (#6 bis #9) verschiedene Realisierungsformen anhand der Protokoll-Stacks dargestellt sowie die zugehörige logische Netzstruktur als auch die physikalische Topologie benannt.

Sämtliche Varianten für das Konzentrationsnetz sehen den Einsatz von Ethernet (in verschiedenen Kombinationen mit anderen Protokollschichten) vor, jedoch kein IP. Umgekehrt gilt dies für das Kernnetz, welches über alle Varianten IP-basiert ist. Diese Herangehensweise wurde im Zuge der Konsultation von den Marktteilnehmern gestützt, die die Anwendung von IP im Kernnetz uneingeschränkt bestätigt haben.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt halten wir einen Einsatz von IP im Konzentrationsnetz nicht für sinnvoll, da

- die höheren Kosten von IP-Routern im Vergleich zu Ethernet-Switches nennenswert sind,
- die Verkehre im Wesentlich hierarchisch zum Kernnetz geführt werden, da erst dort hinreichende economies of scale realisiert werden können (mit anderen Worten: eine Verkehrslenkung – oder auch MPLS basierte Verkehrsführung – innerhalb der Konzentrationsnetz-Cluster ist ökonomisch nicht sinnvoll).

Wir gehen davon aus, dass der Modellierungsrahmen von jeweils maximal 3 Netzebenen im Konzentrations- und Kernnetz genügend Spielraum bietet, IP-Einrichtungen auch teilnehmernah zu modellieren.

Tabelle A1- 1: Implementierte Varianten der Realisierung des logischen und physikalischen Netzes

Schicht/Layer	Name	Konzentrationsnetz						Kernnetz			
		#1	#2	#3	#4	#5		#6	#7	#8	#9
3	IP							IP	IP	IP	IP
2-3	Shim	BFD FRR	MPLS-TP					MPLS-TE FRR	MPLS-TP	MPLS	MPLS
2	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet					
1a	eph1			NG-SDH		OTN				OTN	
1b	oph1	(DWDM)	(DWDM)		DWDM	OTN		(DWDM)	(DWDM)	OTN	DWDM
0a	Faser/ Kabel	Fibre	Fibre	Fibre	Fibre	Fibre		Fibre	Fibre	Fibre	Fibre
0b	Leerrohr/Graben										
Netzstruktur (logisches Netz)		Ring	Ring	Stern/ Doppelstern	Stern/ Doppelstern	Stern/ Doppelstern	obere Ebene	vermascht/ Ring	vermascht/ Ring	vermascht/ Ring	vermascht/ Ring
		Ring	Ring	Stern/ Doppelstern	Stern/ Doppelstern	Stern/ Doppelstern	mittlere an obere Ebene	hierarchisch vermascht	hierarchisch vermascht	hierarchisch vermascht	hierarchisch vermascht
		Ring	Ring	Stern/ Doppelstern	Stern/ Doppelstern	Stern/ Doppelstern	untere an mittlere Ebene	Ring	Ring	Stern/Doppel- anbindung	Stern/Doppel- anbindung
Topologie (physik. Netz)		Ring	Ring	Ring	Ring	Ring	obere Ebene	Multi-Ring- Topologien	Multi-Ring- Topologien	Multi-Ring- Topologien	Multi-Ring- Topologien
		Ring	Ring	Ring	Ring	Ring	mittlere an obere Ebene	Multi-Ring- Topologien	Multi-Ring- Topologien	Multi-Ring- Topologien	Multi-Ring- Topologien
		Ring, ggf. Baum	Ring, ggf. Baum	Ring, ggf. Baum	Ring, ggf. Baum	Ring, ggf. Baum	untere an mittlere Ebene	Multi-Ring- Topologien	Multi-Ring- Topologien	Multi-Ring- Topologien	Multi-Ring- Topologien

## Anhang 2: Kostentreiber

Tabelle A2- 1: Kostentreiber Layer 2/3

Einrichtung	Kostentreiber
Ports	Bandbreite (BW) / Richtungen
Schnittstellenkarten	Bandbreite (BW) / Ports
(PIU) Aggregation Switch	Bandbreite (BW) / Steckplätze <sup>93</sup>
(PIU) Edge Router	Bandbreite (BW) / Steckplätze
(PIU) Core Router	Bandbreite (BW) / Steckplätze
Rack	Plug In Units (PIU) / Höheneinheiten (HE)

Tabelle A2 1: Kostentreiber Layer 1

Einrichtung	Kostentreiber
Ports	Bandbreite (BW) / Richtungen
Schnittstellenkarten	Bandbreite (BW) / Ports
(PIU) (O)ADM	Ringkapazität / Steckplätze
(PIU) ROADM	Ringkapazität / Steckplätze
(PIU) OXC	(Kantengrad) / Kantenkapazität (BW) / Steckplätze
(PIU) CWDM	Ringkapazität / Steckplätze
(PIU) DWDM	Ringkapazität / Steckplätze
Rack	Plug In Units (PIU) / Höheneinheiten (HE)
Regenerator	Kantenlänge / Technologie / Glasfasern

Tabelle A2 2: Kostentreiber Layer 0

Einrichtung	Kostentreiber
Kabel	km (Distanz)
Gräben	km (Distanz)
Leerrohre	km (Distanz)

---

<sup>93</sup> für Schnittstellenkarten

Tabelle A2 3: Kostentreiber Kontrollschicht:

<b>Funktionseinheit</b>	<b>Standort</b>	<b>Kostentreiber</b>
Softswitch für Dienste innerhalb des Bezirks	begrenzte Anzahl an Kernnetzstandorten (Input Parameter je Netzebene und Anzahl Standorte)	BH Verbindungswünsche
Media Gateway	An allen Kernnetzstandorten, an denen IC mit Netzen veralteter Systeme (PSTN/ISDN, PLMN) angeboten wird	BH-Verkehr und entstehende Anzahl von E1 Gruppen
BRAS	begrenzte Anzahl an Kernnetzstandorten (Input Parameter je Netzebene und Anzahl Standorte)	BH Breitbandsitzungswünsche
IP Gateway	An allen Standorten, an denen Interconnection zu IP-Netzwerken angeboten wird	BH IP Paketstrom, BH Bandbreitenbedarf
DNS server	An einem oder zwei Kernnetzstandorten	BH Verbindungswünsche
Session Border Controller (SBC)	begrenzte Anzahl an Kernnetzstandorten (Input Parameter je Netzebene und Anzahl Standorte)	BH Verbindungswünsche (IC-calls)
Mediagateway Controller	begrenzte Anzahl an Kernnetzstandorten (Input Parameter je Netzebene und Anzahl Standorte)	BH Verbindungswünsche (IC-calls)