

Berechnung der Kosten
von Mietleitungen
Analytisches Kostenmodell
für das Breitbandnetz
**– Anlage 3 zum Referenzdokument
Version 2.3 –**

Autoren:

Klaus Hackbarth
Gabriele Kulenkampff
Wolfgang Kiesewetter
Thomas Plückebaum
Desislava Sabeva
Jennifer Silio Mantilla
Konrad Zoz

WIK-Consult GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef

Bad Honnef, 15. August 2016

Die Modellerweiterung zur Berechnung der Kosten von Mietleitungen war ursprünglich als Anhang 10 zum Referenzdokument „Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz“ zur Version 2.1.2 am 7. Mai 2014 veröffentlicht worden. Die Anlage 3 zum Hauptdokument Version 2.2 ist das Ergebnis des Konsultationsprozesses und der erfolgten Auswertung der Stellungnahmen zur Einführung der Mietleitungsberechnung in das Kostenmodell. Die Version 2.3 enthält dem gegenüber keine Änderungen.

In der nun vorliegenden Fassung des Hauptdokuments (Referenzdokument Version 2.3) sind die dienstespezifischen Kostenberechnungen für Sprachzusammenschaltung, Bitstromzugang und Mietleitungen in den Anlagen 1 bis 3 dokumentiert. Das Hauptdokument Version 2.3 des Referenzdokuments wurde gegenüber der Vorversion vom 07. Mai 2014 ausschließlich durch die Ausgliederung der Kostenermittlung für Sprachzusammenschaltung in die Anlage 1 angepasst, so dass das Hauptdokument nun auf die Bestimmung der Transportkosten fokussiert. Der Modellierungsansatz sowie alle anderen Teile des Hauptdokuments sind von der Modellerweiterung unberührt. Die Version 2.3 des Hauptteils des Referenzdokuments enthält die Beschreibung der Umsetzung der BNG Architektur.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Vorbemerkung	1
2 Gegenstand der Kostenmodellierung von Mietleitungen	2
3 Methodische Vorgehensweise	4
3.1 Bottom-up Modellierung	4
3.2 Tarifstruktur, Kostenzurechnung und Total-Element-Ansatz	5
4 Mietleitungen im Breitbandkostenmodell	6
4.1 Generelle Modellierung im Breitbandkostenmodell	6
4.2 Mietleitungsspezifische Modellierung	11
5 Nachfrage und Ausgestaltung der Datenbasis für die Modellierung	15
5.1 Typen und Leistungsmerkmale	15
5.2 Datenbasis für die Modellierung	18
6 Modellierung der Verbindungsnachfragen im NGN	20
6.1 Layer 1 – Modellierung der mietleitungsinkrementellen Netzelemente	22
6.1.1 Netzebene 0 – Anschluss und Aggregation	22
6.1.2 Realisierung der spezifischen Verbindungsnachfrage im Transportnetz im Konzentrationsnetz mit DWDM	25
6.1.3 Realisierung der spezifischen Verbindungsnachfrage im Transportnetz im Kernnetz mit OTN	27
6.1.4 Modellierung der standortinternen Layer 1 Verbindungsnachfrage	29
6.2 Layer 2 – Modellierung der mietleitungsinkrementellen Netzelemente	39
6.2.1 Separierung von standortübergreifendem und internem Verkehr	39
6.2.2 Qualitätsparameter	39
6.2.3 Netzebene 0 – Anschluss und Aggregation	43
6.2.4 Realisierung der spezifischen Layer 2 Verbindungsnachfrage im Konzentrationsnetz	46
6.2.5 Realisierung der spezifischen Layer 2 Verbindungsnachfrage im Kernnetz	47
6.2.6 Modellierung der standortinternen Layer 2 Verbindungsnachfrage	48
6.3 Layer 0 Integration der Verbindungsnachfrage inkl. Mietleitungen	51

7 Anschlusssegment – Glasfaser	54
7.1 Abschätzung der durchschnittlichen Trasseninvestitionen je Anschluss	54
7.2 Abschätzung der glasfaserspezifischen Investitionen	55
7.2.1 Pro Meter bemessene Investitionen	55
7.2.2 Pro Leitungsende bemessene Investitionen	56
8 Netzelement orientierte Bestimmung der Tarifkomponenten	58
8.1 Tarifbestandteile regulierter Mietleitungen	58
8.2 Tarifbestandteile und Zuordnung der netzelementbezogenen Kosten	61
8.2.1 Anschlusslinie	62
8.2.2 Verbindungslinie	63
8.2.3 Standortinterne Verbindungen – Ortsnetzverbindungen „ohne Verbindungslinie“	71
9 Berechnung der Kosten	73
9.1 Berechnung des jährlichen Capex	73
9.2 Berechnung der OPEX und indirekten Investitionen – Betriebskosten und der Mietkosten	73
10 Softwareimplementierung und -prüfung	75
11 Abschließende Bemerkungen	77
12 Literatur	78
1 Anhang: Angebotene Mietleitungen (CFV) der Deutschen Telekom	81
2 Anhang: Flussdiagramme zur Kostenberechnung	85
3 Anhang: Eingangsparameter des Mietleitungsmoduls	90
3.1 A Eingangsparameter Anschlusssegment:	90
3.2 A Inputfile Nachfrage für Layer 1 und Layer 2	91
3.3 A Anschluss, Aggregation und Transport im NGN Layer 1	94
3.4 A Anschluss, Aggregation und Transport im NGN Layer 2	95
3.5 A Eingangsparameter für OPEX und indirekte Investitionen (Betriebs- und Mietkosten)	95
3.6 A Abschreibungsdauern	100

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1:	Kapazitätsnachfrage auf Layer 1 und abgeleitete Kapazitätsnachfrage aus Layer 2 und Layer 3	7
Abbildung 4-2:	Layer 1 Integration der spezifischen Layer 1 Kapazitätsnachfragen (mit DWDM im Konzentrationsnetz)	9
Abbildung 4-3:	Layer 2 Integration der spezifischen Layer 2 Kapazitätsnachfragen	10
Abbildung 4-4:	Realisierungsformen von Ethernet Mietleitungen	13
Abbildung 4-5:	Realisierungsformen von SDH-Mietleitungen	14
Abbildung 6-1:	Kaskadierung der Anschlussnachfrage	24
Abbildung 6-2:	Layer 1 Integration optisch (DWDM) – Netzebene 0-2	26
Abbildung 6-3:	Steuerung der Verbindungsnachfragen im DXC	27
Abbildung 6-4:	OTN Level 5 Standort	29
Abbildung 6-5:	Fall 1: Integrierte E1 Realisierung für geringe Anzahl interner Verbindungsnachfragen	33
Abbildung 6-6:	Geringe Mengen STM-4 und größer	35
Abbildung 6-7:	Fall 3: Größere Mengen von kleinen und mittleren Größen einer standortinternen Verbindungsnachfrage (E1, E3, STM-1)	36
Abbildung 6-8:	Fall 3: Größere Mengen von großen standortinternen Verbindungen (STM-4 und größer)	38
Abbildung 6-9:	Anschluss und Aggregation von Layer 2 Kapazitätsnachfragen	45
Abbildung 6-10:	Steuerung der Ethernet Mietleitungen durch hierarchisch übergeordneten BNG des Breitbandnetzes	47
Abbildung 6-11:	Standortinterne Verbindungsnachfragen Layer 2 von SE bis zu GE	50
Abbildung 6-12:	Standortinterne Verbindungsnachfragen Layer 2 von mehr als 1GE	51
Abbildung 6-13:	Layer 0 Integration der spezifischen Layer 1 und 2 Verbindungsnachfragen	52
Abbildung 6-14:	Beilauf-Bestimmung auf Layer 0	52
Abbildung 8-1:	Wertschöpfungsbezogene Betrachtung der Tarifstruktur	60
Abbildung 8-2:	Tarifierung von Verbindungslinien-Typen	61
Abbildung 8-3:	Kapazitätstypbezogene Tarifierung der Anschlusslinie (hier am Beispiel „E1“)	63
Abbildung 8-4:	Kostenzurechnung anschließendes und aggregierendes Equipment am MPoP am Beispiel von SDH	64

Abbildung 8-5:	Tarifbezogene Projektion der Mietleitungsnachfrage auf die modellendogen bestimmte Netzhierarchie	66
Abbildung 8-6:	Ableitung der Routingfaktoren – differenziert nach Kapazität und Tariftyp	67
Abbildung 8-7:	Entscheidungsbaum für die Tarifuordnung	68
Abbildung 8-8:	Separierung der Transportkosten in pauschal tarifizierte (ortsnetzinterne) sowie entfernungsabhängige (pro km)	69
Abbildung 8-9:	Verbindungslinienbezogene Kosten im selben Ortsnetz, differenziert nach Kapazitätstypen und räumlicher Zuordnung	70
Abbildung 8-10:	Verbindungslinienbezogene Kosten in unterschiedlichen Ortsnetzen, differenziert nach Kapazitätstypen und Verbindungstypen	71
Abbildung 10-1:	V-Modell als methodische Grundlage	76
Abbildung A 2-1:	Multiplexer (MUX/DMUX)	85
Abbildung A 2-2:	PIU Shares	86
Abbildung A 2-3:	Digital Cross Connector – ports (DXC ports)	87
Abbildung A 2-4:	Optisches Transportnetz – optical line termination (OLT-LT)	88
Abbildung A 2-5:	Ethernet Switch Layer 2 (ESW Layer 2)	89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1:	Transformation vermarkteter Schnittstellen in systembezogene Schnittstellen	16
Tabelle 5-2:	Transformation von SE und FE Schnittstellen auf SDH	17
Tabelle 5-3:	Struktur der anzugebenden Verbindungsmatrix differenziert nach Layer 1 und Layer 2 Kapazitätsnachfragen	19
Tabelle 5-4:	MPoP bezogene Verbindungsnachfrage	19
Tabelle 6-1:	Layer 1 Konstellationen für die Modellparametrisierung Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Tabelle 6-2:	Kategorisierung der standortinternen Verbindungsnachfrage (Layer 1)	31
Tabelle 6-3:	Fallunterscheidung bei der Systemzuweisung	32
Tabelle 6-4:	Fall 1 – Systemzuweisung bzw. Kostenbestimmung	34
Tabelle 6-5:	Fall 2 – Systemzuweisung bzw. Kostenbestimmung	36
Tabelle 6-6:	Fall 3 – Systemzuweisung bzw. Kostenbestimmung für kleine und mittlere Bandbreiten	37
Tabelle 6-7:	Fall 3 – Systemzuweisung bzw. Kostenbestimmung für große Bandbreiten	38
Tabelle 6-8:	Kategorisierung der standortinternen Verbindungsnachfrage (Layer 2)	49
Tabelle 8-1:	Tarifbestandteile zur Bereitstellung und Überlassung von Carrier-Festverbindungen der Telekom Deutschland (hier: SDH)	59
Tabelle 8-2:	Für Projektion erforderliche Datenbasis	66
Tabelle A 1-1:	Angebotene CFV Mietleitungen der Deutschen Telekom	81
Tabelle A 1-2:	Angebotene SDH CFV Mietleitungen von der Deutschen Telekom übersetzt in die Modell-Nomenklatur	82
Tabelle A 1-3:	Angebotene Ethernet CFV Mietleitungen von der Deutschen Telekom übersetzt in die Modell-Nomenklatur	83
Tabelle A 1-4:	Angebotene Premium CFV Mietleitungen von der Deutschen Telekom übersetzt in die Modell-Nomenklatur	84

Abkürzungsverzeichnis

ADM	Add Drop Multiplexer
BH	Busy Hour
BNetzA	Bundesnetzagentur
BNG	Broadband Network Gateway
CAPEX	Capital Expenditure
CC	Cross Connector
CFV	Carrier-Festverbindung
CPE	Customer Premises Equipment
CuDA	Kupfer Doppelader
DCN	Data Control Network
D.h.	Das heisst
DLL	Digital Leased Line
DMUX	Digitaler Multiplexer
DS3	Amerikanischer Standard für E3
DTAG	Deutsche Telekom Aktien Gesellschaft
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplex
DXC	Digitaler Cross Connector
FE	Fast Ethernet
FICON	Fibre Connectivity Schnittstelle
GB	Gigabyte
Gbps	Gigabit per second
GE	Gigabit Ethernet
Ggf.	Gegebenenfalls
Hk	Hauptkabel
HLS	High Level Specification
HPS	High Performance Solution
HVt	Hauptverteiler
IC	Interconnection
ID	Identifikationsnummer
I.d.R.	In der Regel
IP	Internet Protocol
IZF	Investitions Zuschlags Faktor
kbits	Kilobit per second
KKA	Kabel Kanal Anlage

Km	Kilometer
KVz	Kabelverzweiger
m.a.W.	mit anderen Worten
Mbps	Megabit per second
MFG	Multifunktionsgehäuse
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MPLS-TP	Multiprotocol Label Switching Transport Profile
MPoP	Metropolitan Point of Presence
MUF	Mark-up Faktor
MUX	Multiplexer
NGN	Next Generation Network
NG-SDH	Next Generation SDH
OADM	Optical Add-Drop-Multiplexer
OLT	Optical Line Terminal
ONKZ	Ortsnetzkennziffer
OPEX	Operational Expenditure
OTM	Optische Transportnetz Schnittstelle / Optical Transport Network Module
OTN	Optisches Transportnetz / Optical Transport Network
OXC	optischer Cross Connector
P2P	Peer to Peer
PIU	Plug in Unit
PMX	Primär Multiplex
R	Regenerator
RF	Routingfaktor
ROADM	Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SE	Standard Ethernet
SFV	Standard-Festverbindung
STM	Synchrones Transportmodul
TAL	Teilnehmeranschlussleitung
U.a.	Unter anderem
vgl.	vergleiche
Vzk	Verzweigerkabel
WIK	Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur- und Kommunikationsdienste
z.B.	zum Beispiel

1 Vorbemerkung

Das Analytische Kostenmodell für das Breitbandnetz vom 19.05.2010 wurde initial zur Bestimmung der Kosten für Sprachzusammenschaltung erstellt. Da das Breitbandnetz im Sinne des NGN ein diensteintegrierendes Netz darstellt und entsprechend für die Modellierung ein Total Element-Ansatz gewählt wurde, fanden Mietleitungen und sonstige Kapazitätsnachfragen bei der Netzdimensionierung der gemeinsam mit Sprache genutzten Netzelemente bereits Berücksichtigung. Letztlich ist es mit Hilfe des bestehenden NGN-Modells möglich, die Transportkosten im NGN je kbps zu bestimmen.

Am 7. Mai 2014 wurde die Modellerweiterung „Kosten von Mietleitungen“ in Form des Anhangs 10 dem Markt zur Konsultation vorgelegt.¹ Auf Basis der eingegangenen Kommentare wurden methodischer Ansatz und Darstellung bearbeitet bzw. angepasst. Einzelheiten zu der Auswertung der Stellungnahmen sind in einem separaten Dokument festgehalten und veröffentlicht.² Die nun vorliegende „Anlage 3 Berechnung der Kosten von Mietleitungen“ ist Ergebnis des Konsultationsprozesses und beinhaltet die vollzogenen Anpassungen.

Das Hauptdokument in der Version 2.2³ ist auf die Bestimmung der Transportkosten beschränkt, welche für sämtliche Dienste, also auch Mietleitungen, eine zentrale Vorleistung darstellt. Die Version 2.3 des Hauptteils des Referenzdokuments enthält die Beschreibung der Umsetzung der BNG Architektur. Die hier vorliegende Version 2.3 der Anlage 3 enthält die entsprechenden Anpassungen der dienstespezifischen Modellteile für die Bestimmung der Kosten für Mietleitungen.

1 [WIK-14c]

2 [WIK-14d]

3 [WIK-14e]

2 Gegenstand der Kostenmodellierung von Mietleitungen

Bei den Mietleitungen kann generell zwischen Carrier-Festverbindungen und Endkunden-Mietleitungen unterschieden werden. Nachfolgend werden beide Typen unter dem Begriff „Mietleitungen“ zusammengefasst. Wertschöpfungsbezogen ist mit ihnen die Bereitstellung einer reservierten Kapazität⁴ von einem Standort A zu einem Standort B verbunden. Bei Endkunden-Mietleitungen beinhaltet die Verbindung dabei an beiden Enden ein Netzsegment im Anschlussnetz (Anschlusssegment⁵) sowie einen Verbindungsnetzabschnitt zwischen den beiden HVt-Standorten von A und B. Bei einer Carrier-Festverbindung kann zumindest an einem Ende der Anschlussnetzabschnitt entfallen (z.B. bei Kollokation im HVt/ MPoP). Für die Kosten von Mietleitungen sind somit sowohl Kosten des Anschlussnetzes als auch des Verbindungsnetzes – hier des Breitbandnetzes – Gegenstand der Kostenbestimmung. Mietleitungen unterscheiden sich ferner

- nach der Kapazität ihrer Schnittstellen,
- der Entfernung, die zwischen den beiden Abschlusspunkten A und B überbrückt wird sowie
- der vom Netzbetreiber zugesagten Verfügbarkeit.

Das NGN Modell beinhaltet keine Modellierung des Anschlussnetzes. Es umfasst das Konzentrationsnetz und das IP-Kernnetz und endet am MPoP, als Standort der untersten Netzebene im Konzentrationsnetz. Das Anschluss- und Verbindungsnetz weisen unterschiedliche Kostentreiber auf, die eine Separierung der Kostenberechnung in verschiedenen Modellen nahegelegt haben. An dieser Separierung soll auch mit dem hier vorgestellten Modellierungsansatz festgehalten werden und die Kosten für die Anschlussleitung sollen exogen aus Ergebnissen der Kostenmodellierung für das Anschlussnetz ermittelt und als Input in das NGN-Mietleitungsmodul eingepflegt werden.

Neben der netzsegmentbezogenen Betrachtung von Mietleitungen wird im Modell nach der transportbezogenen Realisierung der Mietleitungen differenziert. Dabei wird zwischen einer Layer 1- und einer Layer 2-realisierten Mietleitung unterschieden.

Dem Breitbandkostenmodell Version 2.3⁶ liegt auf allen Netzebenen ein Layer 1 basiertes Transportnetz zu Grunde. Dabei können im Konzentrationsnetz DWDM sowie im Kernnetz OTN als Layer 1 Technologie angenommen werden. Die Angemessenheit der

⁴ Im Fall von SDH Verbindungen wird auch von einer „garantierten“ Kapazität gesprochen, da auf Basis dieser Technik feste Zeitfenster den Verbindungen zugewiesen werden.

⁵ Mit dem Anschlusssegment wird der Netzabschnitt mit der passiven Linientechnik beschrieben.

⁶ Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Referenzdokument Version 2.3, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 15. August 2016, Kapitel 5.

Annahme eines Layer 1 basierten Transportnetzes wurde im Zuge der Konsultation vom Markt bestätigt.⁷

⁷ [WIK-14d], Kommentaraufforderung 2-1.

3 Methodische Vorgehensweise

3.1 Bottom-up Modellierung

Die Kostenmodellierung von Mietleitungen im NGN ist als bottom-up Modellierung zu charakterisieren. In Analogie zu dem bestehenden NGN-Modell bildet die Nachfrage an den MPoP die Basis für die Netzdimensionierung. Die Umsetzung erfolgt in einem in C++ programmierten Tool, welches die standortindividuelle Berücksichtigung der Nachfragedaten und deren Aggregation im Netz erlaubt. Lediglich die Modellierung der Kosten des Anschlussnetzes erfolgt im Modell nicht „generisch bottom-up“, da auf Ergebnisse der bottom-up Modellierung des Teilnehmeranschlussnetzes zurückgegriffen wird, die als Basisparameter in das Modell einzustellen sind und lediglich über globale (für das gesamte Anschlussnetz durchschnittliche) Inputparameter für die Glasfaseranschlussleitung adjustiert bzw. erweitert werden.⁸

Aufgrund der ökonomischen Eigenschaften (Größen- und Verbundvorteile) eines diensteintegrierten Netzes wird auch für diese Modellerweiterung ein Total-Element Ansatz angewendet, um sicher zu stellen, dass die relevanten Größenvorteile, die sich aus der gemeinsamen Nutzung von Netzelementen ergeben, Berücksichtigung finden.

Die Eigenschaft der Diensteintegration impliziert letztlich eine Separierung von dienstspezifischen Funktionen bzw. Netzelementen. Auf dieser Grundlage gehen wir davon aus, dass keine Veränderung der bestehenden Modellierung des Breitbandnetzes, welches – neben den sprachspezifischen Netzelementen die gemeinsame Transportplattform zum Inhalt hat – erforderlich ist, da die Mietleitungsnachfrage als aggregierter Verkehr bereits Bestandteil der NGN Modellierung war.

Für die Modellierung von Mietleitungen wird berücksichtigt, dass neben den Endkunden-Mietleitungen oder Carrier-Festverbindungen auch weitere Verbindungen in einem Netz geschaltet sein können, die sich mit den hier gegenständlichen Mietleitungen die Kapazitätsnachfrage-inkrementellen Netzelemente teilen. Die in diesem Dokument gegenständliche Nachfrage für die bottom-up Modellierung umfasst daher sämtliche Kapazitätsnachfragen, von denen Mietleitungen eine Teilmenge darstellen. Diese Modellannahme wurde von den Marktteilnehmern im Konsultationsverfahren bestätigt, so dass die vorgeschlagene Vorgehensweise nicht nur die mögliche, sondern offensichtlich auch die faktisch realisierten Größenvorteile in den Transportnetzen beschreibt.⁹

⁸ Für die Kosten der kupferbasierten Anschlussleitung wird auf die Kostenmodellierung der Teilnehmeranschlussleitung auf Basis des WIK-Modells zurückgegriffen [WIK-00].

⁹ Lediglich ein Unternehmen hatte darauf hingewiesen, dass im Einzelfall auch ein Verzicht auf Layer 1 Integration vorteilhaft sein könne. Dies steht jedoch nicht im Widerspruch zur generellen Vorgehensweis einer Integration.

3.2 Tarifstruktur, Kostenzurechnung und Total-Element-Ansatz

Gegenstand und somit auch Ergebnis der Investitions- und Kostenmodellierung sind die netzelementbezogenen Kosten von Mietleitungen. Unter Rückgriff auf Routingfaktoren für konkrete Mietleitungstypen können dann die jeweiligen Kosten berechnet werden.

Dieser methodische Ansatz erlaubt eine Aggregation von verschiedenen netzelementbezogenen Kosten nach Maßgabe bestehender Tarife für Mietleitungen. Mit anderen Worten: In der Grundstruktur generiert das Modell netzelementbezogene Kosten für die verschiedenen Geschwindigkeitsklassen von Verbindungen. Diese netzelementbezogenen Kosten können dann in verschiedenste Tarifstrukturen überführt werden. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass das Modell robust gegenüber einer Veränderung der derzeit mehrstufigen Mietleitungstarife ist.

Die bestehende Tarifstruktur für die regulierten Vorleistungen spannt den Rahmen für die bei der Kostenmodellierung abzudeckenden Netzelemente auf. Die Zusammenfassung dieser Positionen zu den bestehenden Tarifen ist letztlich der letzte Schritt der Kostenmodellierung, dessen Umsetzung und Anpassung in einem Excel basierten Tool erfolgt. Die Kostenermittlung erfolgt dabei individuell für die verschiedenen Kapazitätsgrößen.

Die bestehende CFV-Tarifstruktur der DTAG setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

1. Anschlusslinie
2. Verbindungslinie
3. Kollokationszuführung

Die weiteren in der Tarifstruktur angelegten Differenzierungen werden im Abschnitt 8.1 aufgegriffen.¹⁰

Nicht Gegenstand der WIK-Modellierung sind die Kosten der Kollokationszuführung (Bereitstellung und Überlassung) sowie die übrigen Bereitstellungsentgelte.

¹⁰ Bereits an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass aufgrund des elementorientierten Ansatzes der Modellierungsansatz auch mit Blick auf etwaige Änderungen der Tarifstruktur angepasst werden kann. In Abhängigkeit der konkreten Änderungen werden ggf. Anpassungen in den Routinen zur Auslesung von Routingfaktoren erforderlich.

4 Mietleitungen im Breitbandkostenmodell

4.1 Generelle Modellierung im Breitbandkostenmodell

In Abschnitt 3.5 des Referenzdokuments zum Analytischen Kostenmodell für das Breitbandnetz Version 2.3 wird ausgeführt, dass spezifische Layer 2, Layer 1 und Layer 0¹¹ Kapazitätsnachfragen, die sich aus dem Angebot entsprechender Retail- oder Wholesale Dienste ergeben, zusätzlich zu den abgeleiteten Kapazitäten aus der Bandbreitenanfrage der IP-basierten Anschlüssen bei der Netzdimensionierung zu berücksichtigen sind.

„Auf diese Weise soll sichergestellt werden, dass nach Maßgabe des Total Element Ansatzes die Größen- und Verbundvorteile im Netz adäquat abgeschätzt werden.“¹²

Aus Effizienzgründen ist davon auszugehen, dass die im Netz des betrachteten Betreibers realisierten Kapazitäten in den Transportsystemen auf Layer 1 bzw. auch auf Layer 2 zusammengefasst und gemeinsam geführt werden. Dennoch kann eine Integration auch bereits auf Layer 0 und dort in den verschiedenen Unterschichtern (Glasfasern eines Kabels, Kabel eines Leerrohrsystems, gemeinsame Nutzung des Grabens) erfolgen,¹³ wobei die Kapazitätsnachfragen in diesem Fall den Charakter von Beilauf erhalten (Teilung der Grabungs- und ggf. Kabelkosten).

Die im Referenzdokument Version 2.3 gewählte Darstellung wird hier mit der nachfolgenden Abbildung 4-1 aufgegriffen. Mit den drei Säulen soll illustriert werden, dass die Nachfrage auf verschiedenen Layern in die Modellierung und somit Netzdimensionierung Eingang findet: IP-basierte Nachfrage in die linke Säule, spezifische Layer 2 Nachfrage in die mittlere Säule sowie spezifische Layer 1 Nachfrage in die rechte Säule.

Dabei soll mit der linken Säule zum Ausdruck gebracht werden, dass die IP-basierte Nachfrage¹⁴ aus den Breitbandanschlüssen eine Nachfrage nach Transportkapazität im Layer 3 (IP) auslöst.¹⁵ Da im Modell davon ausgegangen wird, dass im Konzentrationsnetz nur eine Layer 2 – aber keine Layer 3 Ausscheidung erfolgt, d.h. kein IP, sondern nur Ethernet zum Einsatz kommt, müssen die IP-basierten Nutzerdaten im Layer 2

¹¹ Unter Layer 0 werden die Schichten der räumlichen Netz-Infrastruktur verstanden. Damit ergeben sich im Layer 0 drei Unterschichten 0-3 Glasfaser, 0-2Kabel, 0-1 Leerrohr bzw. Graben.

¹² Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Referenzdokument Version 2.3, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 15. August 2016, S. 43f.

¹³ An dieser Stelle wird nochmals auf die im Konsultationsprozess gewonnene Erkenntnis verwiesen, dass die Marktteilnehmer eine Integration auf Layer 1 bestätigt haben. Siehe WIK (2014): Auswertung der Stellungnahmen, Abschnitt 3.1.

¹⁴ Die IP-basierte Nachfrage beinhaltet auch die Telefonnachfrage, die derzeit noch zu weiten Teilen über das PSTN realisiert wird, jedoch im NGN auf IP migriert.

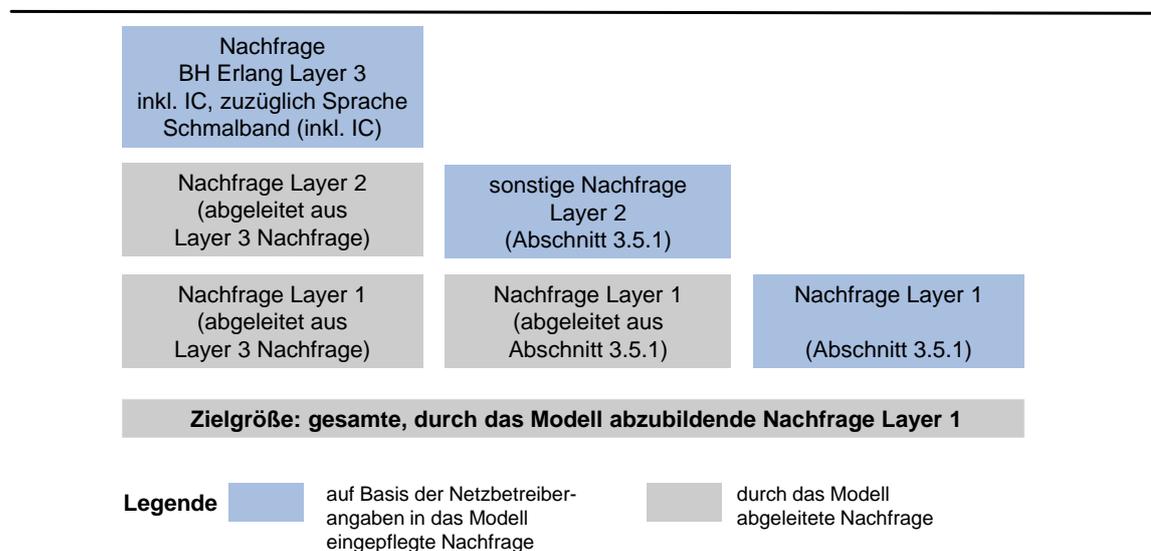
¹⁵ Der mit einer bestimmten Nachfrage auf Layer 3 verbundene Umfang der bereitzustellenden Kapazitäten für Einrichtungen auf Layer 3 wird dabei im Modell durch mehrere Parametern bestimmt (u.a. Auslastungsgrad).

(Ethernet) übertragen werden. Dazu muss auch hier die entsprechende Transportkapazität im Ethernet bereitgestellt werden, um die IP-basierte Nachfrage bedienen zu können.¹⁶ Gleiches gilt dann auch für den untersten Block der linken Säule, der die Transportkapazitäten auf Layer 1 konstituiert. Da bei der Modellierung des Breitbandnetzes davon ausgegangen wird, dass im Netz der Transport uneingeschränkt unter Rückgriff auf eine Transporttechnologie auf Layer 1 realisiert wird, müssen auch hier die dazu erforderlichen Kapazitäten auf Layer 1 zur Verfügung gestellt werden.

Diese Beschreibung soll verdeutlichen, dass jede Verkehrs- oder Verbindungsnachfrage, die in das Modell einfließt, eine induzierte Nachfrage auf darunter liegenden Layers auslöst. Davon abzugrenzen sind jedoch die spezifischen Nachfragen auf Layer 2 und Layer 3 (mittlere und rechte Säule), welche als „sachlich verschieden“ von den abgeleiteten Nachfragen in der linken Säule bezeichnet werden können. Allen gemeinsam ist, dass sie Transportkapazitäten auf Layer 1 benötigen.

Letztlich soll mit der Erfassung der spezifischen Nachfragen auf den Layern 1-3 die Ermittlung von Größenvorteilen für die Netzdimensionierung ermöglicht werden.

Abbildung 4-1: Kapazitätsnachfrage auf Layer 1 und abgeleitete Kapazitätsnachfrage aus Layer 2 und Layer 3



Quelle: [WIK-14-e], Abbildung 3-7

¹⁶ Aufgrund der Unterteilung des Netzes in ein Layer 2 basiertes Konzentrationsnetz und ein Layer 3 basiertes Kernnetz ist zu beachten, dass ein Ende-zu-Ende Transport von spezifischen Layer 2 Nachfragen nicht uneingeschränkt auf Layer 2 erfolgen kann. Im Kernnetz ist ein Tunneln im IP erforderlich, woraus sich auch eine abgeleitete Layer 3 Nachfrage aus der spezifischen Layer 2 Nachfrage ergibt.

Die Modell-arithmetische Umsetzung der Berücksichtigung spezifischer Layer 1 und Layer 2 Kapazitätsnachfragen wurde im Referenzdokument, Version 2.3 unter Abschnitt 3.5.1 beschrieben.¹⁷

3.5.1 Kapazitätsnachfrage auf Layer 2 und Layer 1

Für die Nachfragen auf Layer 2 und Layer 1, die eine Aggregation und ein Multiplexen erlauben, erfolgt die Modellierung auf Basis der standortbezogenen Nachfrage an den MPoPs.

In Analogie zu den Teilnehmerzahlen ist pro MPoP die Nachfrage nach Übertragungskapazität, differenziert nach Layer 2 und 1 anzugeben. Zu diesem Zweck stehen jeweils zwei Parameter zur Verfügung:

- die Festlegung der Einheit der Übertragungskapazität, diese gilt für alle Nachfragen
- die Festlegung der Anzahl der Nachfrager der zuvor genannten Übertragungskapazität.

Bezüglich der spezifischen Layer 1 Nachfrage (die sich nicht aus der in Abschnitt 3.3 dargestellten Nachfrage ergibt) abstrahiert der Modellierungsansatz von der Vielzahl der existierenden Angebote an Übertragungskapazitäten (E1, E3, STM-n, 1GB etc.) und geht von der Annahme aus, dass die Realisierung und Steuerung dieser Transportdienste auf Basis von sogenannten ChannelBanks realisiert wird. Dies impliziert, dass die hier betrachteten Nachfragen auf Layer 1 inkrementelle Einrichtungen benutzen, bevor diese Kapazitäten über eine weitere Schnittstelle mit den ADM oder CCX Einrichtungen des IP- und Ethernet basierten Breitbandnetzes integriert werden.⁴ – Diese Vorgehensweise erlaubt es, die Nachfrage je Standort zu aggregieren. Über die Steuerung des Inputparameters „Anzahl der Nachfrager“ ist es dann möglich, die an dem jeweiligen MPoP vorzusehende Übertragungskapazität zu skalieren. Die bei der Layer 1 Nachfrage vorzugebende Bandbreite ist daher als ein Bandbreitenäquivalent zu interpretieren, welches unter Rückgriff auf die MPoP spezifischen Gewichte multipliziert und unter Anwendung der Routingfaktoren geführt wird.

Demgegenüber wird die Nachfrage nach Layer 2 Kapazität in den dienstespezifischen Inputparametern (siehe Anhang 7.2, Service Input) auch hinsichtlich der durchschnittlichen Paketlänge spezifiziert, da diese Kapazitätsnachfrage über die Einrichtungen der logischen Netzschicht realisiert wird und somit geschwitched bzw. geroutet wird.

⁴ Eine solche Realisierungsform ist immer dann sinnvoll, wenn die Anzahl der nachgefragten Kapazitäten hinreichend groß ist und ein separates Management dieser Einrichtungen auch für die Steuerung oder Entstörung nahelegen.

Diesem Modellierungsansatz liegt zugrunde, dass die Nachfrage nach Übertragungskapazität (differenziert nach Layer 2 und 1) zwar MPoP-genau einfließt, jedoch von der

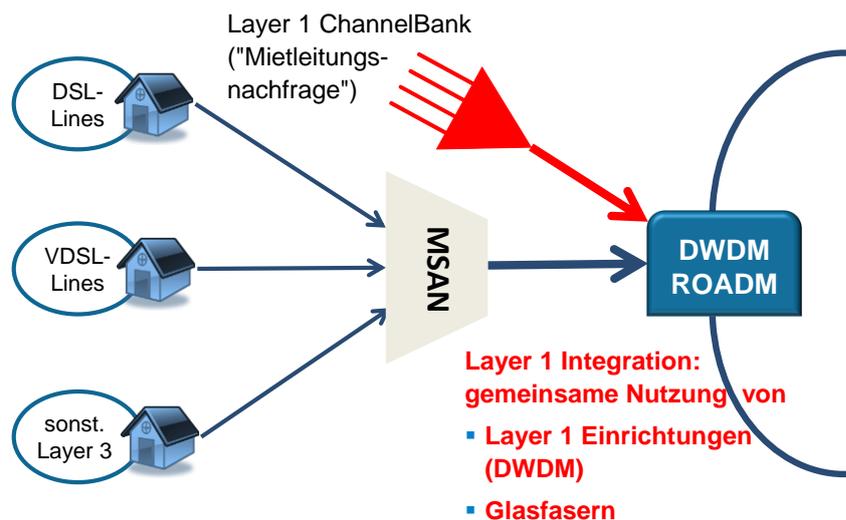
¹⁷ Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Referenzdokument Version 2.3, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 15. August 2016; p. 44f.

Vielzahl der existierenden Angebote an Übertragungskapazitäten und den damit verbundenen Schnittstellen (E1, E3, STM-n, GE etc.) abstrahiert wird.

Diese Vorgehensweise erlaubt eine Erfassung der Größenvorteile auf Ebene der Transportkosten ungeachtet der damit in Verbindung stehenden Dienste (im Sinne von einzelnen Kapazitätstypen). Unter der Annahme, dass die Anzahl der nachgefragten Verbindungen hinreichend groß ist, wurde ein separates Management zur Realisierung und Steuerung dieser Transportdienste auf Basis von vorgeschalteten sogenannten ChannelBanks unterstellt. Da diese nicht inkrementell für die in der Modellversion 2.1 im Fokus stehenden Kosten für Sprachdienste sind, wurden sie zum damaligen Zeitpunkt nicht weiter betrachtet.

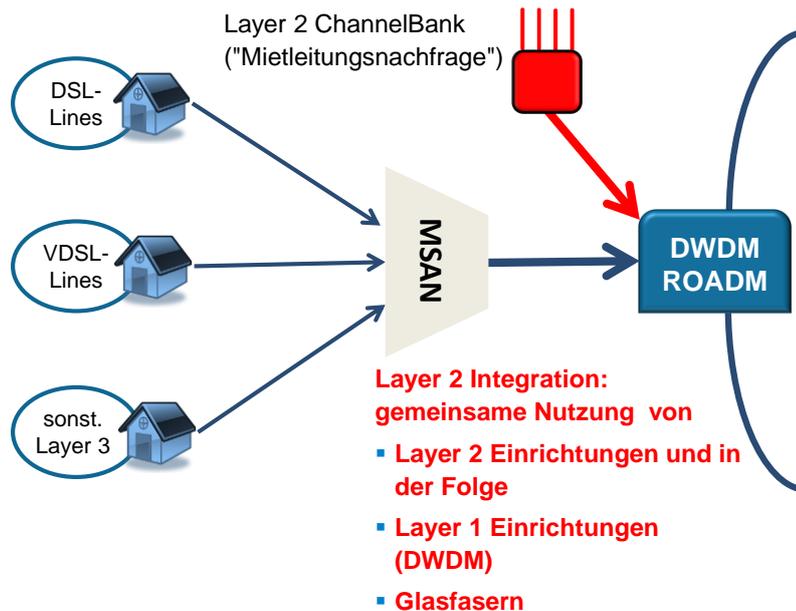
Die nachfolgende Abbildung 4-2 illustriert dabei die im Breitbandkostenmodell (Version 2.3) implementierte Integration auf Layer 1: Der standortübergreifende Verkehr wird dem Transportnetz über eigene (inkrementelle) Schnittstellen zugeführt und dann gemeinsam mit den übrigen Breitband-Kapazitätsnachfragen, die aus der Anschluss bezogenen Modellierung der Breitbandnachfrage resultieren, übertragen. Die Kostenteilung mit den Breitbanddiensten beginnt somit bei den Layer 1 Einrichtungen der Transportringe bzw. des vermaschten Kernnetzes und beinhaltet folglich zudem die Kostenteilung auf Layer 0. Im Konzentrationsnetz kommt dabei DWDM zum Einsatz, im Kernnetz OTN.

Abbildung 4-2: Layer 1 Integration der spezifischen Layer 1 Kapazitätsnachfragen (mit DWDM im Konzentrationsnetz)



Für die Layer 2 Kapazitätsnachfrage erfolgt die im Modell umgesetzte Integration gleichfalls auf Layer 1. Dies ist in der nachfolgenden Abbildung 4-3 durch die rote „Layer 2 ChannelBank“ dargestellt, die die Funktion der Aggregation für die Layer 2 Kapazitätsnachfragen übernimmt und die Verbindungsnachfrage an den im NGN-Modell bereits modellierten Ethernet-Konzentrator, dem BNG, übergibt.

Abbildung 4-3: Layer 2 Integration der spezifischen Layer 2 Kapazitätsnachfragen



Die Inputparameter bezogene Umsetzung erfolgt auf Basis des im Referenzdokument (Version 2.3) in Abschnitt 3 beschriebenen Nutzer- und Dienstmodells. Die Kapazitätsnachfrage sowohl auf Layer 1 als auch auf Layer 2 ist als „Dienst“ im Modell mit einer (durchschnittlichen) Bandbreite (up- and downstream) zu spezifizieren.¹⁸ Der Umfang der Kapazitätsnachfrage an den jeweiligen MPoP wird dann über die „Zahl der Anschlüsse“ gesteuert. Dabei ist sowohl für die Layer 1 Nachfrage als auch für die Layer 2 Nachfrage ein separates Feld der 6x6 Matrix der Nutzertypen vorzuhalten. Letztlich ist die vorzugebende Bandbreite für Layer 1 bzw. Layer 2 als ein Bandbreitenäquivalent zu interpretieren, welches unter Rückgriff auf die MPoP spezifischen Gewichte (jeweilige „Anschlusszahlen“) multipliziert, die an diesem Standort bediente Kapazitätsnachfrage ausdrückt. Diese Kapazitätsnachfrage wird im Weiteren unter Anwendung der Routingfaktoren für den Layer 1 und Layer 2 Dienst im Netz geführt.

¹⁸ Für die Layer 2 Kapazitätsnachfrage fließt auch die mittlere Paketlänge in die Festlegung der Modellparameter ein.

Mit diesem methodischen Ansatz können dann die durchschnittlichen Kosten des Transports auf der Basis einer gemeinsamen Einheit z.B. eine Bandbreite von einem kbps auf den Layers 0-3 für ein diensteintegrierendes Breitbandnetz berechnet werden.

4.2 Mietleitungsspezifische Modellierung

Für eine differenzierte Bedienung der spezifischen Kapazitätsnachfragen müssen technische Einrichtungen spezifiziert werden, um dann eine modellgesteuerte Dimensionierung dieser Einrichtungen vornehmen zu können. Diese technischen Einrichtungen realisieren und steuern¹⁹ die Kapazitätsnachfragen. Sie werden im Referenzdokument (Version 2.3) zusammenfassend als „ChannelBanks“ bezeichnet. Eine Konkretisierung der damit subsumierten technischen Einrichtungen erfolgt in Abschnitt 6.

Für die Kostenmodellierung von Mietleitungen ist es notwendig, die Kapazitätsnachfrage auf Ebene der nachgefragten bzw. realisierten spezifischen Schnittstellen zu erfassen (E1, E3, STM-n, 1GB etc.), um sie an den Stellen, an denen sie einen Kostentreiber konstituieren,

- für die Dimensionierung der Netzelemente zu berücksichtigen und
- bei der Kostenzurechnung für die verschiedenen Tariftypen differenzieren zu können.

Alle Einrichtungen, die bisher als „ChannelBanks“ bezeichnet wurden, konstituieren für Kapazitätsnachfragen – und damit auch Mietleitungen – inkrementelle Netzelemente.

Die technische Realisierung von Mietleitungen ist nicht zuletzt Reflex der technischen Entwicklung und Möglichkeiten. Mit der Entwicklung des Time Division Multiplexing ist eine Transport-Technologie mit hoher Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit entstanden. Verbindungsnachfragen wurden vornehmlich auf dieser Basis realisiert. Verbindungsbezogene Datendienste, die auf höheren Schichten realisiert werden (statistisches Multiplexen), konnten oder können diesen Qualitätsmerkmalen nicht genügen, wobei die Entwicklungen der letzten Jahre – u.a. mit der Entwicklung von MPLS-TP – gezeigt haben, dass die Qualitätslücke zum Zeitmultiplex immer geringer wurde bzw. aus Sicht einzelner Nachfragergruppen geschlossen werden konnte. Die Eingaben der Marktteilnehmer haben gezeigt, dass dennoch Beschränkungen für eine Substitution bestehen: Festgemacht werden diese zum einen am Merkmal der Taktgenauigkeit (welche beim

¹⁹ Die Funktionalität der CrossConnectoren kann als schaltend bzw. steuernd charakterisiert werden.

SDH gegeben ist)²⁰, zum anderen an geforderten signifikanten Preissenkung für Ethernet-basierte Mietleitungen.

Die Eigenschaften von Ethernet und seine Eignung auch für die unternehmensinterne Vernetzung stellen derzeit eine attraktive Realisierungsform für Verbindungsnachfragen und Mietleitungen im Besonderen dar.²¹ Transportnetz-seitig hat die Entwicklung zum Carrier-Ethernet entsprechende Layer 2 Konzentrationsnetze entstehen lassen, die den aggregierten Breitbandverkehr an einer deutlich reduzierten Standortzahl an ein IP-basiertes Kernnetz (IP-PoP) übergeben.

Letztlich steht ein diensteintegriertes NGN auch für eine Integration von Verbindungsnachfragen auf Ebene des IP (Layer 3). Mittel- bis langfristig wird aufgrund der über die Integration realisierbaren Größenvorteile erwartet, dass die Verbindungsnachfrage auf den unteren Schichten – insbesondere Layer 1 – auf die oberen Schichten migriert. Mit der vorgelegten Spezifikation des Modells sollen diese Größenvorteile bewertbar gemacht werden.

Die im Markt angebotenen Mietleitungen sind in erster Linie über ihre kundenseitige Schnittstelle definiert. Darüber hinaus gibt es Leistungsmerkmale, die im SDH über die Verfügbarkeit und im Ethernet zusätzlich über die Qualitätsparameter Laufzeitverzögerung, Verlust und Jitter konkretisiert sind. Wie diese Leistungsmerkmale durch den Netzbetreiber eingehalten werden, ist dabei unbestimmt. Mit anderen Worten, es bleibt offen, ob der Netzbetreiber eine als Ethernet-Verbindung angebotene Mietleitungen über sein SDH-Equipment zur Steuerung der Mietleitungsnachfrage realisiert oder dafür entsprechendes Layer 2 Ethernet Equipment einsetzt. Gleiches gilt in umgekehrter Richtung: eine kundenseitige SDH-Schnittstelle kann im Netz über Ethernet-Equipment realisiert werden. Aus ökonomischer Perspektive sollte hier die effizientere Realisierungsform zur Anwendung kommen.²² In den nachfolgenden Abbildungen sind die verschiedenen Realisierungsformen illustriert. Dabei ist das für die Verbindungssteuerung im Netz eingesetzte Equipment charakterisierend für die Realisierungsform. Im Fall einer SDH-Realisierung von Ethernet Mietleitungen wird im Netz letztlich auf SDH Einrichtungen (CrossConnectoren) zurückgegriffen, die die Verbindungssteuerung vollziehen. Im Fall einer Ethernet Realisierung übernehmen Ethernet Switches diese Aufgabe. Im Fall der Ethernet Realisierung wird nicht die Existenz eines Ethernet basierten Kernnetzes unterstellt. Vielmehr wird für die Modellierung angenommen, dass das Ethernet

20 Eine Taktgenauigkeit lässt sich auch bei Ethernet-basierten Mietleitungen realisieren. Siehe hierzu auch die Ausführungen in [WIK-14d], Kommentaraufforderung 4-1

21 Dieser Fragestellung wird auch regelmäßig im Zuge der Marktdefinition und Marktanalyse durch die Bundesnetzagentur nachgegangen. Siehe [BNetzA-12].

22 Die Fragestellung, dass kundenseitig die Schnittstelle der „alten“ Technologie erhalten bleiben kann und netzseitig eine Wandlung auf die neue Technologie erfolgt, wurde seinerzeit schon bei der geplanten Integration verschiedenster Dienste unter ATM aufgeworfen und führte zur Definition verschiedener Adaptations-Layers ALL. , AAL-1 war dabei zur Emulation von Festleitungen vorgesehen, wobei Synchronisierungssignale und Information über die verwendete Rahmenstruktur übermittelt werden sollten. Vergleichbare Standards sind bzw. werden derzeit auf der Basis von Ethernet definiert.

durch das IP im Kernnetz getunnelt wird. Anschlussseitig werden bei einer SDH-Realisierung von Ethernet-Mietleitungen NG-SDH ChannelBanks unterstellt, die die Ethernet-Schnittstellen aufnehmen können. Entsprechend weisen die CPE auch im Fall der Ethernet-Mietleitung über SDH ausschließlich Ethernet-Schnittstellen auf (siehe Abbildung 4-4). Demgegenüber muss bei der Wahl der CPE für Mietleitungen mit kundenseitigen SDH-Schnittstellen beachtet werden, ob netzseitig eine Realisierung über SDH oder Ethernet erfolgt: Im Falle der reinen SDH-Welt werden bei der CPE nur SDH-Schnittstellen verwendet. Im Falle der Ethernet-Realisierung gehen wir für die Kostenmodellierung von einer Wandlung in dem CPE aus, so dass netzseitig eine Ethernet-Schnittstelle realisiert wird.

Abbildung 4-4: Realisierungsformen von Ethernet Mietleitungen

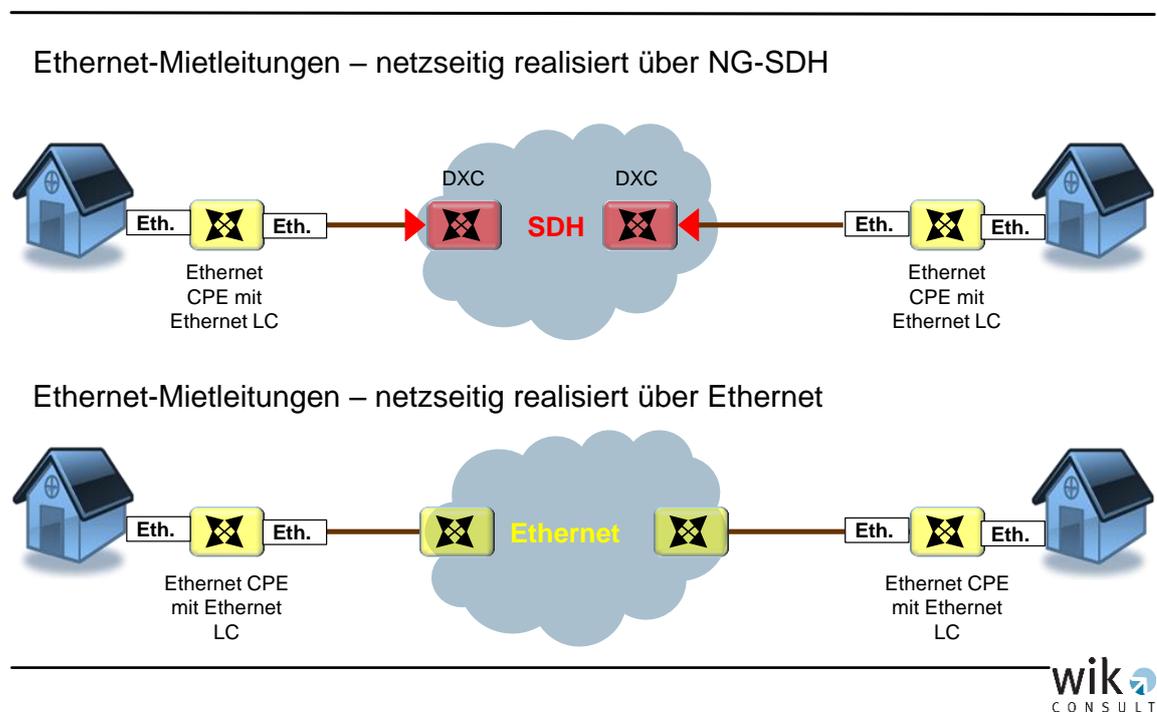
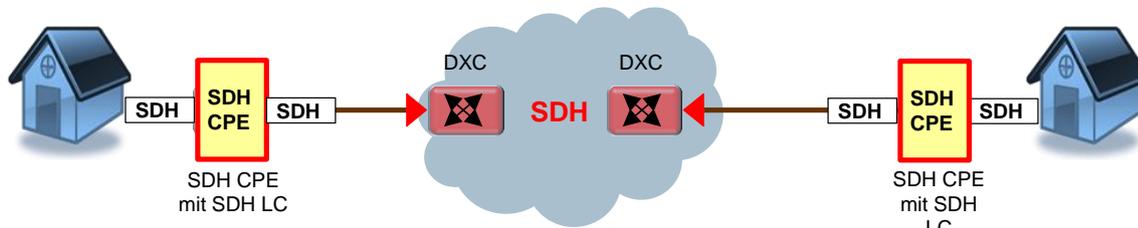
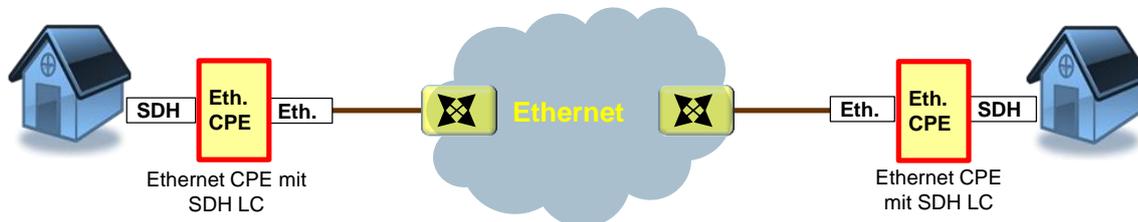


Abbildung 4-5: Realisierungsformen von SDH-Mietleitungen

SDH-Mietleitungen – netzseitig realisiert über NG-SDH


SDH-Mietleitungen – netzseitig realisiert über Ethernet



Aufgrund dieser Zusammenhänge gehen wir bei der Modellierung davon aus, dass

- Ethernet-Mietleitungen unter anderem über (NG-)SDH-Equipment realisiert werden. Diese bezeichnen wir auch als Ethernet-Mietleitung – netzseitig realisiert über (NG-)SDH.
- SDH-Mietleitungen – sofern sie im Netz über Ethernet realisiert werden – direkt im CPE beim Kunden gewandelt werden.²³

Da auch im Markt die Netzbetreiber keine eindeutige Prognose für den Verzicht auf SDH geben können,²⁴ ist es aus unserer Sicht folgerichtig, mit Hilfe des Modells Kosten für SDH-basierte Mietleitungen berechnen zu können, um die Kosten einer SDH-Realisierung einem Vergleich mit Ethernet basierten Mietleitungen zugänglich zu machen.

²³ Derartiges Equipment ist im Markt verfügbar. Grundsätzlich ist auch eine Wandlung im Netz möglich und mag auch von einzelnen Betreibern praktiziert werden. Für die Zielsetzung der Kostenmodellierung wurde der Modellierungsansatz von der Mehrheit der Marktteilnehmer bestätigt. Siehe hierzu [WIK-14d]; Kommentaraufforderung 4-2.

²⁴ Siehe hierzu [WIK-14d]; Kommentaraufforderung 4-2.

5 Nachfrage und Ausgestaltung der Datenbasis für die Modellierung

5.1 Typen und Leistungsmerkmale

Im Markt kann ein umfangreiches Angebot an Mietleitungen beobachtet werden. In der Regel werden die Mietleitungen über ihre Schnittstellen definiert. Dabei orientieren sich die vermarkteten Verbindungen nicht ausschließlich an den technisch möglichen Kapazitätsobergrenzen der Schnittstellen, sondern es werden auch Verbindungen angeboten, die nicht den Größenrastern des SDH oder des Ethernet entsprechen (Zwischengrößen) und die über die nächst größere Schnittstelle beschaltet werden bzw. bei denen eine Bündelung mehrerer kleinerer Schnittstellen erfolgt. Diese Nachfragen müssen ebenfalls in die Kapazitätsnachfrage eingehen und bei der Dimensionierung der Netzelemente berücksichtigt werden.

Es ist im Markt auch beobachtbar, dass zwei verschiedene Typen von E1 Schnittstellen angeboten werden: sogenannte „Unstrukturierte“ (2.048 Mbps) sowie „Strukturierte“ (1.920 Mbps).²⁵ Dabei beinhaltet die „strukturierte“ E1 32 x 64kbps (Bandbreitenkanäle), wobei 2 davon ausschließlich für die Steuerung der PMX-Anschlüsse verwendet werden. Dies ist zum Beispiel auch im Angebot der Telekom der Fall, das wir in Anlage 3: Angebotene Mietleitungen (CFV) der Deutschen Telekom inklusive der Übersetzung der Geschwindigkeit der Verbindung, wie sie in das Modell einfließt, dargestellt haben.

Auf eine Differenzierung von strukturierten und unstrukturierten E1 Übertragungskapazitäten wird im Modell verzichtet, da diese Merkmale keine Kostentreiber darstellen.²⁶

Bei der Modellierung werden die technischen Rahmenbedingungen für die Überführung von vermarkteten Anschlusskapazitäten und verfügbaren Schnittstellen berücksichtigt, so wie dies in der Praxis von einem Netzbetreiber zu erwarten ist, der auf die systembedingten Schnittstellen für die Realisierung der Verbindungen zurückgreifen muss.

Wie im Referenzdokument Version 2.3 beschrieben, wird bei der modellendogenen Systemzuweisung auf ein generisches Equipment zurückgegriffen, das die Layer 1 und Layer 2 Systeme mit ihren zugehörigen Schnittstellenkarten definiert. Diese Spezifikati-

²⁵ Beide Schnittstellen übertragen dieselbe Bandbreite. Letztlich sind Preisunterschiede für die spezifischen Karten denkbar, die aus unserer Sicht jedoch nicht Kosten getrieben sind. Letztlich gehen wir davon aus, dass am Markt Karten mit Software Jumper zum Umstellen von der einen in die andere Variante zur Verfügung stehen, so dass es keine gerechtfertigten Preisunterschiede (mehr) gibt. Daher gehen wir davon aus, dass dieser Unterschied keine Auswirkungen auf die Kostenmodellierung hat.

²⁶ Diese Sichtweise wird auch von den Marktteilnehmern bestätigt. Siehe hierzu [WIK-14d], Kommentaraufforderung 5-1.

on erfolgt dabei unter Rückgriff auf marktübliche Systeme und somit auch auf deren dem Stand der Technik entsprechenden technischen Rahmenbedingungen.

Für die Umsetzung der Marktnachfrage in das Modell ist somit für die „Zwischengrößen“ eine Transformation in die verfügbaren Systemgrößen erforderlich. Im Folgenden wird diese Transformation dargestellt

Tabelle 5-1: Transformation vermarkteter Schnittstellen in systembezogene Schnittstellen

	Anschlussgeschwindigkeiten der Mietleitungen/ Kapazitätsnachfragen					
SDH-/ Ethernet- Nomenklatur	E1				SE	E3
Geschwindigkeit	2M	4M	6M	8M	10M	34M
Transformation		2*E1	3*E1	4*E1		

	Anschlussgeschwindigkeiten der Mietleitungen/ Kapazitätsnachfrage				
SDH-/ Ethernet- Nomenklatur	DS3	FE		STM-1	STM-4
Geschwindigkeit	45M	100M	140M	155M	622M
Transformation			STM-1		

	Anschlussgeschwindigkeiten der Mietleitungen/ Kapazitätsnachfragen					
SDH-/ Ethernet- Nomenklatur	GE		STM-16	10GE	STM-64	STM-256
Geschwindigkeit	1G	2G	2_5G	10G	10G	40G
Transformation		2*1G				

Bei der Transformation von vermarkteten Schnittstellen in verfügbare systembezogene Schnittstellen bestehen Freiheitsgrade. Es ist sowohl eine Bündelung mehrerer kleiner Schnittstellen als auch eine „Kappung“ größerer Schnittstellen möglich. Bei der Kappung ist die reservierte Transportkapazität geringer als die Kapazität der kundenseitigen Schnittstelle zulassen würde. Sie wird quasi eine Nummer größer gewählt.

Die von uns vorgeschlagene Transformation ist nach unserer Beobachtung marktüblich. Sie ist Reflex einer effizienten Verwendung von Transportkapazitäten unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen. Im Zuge des Marktrücklaufs wurde darauf aufmerksam gemacht, dass

- (1) es im Markt Abweichungen mit Blick auf die von uns berücksichtigten (angebotenen) Geschwindigkeiten gibt.²⁷ Eine Modellanpassung ist aufgrund dessen jedoch nicht erforderlich. Für die Modellanwendung sind die zu berücksichtigenden Geschwindigkeiten sowie eine ggf. vorzunehmende Transformation als Eingabeparameter vorzugeben bzw. in das Modell einzupflegen.

²⁷ Siehe hierzu [WIK-14d], Kommentaraufforderung 5-2.

(2) eine Transformation von SE und FE Schnittstellen (Standard und Fast Ethernet) auf SDH erfolgen würden. Dies ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5-2: Transformation von SE und FE Schnittstellen auf SDH

SDH-/ Ethernet- Nomenklatur	Anschlussgeschwindigkeiten der Mietleitungen/ Kapazitätsnachfragen						
	SE	SE	SE	SE	FE	FE	FE
Geschwindigkeit	2.5M/10M	5M/10M	8M/10M	10M	12M/100M	50M/100M	100M
Transformation	E1	2*E1	4*E1	5*E1	5*E1	1*VC3	2*VC3

Die Anwendung von NG-SDH erlaubt es jedoch, auf die in der Tabelle 5-2 dargestellte Transformation zu verzichten, da die NG-SDH Einrichtungen in der Lage sind, auch Ethernet-Schnittstellen aufzunehmen (siehe hierzu die Ausführungen im späteren Abschnitt 6.1.1).²⁸ Lediglich auf der Anschlusslinie kann in den Anschlussgeschwindigkeiten bis zu 10M die Notwendigkeit bestehen, mehrere Kupferdoppeladern zu bündeln, wobei die Obergrenze in der Praxis bei 5*E1 für 10M liegt.

Standard-Festverbindungen (SFV) und Carrier-Festverbindungen weisen verschiedene Verfügbarkeiten auf (98.5% vs 99.0%). Für CFV Premium Produkte kann auf Wunsch die zusätzliche Leistung „High Performance Solution“ (HPS) bereitgestellt werden. Dadurch erhöht sich die Verfügbarkeit auf 99.9% im Kalenderjahr. Für Company Connect Anschlüsse beträgt die garantierte Verfügbarkeit 98.5% bzw. 99.5% optional mit Zweitanbindung.

Im NGN Modell Version 2.3 kann die Redundanz nur global (d.h. für alle Dienste gleichermaßen geltend) und nicht differenziert für einzelne Dienste gesteuert werden. Die Absicherungsparameter, die hierfür zur Verfügung stehen, betreffen die vorgehaltene Ringkapazität, die – über die Festlegung eines Auslastungsgrades – auf 100% eingestellt werden kann, so dass bei Ringunterbrechung der gesamte busy hour Verkehr uneingeschränkt transportiert werden kann.²⁹ Darüber hinaus können die Layer 1 Einrichtungen gedoppelt und auf diese Weise Doppel-Ringe generiert werden. Eine weitere Redundanz kann über eine hierarchische Doppelanbindung an zwei verschiedene Standorte mit dem Parameter „Doppelanbindung“ induziert werden.³⁰ Die einzustellende „Standardverfügbarkeit“ kann daher nicht differenzierten Verfügbarkeiten zugeordnet werden.

Darüber hinaus ist im Standardangebot ein weiteres Leistungsmerkmal enthalten, welches die redundante Wegeführung („optionale Zweitanbindung“) beinhaltet.

²⁸ Die angesprochene Transformation wird letztlich von der NG-SDH Einrichtung vollzogen, so dass auch in der SDH-Multiplex-Kaskade letztlich eine Bandbreitenbestimmung auf Basis von VCx vollzogen wird.

²⁹ Der Parameter für die Ringabsicherung kann auf 50% oder 100% eingestellt werden.

³⁰ Dopplung und Doppelanbindung können in der Version 2.3 nur für das Transportnetz des Kernnetzes ausgewählt werden.

Bei dem gewählten Modellierungsansatz lässt sich dieses Leistungsmerkmal durch eine Differenzanalyse kostenmäßig bewerten: Da sich im Modell auf einer Netzebene nur global (d.h. für sämtliche Dienste/Nachfragen) eine Doppelanbindung abbilden lässt, erlaubt diese Vorgehensweise keine adäquate Bestimmung eines Preisdifferentials. Die inkrementellen Kosten einer Doppelanbindung können bestimmt werden (zusätzliche Kosten infolge der Doppelanbindung), in dem die durchschnittliche Kostenänderung der für Mietleitungen relevanten Netzelemente bestimmt und diese auf die Kosten der nicht über disjunkte Wege angebundene Mietleitung angewendet wird.³¹

5.2 Datenbasis für die Modellierung

Für ein analytisches Kostenmodell ist die Nachfrage getriebene Dimensionierung der Netzelemente konstitutiv. Da die Dimensionierung der Netzelemente für sämtliche Kapazitätsnachfragen (differenziert nach Layer 1 und Layer 2) erfolgt, stellt die Mietleitungsnachfrage nur eine Teilmenge der Nachfrage dar.

Ausgangsbasis für die Ableitung der Modell-Eingabeparameter soll daher eine vollständige Nachfragematrix bilden, die die realisierten Verbindungen von MPoP A zu MPoP B mit einer definierten Kapazität und Anzahl darstellt.³² Die in Tabelle 5-3 vorgenommene Differenzierung von „Schnittstelle“ und „reservierte Bandbreite [M]“³³ ist dabei für Ethernet basierte Mietleitungen relevant, bei denen die Kostentreiber für das anschließende und aggregierende Equipment auseinanderfallen können.

31 Diesem Modellierungsansatz wurde von den Marktteilnehmer weitestgehend zugestimmt. . Dabei haben die Marktteilnehmer darauf aufmerksam gemacht, dass die Implementierung des Zuschlagsfaktors abhängig vom Anteil betroffener Mietleitungen zu gestalten sei. Dies kann im Modell über Eingabeparameter (Erlang-Werte) gesteuert werden. Um gezielt die Verfügbarkeit ausgewählter Verbindungen zu adressieren, müsste für die Modellanwendung eine Separierung der „normalen“ Verbindungsnachfrage von der mit erhöhter Verfügbarkeit bei der Modellparametrisierung implementiert werden. Siehe hierzu auch [WIK-14d], Kommentaraufforderung 5-3. Die Datenanforderungen erweitern sich entsprechend der ergänzten Darstellung in Tabelle 5-3.

32 In Abschnitt 4.1 wurde erläutert, dass die Abgrenzung der Verbindungsnachfrage dabei so zu erfolgen hat, dass sie keine Nachfragen für die Verkehre beinhaltet, die im NGN-Modell als „im NGN integrierte“ busy hour Verkehrsnachfrage eingeht. Mit anderen Worten: Keine Kapazitäten von Nachfragen, die im Modell über busy hour Erlang-Nachfragen parametrisiert werden.

33 Im Kontext der produktbezogenen Darstellung der Verbindungsnachfragen wird auf die vereinfachte Nomenklatur „M“ anstelle von Mbps zurückgegriffen.

6 Modellierung der Verbindungsnachfragen im NGN

Die Modellierung der mietleitungsinkrementellen Einrichtungen soll Bestandteil der Breitbandnetzmodellierung werden (Netzelemente für den Anschluss an das Verbindungsnetz als auch verbindungssteuernde Einrichtungen, wie bspw. Digitale Cross Connectoren, DXC).³⁴ Entsprechend ist eine Einordnung der Modellierung in das bestehende Breitbandkostenmodell Version 2.3 vorzunehmen.

Wie bereits in Abschnitt 4.1 dargestellt, gehen Kapazitätsnachfragen bereits dimensionsrelevant in die Modellierung des NGN an sich ein: Eine Kostenteilung erfolgt bei den Layer 2 und Layer 1 Einrichtungen sowie auf Layer 0.

Der bestehende Modellierungsansatz impliziert eine konkrete, technologiebezogene Abbildung, aus der Anforderungen für die inkrementellen Einrichtungen für Mietleitungen bzw. Kapazitätsnachfragen erwachsen. Dies macht sich an den für die Modellierung zur Verfügung stehenden Layer 1 Technologien fest.

Im Konzentrationsnetz steht DWDM zur Verfügung, im Kernnetz OTN. Da die Kapazitätsnachfragen im Wesentlichen über elektrische und optische Schnittstellen je Verbindung Eingang in das Netz finden, erfordert der Einsatz von DWDM oder auch OTN als Layer 1 Technologie entsprechende „mietleitungsinkrementelle“ Einrichtungen, die die Transformation von elektrischen und optischen Signalen und deren Aggregation auf breitbandige Verbindungen vollziehen. Vor diesem Hintergrund der Technologieabhängigkeit der einzusetzenden technischen Einrichtungen muss die Modellspezifikation erfolgen.

Der Implementierung im bestehenden Breitbandnetzkostenmodell folgend, berücksichtigen wir folgende Technologieoptionen für die Modellierung von Mietleitungen im NGN:

- Konzentrationsnetz: DWDM
- Kernnetz: OTN

Im Kontext von Ethernet basierten Mietleitungen soll an dieser Stelle der Begriff der sog. „native“ Ethernet Realisierung erläutert werden: Der Zusatz „native“ stellt darauf ab, dass die Realisierung der Mietleitung ohne Einsatz zusätzlicher Layer 1 Technologien erfolgt, die eine Verbindungssteuerung realisieren könnte. Diese Ethernet Mietleitung wird einzig durch die Layer 2 Technologie, unmittelbar über Glasfasern verbunden, erbracht (vergleichbares ist auf IP-Ebene möglich – Layer 3 Technologie). In Layer 1 übliche schnelle Ersatzschaltungen werden über die MPLS-TP Funktion im Layer 2

³⁴ Da die hier vollzogene Modellerweiterung auf die Kostenmodellierung von Mietleitungen abstellt, müssen die diejenigen Netzelemente, die bereits im Modell nicht berücksichtigt waren, ergänzt werden. Diese „zusätzlichen“ Netzelemente werden hier als „mietleitungsinkrementell“ bezeichnet und in den nachfolgenden Abschnitten detailliert ausgeführt. Es handelt sich dabei um Einrichtungen für den Anschluss von Mietleitungen und sonstigen Verbindungsnachfragen an das Verbindungsnetz sowie Einrichtungen zur Verbindungssteuerung.

nachgebildet. Wird auf den Transportstrecken DWDM eingesetzt, so ist dies ebenfalls als „native“ Ethernet zu interpretieren, da DWDM lediglich die Fasernachfrage in eine Farbnachfrage transformiert.³⁵ Die Layer 1 Ersatzschaltungsfunktion ist dann ggf. redundant. Das Analytische Kostenmodell für das Breitbandnetz, Version 2.3 beinhaltet keine Realisierung von Ethernet over Fibre im engeren Sinne (d.h. ohne DWDM). Native Ethernet direkt über Glasfasern würde bei den zugrunde liegenden Ringen Repeater für größere Faserlängen erfordern, die bei Einsatz von DWDM ROADM Systemen je Ringstandort entfallen, weil sie gleichzeitig neben der Faser-Ersparnis die Regenerierung der Signale übernehmen. Wir gehen daher davon aus, dass eine derartige DWDM Transportschicht in größeren nationalen Netzen – insbesondere mit steigendem Faserbedarf – effizienter ist als die direkte Verbindung von Ethernet Switches über Glasfasern.

Zum Zeitpunkt der Modellentwicklung Version 2.1 für die BNetzA bestand noch keine Standardisierung für Ethernet mit Blick auf die Ersatzschaltungseigenschaften, die mittlerweile mit MPLS-TP etabliert werden konnten. Unabhängig davon gilt jedoch der Zusammenhang, dass mit steigender Kapazitätsnachfrage der ökonomische Vorteil einer rein über Glasfaser realisierten Form von native Ethernet sinkt.³⁶ – Die uns bekannten Nachfragemengen in Deutschland lassen den Einsatz von DWDM (bzw. im Kernnetz OTN) ökonomisch sinnvoll erscheinen, so dass wir davon ausgehen, dass die vorgestellten Realisierungsformen zur Abbildung ökonomisch relevanter Szenarien hinreichend sind. Insofern wird „native Ethernet“ nur in Form einer Realisierung über DWDM kostenmäßig bewertet werden können.³⁷ In der Realität sind sowohl der Verzicht als auch der Einsatz von DWDM zu beobachten – insbesondere in einem flächendeckenden Netz – werden vermutlich beide Realisierungsformen in unterschiedlichen Regionen bestätigt. Da es in der Natur eines Modells liegt, zu vereinfachen, kann es bei ei-

35 Wie beispielhaft in dem Dokument von transmode: „Go Native with Native Packet Optical 2.0“ [transmode-13] dargestellt, handelt es sich um Ethernet Switches, die den Ethernetverkehr unmittelbar auf Glasfaser zu übertragen erlauben. Zu diesem Zweck werden die Informationen in optischen Signalen mit einer Bandbreite von derzeit 10 Gbps, in Zukunft 100 Gbps übertragen. Die Signale sind so strukturiert, dass sie direkt über eine Glasfaser, über DWDM oder auch unmittelbar über OTN übertragen werden können. Die Systeme unterstützen MPLS-TP und erlauben so das unmittelbare Ersatzschalten vordefinierter Tunnel auf Ethernet Ebene im Bereich von Millisekunden, benötigen also für so geführte Verbindungen die automatischen Ersatzschaltungsfunktionen einer unterliegenden Transportschicht nicht.

36 Bei einer reinen Ethernet over Fibre Lösung müssen die Ethernet Einrichtungen im Ring nach Maßgabe der benötigten Ringkapazität dimensioniert werden, wohingegen bei einer Realisierung unter Einsatz von Layer 1 Transportsystemen lediglich die am Standort auftretende Kapazitätsnachfrage bestimmend ist. Alternativ kann bei einer reinen Ethernet over Fibre Lösung ein pro Standort individueller Glasfaserring implementiert werden (m.a.W., die Glasfaser(n) durchläuft an den anderen Ringstandorten nicht die Ethernet Einrichtungen, sondern läuft im selben Graben lediglich an der Ethernet Einrichtung vorbei). Diese Variante führt jedoch zu großen Glasfaserlängen im Ring, die den Einsatz von Repeatern erforderlich macht und daher von einer Realisierungsvariante unter Einsatz von DWDM wirtschaftlich dominiert wird.

37 Von den Marktteilnehmern wurde im Zuge der Konsultation sowohl die Position vertreten, dass ein Verzicht auf DWDM die ökonomisch sinnvollere Lösung sei als auch die gegenteilige Position, dass der Einsatz von DWDM ökonomisch vorteilhaft sei. Siehe hierzu auch [WIK-14d], Kommentaraufforderung 6-2

nem Abgleich mit realen Größen zu Abweichungen sowohl nach unten als auch nach oben kommen. Im Ergebnis kann das Modell belastbare Kostengrößen ableiten.

In den nachfolgenden Abschnitten wird zunächst die Modellierung der Einrichtungen für die spezifische Layer 1 Kapazitätsnachfrage und im Anschluss daran die Modellierung der Einrichtungen für die spezifische Layer 2 Kapazitätsnachfrage aufgezeigt.

6.1 Layer 1 – Modellierung der mietleitungsinkrementellen Netzelemente

6.1.1 Netzebene 0 – Anschluss und Aggregation

Im Referenzdokument der Version 2.3 ist dargelegt, dass im Konzentrationsnetz sowie im Kernnetz prinzipiell bis zu 3 Netzebenen unterstellt werden können. Mit Einsatz der BNG-Architektur reduziert sich diese Zahl um jeweils eine Ebene. Konzentrations- und Kernnetz bestehen jeweils aus 2 Ebenen, von denen die jeweils mittleren an einem Standort zusammenfallen und mit den BNG die jeweils spezifischen Funktionen Layer 2 Aggregator und IP Label Edge Router in einem Gerät zusammenfallen. Konkret bedeutet dies, dass die Ebenen 0 und 2 zum Konzentrationsnetz und 3 und 5 zum Kernnetz gezählt werden. Die beiden mittleren (Ebenen 1 und 4) entfallen in der konkreten Modellimplementierung der BNG-Architektur. Die Ebenen 2 und 3 sind im IP-PoP kolloziert und fallen im BNG zusammen. Faktisch verbleiben damit die Ebenen 0 – 2/3 – 5.

Da es sich bei dem bottom-up Modell um einen scorched node Ansatz handelt, fließen die Standorte der Netzknoten als exogene Größen in das Modell ein. Dabei konstituiert jeder Standort des Netzes auch einen Netzknoten, an dem Teilnehmer an das Breitbandnetz angeschlossen sind (MPoP). Somit konstituieren sämtliche MPoP auch Standorte, an denen Mietleitungs- bzw. Kapazitätsnachfragen realisiert werden können. Diese Eigenschaft ist konstitutiv für die Netzebene 0. Eine ausgewählte Anzahl von Standorten verfügt zusätzlich über weitere spezifische Funktionalitäten, wie die Konzentration, die Verkehrsübergabe vom Ethernet auf das IP oder das Routing oder Label Switching. Die Funktionalität der Netzebene 0 haben jedoch alle Standorte gemeinsam. Für die Verbindung der Layer 1 Mietleitungen existieren in den Standorten der höheren Netzebenen zusätzlich Digitale Cross Connectoren (DXC), die die Layer 1 Nachfragen zwischen den Netzebenen und zum Standort hin routen (siehe auch Abbildung 6-2 und Abbildung 6-3).³⁸

38 Ein Digitaler Cross Connector nimmt SDH-Signale auf, die über seine Ports eintreffen, interpretiert die einzelnen Kanäle / Verbindungen und führt sie in die vom Netzbetreiber vordefinierten anderen Richtungen weiter, ohne den Verkehrsfluss anzuhalten oder zwischen zu speichern. Er ist somit in der Lage, beliebige Verbindungen miteinander zu verschalten bzw. herzustellen. Die Vordefinition der Verbindungen erfolgt bei deren Einrichtung über das zugehörige Netzwerk Management System.

Die Modellierung des Equipments, welches für den Anschluss der Mietleitungen an das Transportnetz benötigt wird, erfolgt daher zunächst für sämtliche MPoP gleichermaßen. Dabei wird davon ausgegangen, dass prinzipiell sämtliche Schnittstellen an einem MPoP nachgefragt werden können. Dennoch gehen wir davon aus, dass an reinen Ebene 0 Standorten tendenziell kleine Anschlussgeschwindigkeiten (kleiner gleich STM-16) nachgefragt werden, weil dies typischerweise Standorte mit den geringeren Verkehrsmengen (Kapazitätsnachfragen) sind.

In der nachfolgenden Darstellung (Abbildung 6-1) ist das Zusammenspiel von Schnittstellengrößen und Multiplexern dargestellt. Multiplexer aggregieren Verbindungen gleicher und unterschiedlicher Bandbreite auf eine weiterführende Verbindung höherer Bandbreite. Dies erfolgt bei Bedarf kaskadiert, wobei immer höhere Bandbreiten für die weiterführende Verbindung benötigt werden. Entsprechend den technischen Rahmenbedingungen können E1, E3, DS3 sowie SE/FE Schnittstellen auf eine STM-1 gemultiplext werden. STM-1 Schnittstellen können dann über eine weitere Einrichtung auf STM-4 bzw. STM-16 aggregiert werden. Im Modell wird dabei in Abhängigkeit der jeweiligen Verbindungsnachfrage auf der zweiten Aggregationsstufe („Second Level DMUX“ in Abbildung 6-1) ein STM-4 oder STM-16 Multiplexer eingesetzt. Sofern auch STM-16 Schnittstellen oder grösser nachgefragt werden, wird in der Fortführung der Kaskade auch eine dritte Aggregationsstufe („Third Level DMUX“ in Abbildung 6-1) eingesetzt, die die aggregierten Signale dann an das Transportnetz im Breitbandnetz übergibt. Der dargestellte Add Drop Multiplexer (ADM)³⁹ bzw. Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer (ROADM) stellt dabei das „erste“ Netzelement dar, das bereits im Breitbandnetz unter Berücksichtigung der hier betrachteten Kapazitätsnachfragen dimensioniert wurde.

Die technischen Einrichtungen werden im Rahmen des generischen Equipments definiert und werden in Plug-in-Units (PIU) und Schnittstellenkarten differenziert. Im Fall von SDH handelt es sich hier um Multiplexer.

Die Realisierung spezifischer Verbindungsnachfragen folgt grundsätzlich den systembedingten Regeln des Multiplexens – unabhängig davon, auf welcher Netzebene ein Anschluss von Verbindungsnachfragen an das Transportnetz erfolgt.

Welche digitalen Multiplexer an den jeweiligen Standorten zum Einsatz kommen, richtet sich letztlich nach der an den jeweiligen Standorten nachgefragten Schnittstellengröße – wie in Tabelle 5-4 dargestellt – und für die netzseitige Schnittstelle nach der implementierten Layer 1 Technologie im Transportnetz.⁴⁰ Die Auswahl der Kapazität der „Abschlusseinheit“ der Kaskade, über die die aggregierte Verbindungsnachfrage dann an das bereits im Breitband-Kostenmodell Version 2.1.1 modellierte Transportnetz

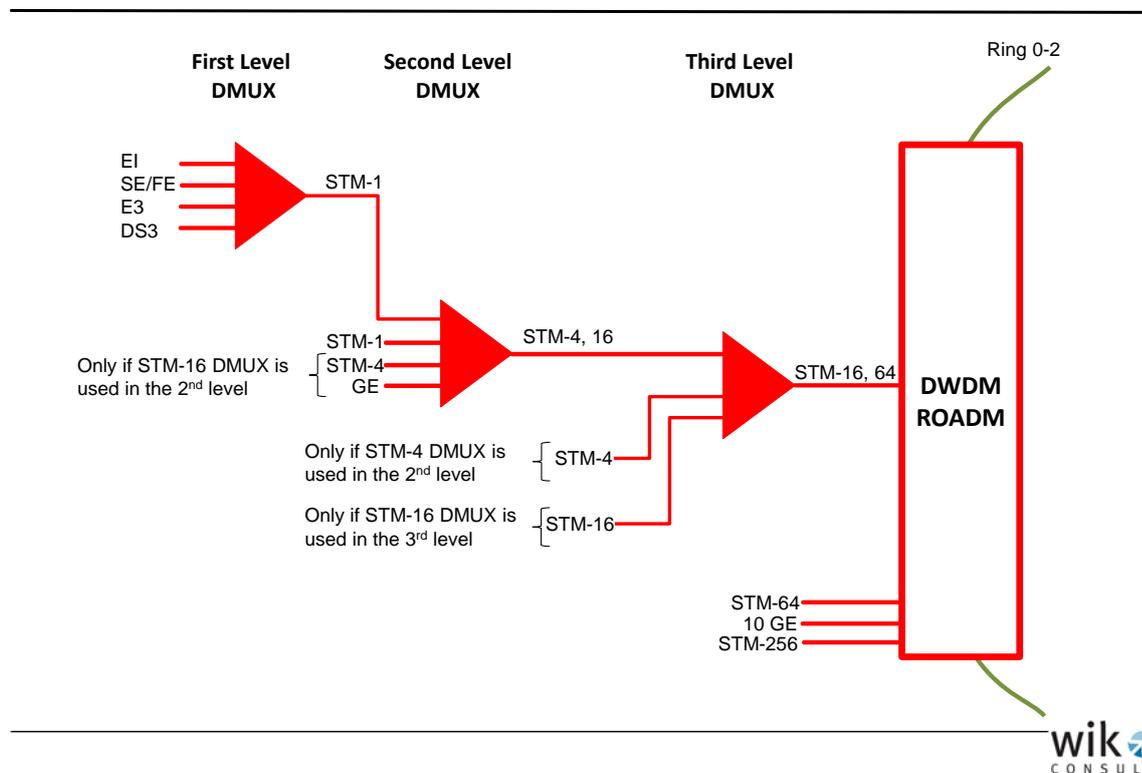
³⁹ ADM wird bei Verwendung von NG-SDH und ROADM bei Verwendung von DWDM Technologie eingesetzt.

⁴⁰ Im Konzentrationsnetz ist dies DWDM, im Kernnetz OTN.

übergeben wird, ist letztlich über die aggregierte Verbindungsnachfrage (exklusive der STM-64 und 10GE Nachfragen) bestimmt.

Gegenüber den Vorgängerversionen steht als Transportnetz-Technologie für das Konzentrationsnetz allein DWDM zur Verfügung, weil NG-SDH für die heutigen Kapazitäten moderner Breitbandnetze in Deutschland nicht mehr ausreicht. Mit dem Einsatz von DWDM im Konzentrationsnetz wird letztlich der Glasfaserbedarf im Netz minimiert. Anstelle der Nutzung mehrerer Glasfasern werden die Signale über verschiedene Farben innerhalb einer Glasfaser übertragen.

Abbildung 6-1: Kaskadierung der Anschlussnachfrage



Channel Bank (NG-SDH Terminal-Multiplexer) für Mietleitungen/
Kapazitätsnachfragen



DMUX = Digital Multiplexer

SE/FE = Standard Ethernet (10 Mbps) / Fast Ethernet (100 Mbps)

DS3 = amerikanischer Standard für E3

Aus der Abbildung 6-1 wird deutlich, dass Nachfragen in den Geschwindigkeiten von STM-64, 10GE und STM-256 direkt an die Layer 1 Einrichtung im Transportnetz angeschlossen werden. Da eine Nachfrage nach derartig hohen Geschwindigkeiten – insbesondere an reinen Ebene 0 Standorten – tendenziell eine Seltenheit ist, ist davon auszugehen, dass die Zahl der verfügbaren Steckplätze (Slots für Schnittstellenkarten) sowie die Anzahl von Ports pro Karte in Summe hinreichend ist, um diese breitbandigen Nachfragen zusammen mit den anderen Diensten in gemeinsamen ROADM Einrich-

tungen zu bedienen. – Im Modell kommen für die Bestimmung der mietleistungsinkrementellen Kosten die entsprechend der Nachfrage erforderlichen Schnittstellenkarten zum Ansatz. Die Kosten der DWDM-ROADM Einrichtung werden bereits über das bestehende Breitbandnetzmodell Version 2.3 berücksichtigt.⁴¹

6.1.2 Realisierung der spezifischen Verbindungsnachfrage im Transportnetz im Konzentrationsnetz mit DWDM

In Abgrenzung zum Abschnitt 6.1.1, in dem die anschlussbezogene Funktionalität für Mietleitungen im Fokus stand, wird hier auf die Verbindungssteuerung abgestellt.

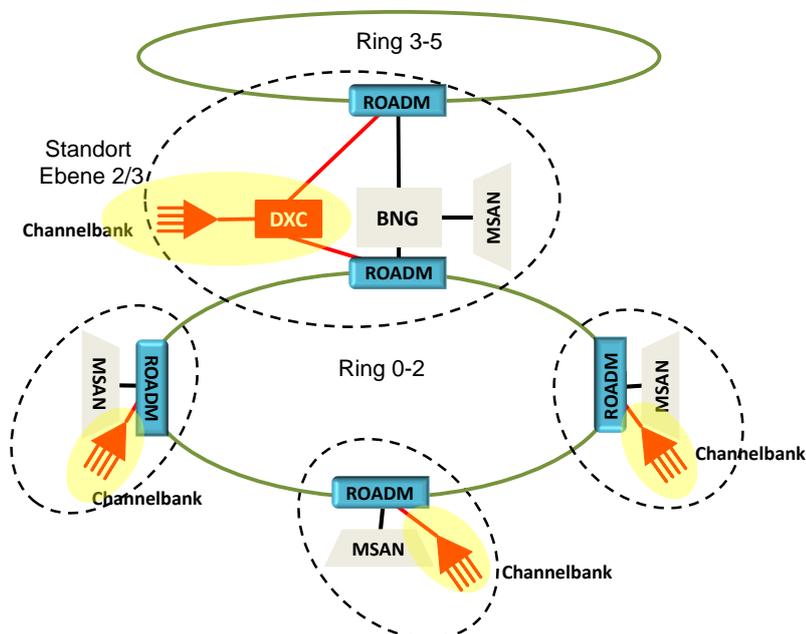
Im bestehenden Referenzdokument Version 2.3 wird die logische Netzstruktur spezifiziert, wonach das Breitbandnetz und damit auch das Transportnetz in der Grundstruktur als ein hierarchisches Netz abgebildet werden.

In der nachfolgenden Abbildung wird der Zusammenhang zwischen hierarchischer Verkehrsführung und Systemzuweisung deutlich: Es ist ein Ring des Konzentrationsnetzes (Anbindung 0-2) dargestellt. An allen MPoP befinden sich ChannelBanks (SDH-Multiplexer), die die Signale aus den spezifischen Verbindungsnachfragen auf die Übertragungsgeschwindigkeiten des anschließenden Transportnetzes multiplexen. Lediglich am Standort der höheren Netzebene (Ebene 2) ist zusätzlich ein DXC (Digitaler Cross Connector) berücksichtigt. Dieser DXC übernimmt die Funktion der Steuerung der spezifischen Verbindungsnachfragen.⁴²

⁴¹ Die für die Kaskadierung im Modell zur Anwendung kommenden Einrichtungen und Schnittstellenkarten wurden hinsichtlich ihrer Struktur und Eignung für die Kostenberechnung bestätigt (siehe auch [WIK-14d], Kommentaraufforderung 6-3). Die konkrete Parametrisierung des generischen Equipments im Falle der Modellanwendung für Entgeltregulierungsentscheidungen bleibt letztlich den Beschlusskammern vorbehalten.

⁴² Siehe hierzu auch die im Zuge der Auswertung der Stellungnahmen geführte _Diskussion in [WIK-14d], Kommentaraufforderung 6-5.

Abbildung 6-2: Layer 1 Integration optisch (DWDM) – Netzebene 0-2



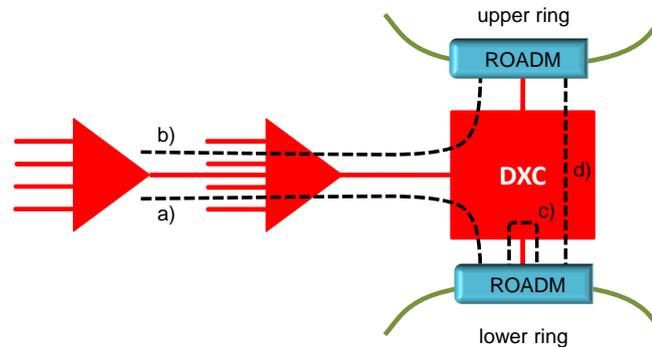
Vor dem Hintergrund der bereits an den Ebene 2 Standorten implementierten DXC-Knoten wäre hier zwar eine direkte Kommunikation zwischen sämtlichen Standorten eines Clusters möglich, da aber die logische Netzstruktur für sämtliche Nachfragen im Netz gleichermaßen erfolgt, und das implementierte Routing der spezifischen Verbindungsnachfrage auch dieser Hierarchie folgt, kann unter den gegebenen Randbedingungen keine „mietleitungsindividuelle“ Hierarchie implementiert werden.⁴³

Kernnetzseitig wird der DXC in den IP-PoPs an das Kern-Transportnetz angeschlossen (0-2/3). Der DXC im Standort 2 muss jeden bedienten Standort innerhalb des Clusters mit mindestens einem Port anbinden. – Die hierarchische Führung der Verkehre in Richtung Kernnetz bedarf im einfachsten Fall nur eines Ports; kapazitätsgetrieben können auch 2 Ports zugewiesen werden. Sollte aus Kapazitätsgründen ein dritter Port benötigt werden, so wird in der Systemzuweisung auf die nächst größere Schnittstelle gewechselt, um die Verbindungsnachfrage zu bedienen.

Zusammenfassend wird anhand der nachfolgenden Abbildung die Steuerung der Verbindungsnachfragen durch die DXC illustriert:

⁴³ Allerdings berücksichtigt das NGN Kostenmodell bei der Definition der Hierarchie die Nachfragen aus allen Diensten, d.h. bei einer dominanten Mietleitungs- bzw. Verbindungs-Nachfrage bestimmt diese die Hierarchie und umgekehrt bei einer dominanten IP Breitbandnachfrage ordnet sich eine geringfügige Mietleitungsnachfrage hierarchisch dieser unter.

Abbildung 6-3: Steuerung der Verbindungsnachfragen im DXC



Es sind dabei die folgenden Mietleitungsnachfragen in der Abbildung 6-3 gekennzeichnet:

- a. vom Standort des eigenen Knotens zu den Standorten, die in Ringen der unteren Ebene angebunden sind.
- b. vom Standort des eigenen Knotens zu den Standorten, die in Ringen der höheren Ebene angebunden sind.
- c. von Standorten im unteren Ring zu Standorten innerhalb desselben Rings.
- d. von Standorten der unteren Ebene zu Standorten im Ring der höheren Ebene.

6.1.3 Realisierung der spezifischen Verbindungsnachfrage im Transportnetz im Kernnetz mit OTN

Im Kernnetz ist bei der Zuweisung der mietleitungsinkrementellen Netzelemente die im Breitbandmodell über Inputparameter kontrollierte Netzstruktur zu beachten. Darunter fallen:

- es gibt 2 Netzebenen im Kernnetz sowie
- die physikalische Netzstruktur auf der obersten Kernnetzebene

Das 2 Ebenen Kernnetz hat hierarchische Strukturen. Die Modellierung der mietleitungsinkrementellen Einrichtungen erfolgt dann entsprechend.

Auf der obersten Kernnetzebene (5-5) bestehen insofern Freiheitsgrade, als dass hier eine Realisierung im Ring oder in vermaschter Struktur erfolgen kann. Bei der vermaschten Struktur kann wiederum in eine voll- oder teil-vermaschte (optimierte) Struktur unterschieden werden.

Im Fall der Ringstruktur sind auf den Standorten der obersten Kernnetzebene – wie auch in den hierarchischen Ringen – OTN-ROADM zugewiesen, die die spezifische Verbindungsnachfrage am Standort an das mietleistungsinkrementelle Equipment übergeben.

Die grafische Darstellung entspricht der eines Ebene 2 Standortes am Übergang Konzentrationsnetz mit DWDM zum Kernnetz (vgl. Abbildung 6-2 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

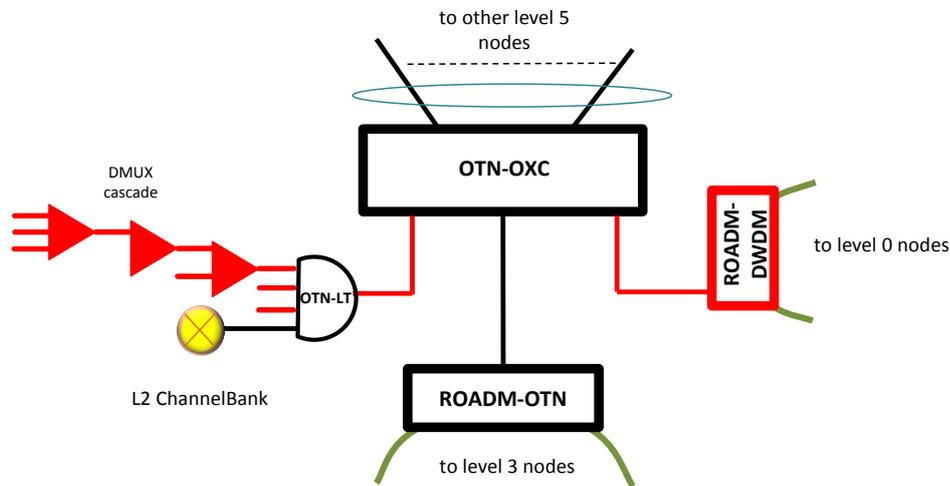
Da an einem Standort der obersten Netzebene nicht nur die an diesen Standort angeschlossene Nachfrage bedient werden muss, sondern auch die in darunter liegenden Kernnetz- oder Konzentrationsnetzclustern (Ringe 3-5 oder 0-2/3), ist auch hier eine weitere Einrichtung dazwischen zu schalten, die die Verbindungsnachfragen auf die verschiedenen Richtungen separiert. Diese Aufgabe erfüllt der am Standort vorgesehene OTN-Cross-Connector, der inkrementell für die Mietleitungen modelliert wird, während die Übertragungseinrichtungen gemeinsam mit Bandbreiten aus den anderen Diensten im NGN integriert werden. Die Anschlüsse am Cross Connector für die ROADM aus den unteren Ringen sind – wie im Aggregationsnetz – für die Mietleitungen separat vorzusehen (vgl. Abbildung 6-4).⁴⁴

Im Kernnetz wird OTN als Layer 1 Technologie angenommen. Dafür müssen die technischen Leistungsmerkmale und die damit in Verbindung stehenden Kostentreiber identifiziert werden:

Bzgl. der technischen Realisierung bestehen hier zu der historischen Realisierung im NG-SDH große Gemeinsamkeiten, weil OTN wie SDH viele verschiedene Verbindungen im Rahmen der Gesamtkapazität zu einer Farbe aggregieren und wieder disaggregieren kann. Im Ring kommen OTN-ROADM zum Einsatz. Sie sind wie die NG-SDH ADM in der Lage, die bedienten Relationen im Ring auszulesen. Entsprechend ist bei hierarchischer Verbindungsführung die Zahl der Ports vom OTN-ROADM zum OTN-Cross Connector allein kapazitätsgetrieben.

⁴⁴ Bei der Dimensionierung der ROADM wurde die Transportkapazität aus der Mietleistungsnachfrage explizit berücksichtigt. Da die Ports jedoch inkrementell für die Mietleitungen/Kapazitätznachfragen sind, wurden sie bei der Kostenberechnung für andere Produkte (Sprache) nicht weiter berücksichtigt.

Abbildung 6-4: OTN Level 5 Standort



6.1.4 Modellierung der standortinternen Layer 1 Verbindungsnachfrage

Bisher wurde implizit davon ausgegangen, dass die spezifischen Verbindungsnachfragen einen Transport im NGN in Anspruch nehmen. Letztlich ist dies nur für einen Teil der Mietleitungs- bzw. Kapazitätsnachfrage zutreffend.

Diejenigen spezifischen Verbindungsnachfragen, die keine Verbindungslinien im Konzentrations- oder Kernnetz in Anspruch nehmen, bezeichnen wir als „interne Nachfragen“ oder als lokale Nachfrage (standortinterne Nachfrage, innerhalb eines MPoP), um sie von den standortübergreifenden Verbindungsnachfragen abzugrenzen.

Die technische Realisierung dieser internen Nachfragen erfordert – genau wie bei den standortübergreifenden Nachfragen – technische Einrichtungen, welche die Steuerung der Verbindungsnachfragen realisieren und sicherstellen, dass über das Netzelement spezifische „Data Control Network (DCN)“, eine Einbindung in die Netzwerk Management Systeme erfolgt.⁴⁵

⁴⁵ Mit dem Data Control Network (DCN) wird hier das Netzelement spezifische interne Kommunikationsnetzwerk zur Kommunikation mit dem Netzwerk Management der Transportnetzplattform bezeichnet. Dies dient zur Verwaltung, Steuerung, und Überwachung der Netzelemente des Transportnetzes und zur Einrichtung und Konfigurierung der eigentlichen Verbindungsnachfragen. Grundsätzlich beansprucht das DCN auch Übertragungskapazitäten, die in dem Overhead der jeweiligen Transportprotokolle (SDH, OTN, DWDM) enthalten sind und daher nicht explizit berücksichtigt werden. Sofern kein durchgängiger Transportweg zwischen den Netzelementen besteht, in den das DCN eingebettet ist, muss zur Verbindung mit dem Netzmanagement ein Kanal für das DCN geschaltet werden. Darauf haben wir in diesen Fällen explizit hingewiesen. Bei der Definition des generischen Equipments haben wir darauf hingewiesen, dass die anzugebenden Investitionspreise die in diesem Kontext stehenden Investitionen für die Elementmanager beinhalten sollen.

Im alten Modell Version 2.1.1 erfolgte ausschließlich eine Berücksichtigung der standortübergreifenden Verbindungsnachfrage. Über die Modell-Eingangsdaten wird kontrolliert, dass ausschließlich Nachfragen aus der Verbindungsmatrix mit Standort A ungleich Standort B in die Berechnungen einfließen. Dabei ist bezüglich der Layer 1 Kapazitätsnachfrage eine gegenüber den sonstigen Ende-zu-Ende Diensten veränderte Verkehrsverteilung (Routing) implementiert. Bei allen Ende-zu-Ende Diensten (z.B. Voice oder Peer-to-Peer) wird davon ausgegangen, dass auch eine Nachfrage zwischen Anschlüssen desselben MPoP bedient werden muss. – Dies wurde für die Layer 1 Verbindungsnachfrage ausgeschlossen, da lediglich für die standortübergreifende Verbindungsnachfrage eine Kostenteilung mit den sonstigen Breitbanddiensten (u.a. Voice) unterstellt wurde. Die Separierung von standortübergreifender und standortinterner Verbindungsnachfrage wurde den mietleitungsinkrementellen Einrichtungen am Standort zugeordnet, die nicht Gegenstand des gemeinsamen Transportnetzes im Breitbandnetz (Version 2.1.1 – 2.3) sind.

Grundsätzlich ist es möglich, das mietleitungsinkrementelle Equipment gemeinschaftlich für standortübergreifende und standortinterne Verbindungsnachfragen zu dimensionieren. In Abhängigkeit der Anzahl oder auch der Größe der nachgefragten Schnittstellen kann es jedoch auch sinnvoll sein, eine Separierung zu vollziehen.

Für die Systemzuweisung der internen Verbindungsnachfragen haben wir folgende Vorgehensweise gewählt:

1. Gemeinsames Equipment mit dem MPoP überschreitenden Verkehr bei **geringen Anzahlen** interner Verbindungen
2. **Separates Equipment** neben dem Equipment für MPoP-überschreitenden Verkehr bei **größeren Mengen** MPoP internen Verkehrs
3. Kein Equipment wenn kein MPoP interner Verkehr vorliegt

Die Implementierung sieht keine vollständig endogene Entscheidung über die Separierung der vorzusehenden Einrichtungen vor, sondern basiert auf einer Parameter gesteuerten Separierung.

6.1.4.1 Parameter gesteuerte Separierung des Equipments für standortübergreifende und interne Verbindungsnachfragen

Wir nehmen eine Parameter gesteuerte Separierung des Equipments für standortübergreifende und interne Verbindungsnachfragen vor. Da die Realisierung unterschiedlicher Anschlussgeschwindigkeiten auch den differenzierten Einsatz von Equipment beinhaltet, ist neben der Anzahl der nachgefragten Verbindungen auch die Anschlussgeschwindigkeit bestimmend für den Modellierungsansatz.

Die nachfolgende Tabelle beschreibt die unserer Modellierung zu Grunde liegende Struktur. Dabei werden Schnittstellen und ihre inhärenten Bandbreiten nachfolgend synonym verwendet.

Tabelle 6-1: Kategorisierung der standortinternen Verbindungsnachfrage (Layer 1)

Bandbreiten	Anzahl Verbindungen		
	gering	hoch	
Layer 1			
klein	integriert	separat, aktiv	E1
mittel	integriert	separat, aktiv	E3 - STM-1
groß	separat, passiv	separat, aktiv	STM-4 - 100G

Die Unterteilung in „klein, mittel, groß“ orientiert sich dabei an den Größeneinteilungen der technischen Einrichtungen, wie sie durch die Digitalen Multiplexer (DMUX) repräsentiert sind.

Die Modellalgorithmik sieht eine sequentielle Abarbeitung der MPoP vor. Für jeden MPoP erfolgt dabei der Abgleich von der Anzahl der (innerhalb dieses Standortes) nachgefragten (standortinternen) Verbindungen mit dem (durch den Modellanwender vorgegebenen) Schwellwert, so dass die Klassifizierung in „geringe Anzahl Verbindungen“ oder „hohe Anzahl Verbindungen“ erfolgen kann. Bei einer geringen Anzahl nachgefragter Verbindungen der angegebenen Kategorie ist im Modell eine Integration in das Equipment der standortübergreifenden Nachfrage unterstellt (ohne dass diese einen Einfluss auf die Durchschnittskosten hätte). Bei einer hohen Anzahl an standortinternen Verbindungen ist eine separate Modellierung, die Zuweisung von inkrementellem Equipment, vorgesehen.

Ab wann es sich um eine „geringe“ oder „hohe“ Nachfrage handelt, soll für jede Kategorie von Verbindungsnachfragen (mit Blick auf die Geschwindigkeit) über einen individuellen Schwellwert (differenziert nach „klein, mittel, groß“) parametrisiert werden können.⁴⁶ Für die interne Layer 1 Nachfrage werden somit 3 weitere Eingangsparameter eingeführt.

⁴⁶ Diese Schwellwerte können im Rahmen einer Kostenstudie über Sensitivitätsanalysen festgelegt werden.

In Tabelle 6-1 wird bereits deutlich, dass bei großen Bandbreiten eine Separierung des Equipments erfolgen soll. Mit Blick auf die Systemzuweisung lässt sich die Tabelle 6-1 auf die folgende Grundstruktur reduzieren:

Tabelle 6-2: Fallunterscheidung bei der Systemzuweisung

		Anzahl	
		klein	groß
Bandbreiten	klein / mittel	c Fall 1	d Fall 3
	groß	B Fall 2	Fall 3
		Schwellwert gesteuerte Auswahl	

Fall 1: Mitbenutzung der ChannelBank für standortübergreifende Nachfrage

Fall 2: eigene **Regeneratoren**, passiv

Fall 3: eigener **ADM/Cross Connector**⁴⁷

Sowohl Fall 1 als auch Fall 2 sind bei unserer Modellierung für die standortinterne Nachfrage keine Größenvorteile verbunden (Fall 1 Input, Fall 2 Regenerator-Kosten pro Verbindung). Bei der Kostenberechnung muss in der Datenaufbereitung keine Zuordnung von standortinternen Verbindungsnachfragen erfolgen, da die Kosten pro Verbindung (ein Repeater pro Verbindung) anfallen. Die Berechnung kann daher unabhängig von der Höhe des Schwellwertes vorgenommen werden.

Für Fall 3 müssen bei der Analyse der Verbindungsnachfrage bandbreitenspezifische Filter gesetzt werden, um für die Systemzuweisung für die interne Verbindungsnachfrage nur diejenigen Verbindungen für die Kostenmodellierung zu listen, die den Bandbreiten-Schwellwert überschreiten.⁴⁸

6.1.4.2 Fall 1: Integration der internen Nachfrage E1, E3, STM-1

Für die Realisierung standortinterner Nachfrage sind Kosten sowohl für die Ports als auch Einrichtungen (PIU – Plug in Unit) zu berechnen.

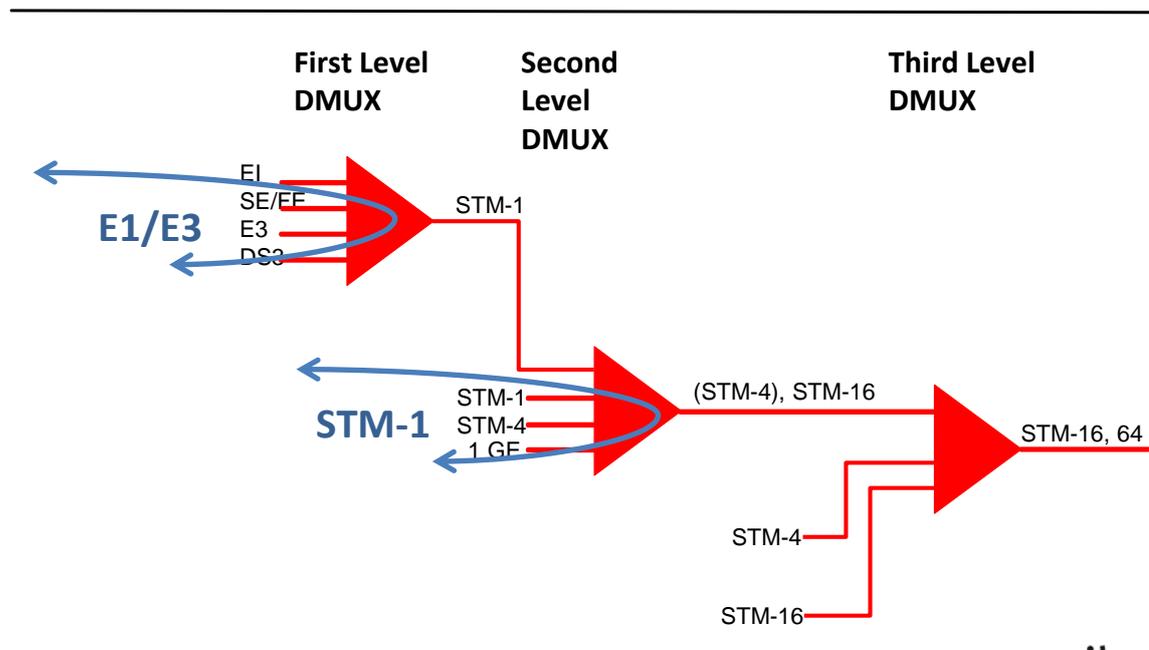
⁴⁷ Wenn der ADM voll ist und ein zweiter oder nächster in Summe teurer werden als ein entsprechend leistungsfähiger Cross Connector, kommt letzterer zum Einsatz.

⁴⁸ Der Modellierungsansatz ist aufgrund der vorzuziehenden Schwellwerte mit hohen Freiheitsgraden verbunden und erlaubt über parametergesteuerte Sensitivitätsrechnungen die Bestimmung effizienter Realisierungen. Auf die Berücksichtigung der Variante der Verbindungssteuerung standortinterner Nachfragen auf höheren Netzebenen wurde verzichtet, da dies zum einen technisch nicht notwendig ist und zum anderen aus Effizienzüberlegungen nicht anzuraten wäre. Siehe hierzu auch [WIK-14d], Kommentaraufforderung 6-8.

Für den Fall 1 (kleine Bandbreiten und geringe Anzahl an Verbindungen) nehmen wir die Integration dieser Nachfragen in die für den standortübergreifenden Verkehr vorgehaltenen Einrichtungen an. Dabei verzichten wir auf eine explizite Berücksichtigung dieser „geringen“ Anzahl an Verbindungsnachfragen bei der Dimensionierung der Schnittstellenkarten und Plug in Units. Letztlich unterstellen wir, dass die bei der Modellierung der Verbindungsnachfrage über sämtliche MPoP ermittelten Kosten für die Schnittstellen von E1, E3 und STM-1 repräsentativ sind. Entsprechend den nachgefragten Schnittstellen sind die zugehörigen Systeme „autonom“⁴⁹ bereitzustellen. Für die Kostenmodellierung unterstellen wir, dass die angegebenen Investitionspreise die Investitionen für die Anbindung an das Data Control Network (DCN) beinhalten.

Die vorgeschlagene Modellierung ist in den nachfolgenden Darstellungen illustriert.

Abbildung 6-5: Fall 1: Integrierte E1 Realisierung für geringe Anzahl interner Verbindungsnachfragen



⁴⁹ Die Bezeichnung „autonom“ stellt darauf ab, dass die einzusetzenden Multiplexer nicht kaskadiert werden müssen, wie es bei der standortübergreifenden Nachfrage der Fall ist.

Die aus der Modellierung der Ebene 0 Anbindung der standortübergreifenden Verbindungsnachfragen bekannte Abbildung ist hier aufgegriffen, um zu illustrieren, wie die interne Verbindungsnachfrage einer E1, E3 oder STM-1 realisiert wird. Dazu ist in Abbildung 6-5 an dem Multiplexer der ersten Stufe (STM-1 Multiplexer) eine blaue Verbindungslinie eingezeichnet, die mit beiden Enden an diesem Standort angebunden ist und eine interne Verbindungsnachfrage für E1 und E3 illustrieren soll. Gleiches ist auf der zweiten Multiplex-Stufe mit einer STM-1 dargestellt. Aus der Darstellung geht hervor, dass für die interne Verbindungsnachfrage keine Aggregation erforderlich ist und entsprechend die Kosten der Kaskadierung nicht zu Buche schlagen.

Für die Kosten der Verbindung sind lediglich zweimal die Kosten eines Ports auf einer E1-Schnittstellenkarte (bzw. E3 oder STM-1) und einmal die zuzurechnenden Kosten der Inanspruchnahme der PIU (STM-1 MUX, bzw. STM-4 oder STM-16 MUX) anzusetzen. Die sonstigen Verbindungskosten einer standortübergreifenden E1, die auch einer Aggregation auf eine größere Schnittstelle bedürfen, sind für den Fall der internen Verbindungsnachfrage nicht inkrementell.

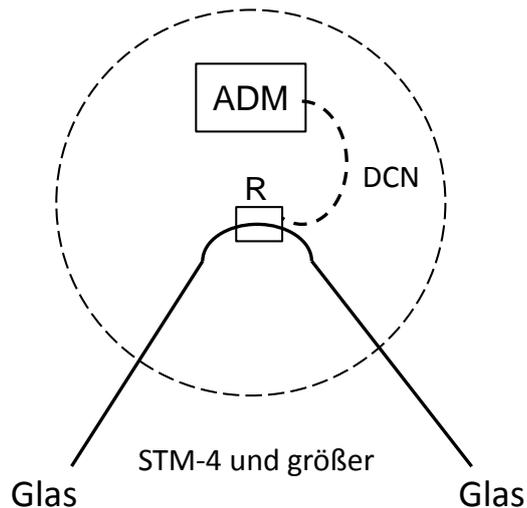
Tabelle 6-3: Fall 1 – Systemzuweisung bzw. Kostenbestimmung

	2x Port-Kosten	1x PIU-Kosten
E1		
E3	Verwendung der berechneten Kosten der standortübergreifenden Verbindungsnachfragen	
STM-1		
FE (0.1GE)		

6.1.4.3 Fall 2: Integration der internen Nachfrage STM-4 und größer

Fall 2 deckt die Nachfrage nach großen standortinternen Verbindungen ab, die lediglich in geringer Anzahl vorliegen. Als „groß“ wurden hierbei die Schnittstellen STM-4 und größer eingestuft.

Abbildung 6-6: Geringe Mengen STM-4 und größer



Die hier vorgeschlagene Modellierung sieht eine Verbindung der beiden Glasfaseranschlussleitungen über einen Regenerator im MPoP vor. Es handelt sich dabei um eine passive Lösung zur Verbindung der beiden Anschlussleitungen im MPoP (anstelle von verbindungssteuerndem Equipment). In der Abbildung 6-6 ist mit der gestrichelten Linie vom Regenerator zum ADM des Transportnetzes eine Anbindung an das Data Control Network (DCN) charakterisiert. Für die Kostenmodellierung unterstellen wir, dass die angegebenen Investitionspreise – hier für den Regenerator – die Investitionen für die Anbindung an das Data Control Network (DCN) beinhalten.

Da es sich hierbei um eine verbindungsindividuelle Realisierung handelt, sind für jeden Schnittstellentyp spezifische Regeneratoren im generischen Equipment vorzuhalten. Neben der Spezifikation der Bandbreite ist die Reichweite von Regeneratoren ein kostentreibendes Leistungsmerkmal. Da von den hier benötigten Regeneratoren lediglich kurze Distanzen zu überbrücken sind, können für den Zweck der standortinternen Verbindungsnachfrage weniger leistungsfähige Regeneratoren eingesetzt werden als auf den Transportstrecken des Verbindungsnetzes.

Tabelle 6-4: Fall 2 – Systemzuweisung bzw. Kostenbestimmung

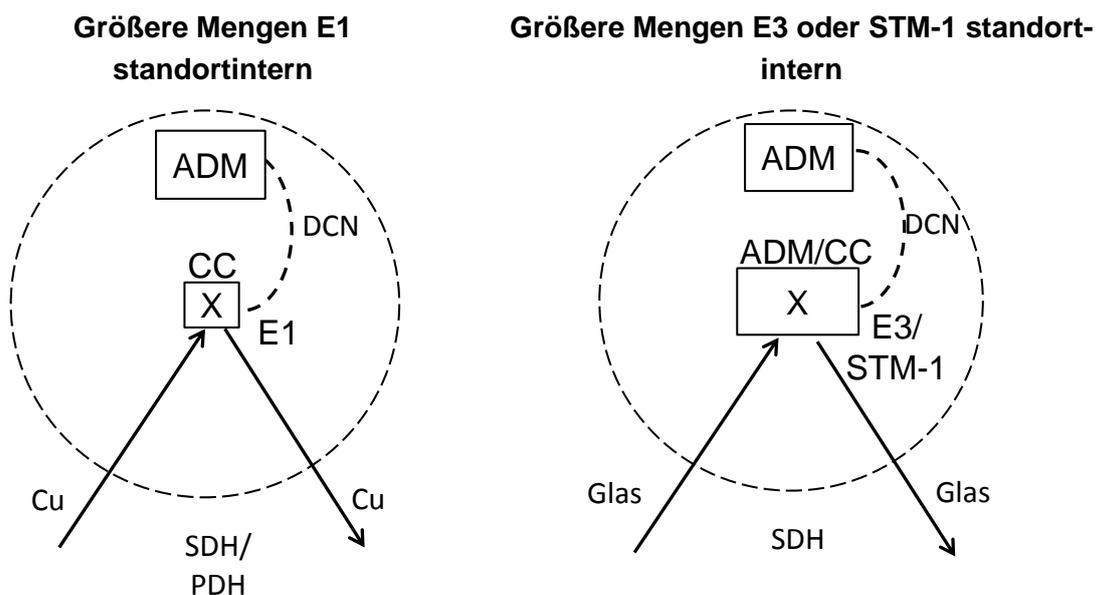
	1x Regenerator-Kosten
STM-4	Verwendung spezifischer Regeneratoren für die MPoP- internen Verbindungen (differenziert nach Schnittstellen)
1G	
2.5G	
10G	
100G	

6.1.4.4 Fall 3: Integration der internen Nachfrage

Für den Fall 3 der standortinternen Nachfrage muss in der Modellierung zwischen kleinen (E1), mittleren (E3 und STM-1) sowie großen Schnittstellen (STM-4 und größer) unterschieden werden.

In der Abbildung 6-7 ist die Realisierung der kleinen und mittleren Schnittstellen dargestellt.

Abbildung 6-7: Fall 3: Größere Mengen von kleinen und mittleren Größen einer standortinternen Verbindungsnachfrage (E1, E3, STM-1)



Aus der Abbildung 6-7 geht hervor, dass für die internen E1-Verbindungen ein E1 Cross Connector (E1 CC) vorgesehen ist (Abbildung links). Demgegenüber kommen bei den etwas größeren Schnittstellen (E3 und STM-1) spezifische Add Drop Multiplexer, oder Cross Connectoren (separiert für E3 bzw. STM-1), zum Einsatz. Ob ein ADM oder ein Cross Connector zum Einsatz kommt, richtet sich bei der Systemzuweisung nach der Anzahl der nachgefragten Verbindungen: Reichen die an einem ADM realisierbaren Ports nicht mehr aus, muss ggf. ein zweiter ADM oder ein Cross Connector mit mehr Schnittstellen zum Einsatz kommen. Diese Abwägung erfolgt unter Berücksichtigung des Preises für die Bedienung der Nachfragen.

Tabelle 6-5: Fall 3 – Systemzuweisung bzw. Kostenbestimmung für kleine und mittlere Bandbreiten

	2x Port-Kosten	1x PIU-Kosten
E1	Dimensionierung spez. E1-CC	
E3	Dimensionierung spez. ADM oder CC Auswahl der PIU nach Maßgabe der Verbindungsnachfrage am MPoP	
STM-1		
FE (0.1GE)		

Bei der Systemzuweisung kommt dabei immer die kleinstmögliche Schnittstellenkarte zum Einsatz, die die am MPoP vorherrschende standortinterne Verbindungsnachfrage bedienen kann.

Der Fall von großen standortinternen Verbindungen (STM-4 und größer) stellt sich analog zu der Realisierung der mittleren Bandbreiten dar. Aufgrund der Größe der Schnittstellen muss ein Cross Connector zum Einsatz kommen. Dieser kann die verschiedenen Schnittstellen „gemeinschaftlich“ realisieren (m.a.W.: es muss nicht für jede Geschwindigkeit ein separater Cross Connector bereitgestellt werden).

Abbildung 6-8: Fall 3: Größere Mengen von großen standortinternen Verbindungen (STM-4 und größer)

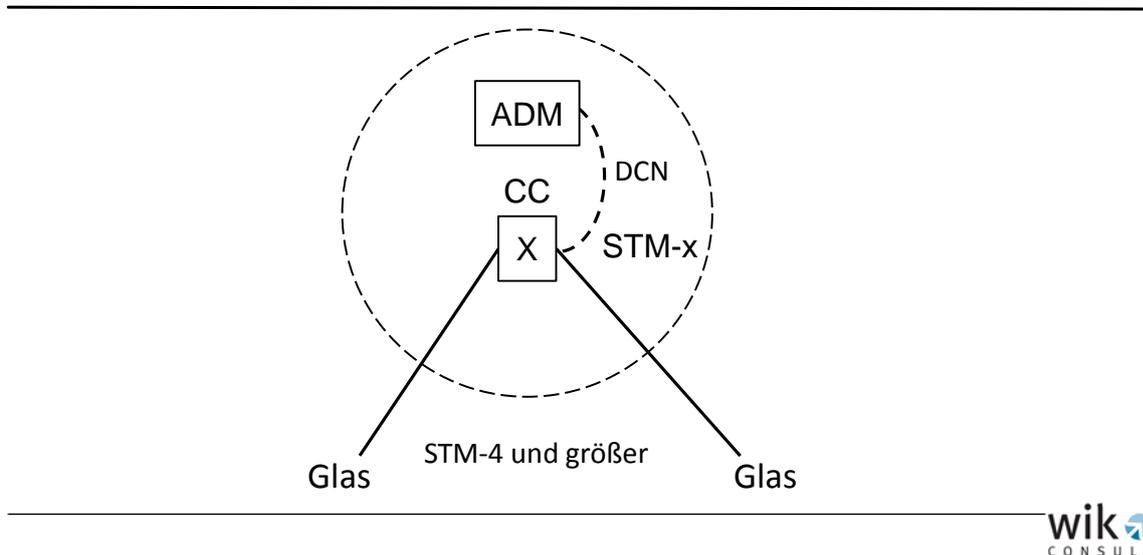


Tabelle 6-6: Fall 3 – Systemzuweisung bzw. Kostenbestimmung für große Bandbreiten

	2x Port-Kosten	1x PIU-Kosten
STM-4		
1 GE	Dimensionierung spezifischer Cross Connectoren Auswahl der PIU nach Maßgabe der Verbindungsnachfrage am MPoP	
STM-16		
10 GE		
100 GE		

6.2 Layer 2 – Modellierung der mietleitungsinkrementellen Netzelemente

6.2.1 Separierung von standortübergreifendem und internem Verkehr

Für die Implementierung der Kostenberechnung für Ethernet basierte Mietleitungen gehen wir analog zu der Implementierung SDH basierter Mietleitungen vor. D. h., wir ermitteln standortgenau die Schnittstellennachfrage und das für die Aggregation erforderliche Equipment mit seinem Investitionsbedarf. Die Kosten des Transports werden – analog zu SDH – dem bereits im Breitbandnetz Kostenmodell Version 2.3 entnommen.

Analog modelliert verwenden wir für Layer 2 dieselben Regeln der Verkehrsverteilung⁵⁰ wie bei Layer 1 Kapazitätsnachfragen, die es dann auch erlauben, eine differenzierte Modellierung nach standortübergreifender und standortinterner Nachfrage durchzuführen.

Die Differenzierung von standortübergreifender und interner Verbindungsnachfrage erlaubt es, standortgenau die interne Nachfrage zu bestimmen, welche für die anschluss- und aggregationsbezogenen Kosten treibend ist.

6.2.2 Qualitätsparameter

Anders als bei SDH-Mietleitungen, deren Qualität aufgrund der festen Zeitfenster des „Time Division Multiplexing“ durch die technischen Standards dieser Technologie und Einrichtungen definiert ist, sind im Ethernet statistische Zusammenhänge bestimmend. Ethernet basiert auf einem statistischen Multiplex. Übertragen werden Ethernet-Frames, deren Größe typischer Weise 1600 Byte nicht übersteigt und in der Regel von der Art der Kommunikation und der Menge der zu übertragenden Daten abhängt.

⁵⁰ Die Verkehrsverteilungsparameter steuern, zu welchem Anteil sich die Verbindungsnachfragen auf Standorte des gemeinsamen 0-1 Clusters, des gemeinsamen 0-2 Clusters verteilen bzw. wieviel auf die sonstigen Standorte über das Kernnetz verteilt wird. Auf jeder Ebene erfolgt dabei die Verteilung auf die Standorte des entsprechenden Clusters nach Maßgabe des Verkehrsgewichts. Für den Layer 2, dessen Verkehrslenkung durch die Ethernet-Switches erfolgt, wird im Kostenmodell Breitbandnetz Version 2.1 Verkehr nach Maßgabe des eigenen Verkehrsgewichts auf den eigenen Standort (lokal abzuführende Nachfrage) verteilt. Bei der Modellierung des Layer 1 wurde darauf verzichtet, da die sogenannte standortinterne Nachfrage, nicht die Transportkapazitäten des Verbindungsnetzes in Anspruch nimmt.

Auch bei Ethernet erfolgt die Definition von Qualitätsparametern unter Rückgriff auf Industrie-Standards. Die Angebote der Telekom Deutschland sind entsprechend der Normung IEEE 802.3 definiert.⁵¹

51 IEEE 802 definiert verschiedene Standards unter QoS. Der einfachste Mechanismus ist im Standard 802.3 definiert, bei dem zur Flusskontrolle sogenannte Pause Pakete linkweise geschickt werden und der Empfänger für einen vor-definierten Zeitraum das Absenden von Paketen unterbricht. Erweiterte Mechanismen finden sich in 80.2.1p, welches gestattet bis zu acht Dienstklassen einzuführen und die Pakete entsprechend zu priorisieren. Für weitere Details siehe [Baldi-02] und für einen kurzen Überblick vergleiche [Risso-09].

In den Verträgen sind in der Regel die Qualitätsparameter von Ethernet-Mietleitungen definiert. Zur Illustration ist hier ein Auszug aus einem Vertrag/den AGB der Telekom Deutschland, Standardvertrag zur Bereitstellung und Überlassung von Carrier-Festverbindungen, Leistungsbeschreibung, Anlage 1, vom 5.11.2012 [Telekom-12a] aufgenommen:

2.2 Qualitätsparameter

Die folgenden Qualitätsparameter gelten je CFV Ethernet:

- Ethernet Frame Transfer Delay (EFTD): maximal 30 ms
- Die EFTD ist abhängig von der Framegröße, der Verbindungsbandbreite, der Bitrate der Ethernet-Schnittstelle und der Entfernung.
- Ethernet Frame Loss Ratio (EFLR): generell kleiner oder gleich 0,1 %
- Frame Delay Variation (FDV): Voice 2 ms, Low Delay: 5 ms
- Die Angaben gelten unter der Voraussetzung, dass am Netzeingang (Ethernet-Schnittstelle) die Peak-Bitrate der Leitung - bezogen auf Ethernet-Frames - nicht überschritten wird.

Weitere technische Eigenschaften der CFV Ethernet und der Netzabschlüsse sind den Technischen Beschreibungen der Telekom zu entnehmen. Auf schriftliche Aufforderung (siehe *Anlage 6 – Ansprechpartner*, Punkt 1.4) übersendet die Telekom die jeweilige Technische Beschreibung an KUNDE.

Änderungen der IEEE-Empfehlungen werden die Vertragspartner einvernehmlich in die Technische Beschreibung der Telekom aufnehmen.

Kann KUNDE die CFV Ethernet über die beschriebenen Qualitätsparameter hinaus nutzen, so besteht darauf kein Anspruch und bei einer möglichen Leistungsbeschränkung durch die Telekom für KUNDE weder ein Anspruch auf Minderung, Erstattung oder Schadensersatz noch ein Recht zur Kündigung aus wichtigem Grund.

Im bestehenden Kostenmodell Breitbandnetz Version 2.3 sind Qualitätsparameter für die Dienste implementiert, die über Inputparameter kontrolliert werden können. Es handelt sich hierbei um ein M/M/1 Modell mit dessen Hilfe unter Rückgriff von QoS-Klassen für jede Dienstklasse die Kapazitäten von Tunneln berechnet werden.

Das M/M/1 Model betrachtet mit der mittleren Laufzeitverzögerung nur einen QoS-Parameter. Für die Netzdimensionierung ergeben sich die Gesamtkapazitäten aus der Summe der Kapazitäten der Tunnel und für jeden Tunnel ergibt sich ein dienstklassenspezifischer mark-up Faktor (MUF). Im bestehenden Kostenmodell Breitbandnetz Version 2.2 wird dieses Dimensionierungserfordernis verglichen mit einem globalen MUF.⁵² – Aus bisherigen Untersuchungen hat sich ergeben, dass bei Anwendung von realen globalen Auslastungsgraden zwischen 0.7 und 0.8 (MUF zwischen 1.25 – 1.43) diese Kapazität immer größer ist als die sich aus der Summe der Tunnels unter Berücksichtigung der dienstklassenspezifischen MUF ergebende Kapazität. Entsprechend wirken sich die individuellen QoS-Parameter nicht auf die Netzdimensionierung aus.

Argumente für die Angemessenheit der Verwendung eines M/M/1 Modells für die Kostenbestimmung für Sprachzusammenschaltung finden sich in Anhang 3 des Referenzdokuments Analytisches Kostenmodell für ein Breitbandnetz Version 2.2.⁵³ Dort wird gezeigt, dass

- nur die Anwendung eines M/M/1 (ggf. eines M/M/S) Models gestattet, eine netzbezogene Planung und Dimensionierung vorzunehmen, weil sich aus einem Poisson Input (erstes M) der Pakete und einer exponentiellen Zeitdauer für die Verarbeitung bzw. Übertragung der Pakete (zweites M) wieder am Ausgang ein Poisson Output ergibt (Theorem von Burke) und damit die Summe der Zeitverzögerungen über alle Netzelement eines Weges die Ende-zu-Ende Zeitverzögerung ergibt (Theorem von Jackson)⁵⁴.
- aus Sicht eines Kostenmodels mittels des M/M/1 Modells eine Überschätzung der Kapazitäten und damit der Kosten für die Sprache und real time Dienste erfolgt. Bei Sprache und den meisten real time Diensten wird von einer festen Paketlänge bzw. einer Paketlänge mit geringer Varianz ausgegangen und die Paketankünfte sind damit glatt bis konstant (was u.U. sogar durch ein D/D/1 Modell angenähert werden könnte), wohingegen bei den Datendiensten genau das umgekehrte gilt: Burst-Ankunft der Pakete und auf IP Ethernet Basis je nach Dienst begrenzte Paketlängen, die durch den Maximalwert eines Ethernet Rahmens begrenzt sind und damit durch ein G/D/1 Modell mit hoher Varianz im Paketankunfts-Strom angenähert werden können. Damit ergibt sich eine Unterschät-

52 Mit Blick auf die Kostenzurechnung kann hier auf das Hauptdokument des Referenzdokuments „Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Version 2.2“ verwiesen werden. In Abschnitt 4.4 und Anhang 3 des Referenzdokuments [WIK-14e] wird erläutert, dass sich die Netzdimensionierung am Maximum aus globalem Mark-up Faktor und dienstespezifischem Mark-up orientiert. Nur für den Fall, dass die dienstespezifischen Mark-up Faktoren die Netzdimensionierung auf Grund ihrer Qualitätsanforderungen treiben, wird eine dienstebezogene Kostenzurechnung unter Rückgriff auf die dienstespezifischen mark-up Faktoren umgesetzt.

53 [WIK-14e]

54 Vgl. [Gelenbe-98].

zung der für Datendienste erforderlichen Kapazitäten und damit von deren Kosten.⁵⁵

Das M/M/1 Modell hat den zusätzlichen Vorteil, dass es auf alle Knoten eines Netzes einheitlich angewendet werden kann und sich die gesamte Laufzeitverzögerung eines Paketes vom Ursprung zum Ziel durch die Summe der Laufzeitpakete ergibt. Hinzu kommt, dass bei G/D/1 weder das Theorem von Burke noch das von Jackson gilt, d.h. die Laufzeitverzögerungen zwischen den Knoten sind korreliert.⁵⁶

Im Kontext dieses Modellierungsansatzes sind Layer 2 Mietleitungen in unserem Verständnis nicht als Datendienste anzusehen, sondern vielmehr als real time Dienste. Letztlich beinhalten die Qualitätsparameter Werte, die mit denen von Sprache vergleichbar sind – wie im Standardangebot mit der maximalen Laufzeitverzögerung von 30ms.⁵⁷ Aufgrund der Kapazitätsreservierung bei Mietleitungen entfällt damit das stochastische Element in der Kapazitätsnachfrage, wie es für Datendienste charakteristisch ist.

Sofern der globale mark-up Faktor den dienstespezifischen mark-up Faktor übersteigt, erfolgt die Kostenzurechnung nach Maßgabe der Kapazitätsnachfragen der Dienste.⁵⁸

Letztlich erlaubt das bestehende Breitbandkostenmodell Version 2.3 eine Berücksichtigung der Qualitätsparameter von Ethernet Mietleitungen auf Basis des M/M/1 Modells und die mittlere Laufzeitverzögerung kann mittels Eingabeparameter kontrolliert werden. Der Vertragsbestandteil, „dass am Netzeingang (Ethernet-Schnittstelle) die Peak-Bitrate der Leitung - bezogen auf Ethernet-Frames - nicht überschritten“ werden darf, konstituiert für uns dabei eine zentrale Nebenbedingung, die die Dimensionierungserfordernisse begrenzt.

6.2.3 Netzebene 0 – Anschluss und Aggregation

Im Modell konstituieren sämtliche Netzknotenstandorte einen „Teilnehmer-Anschluss“ an das Transportnetz. Entsprechend dieser Annahme beinhaltet jeder Standort die

55 Die Anwendung eines M/M/1 Modells zur Dimensionierung auf einen Paktstrom G/D/1 mit hoher Varianz in der Paketankunftsrate führt zu einer Unterschätzung der erforderlichen Kapazitäten während bei einer sehr geringen Varianz eine Überschätzung erfolgt, vgl. [Kawashima-99]

56 Im Gegensatz dazu ist bei Anwendung eines G/D/1 Modells die Varianz des Paketstroms knotenindividuell jeweils neu aus den am Standort entstehenden Paketen und den aus den im Transit ankommenden Paketen abzuschätzen weil die statischen Eigenschaften des Paketstroms nach jedem Durchlauf durch einen Knoten verändert werden.

57 Wie schon gezeigt erlaubt TAROCA mittels des M/M/1 Modells nur die Abschätzung der mittleren Laufzeitverzögerung einer Verbindung als Summe der Laufzeitverzögerung über alle Knoten. Um die maximale Laufzeit zu berücksichtigen, ist die entsprechende mittlere Laufzeit mit einem Mark-up Faktor >1 zu dividieren, der aus dem exponentiellen Verlauf der Laufzeitverzögerung und dem maximalen Paketverlust abgeschätzt werden kann.

58 Dies bedeutet wieder, dass die Kosten für Dienste mit hoher statistischer Schwankung in den Paketströmen, die den globalen MUF erfordern, in den Kosten unterschätzt werden, während Dienste mit geringen statistischen Schwankungen überschätzt werden.

Funktionalität der Netzebene 0. Hierzu gehören zum einen die MSAN, die den Endkundenverkehr des Massengeschäftes aggregieren, zum anderen die Layer 1 ChannelBanks für die Layer 1 Mietleitungen und die Layer 2 ChannelBanks für die Layer 2 Mietleitungen, die Company Connect Anschlüsse und die Anschlüsse für LTE Backbone-Verkehr. Um die Kosten für Ethernet Mietleitungen zu bestimmen, muss das Modell auch um diese letztgenannten Einrichtungen ergänzt werden, die sowohl den Anschluss als auch die Aggregation der Layer 2 Kapazitätsnachfrage vollziehen.

Mit Blick auf die Systemparameter (generisches Equipment) handelt es sich dabei um Ethernet Switches, und damit um Einrichtungen, die bereits für das diensteintegrierte Breitbandkostenmodell Version 2.2 herangezogen wurden⁵⁹. Dabei werden insgesamt sechs verschiedene Einrichtungen vorgehalten, die sich zunächst nur mit Blick auf ihre Gesamt-Bandbreite sowie die Zahl der Steckplätze unterscheiden.

Die zugehörigen Schnittstellenkarten werden global definiert. Mit anderen Worten, die für die verschiedenen Geschwindigkeiten definierten Schnittstellenkarten sind im Modell a priori für sämtliche PIU verwendbar. Hinsichtlich der Anschluss-Funktionalität ist jedoch zu beachten, dass nicht zwingend alle Einrichtungen sämtliche Schnittstellentypen unterstützen. So ist davon auszugehen, dass SE (Standard Ethernet) i.d.R. nur von kleinen Plug in Units (PIUs) unterstützt wird. Für die größeren Schnittstellen hingegen ist davon auszugehen, dass die Gesamtkapazität der Plug in Unit bereits eine Beschränkung darstellt. Eine Berücksichtigung dieser Anforderungen kann im Einzelnen bereits durch die Parametrisierung des generischen Equipments gesteuert werden.

Anders als bei dem Anschluss und der Aggregation von Layer 1 Verbindungsnachfragen im MPoP wird bei Layer 2 Verbindungsnachfragen keine Kaskadierung vollzogen. In einer Vielzahl von Fällen bei den Verbindungsnachfragen auf Layer 2 kann es dazu kommen, dass mehrere Ethernet Einrichtungen parallel zueinander bereitgestellt werden müssen.

Für Schnittstellen größer 1G gehen wir davon aus, dass diese nicht mit kleineren Schnittstellen auf gemeinsamen Ethernet Einrichtungen aggregiert werden, sondern direkt auf die Layer 1 Transportverbindungen des DWDM-Netzes geschaltet werden. Eine Aggregation der typischerweise eher wenigen Verbindungen auf kleinen Ethernet-Switches ist nicht effizient, wobei 40G oder 100G Verbindungen die Transportkapazität einer Wellenlänge nahezu bzw. vollständig ausschöpfen und ein vorgeschalteter Ethernet Switch nur Kosten, aber keinen Mehrwert beitragen könnte.

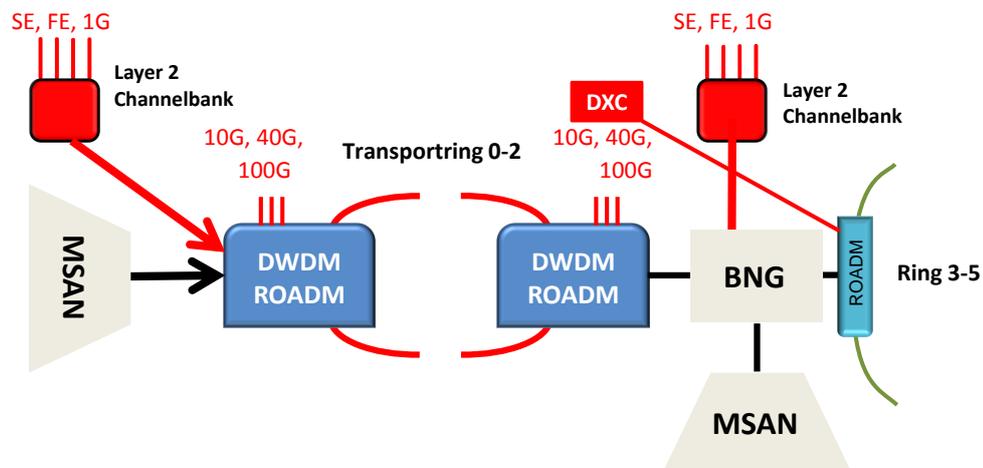
⁵⁹ Diese Ethernet Switches werden in der Version 2.3 für die Aggregation und Konzentration nicht mehr eingesetzt. An Ihre Stelle tritt neu der BNG auf Level 2/3. Dennoch werden sie, nun nur noch als Mietleitungsspezifisches Equipment für die Voraggregation des Layer 2 Mietleitungsverkehrs im MPoP aus Effizienzgründen weiter verwendet. (Andernfalls müsste jede Mietleitung als separate Wellenlänge zum BNG geführt werden.)

Mit Blick auf kundenseitige SDH-Schnittstellen verweisen wir hier auf die von uns vorgeschlagene Vorgehensweise, direkt beim Kunden eine Wandlung auf Ethernet vorzunehmen (siehe Abschnitt 4.2), so dass der Anschluss an das NGN im MPoP sowie die Aggregation auf Basis von Ethernet erfolgen.

Abbildung 6-9 gibt einen Überblick über die Verkehrsführung der Layer 2 Mietleitungen im Konzentrationsnetz, das sich durch die Einführung der BNG-Architektur gegenüber der Vorgängerversion in seiner Art, den Verkehr zu aggregieren, deutlich geändert hat. Die MSAN (indoor und outdoor in den dem MPoP vorgelagerten KVz des Anschlussbereiches) aggregieren den Massenmarkt-Verkehr der bei ihnen angeschlossenen Kunden. Dieser wird je MSAN unmittelbar auf Layer 1 (DWDM) aggregiert und über die geteilte Infrastruktur mit allen anderen Diensten aus dem MPoP zum übergeordneten Clusterstandort der Ebene 2/3 geführt. Dabei nutzt jede Backhauptschnittstelle eines MSAN (1G oder 10G) im DWDM eine separate Wellenlänge. Alle MSAN werden an BNGs abgeschlossen.

Der den Standort (Anschlussbereich) überschreitende Mietleitungsverkehr wird, sofern originär Layer 1 (SDH), in einer entsprechenden ChannelBank zusammengefasst (vgl. Abschnitt 6.1). Sie ist der Übersichtlichkeit halber in Abbildung 6-9 nicht enthalten (vgl. Abbildung 6-2). Der Layer 2 Verkehr wird in einer Layer 2 ChannelBank (Ethernet Aggregator) aggregiert, allerdings nur, sofern er nicht größer als über 1G-Schnittstellen angeliefert wird. Die Backhaul-Anbindung dieser ChannelBank endet am BNG. Größere Bandbreiten werden unmittelbar über eine Wellenlänge im DWDM-Layer 1 Netz transportiert und nicht über den BNG, sondern ggf. über den DXC der Ebene 2/3 weitergeleitet. Ein Ethernet-Switching oder Routing findet für diese großen Kapazitäten nicht statt, sondern sie werden wie Layer 1 Verbindungen behandelt.

Abbildung 6-9: Anschluss und Aggregation von Layer 2 Kapazitätsnachfragen



Ein BNG routet den L2 Bitstrom-Verkehr aus dem vom Massenmarkt aggregierten Verkehrs seines Teilclusters über separate Schnittstellen aus, wird jedoch nicht als vollwertiger Ethernet-Switch eingesetzt, der den Cluster-internen Layer 2 Verkehr mit den anderen BNG im selben IP-POP austauscht, sondern dieser Verkehr wird insgesamt, ob Layer 2 Mietleitungen, VPNs oder anderer Layer 2 Verkehr zu Zielen in anderen Teilclustern über das Kernnetz geroutet (vgl. Abschnitt 6.2.5). Einzig der Layer 2 Verkehr (Massenmarkt, Mietleitungen, Company Connect oder LTE), der im selben BNG-Teilcluster terminiert werden kann, wird innerhalb BNG unmittelbar selbst geschwitched.

6.2.4 Realisierung der spezifischen Layer 2 Verbindungsnachfrage im Konzentrationsnetz

Anders als bei Layer 1 Mietleitungen müssen für die Modellierung der Verbindungssteuerung für Layer 2 Verbindungen im Transportnetz keine zusätzlichen Netzelemente berücksichtigt werden, sofern diese die Bandbreite von 1G nicht überschreiten. Überschreiten sie diese Bandbreite, werden sie wie die Layer 1 Verbindungen als hochbandbreitige Verbindungen im Transportnetz über separate Wellenlängen geroutet, ggf. im DXC weitergeleitet und am anderen Ende wieder zum Ziel ausgeroutet. Dies ist bereits im Abschnitt 6.1 beschrieben, so dass hier nur die Layer 2 Verbindungen bis 1G Bandbreite weiterbeschreiben werden.

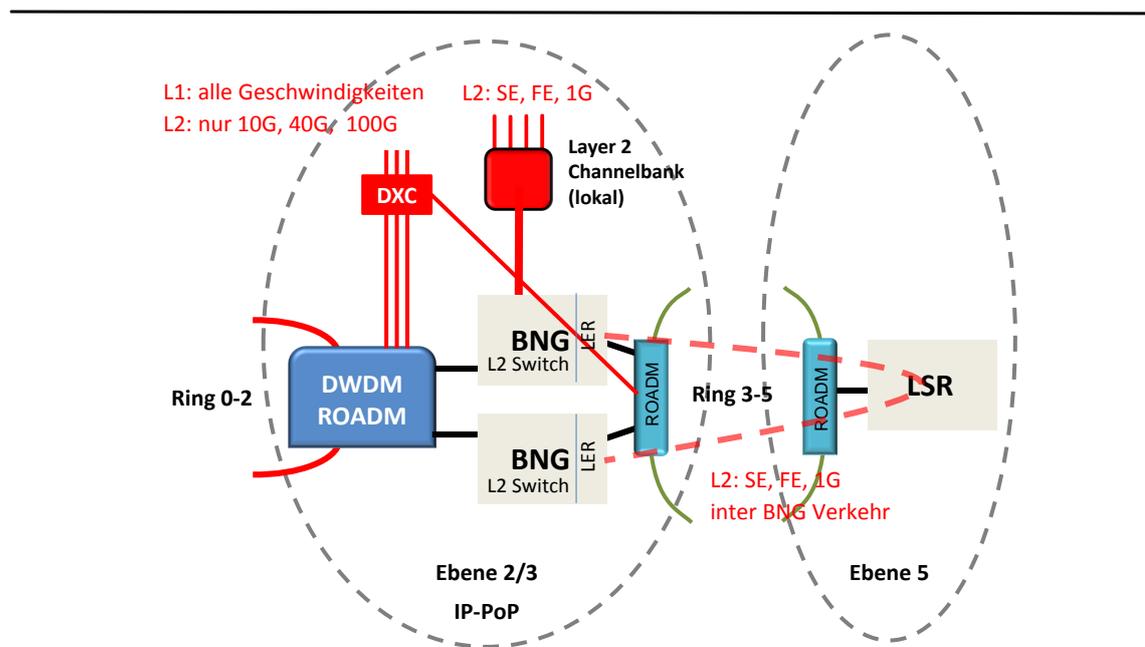
Verbindungen mit Bandbreiten bis 1G (incl.) werden von der Layer 2 ChannelBank je MPoP als Ethernet Uplink über das DWDM-Netz auf einer (oder bei Bedarf mehreren) Wellenlängen zum BNG geführt. Dieser entscheidet, ob der Verkehr in das Kernnetz weitergegeben werden muss oder ob er innerhalb des durch den BNG versorgten Clusters bereits auf Layer 2 (Ethernet) zu seinem Ziel geführt werden kann. Jeder Mietleitungsverkehr durch den BNG, der vom BNG nicht auf Layer 2 geroutet werden kann, einerlei, ob das Ziel über einen anderen benachbarten BNG derselben Ebene 2 Clusters erreicht werden kann (vgl. Abbildung 6-10) oder ob es in einem anderen Cluster liegt, wird über das Kernnetz geroutet. Eine besondere Rolle hierbei nehmen die Geschäftskundenanschlüsse und Anbindungen von Mobilfunk-Basisstationen ein, deren Zuführung in der Layer 2 ChannelBank beginnen und deren Ende jeweils im Layer 2-Teil des BNG liegen. Ab der LER-Funktion des BNG gehen diese Verbindungen im allgemeinen Internet-Verkehr des Kernnetzes auf bzw. im VPN-Verkehr des Kernnetzes, mit dessen spezifischen QoS. Dieser Verkehr verlässt das Kernnetz über die korrelierenden anderen Anschlüsse gleicher Art (Geschäftskunden bzw. Mobilfunk) oder über IP-Peering.

Abbildung 6-9 illustriert den Modellierungsansatz, die spezifische Layer 2 Verbindungsnachfrage über separate Einrichtungen in einem Ebene 0 Standort zu erfassen⁶⁰. Dar-

⁶⁰ Die Layer 2 ChannelBank im Ebene 2/3 Standort der Abbildung 6-10 ist der Ebene 0 Funktion des Standortes zuzurechnen und keine Funktion der Ebene 2/3.

aus geht hervor, dass es für die Modellierung irrelevant ist, auf welcher Ebene sich der betrachtete Standort befindet, da die Regeln und Nebenbedingungen der Systemzuweisung davon unberührt sind.

Abbildung 6-10: Steuerung der Ethernet Mietleitungen durch hierarchisch übergeordneten BNG des Breitbandnetzes



Die netzelementbezogenen Kosten für den Transport und auch die Steuerung der Verbindungsnachfrage auf Layer 2 lassen sich somit bereits aus dem Kostenmodell Breitbandnetz Version 2.3 ableiten.⁶¹ Die Herleitung der Routingfaktoren wird in Abschnitt 8.2.2.2 beschrieben.

6.2.5 Realisierung der spezifischen Layer 2 Verbindungsnachfrage im Kernnetz

Die Modellierung des Breitbandnetzes sieht eine Unterteilung in ein Ethernet basiertes Konzentrationsnetz und ein IP basiertes Kernnetz vor.⁶² Dies impliziert, dass die Lay-

⁶¹ Hierbei handelt es sich letztlich um die Ethernet Einrichtung, die bereits für das Breitbandnetz die „Steuerungsfunktion“ im Konzentrationsnetz übernehmen, den BNG, sowie die Layer 1 und Layer 0 bezogenen Kosten für den Transport.

⁶² Letztlich übersteigt die Standortzahl in einem Land wie Deutschland die Größenordnungen für ein flächendeckendes Ethernet basiertes Netz.

er 2 Nachfrage, die den BNG-Teilcluster verlässt (sowohl von den Breitbandanschlüssen als auch aus der Mietleitungsnachfrage herrührend), im IP-Kernnetz getunnelt wird.

Dazu richten die MPLS/IP Router im Kernnetz Tunnel mit festen IP Adressen und MPLS Labels ein – z.B. ab einer bestimmten Verkehrsgröße, was u.U. zu einem vollvermaschten logischen Netz zwischen den Kernnetzkonten führt. In den jeweiligen Tunneln werden Verkehrsnachfragen aus allen Diensten mit vergleichbaren QoS Anforderungen integriert. Dies kann z.B. zu vier Tunnel-Typen führen: Real Time, Streaming, Data und Best Effort.

Das für die Realisierung der Tunnel erforderliche Equipment ist bereits im IP Kernnetz vorgesehen. Für die Kostenmodellierung für Layer 2 bedarf es daher auch hier keiner zusätzlichen Berücksichtigung von Einrichtungen, die inkrementell für den Transport der spezifischen Layer 2 Verbindungsnachfragen wären.

Die Tunnel im IP-Netz werden durch einen Operator und das entsprechende Managementsystem in den LER konfiguriert. Da dies die Einrichtung der Verbindungsnachfrage betrifft, sind die damit in Zusammenhang stehenden Kosten den Bereitstellungskosten zuzuordnen.⁶³

6.2.6 Modellierung der standortinternen Layer 2 Verbindungsnachfrage

In Analogie zu der Modellierung der standortinternen Nachfrage von Layer 1 Verbindungen soll auch die Modellierung der standortinternen Layer 2 Verbindungen vollzogen werden (siehe Abschnitt 6.1.4). Auch hier soll daher in Abhängigkeit der Anzahl oder auch Größe der nachgefragten Schnittstellen eine Separierung des Equipments für die standortinterne Nachfrage vollzogen werden, wie sie in der nachfolgenden Tabelle 6-7 skizziert ist. Die Darstellung und Abgrenzung erfolgt dabei nach Maßgabe der mit den jeweiligen Mietleitungen verbundenen Schnittstellen („interface capacity“) in Abgrenzung zu der vermarkteten Bandbreite im Sinne der „transmission link capacity“. Diese Vorgehensweise begründet sich darin, dass die Schnittstellen hier den relevanten Kostentreiber darstellen und nicht die tatsächlich reservierte Kapazität im Transportnetz.

⁶³ Wir gehen davon aus, dass sämtliche Bereitstellungskosten – also auch die der Einrichtung der Tunnel – durch das Bereitstellungsentgelt der Anschlusslinie abgedeckt sind.

Tabelle 6-7: Kategorisierung der standortinternen Verbindungsnachfrage (Layer 2)

Bandbreiten	Anzahl Verbindungen		
	gering	hoch	
Layer 2			
klein	integriert	separat, aktiv	SE - 1G
groß	separat, passiv	separat, aktiv	>1G

Der methodische Ansatz für die Kostenberechnung für standortinterne Layer 2 Mietleitungen entspricht dem für die standortinternen Layer 1 Mietleitungen und ist in der nachfolgenden Abbildung illustriert. Bzgl. der methodischen Ausführungen verweisen wir auf Abschnitt 6.1.4. Differenziert wird die Modellierung in:

- Fall 1: Mitbenutzung der Layer 2 ChannelBank am MPoP für standortübergreifende Nachfrage
- Fall 2: eigene **Regeneratoren**, passiv
- Fall 3: eigener **Ethernet-Switch**

Abbildung 6-11: Standortinterne Verbindungsnachfragen Layer 2 von SE bis zu GE

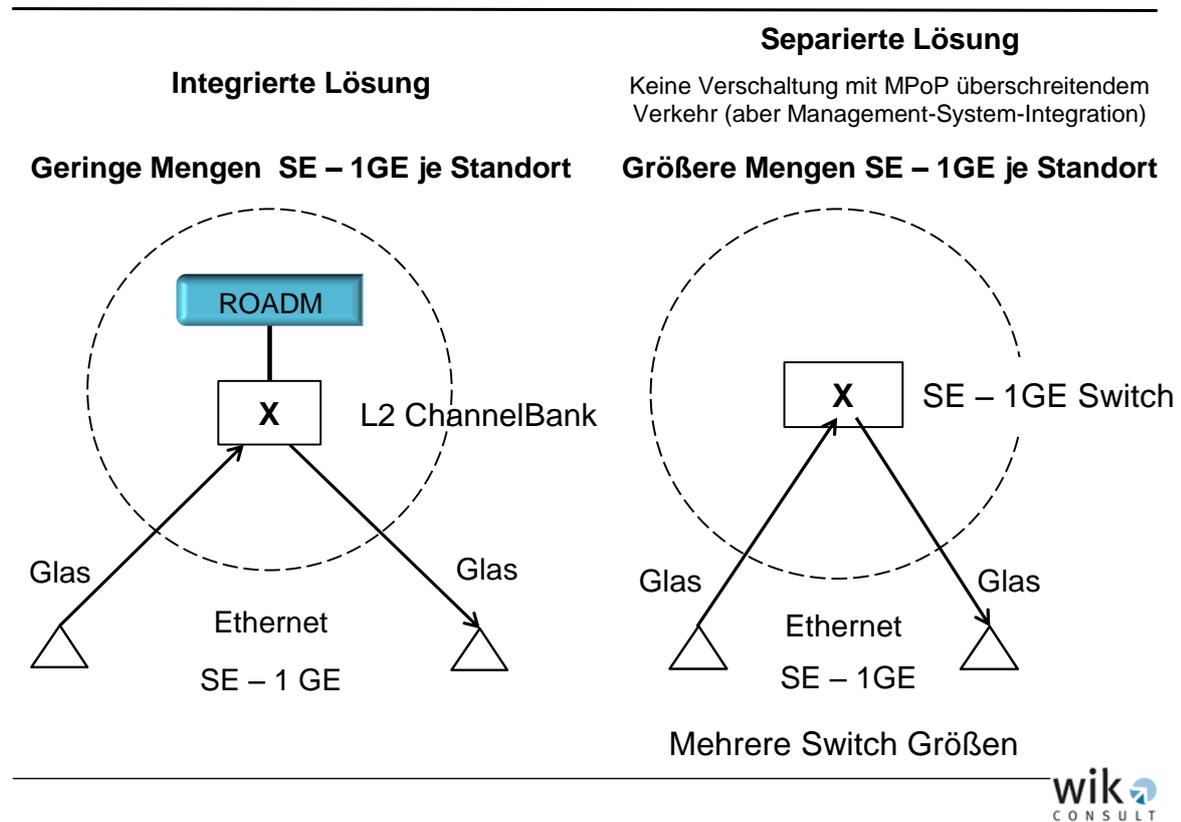
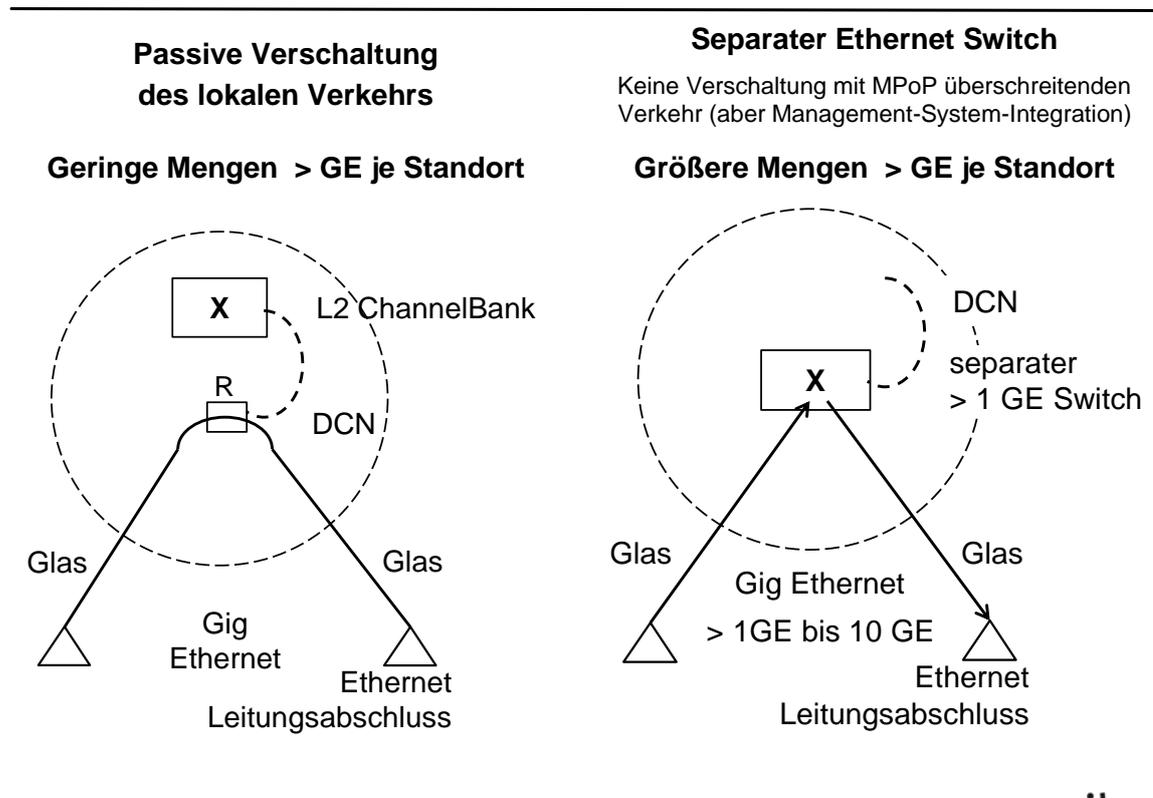


Abbildung 6-12: Standortinterne Verbindungsnachfragen Layer 2 von mehr als 1GE

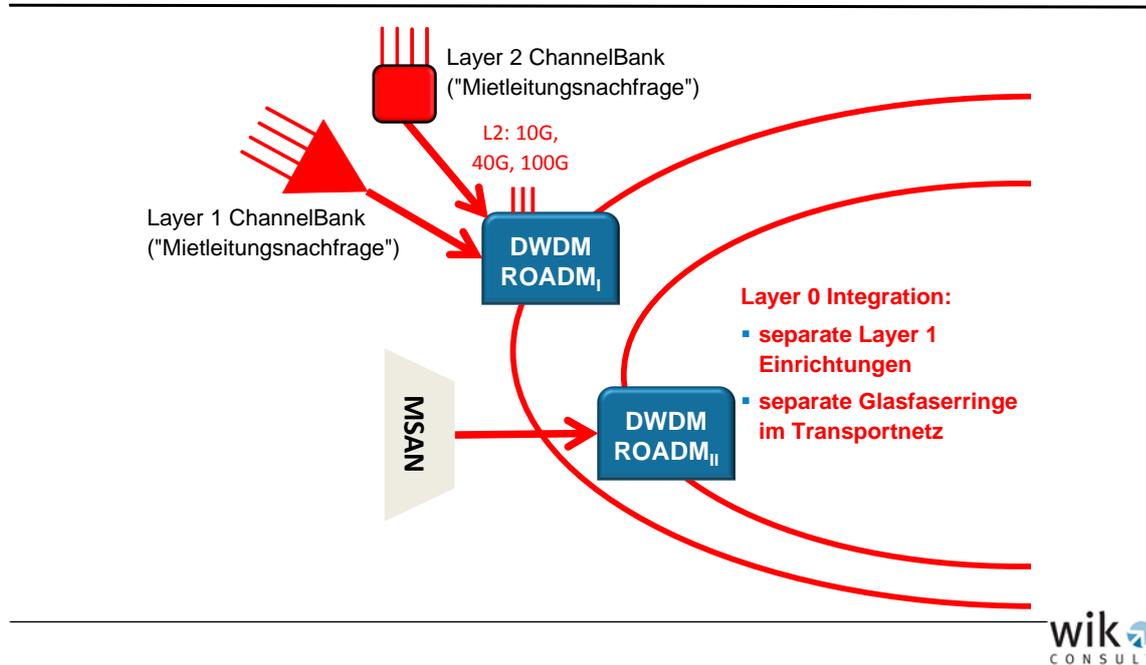


6.3 Layer 0 Integration der Verbindungsnachfrage inkl. Mietleitungen

Die Integration von Verbindungsnachfragen kann prinzipiell auch auf Basis einer Layer 0 Integration erfolgen. Unter dem Layer 0 werden die Trassenführung, die Kabel und die Kabelkanalanlagen zusammengefasst. Diese Variante der Integration wird – insbesondere mit Blick auf die Trassenführung – als „infrastructure sharing“ oder „Beilauf“ bezeichnet.

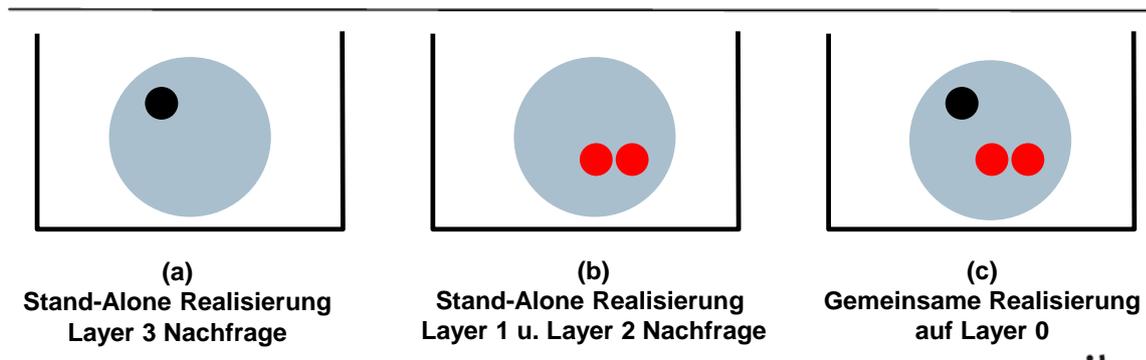
Abbildung 6-13 veranschaulicht eine Realisierungsvariante, die für Mietleitungen ein separiertes Layer 1 Equipment vorsieht (m.a.W., keine Layer 1 Integration). Infolgedessen müssen auch getrennte Glasfasern im Ring verwendet werden. Die gemeinsame Nutzung von Ressourcen beschränkt sich daher auf die Kabel und die Trasse.

Abbildung 6-13: Layer 0 Integration der spezifischen Layer 1 und 2 Verbindungsnachfragen



Im Breitbandkostenmodell Version 2.3 ist die dargestellte Layer 0 Integration nicht über Parametereinstellungen berechenbar. Jedoch kann das Modell dazu herangezogen werden, die Sharing-Faktoren unter Rückgriff auf die Kapazitätsnachfragen zu bestimmen. Zu diesem Zweck sind Modellrechnungen "mit" und "ohne" Kapazitätsnachfrage unter Zugrundelegung einer identischen Netzhierarchie zur Ermittlung des inkrementellen Faserbedarfs pro Netzsegment (0-2, 3-5, 5-5) vorzunehmen. Diese Vorgehensweise ist in der nachfolgenden Abbildung veranschaulicht.

Abbildung 6-14: Beilauf-Bestimmung auf Layer 0



Bei der Auswertung der Szenarien ist letztlich die Kostensteigerung auf Layer 0 bei einer gemeinsamen Realisierung (Fall c) zu quantifizieren. Die Kostenteilung auf Layer 0 wird nach Maßgabe der in Anspruch genommenen Fasern vollzogen. Auf dieser Basis lässt sich dann ableiten, wie hoch die Ersparnis für das Szenario (a) oder (b) infolge der gemeinsamen Realisierung ausfällt (Beilauffaktor). Im Modell können diese Berechnungen dann für die verschiedenen Netzebenen separat durchgeführt werden.

7 Anschlusssegment – Glasfaser

Das NGN Modell beinhaltet keine Modellierung des Anschlussnetzes⁶⁴. Mietleitungen beinhalten jedoch an den Enden jeweils die Anschlussleitung, die kostenmäßig bei der Entgeltfestlegung zu berücksichtigen ist. Sofern die Mietleitung noch über ein Kupferkabel realisiert werden kann (bis $n \times 2$ Mbps)⁶⁵, können die im TAL-Verfahren festgelegten Kosten als Grundlage herangezogen werden. Ergänzend zu den TAL-Kosten sind bei kupferbasierten Mietleitungen die Investitionen in Regeneratoren zu berücksichtigen, die ab einer Länge der Anschlussleitung von mehr als 2 km erforderlich werden. Im Fall des Glasfaseranschlusses (vom Teilnehmer bis zum MPoP) fehlt derzeit eine entsprechende regulatorische Festlegung.

Im Zuge des Projektes Erweiterung des NGN-Modells, zur Berechnung von Kosten von Mietleitungen, wurde ein methodischer Ansatz spezifiziert, der es erlaubt, auch die Kosten für eine Glasfaser-Anschlussleitung abzuschätzen. Methodisch soll das bestehende WIK-Modell für das Anschlussnetz herangezogen werden, um die trassenbezogenen Kosten zu berechnen. Die glasfaser-spezifischen Kosten sollen unter Rückgriff auf Durchschnittsgrößen zur Zahl der durchschnittlichen Glasfaseranschlüsse, Kabel-, Spleiß- und Muffenbedarf abgeschätzt werden. Ebenfalls separat zu berücksichtigen sind die Kosten für Leitungsabschlusseinrichtung beim Endkunden.

Bei dem hier verfolgten Ansatz gehen wir davon aus, dass die vorzunehmende Kostenmodellierung des glasfaserbasierten Anschlussnetzsegments nicht als eigenständige bottom-up Modellierung verstanden werden soll, sondern sich – quasi über eine Art „Korrekturfaktor“ – aus den genehmigten TAL Entgelten ableiten lässt.

Die berechneten Investitionsgrößen werden im Rahmen der Entgeltverfahren zunächst in jährliche CAPEX überführt und Betriebs- und Mietkosten über Aufschlagsätze auf die Investitionswerte berücksichtigt.

7.1 Abschätzung der durchschnittlichen Trasseninvestitionen je Anschluss

Für die glasfaserbasierte Anschlusslinie ist die Strecke zwischen HVt und Endkunde die maßgebliche Strecke. Da Glasfaserkabel im Verbund mit dem vorherrschenden Kupfernetz gemeinsame Trassen nutzen, ist es naheliegend, die Trasseninvestitionen je CuDA als Approximation der Trasseninvestitionen für die durchschnittliche Anschlusslinie einer Mietleitung zu verwenden. Zur Approximation der Verteilung der Anschlussli-

⁶⁴ In der Marktabgrenzung wird zwischen Abschlussegment und Fernübertragungssegment unterschieden. Dabei ist das Abschlussegment nicht mit der Anschlusslinie zu verwechseln. Faktisch repräsentiert das Fernübertragungssegment die Backbone-Verbindungen. Demgegenüber beinhaltet das Abschlussegment die Anbindung der Mietleitungsenden an das Backbone. Siehe dazu auch [BNetzA-07], S. 24.

⁶⁵ Über Kupfer können Mietleitungen mit einer Geschwindigkeit bis zu 10 Mbps realisiert werden.

niennachfrage und ihrer Führung in einem effizienten Netz unter Berücksichtigung gemeinsamer Nutzung durch andere Infrastrukturen sollen die Trasseninvestitions-ermittlung der Anschlusslinie über die durchschnittlichen Trasseninvestitionen einer TAL ermittelt werden.

Spezifikation der Trasseninvestitionen

Aus den Berechnungen zur TAL lassen sich folgende trassenbezogenen Investitionsgrößen extrahieren:

1. Investitionssumme für Erdkabeltrassen Hk und VZK
2. Investitionssumme der Kabelkanaltrassen inklusive der Rohre Hk und Vzk
3. Investitionssumme der Kabelschächte Hk und Vzk
4. Investitionssumme der Endkabeltrasse

Die Ermittlung der Investitionsgrößen je Anschluss erfolgt durch die Division der Summe der Investitionen durch die Summe der Kupferdoppeladern (CuDA) im Aggregat. Zur Berechnung des jährlichen Capex und zur sachgerechten Allokation von Betriebs- und Mietkosten sollen hierbei die Anlagegüterklassen Kabelkanäle (2), Kabelschächte (3) und Erdkabeltrasse inklusive Endkabeltrasse (1 + 4) unterschieden werden.

7.2 Abschätzung der glasfaserspezifischen Investitionen

Die glasfaserspezifischen Investitionskomponenten setzen sich zusammen aus netztechnischem Equipment, das pro Meter bemessen werden kann und solchem, das pro Leitungsende anfällt.

7.2.1 Pro Meter bemessene Investitionen

Bei den pro Meter anzusetzenden Investitionskomponenten handelt es sich um folgendes Equipment der Linientechnik:

1. Investitionspreise für die Glasfaserkabel pro m (sowohl für Erd- und Kabelkanalverlegung)
2. Investitionspreise für Glasfaser-Verbindungs-muffen pro m (Erdverlegung, KKA)
3. Investitionspreis des Rohrteilers bei Kabelkanalverlegung pro m (Rohrviertel)

Die pro Meter zu bemessenden Investitionskomponenten werden auf die Investitionen pro Meter belegter Glasfaser heruntergebrochen, da nur solche als Kostenträger für die Anschlusslinie in Betracht kommen.

Die so ermittelte Investition pro Meter muss dann noch auf die durchschnittliche Leitungslänge der Anschlusslinie transformiert werden:

$$\begin{array}{l} \text{Investitionen pro Meter belegter} \\ \text{Glasfaser} \end{array} \quad \times \quad \begin{array}{l} \text{durchschnittliche Leitungslänge} \\ \text{der Relation HVt-Kunde} \end{array}$$

Die Ermittlung des durchschnittlichen Glasfaserkabels kann in Analogie zum Entgeltgenehmigungsverfahren (BK3a-13-003) Zugang zu unbeschalteter Glasfaser erfolgen. Ausgehend von dem durchschnittlich verwendeten Glasfaserkabel werden Auslastungsgrad und Entstörungsreserve bei der Bestimmung der Faserzahl des durchschnittlichen Glasfaserkabels berücksichtigt. Die Datenlage erlaubt dabei die getrennte Ermittlung der durchschnittlich anzusetzenden Kabelgrößen für Erdkabel- und Kabelkanalverlegung.

Als Verbindungsmuffen werden zur durchschnittlichen Kabelgröße passende Muffen unterstellt. Der Investitionswert pro Meter für Verbindungsmuffen lässt sich mit Hilfe eines durchschnittlichen Muffenabstands ermitteln. Dabei soll der Investitionswert einer Verbindungsmuffe für das durchschnittliche Glasfaserkabel durch den Muffenabstand dividiert werden. Der Wertansatz für den Muffenabstand kann dem der (Kupfer-)TAL-Modellierung entsprechen. Da Glasfaserkabel grundsätzlich einen größeren Muffenabstand erlauben als Kupferkabel, kann letztlich die Topologie als beschränkender Faktor angesehen werden.

Bei der Ermittlung des Investitionswertes der vorgenannten Komponenten muss bei der Kabelkanalverlegung der Investitionspreis pro Meter (m) eines Viertels eines Rohrteilers hinzuaddiert werden. Die verwendeten Kabelgrößen finden in einem Rohrviertel genügend Platz.

Die ermittelten Investitionswerte pro m für Erdkabelverlegung und für Kabelkanalverlegung werden mit den diesbezüglichen Verlegeanteilen im Glasfasernetze der DTAG gewichtet. Der gewichtete Wert wird dann mit der durchschnittlichen Leitungslänge der Relation HVt-Kunde multipliziert, um die durchschnittlichen Kosten pro Anschlusslinie zu erhalten.

7.2.2 Pro Leitungsende bemessene Investitionen

Zu den pro Anschlusslinie anfallenden Investitionen zählen:

1. Netzabschluss und Anschlusseinheit (CPE) beim Kunden
2. Kosten einer durchschnittlichen Glasfaserabzweigmuffe pro Kunde und Leitungsende
3. Kosten des KVz (KVz anteilig, Stecker, Endverschluss und Montage)

4. Kosten des Glasfaser-HVt (HVt-anteilig, Stecker, Endverschluss und Montage)
5. Übergang von Anschlusslinie zur ChannelBank als Glasfaser-Patchkabel
6. Erste Schnittstelle an der aggregierenden Einheit für die Verbindungsnachfragen (user port am Multiplexer oder Ethernet Konzentrador)

Beim Kunden schließt ein Terminal-Multiplexer die Mietleitung ab und dient als Anschlusseinheit für das Netz des Kunden. Je nach Bandbreite und Realisierungsform (SDH oder Ethernet) werden unterschiedliche Geräte verwendet, die sich auch in ihrem Investitionspreis unterscheiden können. Im Fall der Übertragung von SDH-Mietleitungen über Ethernet führen spezifische SDH/ Ethernet Konverter in der Ethernet CPE die Protokollwandlung durch und bilden die Abschlusseinheit der Mietleitung.

Die Glasfaserabzweigmuffe wird für das als durchschnittlich unterstellte Kabel dimensioniert. Der Investitionspreis einer solchen Muffe wird pro Leitungsende einmal oder entsprechend der durchschnittlichen Anzahl Kunden, die je Abzweigmuffe bedient werden, angesetzt.

Alternativ ist auch denkbar,⁶⁶ dass das Glasfaseranschlussnetz über Kabelverzweiger geführt wird. In einem solchen Fall können entsprechende Investitionen optional berücksichtigt werden. Hierzu zählen die Investitionen für den KVz je Faserpaar, sowie für Stecker, Endverschlüsse je Kunde im KVz und anteilige Montage.

Eine Berücksichtigung von Multifunktionsgehäusen ist nicht erforderlich, da für glasfaserbasierte Mietleitungen kein aktives Equipment im Bereich der Anschlusslinie erforderlich ist.

Die Kosten des Glasfaser HVt sind anteilig je Faserpaar zu berücksichtigen sowie Stecker, Endverschluss und Montage je Anschluss.

Für den Übergang von der Anschlusslinie zur ChannelBank ist der Investitionswert für ein Glasfaser-Patchkabel ebenfalls zu berücksichtigen.

Das letzte Netzelement, das in der bestehenden Tarifstruktur der Anschlusslinie zugeordnet wird, ist der erste Port an der Channelbank, die die am Standort auftretenden Verbindungsnachfragen aggregiert. (auf SDH oder Ethernet Basis). Diese Kostengröße wird auf Basis der Modellierung bestimmt, wie sie Abschnitt 6.2.3 beschrieben ist.

⁶⁶ Zur Abwägung dieser alternativen Vorgehensweisen siehe auch das Dokument [WIK-14d], Kommentaraufforderung 7-2.

8 Netzelement orientierte Bestimmung der Tarifkomponenten

Die nachfolgende Darstellung orientiert sich an der Tarifstruktur, die – mit Ausnahme der Kapazitätstypen – für SDH- und Ethernet-Verbindungen identisch ist. Konkretisiert wird die Kostenzurechnung am Beispiel von SDH, wobei Ethernet-begründete Abweichungen an den entsprechenden Stellen erläutert werden.

8.1 Tarifbestandteile regulierter Mietleitungen

Die Verträge für regulierte Mietleitungen – sowohl SDH- als auch Ethernet basiert – beinhalten sowohl Bereitstellungs- als auch Überlassungspreise. Lediglich letztere sind Gegenstand der hier beschriebenen Kostenmodellierung.⁶⁷

Die nachfolgende Tabelle 8-1 zeigt beispielhaft die Tarifbestandteile aus den Verträgen der Telekom zu regulierten SDH-Mietleitungen, welches sich für Ethernet-Mietleitungen (mit ggf. abweichenden Bandbreiten) gleichermaßen darstellt. Für die Bereitstellung und Überlassung von CFV werden von der Telekom einmalige Bereitstellungs- und jährliche Überlassungspreise in Rechnung gestellt. Die jährlichen Überlassungspreise sind in pauschale und längenabhängige Preise unterteilt (siehe Tabelle 8-1).

In der horizontalen Betrachtung in Tabelle 8-1 wird dabei nach den Kapazitätstypen unterschieden. Mit anderen Worten, jede Geschwindigkeit hat seinen spezifischen Preis.

In der vertikalen Betrachtung erfolgt zunächst eine Unterscheidung in „Anschlusslinie“ sowie „Verbindungsline“ (auf die Darstellung der „Kollokationszuführung“ – welche Alternativ zur Anschlusslinie zur Anwendung kommen kann – haben wir an dieser Stelle verzichtet, da sie nicht Gegenstand der vom Modell erfassten Kostenberechnung ist).

⁶⁷ Siehe zu denselben Tarifkomponenten bei Ethernet [BNetzA-13], S. 3ff.

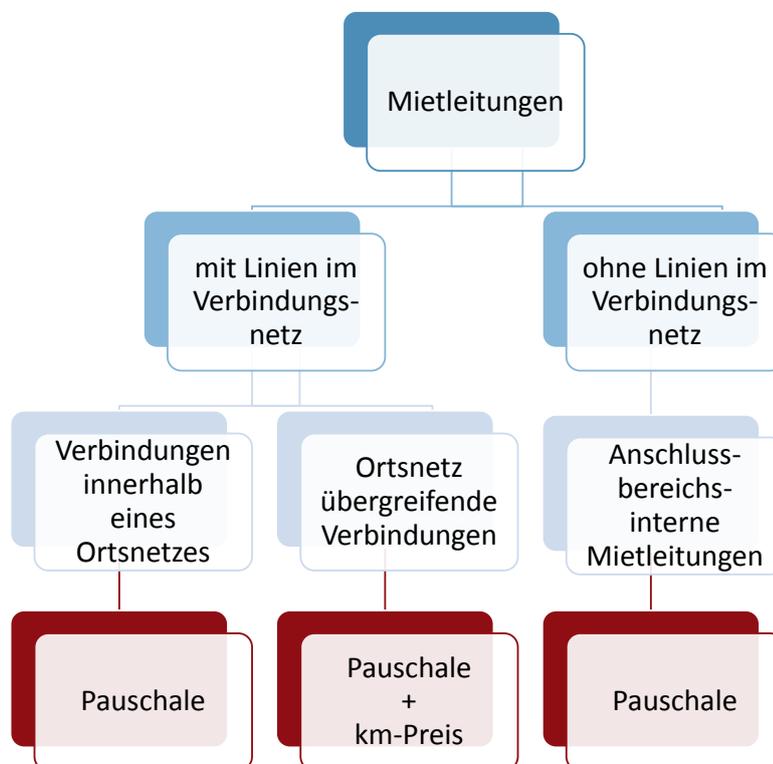
Tabelle 8-1: Tarifbestandteile zur Bereitstellung und Überlassung von Carrier-Festverbindungen der Telekom Deutschland (hier: SDH)

	2MS/T2MS/MU	34M	155M	622M	16 x T2MS/2MU	21 x T2MS/2MU	63 x T2MS/2MU
• Anschlusslinie							
Bereitstellungspreis	721,00 €	1.780,00 €	1.780,00 €	1.780,00 €	4.318,00 €	5.761,00 €	15.398,00 €
Überlassungspreis	1.264,00 €	2.780,00 €	3.742,00 €	8.813,00 €	6.350,00 €	6.025,00 €	6.898,00 €
• Verbindungslinie für Kundenstandorte in unterschiedlichen Ortsnetzen (ON) oder in unterschiedlichen Anschlussbereichen							
(1) Beide CFV-Kundenstandorte im selben Ortsnetz, aber in unterschiedlichen Anschlussbereichen (Ortsnetz-Verbindungslinie):							
Backbone-ON	263,00 €	2.851,00 €	4.169,00 €	12.319,00 €	3.476,00 €	4.068,00 €	3.885,00 €
Regio-ON	263,00 €	2.851,00 €	4.169,00 €	12.319,00 €	3.476,00 €	4.514,00 €	3.885,00 €
Country-ON	361,00 €	3.413,00 €	5.544,00 €	12.243,00 €	4.098,00 €	5.435,00 €	4.776,00 €
(2) Beide CFV-Kundenstandorte in unterschiedlichen Ortsnetzen:							
- zwischen Backbone-ON und Regio-ON							
Pauschale	154,00 €	2.071,00 €	2.472,00 €	10.932,00 €	2.066,00 €	2.544,00 €	2.516,00 €
zuzüglich je km *)	20,00 €	195,00 €	275,00 €	450,00 €	215,00 €	285,00 €	281,00 €
- zwischen Backbone-ON und Country-ON							
Pauschale	154,00 €	2.071,00 €	2.476,00 €	10.932,00 €	2.096,00 €	2.558,00 €	2.521,00 €
zuzüglich je km *)	20,00 €	197,00 €	277,00 €	458,00 €	217,00 €	285,00 €	281,00 €
- zwischen allen anderen ON außer zwischen Backbone-ON							
Pauschale	151,00 €	1.956,00 €	2.482,00 €	10.328,00 €	2.007,00 €	2.555,00 €	2.518,00 €
zuzüglich je km *)	52,00 €	491,00 €	693,00 €	1.142,00 €	504,00 €	715,00 €	704,00 €
- zwischen zwei Backbone-ON							
Preis für VL zwischen BB-Ortsnetzen	<i>nicht reguliert, daher hier nicht ausgewiesen</i>						
zuzüglich einer Pauschale je Ende	118,00 €	1.589,00 €	2.051,00 €	7.389,00 €	1.541,00 €	1.900,00 €	1.851,00 €

Quelle: [Telekom-12b] (beispielhaft)

Mit Blick auf die Tarifierung der Verbindungslinie erfolgt dann eine weitergehende Differenzierung, die auf einer räumlichen Abgrenzung basiert. In der nachfolgenden Abbildung 8-1 ist diese Differenzierung im linken Ast des Baumdiagramms skizziert: „Verbindungen innerhalb eines Ortsnetzes“ sowie „Ortsnetzübergreifende Verbindungen“.

Abbildung 8-1: Wertschöpfungsbezogene Betrachtung der Tarifstruktur



Dahinter verbirgt sich jedoch eine weitere Differenzierung der Tarife durch die Berücksichtigung unterschiedlicher Ortsnetztypen. So wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Backbone
- Regio
- Country

Entsprechend ergeben sich die folgenden Kombinationsmöglichkeiten, die ihrerseits mit spezifischen Tarifen belegt werden. In Abbildung 8-2 sind dabei die Ortsnetz internen Verbindungen (ONKZ A = ONKZ B) in der Diagonale rot hinterlegt. Für alle anderen Felder gilt ONKZ A \neq ONKZ B. Lediglich die Verbindungslinien zwischen zwei Backbone-Ortsnetzen unterliegen nicht der Regulierung. Die in der Matrix verwendeten Farben werden in nachfolgenden Abbildungen wieder aufgegriffen.

Von Bedeutung ist ferner, dass nicht nur eine Unterscheidung der Kosten der verschiedenen Verbindungslinien-Typen vollzogen wird, sondern dass darüber hinaus auch der

Tarif unterschiedlich gestaltet ist. So findet für die Verbindungslinien innerhalb desselben Ortsnetzes (ONKZ A = ONKZ B) eine pauschale Tarifierung Anwendung.

Demgegenüber weist der Tarif für die Ortsnetz übergreifenden Verbindungen eine Zweiteilung in „Pauschale“ und „km-abhängiges Entgelt“ auf.

Abbildung 8-2: Tarifierung von Verbindungslinien-Typen

		B		
		ON C	ON R	ON BB
A	ON C	Country ON	Regio ON - Country ON	Backbone ON - Country ON
		Country ON (ONKZ intern)		
	ON R	Regio ON - Country ON	Regio ON	Backbone ON - Regio ON
			Regio ON (ONKZ intern)	
	ON BB	Backbone ON - Country ON	Backbone ON - Regio ON	Backbone ON
				Backbone ON (ONKZ intern)

Zusammenfassend sind die Tarifbestandteile für die Verbindungslinie zu differenzieren nach:

- Kapazitätstyp und
- Verbindungslinientyp.

8.2 Tarifbestandteile und Zuordnung der netzelementbezogenen Kosten

In Abschnitt 6 und Abschnitt 7 wurde die vorgeschlagene bottom-up Kostenmodellierung für die erforderlichen Netzelemente beschrieben. Dabei wurde in der Konzeption unterschieden zwischen

- (1) Anschlussleitung und kundenseitigem Netzabschluss-Equipment (Abschnitt 7)
- (2) an das NGN anschließendes und aggregierendes Equipment (Abschnitt 6.1.1 für SDH sowie Abschnitt 6.2.3 für Ethernet Mietleitungen)

- (3) Equipment für die Verbindungssteuerung (Abschnitt 6.1.2 bis **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** für SDH sowie Abschnitt 6.2.4 und 6.2.5 für Ethernet Mietleitungen)
- (4) Netzelemente für den Transport im Verbindungsnetz (Übertragungswege und Knotenequipment aus der Modellierung des Breitbandnetzes Version 2.1.1)

Die Zuordnung der Kosten der Netzelemente soll aus ökonomischer Sicht den Kostentreiber berücksichtigen. Da die Tarifpositionen als Gegebenheit betrachtet werden, wird nachfolgend eine Zuordnung der Kosten der Netzelemente vollzogen, die den Aspekt der Kostenverursachung weitestgehend mit berücksichtigt.

Eine Darstellung der Kostenberechnung anhand von Flussdiagrammen ist in Anhang 2 zu diesem Dokument dargestellt.

8.2.1 Anschlusslinie

Die Anschlusslinie ist pauschal tarifiert. Die Tarife sind nach Kapazitätstypen differenziert. Die Anschlussleitung selbst ist entweder kupfer- oder glasfaserbasiert. Damit verbunden sind durchschnittliche Kosten für die Anschlussleitung sowohl für die CuDA als auch für die Glasfaser. Für die Tariftypen oberhalb von 10M sind dabei die Kosten der Glasfaser anzusetzen. Bis zu 10M kann eine Realisierung auf Basis von Kupfer erfolgen, die für 4M, 6M und 8M jeweils ein Vielfaches der kupferbasierten Anschlussleitung erfordert, die eine Kapazität von 2M aufweist.

Die Berücksichtigung einer längenabhängigen Ermittlung des letztlich pauschalen Tarifs der Anschlussleitung bedarf einer arithmetischen Umwandlung von durchschnittlichen Kosten auf km-bezogene. Aus Sicht des Kostentreibers ist hier anzumerken, dass die Auslegung des Anschlussnetzes durch den Netzbetreiber erfolgt, dessen Ziel es ist, die Gesamtheit der Anschlussnachfrage kosteneffizient zu bedienen. Der einzelne Nachfrager hat somit letztlich keinen Einfluss auf die Länge „seiner Anschlussleitung“ und auch für den Netzbetreiber ist diese endogenes Ergebnis seiner kosteneffizienten Netzplanung. Eine solche Vorgehensweise lässt offen, ob eine Kostendifferenzierung für verschiedene Kundensegmente (Massenmarkt und Geschäftskundenmarkt) vollzogen wird. Eine Durchschnittskostenberechnung ist sowohl für den Gesamtmarkt als auch für einzelne Nachfragergruppen möglich.

Die zweite Komponente der Kosten der Anschlusslinie resultiert aus dem einzusetzenden Netzabschluss-equipment (Leitungsabschluss) beim Kunden. Hierzu sind die Kosten für die entsprechenden Einrichtungen, inklusive ihrer Installation und Inbetriebnahme anzusetzen.

Wie in Abbildung 8-3 illustriert, ergeben sich die Kosten für die Anschlusslinie aus der Summe von

- kapazitätsspezifischen Kosten der Anschlussleitung ([Vielfaches der] CuDA bzw. einer Glasfaser) inkl. der Kosten für den user port an der aggregierenden ChannelBank sowie
- Kosten der Leitungsabschluss-Einrichtung beim Kunden.

Abbildung 8-3: Kapazitätstypbezogene Tarifierung der Anschlusslinie (hier am Beispiel „E1“)

Modell	E1
DTAG	2MS/T2MS/MU
• Anschlusslinie	
Bereitstellungspreis	721.00 €
Überlassungspreis	1,264.00 €

**Anschlussleitung (Gf / CuDA)
+ Leitungsabschluss
+ user port an Channelbank**

8.2.2 Verbindungslinie

Alle nicht der Anschlusslinie zugerechneten Kosten müssen der Verbindungslinie zugeordnet werden, da es keine weitere Kategorie gibt. Dies sind die unter Abschnitt 8.2 eingangs gelisteten Positionen (2) bis (4).

Die Tarifbestandteile beinhalten dabei eine Referenzierung auf

- den Kapazitätstyp sowie
- den Verbindungstyp (mit Blick auf die Kategorisierung der Mietleitungsenden in Backbone, Regio und Country)

und sind

- ausschließlich pauschal (für Ortsnetz interne Verbindungen) sowie
- pauschal und km-abhängig für Ortsnetz übergreifende Verbindungen.

Für die Modellierung müssen die MPoP bezogenen Daten – die den Tarifen zu Grunde liegen – die Zuordnung zu den Typen „Backbone, Regio und Country“ enthalten.

8.2.2.1 Anschluss und Aggregation am MPoP

Wie bereits bei der Anschlusslinie ausgeführt wurde, soll die Kostenzurechnung nach Maßgabe der Kostentreiber sowie unter Berücksichtigung bestehender Tarifstrukturen

erfolgen. Die kostentreiberbezogenen Zusammenhänge wurden letztlich bei der Dimensionierung der mietleitungsspezifischen Netzelemente berücksichtigt.

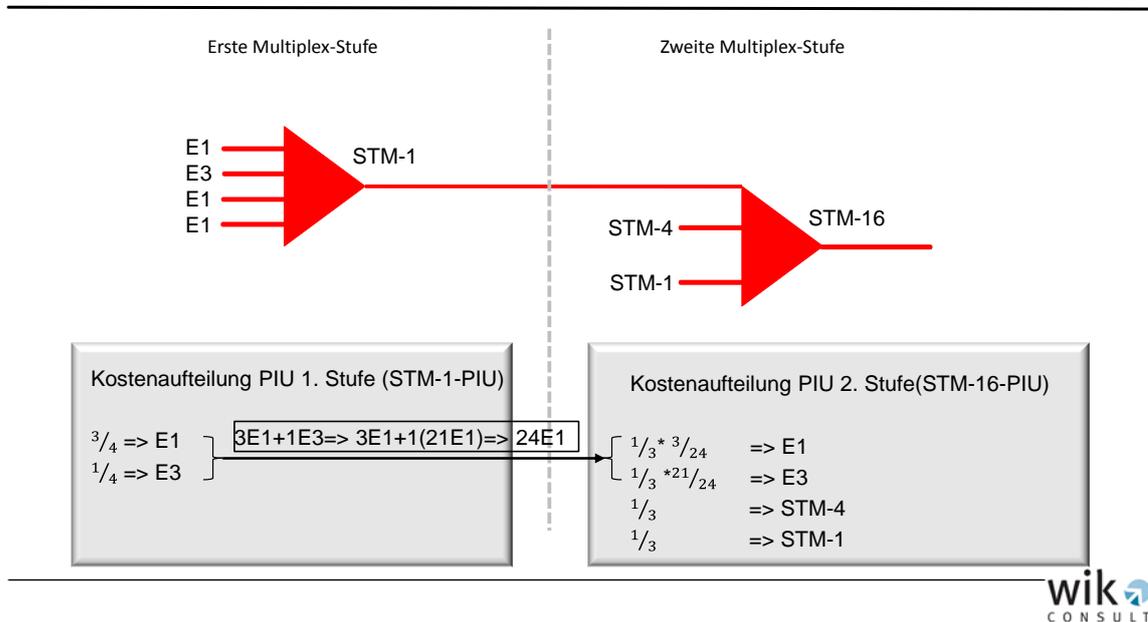
Für das anschließende und aggregierende Equipment am MPoP werden die Kosten der am MPoP an das NGN „anschließenden“ Schnittstellenkarten auf die spezifischen Kapazitätstypen umgelegt. Die Kosten für die user ports werden dabei in diesem Modul des Modells berechnet, dann aber der Tarifkomponente Anschlusslinie zugeordnet.

Die sonstigen Kosten der PIU (Multiplexer und Ethernet-Konzentratoren) und die sich aus einer im Layer 1 infolge der Kaskadierung ergebenden Kosten für Schnittstellenkarten und Ports, sind in der Kostenzurechnung auf die Kapazitätstypen umzulegen. – In der nachfolgenden Abbildung 8-4 sind die anschließenden und aggregierenden Netzelemente – hier am Beispiel von SDH Mietleitungen – illustrativ dargestellt. Die Kosten der PIU werden in einem ersten Schritt den Schnittstellenkarten zugerechnet. Aufgrund der Kaskadierung im SDH besteht ab der zweiten Multiplex-Stufe das Erfordernis „gemischt bestückte“ Schnittstellenkarten – wie im grafischen Beispiel mit der STM-1 Schnittstelle, die von der ersten Multiplex-Stufe übergeben wird – kostenmäßig aufzuteilen. Dabei wird auf die „Verursachung“ aus der ersten Multiplex-Stufe zurückgegriffen und eine Normierung auf E1-Äquivalente vollzogen (im Beispiel der Abbildung 8-4 sind dies $\frac{3}{4}$ auf E1 und $\frac{1}{4}$ auf E3). Auf diese Weise werden Kosten der PIU auf die Kapazitätstypen aufgeteilt und abschließend für jeden Kapazitäts- und Regio-Typ durch die Zahl der nachgefragten Ports dividiert.⁶⁸

Durch die Berücksichtigung der regionalen Zuordnung der Standorte zu den Kategorien „Backbone, Regio und Country“ kann für diese Netzelemente eine standortgenaue Kostendifferenzierung vollzogen werden.

⁶⁸ Siehe hierzu auch die Darstellung in Anhang: Flussdiagramme zur Kostenberechnung.

Abbildung 8-4: Kostenzurechnung anschließendes und aggregierendes Equipment am MPoP am Beispiel von SDH



Auf dieser Basis können Kosten je Kapazitätstyp, differenziert nach Backbone, Regio, Country-Klassifizierung für Anschluss und Aggregation an den anschließenden MPoP berechnet werden.

Anschluss- und Aggregationskosten je Kapazitätstyp und Regional-Klassifizierung (Tarifkategorie Backbone, Regio, Country)
[€/E1_{Regio}]; [€/E3_{Regio}], [€/STM-1_{Regio}, ...]

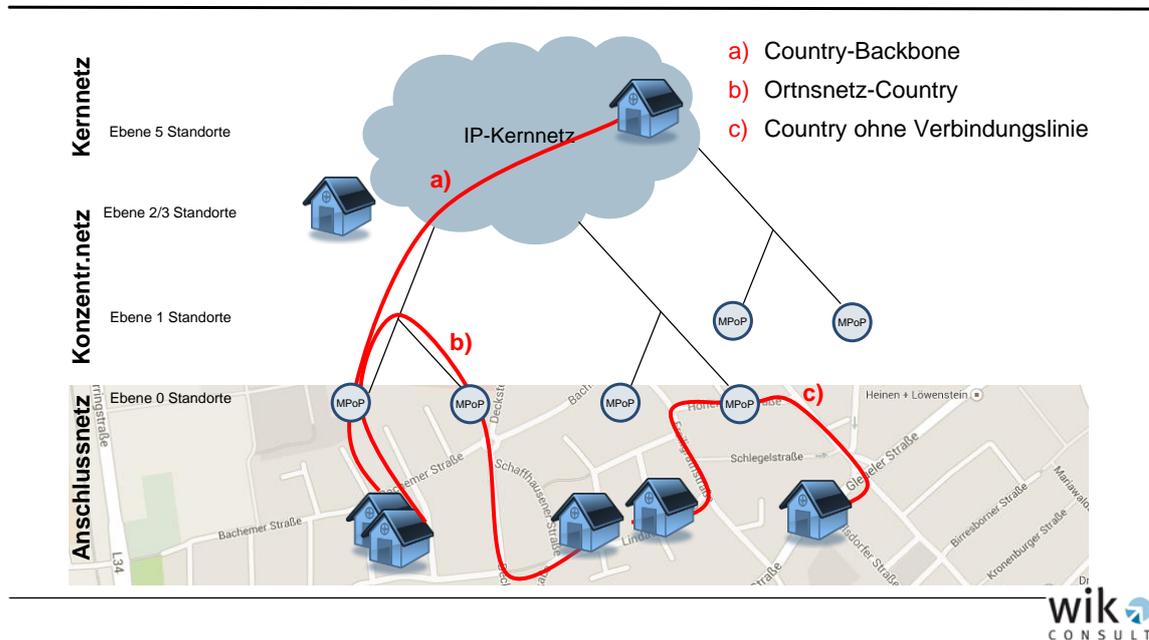
Mit Blick auf die Tarifposition „Verbindungsline Pauschal“ sind dann für eine Verbindungsnachfrage die zugehörigen Kosten für Anschluss- und Aggregation am MPoP für beide „Enden“ zu summieren.

8.2.2.2 Verbindungssteuerung und Transport

Anders als die anschluss- und aggregationsbezogenen Komponenten ist der DXC von den „Transit-Verbindungsnachfragen“ getrieben (siehe Abbildung 6-3. D.h., der DXC muss nicht nur die an diesem MPoP über eine Anschlusslinie realisierten Mietleitungen bedienen, sondern darüber hinaus diejenigen Verbindungsnachfragen, für die dieser Standort nur ein Transit-Knoten darstellt und damit einen Teil der Verbindungssteuerung übernimmt (siehe hierzu die Mietleitungsnachfragen c. (von Standorten im unteren Ring zu Standorten innerhalb desselben Rings) und d. (von Standorten der unteren Ebene zu Standorten im Ring der höheren Ebene) in Abbildung 6-3: Steuerung der Verbindungsnachfragen im DXC). – Die Kosten des DXC haben insofern ein entfernungsabhängiges Element, als dass mit zunehmender Verbindungslänge die Zahl der zu durchlaufenden DXC – mit Blick auf die Transit-Knoten – steigt. (Für die Ethernet basierten Mietleitungen übernehmen der bereits im NGN modellierte BNG und ggf. die LSR die Aufgabe der Verbindungssteuerung. Die Kosten dieses Netzelements werden bereits im Breitbandkostenmodell Version 2.3 als Kosten pro Mbps berechnet.)

Für die Inanspruchnahme des NGN-Transportnetzes erscheint die Längenabhängigkeit der Verbindungslinie offensichtlich. Das Breitbandkostenmodell Version 2.3 „kennt“ prinzipiell jedoch keine längenbezogene Größen. Die Netzbeschreibung erfolgt im Modell vielmehr netzelementbezogen. Dabei kommt die Längenabhängigkeit nur indirekt über die Anzahl der in Anspruch genommenen Netzelemente und deren Kosten (z.B. für die Trassen) zum Ausdruck. – Dies soll anhand der nachfolgenden Abbildung 8-5 illustriert werden. Am linken Rand ist die Netzhierarchie gekennzeichnet, wobei der Ausschnitt aus der Straßenkarte das Anschlussnetz darstellen soll. Die hier betrachteten Anschlüsse (repräsentiert durch die Häuser) auf der Straßenkarte, sind der Netzebene 0 zugeordnete MPoP. Für diese Darstellung wird dabei angenommen, dass es sich bei diesen Ebene 0 Standorten um Standorte der Kategorie „Country“ handelt. Ein weiterer Standort – dargestellt durch das Haus „auf der Wolke“ des IP-Kernnetzes sei als Backbone-Standort klassifiziert. – Die in diese Abbildung eingefügten roten Verbindungslinien sollen die Mietleitungsnachfrage darstellen, für die die Kosten zu berechnen sind.

Abbildung 8-5: Tarifbezogene Projektion der Mietleitungsnachfrage auf die modellendogen bestimmte Netzhierarchie



Aus dieser Darstellung geht hervor, dass die hier mit a) gekennzeichnete Country-Backbone Verbindung mehr Knoten (DXC) und Übertragungswege (inkl. ADM/ROADM) in Anspruch nimmt als beispielsweise die mit b) gekennzeichnete Ortsnetz-Country Verbindung.

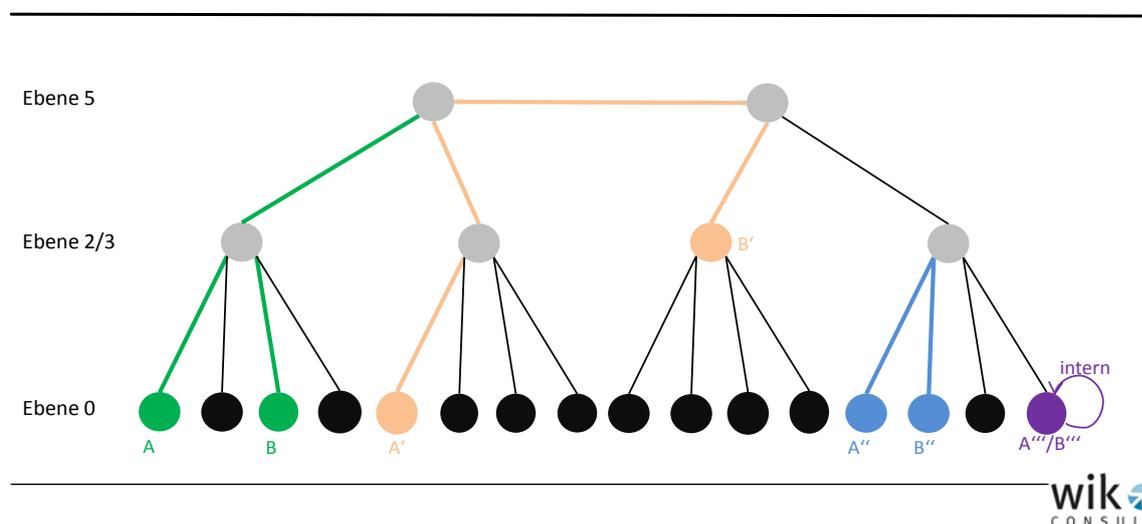
Im Modell sollen nun sämtliche Verbindungsnachfragen auf die Netzstruktur des bottom-up modellierten NGN projiziert werden, um spezifische Routingfaktoren, differenziert nach Kapazitätstyp und Verbindungstyp zu ermitteln. Die dafür erforderliche Datenbasis ist in der nachfolgenden Tabelle 8-2 dargestellt. Abbildung 8-6 reduziert gegenüber Abbildung 8-5 die Darstellung auf das NGN-Verbindungsnetz.

Tabelle 8-2: Für Projektion erforderliche Datenbasis

MPoP A	ONKZ A	B/R/C (A)	MPoP B	ONKZ B	B/R/C (B)	Kapazitätstyp

Um zu bestimmen, in welchem Umfang die Netzelemente von den verschiedenen Mietleitungstypen genutzt werden, wird für jede Relation (Verbindungsnachfrage von MPoP A zu MPoP B) ausgelesen, über wie viele Hierarchieebenen (übergeordnete Knoten) diese Verbindung läuft und wie viele Links zwischen den Hierarchieebenen beansprucht werden. Ergebnis der Projektion ist letztlich die Anzahl der Links pro Ebenenübergang und Mietleitungstyp/Kapazitätstyp (Routingfaktoren).

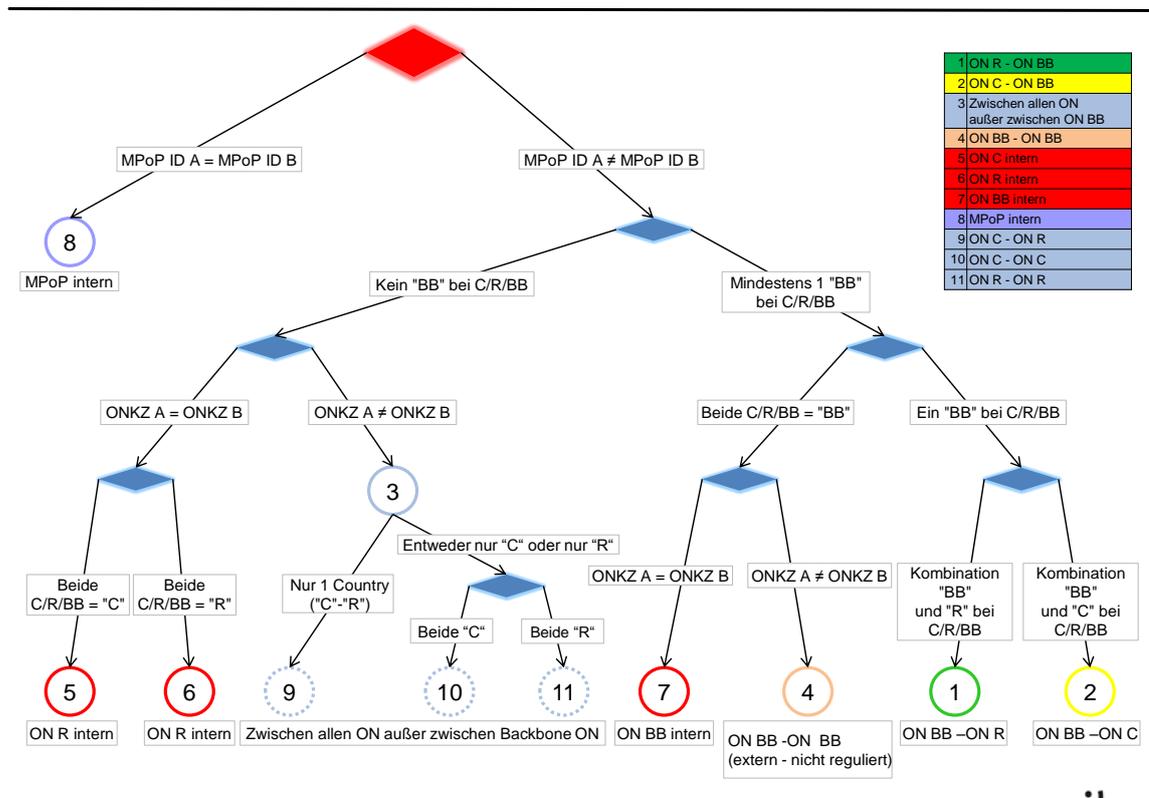
Abbildung 8-6: Ableitung der Routingfaktoren – differenziert nach Kapazität und Tariftyp



Die in grün dargestellte Verbindung AB nimmt (im Unterschied zu der Vorversion des Modells) weitere Netzelemente in Anspruch. Obwohl sich beide Standorte im selben IP-PoP Cluster befinden, kann es erforderlich sein, dass die Verbindung erst über den übergeordneten Netzebene 5 Standort realisiert wird. Dies ist immer dann der Fall, wenn A und B am IP-PoP über verschiedene BNG realisiert werden, die ihrerseits erst über den LSR auf Netzebene 5 miteinander verbunden sind. Um diese zusätzliche Inanspruchnahme des 3-5er Links (zweimal) und des 5er Knotens abzubilden, ist in der Modellversion 2.3 daher ein Inputparameter vorgehalten, über den gesteuert wird, in welchem Umfang der Intra-Cluster-Verkehr (0-2) über das Kernnetz geführt werden soll.

Um bei der Ermittlung der Routingfaktoren eine Zuordnung nach Maßgabe der spezifischen Verbindungstypen vollziehen zu können, ist die in Abbildung 8-7 nachfolgend dargestellte Abfrage bei der Projektion zu berücksichtigen. Auf diese Weise ist eine Zuordnung zu den Tariftypen, wie sie in der Matrix in Abbildung 8-2 dargestellt wurde, möglich.

Abbildung 8-7: Entscheidungsbaum für die Tarifuordnung



Auf diese Weise können die Routingfaktoren für die durchschnittliche Verbindungslinie, differenziert nach Kapazitätstyp und Verbindungstyp zugeordnet werden.

Die Kosten der Netzelemente umfassen

- die Kosten der Übertragungswege (transmission links),
- die Kosten des gemeinsam mit anderen Diensten genutzten Knotenequipments (z.B. BNG, LER, LSR) sowie
- die Kosten der Verbindungssteuerung (DXC bzw. BNG)

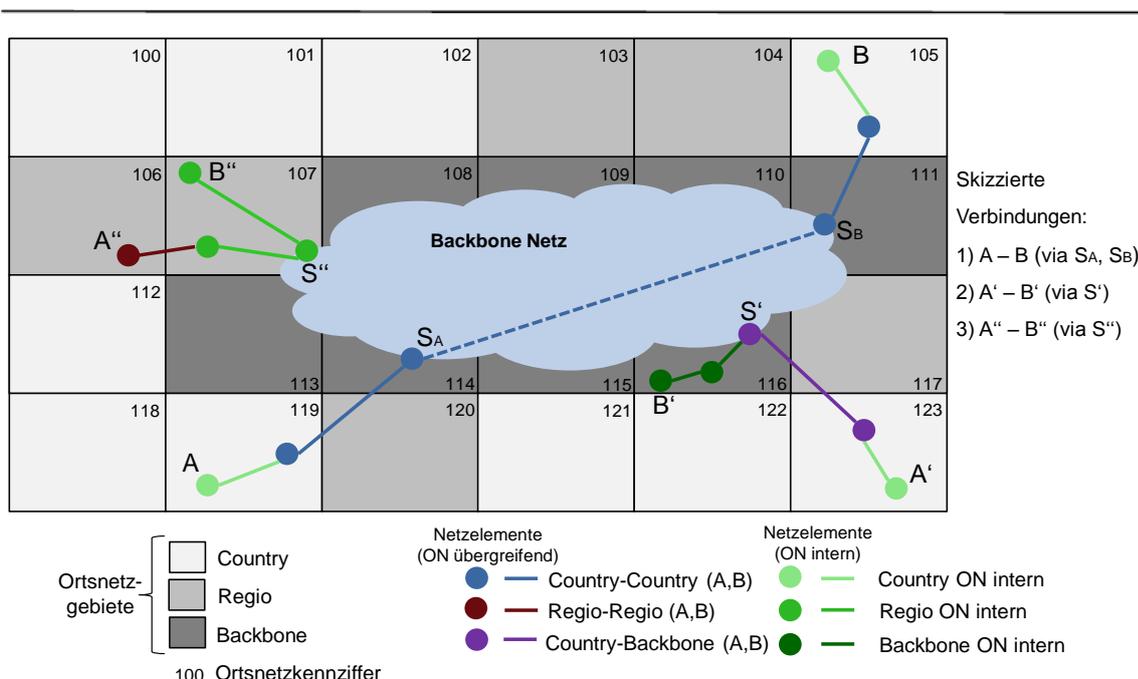
Ergänzend ist das Modell darüber hinaus in der Lage, eine weitere Tariffdifferenzierung zu vollziehen, wie sie seinerzeit von der DTAG bei ihrer Kostenzurechnung der Verbindungsleistung vollzogen wurde und im Anlage 3 zum Referenzdokument 2.2 erläutert wurde. Danach werden die verbindungsbezogenen Kosten differenziert in

- ortsnetzinterne Verbindungsabschnitte (pauschal tarifiert) sowie
- ortsnetzübergreifende Verbindungsabschnitte (entfernungsabhängig tarifiert [pro km]).

Um diese Differenzierung vollziehen zu können, wird bei der Ermittlung der Routingfaktoren (Projektion der Verbindungsnachfrage auf die im Modell bestimmte Netzhierarchie) die Ortsnetzkenung der von der Verbindung „durchlaufenen“ Standorte ausgelesen und alle Kosten für ortsnetzinternen Netzelemente (differenziert nach Country, Regio und Backbone) der pauschalen Tarifposition zugeführt. In der nachfolgenden Abbildung ist diese Separierung illustriert.⁶⁹

Der bestehenden Tarifstruktur folgend, werden Kosten der Netzelemente im Backbone separiert.

Abbildung 8-8: Separierung der Transportkosten in pauschal tarifierte (ortsnetzinterne) sowie entfernungsabhängige (pro km)



Bei den Kosten für Übertragungswege im NGN (transmission links) und Knotenequipment sowie den Kosten für die BNG, LSR etc. handelt es sich um gemeinsame Kosten im NGN. Mit anderen Worten, es sind Kosten für gemeinsam mit anderen Diensten genutztes Knotenequipment sowie für Transportstrecken. Diese werden im NGN Modell als Durchschnittskosten je Mbps berechnet. Hierfür werden die Gesamtkosten der einzelnen Netzelemente (Übertragungslinks 0-2, Links 3-5 etc.) durch das entsprechende Verkehrsaufkommen (in Mbps) geteilt. Im Ergebnis werden hier somit

⁶⁹ Diese Methode findet bei der Bestimmung der Kosten für die Tarifposition Backbone – Pauschale je Ende Anwendung .

Kosten pro Mbps berechnet, die nach Maßgabe des Kapazitätstyps der Mietleitungen skaliert (multipliziert) werden. – Die gleiche Kostenermittlung findet für den DXC im Fall von SDH-Verbindungsnachfragen Anwendung.

Unter Rückgriff auf die mit der Projektion abgeleiteten Routingfaktoren (RF) können dann die Kosten differenziert nach Kapazitätstyp und Verbindungstyp für die Netzelemente berechnet werden:

$\begin{aligned} & \text{Ø-Kosten pro Mbps} * \\ & \text{RF}_i \text{ Tariffkategorie}_n * \text{Kapazität } i \\ & \text{(mit } i = 2\text{M, } 34\text{M, } 155\text{M etc.;} \\ & n = \text{Backbone-Country, Backbone-} \\ & \text{Regio etc.)} \end{aligned}$	$=$	$\begin{aligned} & \text{Transportkosten je Kapazitätstyp und} \\ & \text{Verbindungstyp (Tariffkategorie) [€/E1];} \\ & \text{[€/E3}_{n1}\text{], [€/STM-1}_{n1}\text{, ...]} \end{aligned}$
--	-----	---

Die netzelementbezogene Kostenberechnung hat somit einen pauschalen Betrag pro Kapazitäts- und Verbindungstyp zum Ergebnis. Nach Maßgabe der Routingfaktoren, werden die Kosten über die in Anspruch genommenen Netzelemente aufsummiert.

Für die Tariftypen „innerhalb desselben Ortsnetzes“ können die ermittelten Kosten direkt dem Pauschal-Tarif zugeordnet werden. Gemeinsam mit den Kosten für Anschluss und Aggregation leiten sich aus ihnen die Kosten dieser Tariftypen (kapazitäts- und verbindungsbezogen) ab.

Abbildung 8-9: Verbindungslinienbezogene Kosten im selben Ortsnetz, differenziert nach Kapazitätstypen und räumlicher Zuordnung

(1) Beide CFV-Kundenstandorte im selben Ortsnetz,		
Backbone-ON	263.00 €	<div style="background-color: #4a86e8; color: white; padding: 10px; display: inline-block;"> Pauschale "Aggregation" + Pauschale "Transport" </div>
Regio-ON	263.00 €	
Country-ON	361.00 €	

Für alle Ortsnetz-übergreifenden Verbindungen müssen – wie bereits ausgeführt – die Kosten in längenabhängige Kosten (pro km) transformiert werden. Dies erfolgt für Netzelemente, die dem Verbindungsteil zuzurechnen sind. (siehe hierzu nochmals die Abbildung 8-8 illustrierte Separierung von Ortsnetz-internen sowie Ortsnetz-übergreifenden Netzelementen (Abbildung 8-8)).

Um längenabhängige Kosten zu berechnen, wird die durchschnittliche Länge je Kapazitätstyp und Verbindungstyp herangezogen und die damit in Verbindung stehenden durchschnittlichen Kosten pro km berechnet. Die durchschnittlichen Längen stellen einen Eingangsparameter dar. Für die Berechnung können entweder die dokumentierten Längen des betrachteten Netzbetreibers oder die Luftlinienentfernungen herangezogen werden.

In den nachfolgenden Abbildungen ist die netzelementbezogene Kostenzurechnung zu den Tariftypen, mit ihrer Unterteilung in längenabhängige und pauschale Tarifbestandteile zusammenfassend dargestellt.

Abbildung 8-10: Verbindungslinienbezogene Kosten in unterschiedlichen Ortsnetzen, differenziert nach Kapazitätstypen und Verbindungstypen

(2) Beide CFV-Kundenstandorte in unterschiedlichen			
- zwischen Backbone-ON und Regio-ON			
Pauschale	154.00 €		2,07
zuzüglich je km *)	20.00 €		19
- zwischen Backbone-ON und Country-ON			
Pauschale	154.00 €	Pauschale "Aggregation" + Transport [€/km]	
zuzüglich je km *)	20.00 €		
- zwischen allen anderen ON außer zwischen Backbone-ON			
Pauschale	151.00 €		1,95
zuzüglich je km *)	52.00 €		49

8.2.3 Standortinterne Verbindungen – Ortsnetzverbindungen „ohne Verbindungslinie“

Für die standortinternen Verbindungen wurde ein gesonderter Modellierungsansatz gewählt, der in Abhängigkeit von Schwellwerten die Bereitstellung eines gesonderten Equipments am MPoP vorsieht bzw. diese interne Verbindungsnachfrage bei geringen Mengen in das Equipment der standortübergreifenden Verbindungsnachfrage integriert.

Mit Blick auf die Wertschöpfung umfasst die standortinterne Verbindung sowohl die Anschlusslinie inkl. der Einrichtung für den Leitungsabschluss als auch das „verbindende Equipment“ am MPoP. Letzteres können Multiplexer (ggf. auch die für die standortübergreifende Verbindungsnachfrage bereitgestellten), Cross Connectoren, Regeneratoren – oder im Fall von Ethernet, auch Switches sein.

Die hier als „verbindendes Equipment“ bezeichneten Netzelemente konstituierten im standortübergreifenden Fall Kosten der Verbindungslinie, die pauschal tarifiert wurden. Sie sind im Fall der internen Verbindungsnachfrage ebenfalls pauschal ansetzbar und

können nach „Ortsnetztyp“ (Backbone, Regio oder Country) für die verschiedenen Kapazitätstypen differenziert werden, wobei im Weiteren eine Mittelwertbildung über die Ortsnetztypen erfolgen würde.

9 Berechnung der Kosten

9.1 Berechnung des jährlichen Capex

„Netzkosten bestehen im Wesentlichen aus den annualisierten CAPEX und den OPEX, auf die je nach Ansatz und Dienst ein Aufschlag für Gemeinkosten erfolgt. Die in diesem Modell vorgestellte Investitionswertermittlung beschränkt sich auf die direkten Investitionen in Netzelemente und lässt indirekte Investitionen und OPEX außen vor.“⁷⁰ Die in dieser Anlage 3 zum Analytischen Kostenmodell für ein Breitbandnetz Version 2.3 dargelegte Kostenmodellierung für Mietleitungen hatte bisher die netzelementbezogene Berechnung der Investitionswerte zum Gegenstand. Die Transformation in annualisierten CAPEX folgt derselben Methodik, wie sie im Hauptdokument des Referenzdokuments Version 2.3 in Abschnitt 7.5 dargestellt ist.

9.2 Berechnung der OPEX und indirekten Investitionen – Betriebskosten und der Mietkosten

Die methodische Vorgehensweise zur Bestimmung der netzunterstützenden Investitionen sowie OPEX folgt ebenfalls der im Modell Version 2.3 angelegten Berechnung. Ebenso ist eine Zuschlagskalkulation auf die berechneten Investitionen für die Netzelemente implementiert. In weiterer Ergänzung wurde im Zuge des Beschlusskammerverfahrens BK3c-12-089 das Kostenmodul des WIK-Breitbandkostenmodells dergestalt erweitert, dass es möglich wurde, Miet- und Betriebskosten⁷¹ als absolute Größen, differenziert nach Netzsichten, in das Modell einzupflegen. Es erfolgt bei dieser Variante keine bottom-up Berechnung der Miet- und Betriebskosten, sondern diese werden als Eingangsparameter betragsmäßig vorgegeben.

Methodisch können die absoluten, schichtbezogenen OPEX Beträge auf die einzelnen Netzelemente gemäß des jeweiligen Investitionsanteils, der sich aus den Ergebnissen des WIK-Modells ergibt, verteilt werden. Diese Vorgehensweise erlaubt es im Weiteren, die netzelementbezogenen Kosten nach Maßgabe der Nutzungsfaktoren zu verteilen (Total Element Ansatz).

Mit Blick auf die Kosten der Anschlussleitung (sowohl Kupfer- als auch Glasfaserbezogen) wird davon ausgegangen, dass diese Kosten über andere Verfahren be-

⁷⁰ Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Referenzdokument Version 2.3, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 15. August 2016, Abschnitt 7.5

⁷¹ Die Anwendung des Kostenmodells hat gezeigt, dass die Differenzierung in indirekte (netzunterstützende) Investitionen sowie OPEX sich in der Kostenrechnung des betrachteten Unternehmens nicht wiederfindet. Vielmehr sind diese Kosten als Betriebs- und Mietkosten gekennzeichnet. Damit sind letztlich die bei einer Investitionswert-Betrachtung der netzunterstützenden Anlagen bereits annualisiert.

stimmt wurden und in dieses Modell zur Kostenberechnung lediglich als Eingabegrößen eingehen (siehe hierzu auch die Darstellung in Abschnitt 7).

10 Softwareimplementierung und -prüfung

Bei der in dieser Anlage beschriebenen Kostenmodellierung von Mietleitungen handelt es sich um eine Modellerweiterung der Vorgängerversionen des Software-Tools „Analytisches Kostenmodell für ein Breitbandnetz, Versionen 2.1.1 und 2.2“, die im Netzplanungsmodul auf Basis der höheren Programmiersprache C++ und im Kostenmodul Excel-basiert umgesetzt sind.

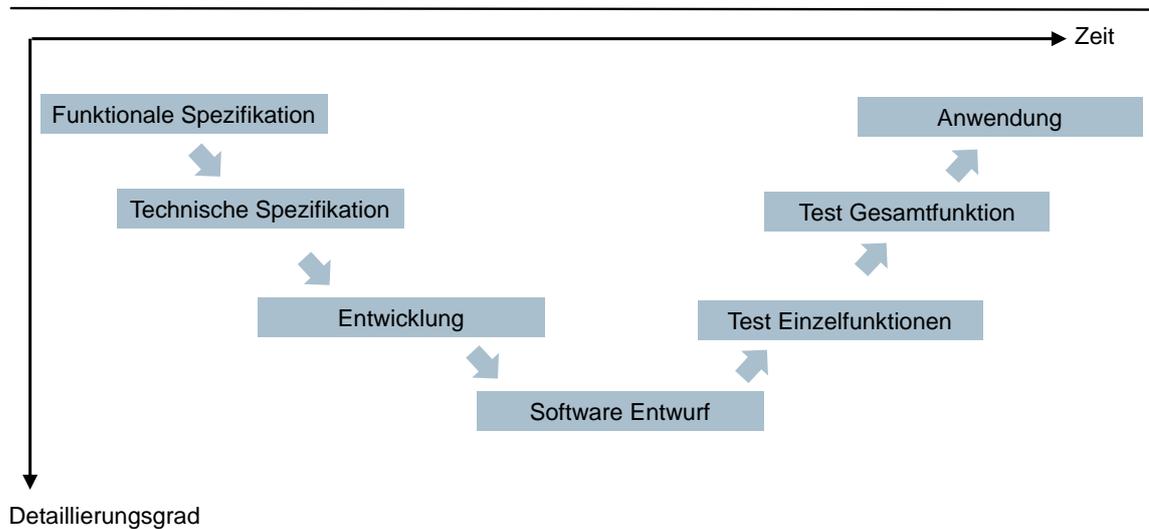
Die Kostenmodellierung im Breitbandnetz beinhaltet bereits eine Netzdimensionierung unter Einbeziehung sämtlicher Verbindungsnachfragen inklusive Mietleitungen, sowohl SDH- als auch Ethernet-basierend. Die mietleitungsinkrementellen Kosten werden durch zusätzliche Programm-Module in C++ umgesetzt, die das bestehende Netzplanungsmodul in seinem grundsätzlichen Ansatz nicht ändern, sondern um zusätzliche Elemente erweitern (mit Ausnahme der Separierung von standortinterner Verbindungsnachfrage für Layer 2 Verbindungen, die in Analogie zu der Layer 1 Verbindungsnachfrage implementiert werden soll, um die Genauigkeit der Kapazitätsnachfrage im Transportnetz zu erhöhen).

Im Excel-basierten Kostenmodul werden die Ergebnisse des Mietleitungsmoduls mit Blick auf Mengengerüst, Investitionen, Routingfaktoren, Annualisierung und tarifbezogene Kostenzurechnung ergänzt. Zur Ableitung der Routingfaktoren wurden dabei weitere Module in C++ ergänzt, die die Projektion der Verbindungsnachfrage und deren Referenzierung auf die angestrebte Tarifstruktur vollziehen.

Die Vorgehensweise bei der Softwareentwicklung für die Analytischen Kostenmodelle ist dem V-Modell als methodischem Konzept angelehnt, welches neben den Entwicklungsphasen auch Aspekte der Qualitätssicherung⁷² beinhaltet (phasen-bezogenes Testen).

⁷² Der aufsteigende Ast des V-Modells repräsentiert einen wesentlichen Teil der Arbeiten zur Qualitätssicherung.

Abbildung 10-1: V-Modell als methodische Grundlage



Prozessbezogen bildet die funktionale Spezifikation, wie sie im Referenzdokument dargestellt wurde, den Ausgangspunkt der Softwareentwicklung. Durch die personelle Trennung von Zuständigkeiten spiegelt sich ein Aspekt der Qualitätssicherung auch in den einzelnen Projektphasen wider. Die funktionale Spezifikation wird durch den Projektleiter in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber abgestimmt. Die technische Spezifikation – welche in Form der High Level Specification (HLS) dokumentiert wird – wird von Ingenieuren vorgenommen. Die HLS (technische Spezifikation) stellt in der Folge die Grundlage für die Softwareentwicklung dar und schließt mit einem lauffähigen Software Entwurf ab. Die Entwicklungsarbeit wird von den bei der technischen Spezifikation eingesetzten, unterstützenden Ingenieuren bzw. für die Kostenberechnung von Ökonomen, vollzogen.

Den Prozessschritten von der funktionalen Spezifikation bis hin zur Entwicklung stehen die Prozessschritte des Testens gegenüber. Dabei nimmt nun der Detaillierungsgrad von Prozessschritt zu Prozessschritt ab. Zunächst werden die implementierten Einzel-funktionen getestet. Erst wenn diese erfolgreich getestet wurden, wird die Gesamtfunktionalität der Software getestet. – In Fehlerfällen müssen Nachbesserungen erfolgen und erst wenn beide Testphasen erfolgreich abgeschlossen wurden, kann eine Anwendung der Software für die Durchführung einer Kostenstudie erfolgen.

Die mit dem Testen beauftragten Mitarbeiter sind andere als diejenigen, die die Software technisch spezifiziert und entwickelt haben. Sie sind vielmehr mit den funktionalen Anforderungen vertraut, welche mit dem Auftraggeber bei der Erstellung des Referenzdokuments definiert wurden.

11 Abschließende Bemerkungen

Das vorliegende Dokument beschreibt die vom WIK entwickelte und vertretene Methodik zur Analyse der Kostenstruktur von im Breitbandnetz realisierten Mietleitungen unter Einbeziehung der sich aus der Konsultation des Vorgängerdokuments vom 7. Mai 2014 und der Konsultation zur Einführung der BNG Architektur vom 9. Mai 2016⁷³ ergebenden Stellungnahmen der Marktteilnehmer. Mit der hier vorgelegten Darstellung wird das bisherige Kostenmodell Breitbandnetz von der Version 2.1.1⁷⁴ über die Version 2.2⁷⁵ zur Version 2.3 erweitert und softwaretechnisch umgesetzt. Es handelt sich auch hier um einen generischen Modellierungsansatz, der auf der einen Seite eine nachfragegetriebene Netzdimensionierung vornimmt und auf der anderen Seite das abgeleitete Mengengerüst (Nachfrage) unter Rückgriff eines Kostenmoduls bewertet. Mit Hilfe der vorgeschlagenen Methodik ist es bei Verfügbarkeit valider Eingabedaten möglich, eine bottom-up Kostenstudie für die Realisierung von Mietleitungen auf Basis eines effizienten, neu errichteten Breitbandnetzes nach dem Stand der Technik zu erstellen.

Das Kostenmodell (bzw. dessen Ergebnisse) kann (können) von der Bundesnetzagentur – neben anderen Instrumenten – zur Fundierung von Entscheidungen zu Kosten von Mietleitungen herangezogen werden.

⁷³ [WIK-16] und [WIK-16a]

⁷⁴ [WIK-14b]

⁷⁵ [WIK-14e]

12 Literatur

- [Baldi-02] M. Baldi, P. Nicoletti, "Switched LAN", M G Hill 2002
- [BNetzA-07] Bundesnetzagentur, Konsolidierungsentwurf Abschluss- und Fernübertragungssegmente von Mietleitungen, Märkte Nr. 13 und Nr. 14 der Empfehlung 2003/311/EG, BK 1-07/004 vom 24.08.2007
- [BNetzA-12] Bundesnetzagentur, Festlegung Abschlussegmente Mietleitungen, Markt Nr. 6 der Empfehlung 2007/879/EG vom 3.1.2012
- [BNetzA-12a] Bundesnetzagentur, Regulierungsverfügung, Markt Nr. 6 "Abschluss-Segmente von Mietleitungen für Großkunden, unabhängig von der für die Miet-oder Standleitungskapazitäten genutzten Technik" 9.8.2012
- [BNetzA-13] Bundesnetzagentur, Beschluss Konsultationsentwurf, BK2a-13/003, Genehmigung von Entgelten für Carrier-Festverbindungen (CFV)-Ethernet und die zugehörige Express-Entstörung und Zusatzleistungen, 29.10.2013
- [Gelenbe-98] Gelenbe, Pujolle, "Introduction to Queuing Networks", John Wiley & Sons 1998
- [Kawashima-99] Kawashima, Akimura, „Teletraffic“, Springer 1999
- [Risso-09] Risso, Fulvio, "Quality of Service in IEEE 802 LANs", Politecnico di Torino, 2009
- [transmode-13], transmode: „Go Native with Native Packet Optical 2.0“, <http://www.transmode.com/en/resource/application-notes>
- [Telekom-12a] Telekom Deutschland, Standardvertrag zur Bereitstellung und Überlassung von Carrier-Festverbindungen, Leistungsbeschreibung, Anlage 1, vom 5.11.2012
- [Telekom-12b] Telekom Deutschland, Standardvertrag zur Bereitstellung und Überlassung von Carrier-Festverbindungen, Beilage 1 zu Anlage 3 (Genehmigungspflichtige Preise, Teil I – Beantragte Preise), vom 5.11.2012
- [Telekom-12c] Telekom Deutschland, Rahmenvertrag zur Bereitstellung und Überlassung von Carrier-Festverbindungen, Leistungsbeschreibung, Anlage 1, vom 11.04.2012
- [WIK-00]: Analytisches Kostenmodell Anschlussnetz, Referenzdokument Version 2.0, 8. November 2000,
http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktregulierung/Massstaebe_Methoden/Kostenmodelle/Anschlussnetz/AnalytischesKostenmodellAnId264pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- [WIK-10]: Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz 2010, Version 2.1, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2010
- [WIK-14], Referenzdokument „Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Version 2.1.1, 25.02.2014;
http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1412/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktregulierung/massstaebe_methoden/kostenmodelle/breitbandnetz21/breitbandnetz21-node.html
- [WIK-14a]: Anhang 9 Berechnung der Kosten von Bitstromzugang – Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Referenzdokument Version 2.1.1, erstellt im Auftrag der Bundes-

netzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 25. Februar 2014

- [WIK-14b]: Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Referenzdokument Version 2.1.2, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 7. Mai 2014
- [WIK-14c]: Anhang 10 Berechnung der Kosten von Mietleitungen – Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Referenzdokument Version 2.1.2, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 7. Mai 2014
- [WIK-14d]: Auswertung der Stellungnahmen – Anhang 10 Berechnung der Kosten von Mietleitungen Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Referenzdokument Version 2.1.2, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 22. Dezember 2014,
http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktregulierung/Massstaebe_Methoden/Kostenmodelle/Breitbandnetz2x/Ausw_Stellungnahmen_Mietlgen_20141222_oeffentl_Fassung.pdf
- [WIK-14e]: Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Referenzdokument Version 2.2, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 22. Dezember 2014,
http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktregulierung/Massstaebe_Methoden/Kostenmodelle/Breitbandnetz2x/Refdok_NGN_v2_2_20141222.pdf
- [WIK-14f]: Anlage 1 Berechnung der Kosten der Sprachzusammenschaltung, Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Referenzdokument Version 2.2, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 22. Dezember 2014,
http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktregulierung/Massstaebe_Methoden/Kostenmodelle/Breitbandnetz2x/Anlage_1_Voice_IC_RefDok_NGN_v2_2_20141222.pdf
- [WIK-14g]: Anlage 2 Berechnung der Kosten von Bitstromzugang, Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Referenzdokument Version 2.2, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 22. Dezember 2014,
http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktregulierung/Massstaebe_Methoden/Kostenmodelle/Breitbandnetz2x/Anlage_2_Bitstrom_Refdok_NGN_v2_2_20141222.pdf
- [WIK-14h]: Anlage 3 Berechnung der Kosten von Mietleitungen, Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz, Referenzdokument Version 2.2, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 22. Dezember 2014,
http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktregulierung/Massstaebe_Methoden/Kostenmodelle/Breitbandnetz2x/Anlage_3_Mietleitungen_RefDok_NGN_v2_2_20141222.pdf
- [WIK-16]: Anpassung des Breitbandkostenmodells um die Einführung der BNG Architektur, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 9. Mai 2016,

http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktregulierung/Massstaebe_Methoden/Kostenmodelle/Breitband-netz2x/WIKKonsDokBNG20160509pdf.pdf;jsessionid=91F81402BAAA9FFF933BD3F73561F239?__blob=publicationFile&v=2

[WIK 16a]: Auswertung der Stellungnahmen zu den Modellanpassungen Einführung der BNG-Architektur und die Möglichkeit der Ermittlung von Pure LRIC, erstellt im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 25. Juli 2016,
http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktregulierung/Massstaebe_Methoden/Kostenmodelle/Breitband-netz2x/WIKAuswertungStellgn20160725pdf.pdf;jsessionid=A9C752B60CA28986D1A360BBCF848293?__blob=publicationFile&v=3

1 Anhang: Angebotene Mietleitungen (CFV) der Deutschen Telekom

Die in den nachfolgenden Tabellen in Orange gekennzeichneten Felder sollen kenntlich machen, dass es sich bei diesen Angeboten um nicht regulierte Angebote handelt.⁷⁶

Tabelle A 1-1: Angebotene CFV Mietleitungen der Deutschen Telekom

CFV SDH	CFV Ethernet (capacity interface/capacity transmission link)	CFV Premium
CFV 2MS	10M/2,5M	STM-16
CFV T2MS	10M/5M	STM-64
CFV 2MU	10M/10M	STM-256
CFV 34M	100M/12M	1GE
CFV 155M	100M/50M	10GE LAN
CFV 16 x T2MS	100M/100M	10GE WAN
CFV 16 x 2MU	1G/150M	OTM-0.1
CFV 21 x T2MS	1G/300M	OTM-0.2
CFV 21 x 2MU	1G/600M	OTM-0.3
CFV 63 x T2MS	1G/1000M	FC 1 G-FG
CFV 63 x 2MU		FC 2 G-FC
CFV 622M VC4-4		FICON 1G
CFV 622M VC4-4c		FICON 2G

Quelle: [Telekom-12c]

⁷⁶ Siehe hierzu auch die Regulierungsverfügung der Bundesnetzagentur [BNetzA-12a].

Tabelle A 1-2: Angebotene SDH CFV Mietleitungen von der Deutschen Telekom übersetzt in die Modell-Nomenklatur

CFV SDH Nomenklatur DTAG	CFV SDH "transformiert"	Modell-Nomenklatur
CFV 2MS	E1 strukturiert (1.984Mbps)	E1
CFV T2MS	E1 strukturiert (1.984Mbps)	E1
CFV 2MU	E1 unstrukturiert (2.048Mbps)	E1
CFV 34M	E3 (34.368Mbps)	E3
CFV 155M	STM-1 (155.520Mbps)	STM-1
CFV 16 x T2MS	16 x E1 struk.	E3
CFV 16 x 2MU	16 x E1 unstruk.	E3
CFV 21 x T2MS	21 x E1 struk.	DS3
CFV 21 x 2MU	21 x E1 unstruk.	DS3
CFV 63 x T2MS	63 x E1 struk.	STM-1
CFV 63 x 2MU	63 x E1 unstruk.	STM-1
CFV 622M VC4-4	STM-4(622Mbps)	STM-4
CFV 622M VC4-4c	STM-4(622Mbps)	STM-4

Tabelle A 1-3: Angebotene Ethernet CFV Mietleitungen von der Deutschen Telekom übersetzt in die Modell-Nomenklatur

CFV Ethernet Nomenklatur DTAG (capacity interface/capacity transmission link)	CFV Ethernet "transformiert" (capacity interface)	CFV Ethernet "transformiert" (capacity transmission link)	Modell- Nomenklatur
10M/2,5M	SE (10 Mbps)	SE (2,5 Mbps)	SE
10M/5M	SE (10 Mbps)	SE (5 Mbps)	SE
10M/10M	SE (10 Mbps)	SE (10 Mbps)	SE
100M/12M	FE (100 Mbps)	FE (12 Mbps)	FE
100M/50M	FE (100 Mbps)	FE (50 Mbps)	FE
100M/100M	FE (100 Mbps)	FE (100 Mbps)	FE
1G/150M	GE (1 Gbps)	GE (150 Mbps)	GE
1G/300M	GE (1 Gbps)	GE (300 Mbps)	GE
1G/600M	GE (1 Gbps)	GE (600 Mbps)	GE
1G/1000M	GE (1 Gbps)	GE (1000 Mbps)	GE

Tabelle A 1-4: Angebotene Premium CFV Mietleitungen von der Deutschen Telekom übersetzt in die Modell-Nomenklatur

CFV Premium Nomenklatur DTAG	CFV Premium "transformiert"	Modell-Nomenklatur
STM-16	STM-16 (2.5 Gbps)	STM-16
STM-64	STM-64 (10 Gbps)	STM-64
STM-256	STM-256 (40 Gbps)	STM-256
1GE	1GE	GE
10GE LAN	10GE	10GE
10GE WAN	10G	10GE
OTM-0.1	10G	10GE
OTM-0.2	10G	10GE
OTM-0.3	10G	10GE
FC 1 G-FG	1G	GE
FC 2 G-FC	2G	2*GE
FICON 1G	1G	GE
FICON 2G	2G	2*GE

2 Anhang: Flussdiagramme zur Kostenberechnung

Die nachfolgenden Flussdiagramme erläutern die im Kostenmodul vollzogene Kostenzurechnung auf die verschiedenen Verbindungstypen.

Abbildung A 2-1: Multiplexer (MUX/DMUX)

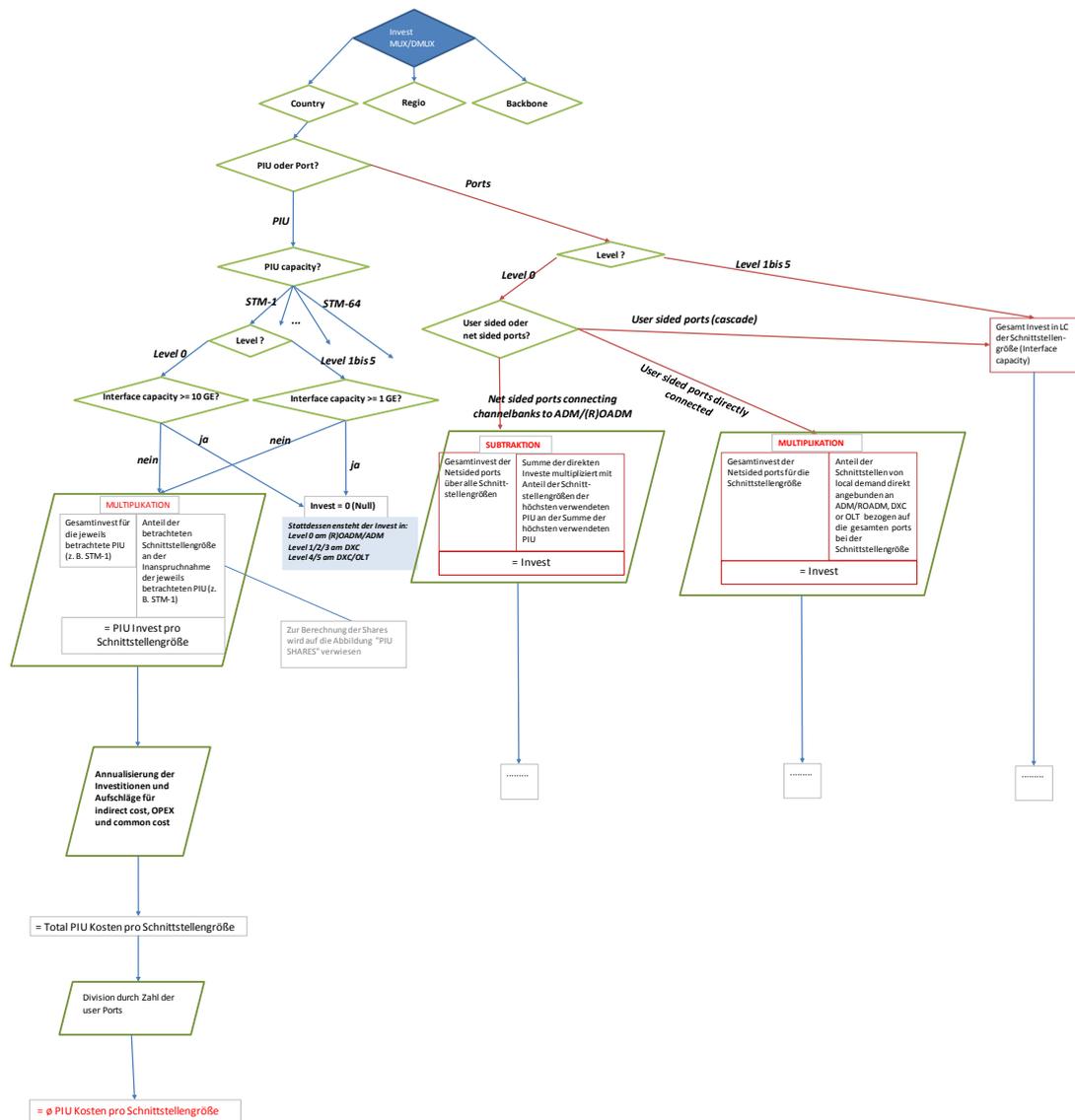


Abbildung A 2-2: PIU Shares

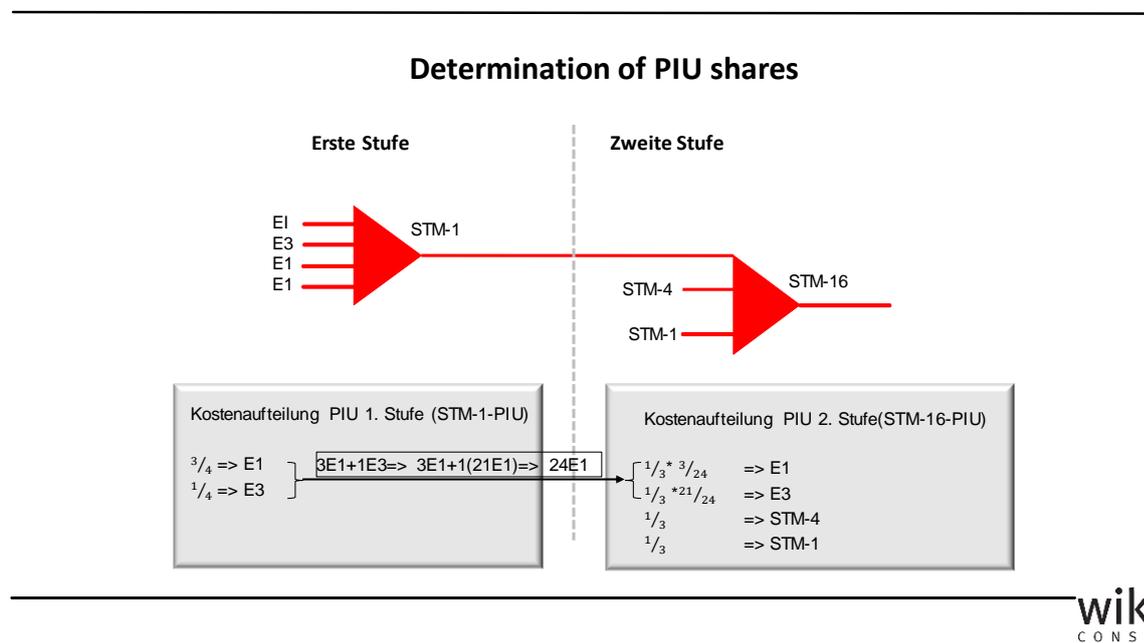


Abbildung A 2-3: Digital Cross Connector – ports (DXC ports)

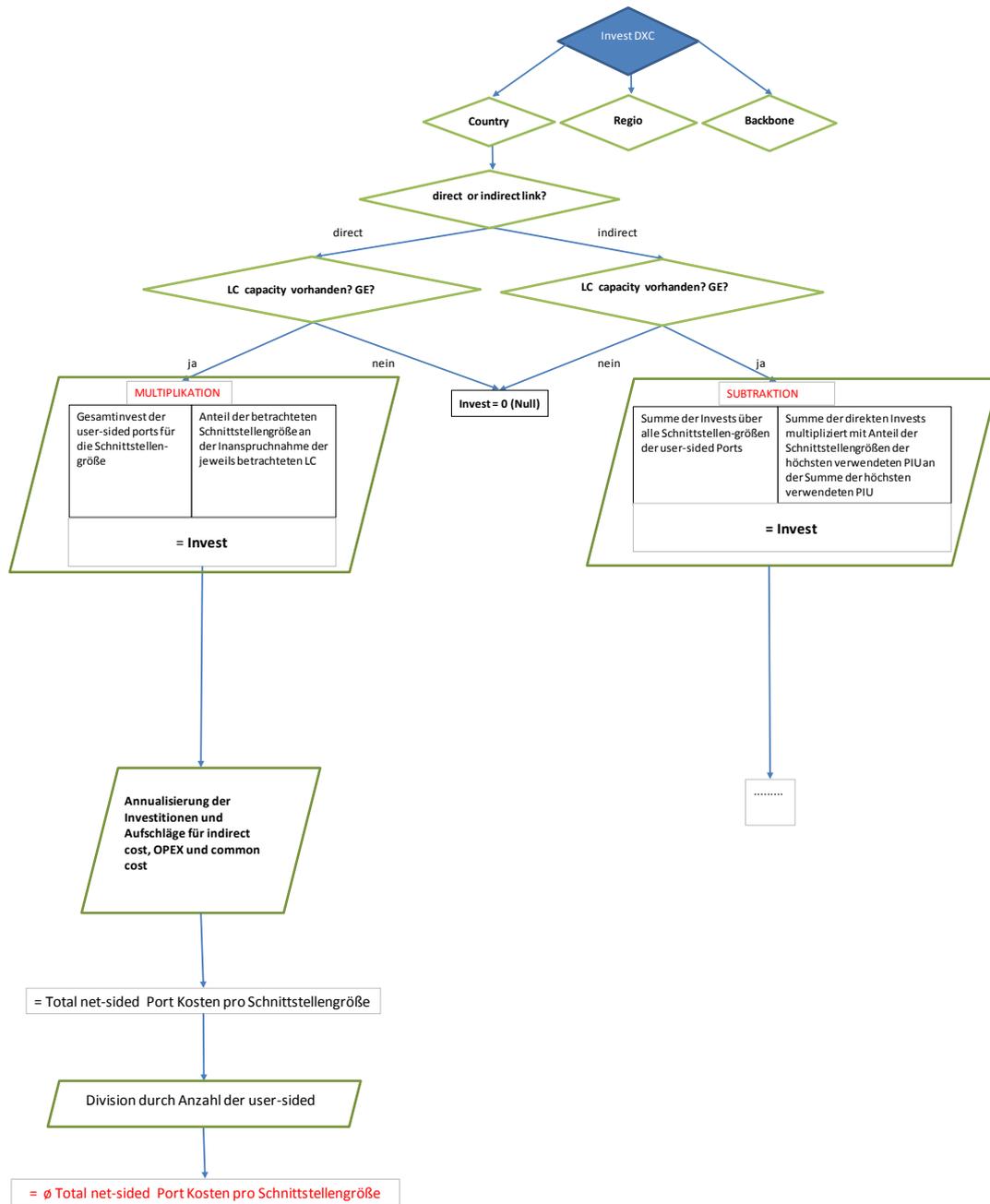


Abbildung A 2-4: Optisches Transportnetz – optical line termination (OLT-LT)

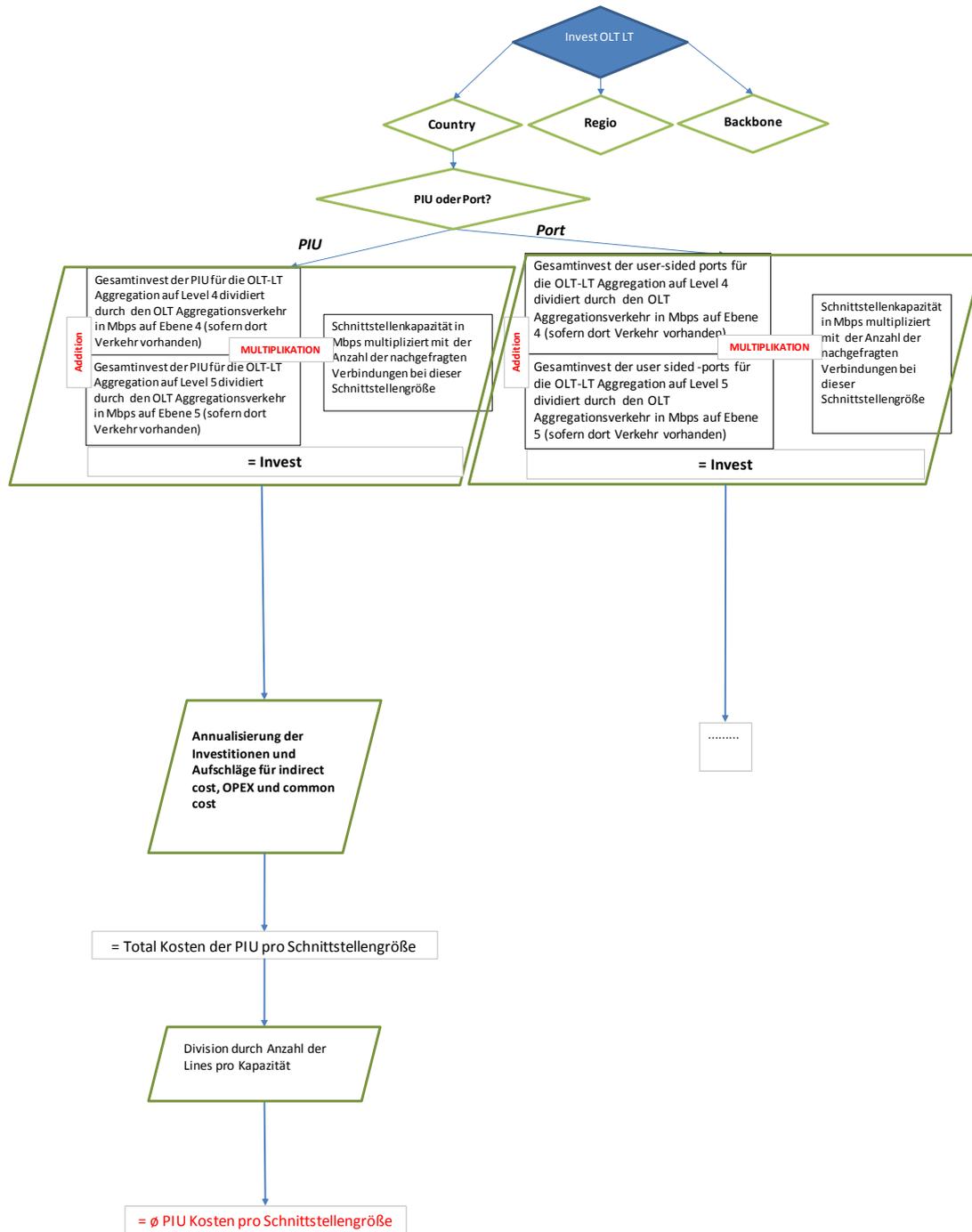
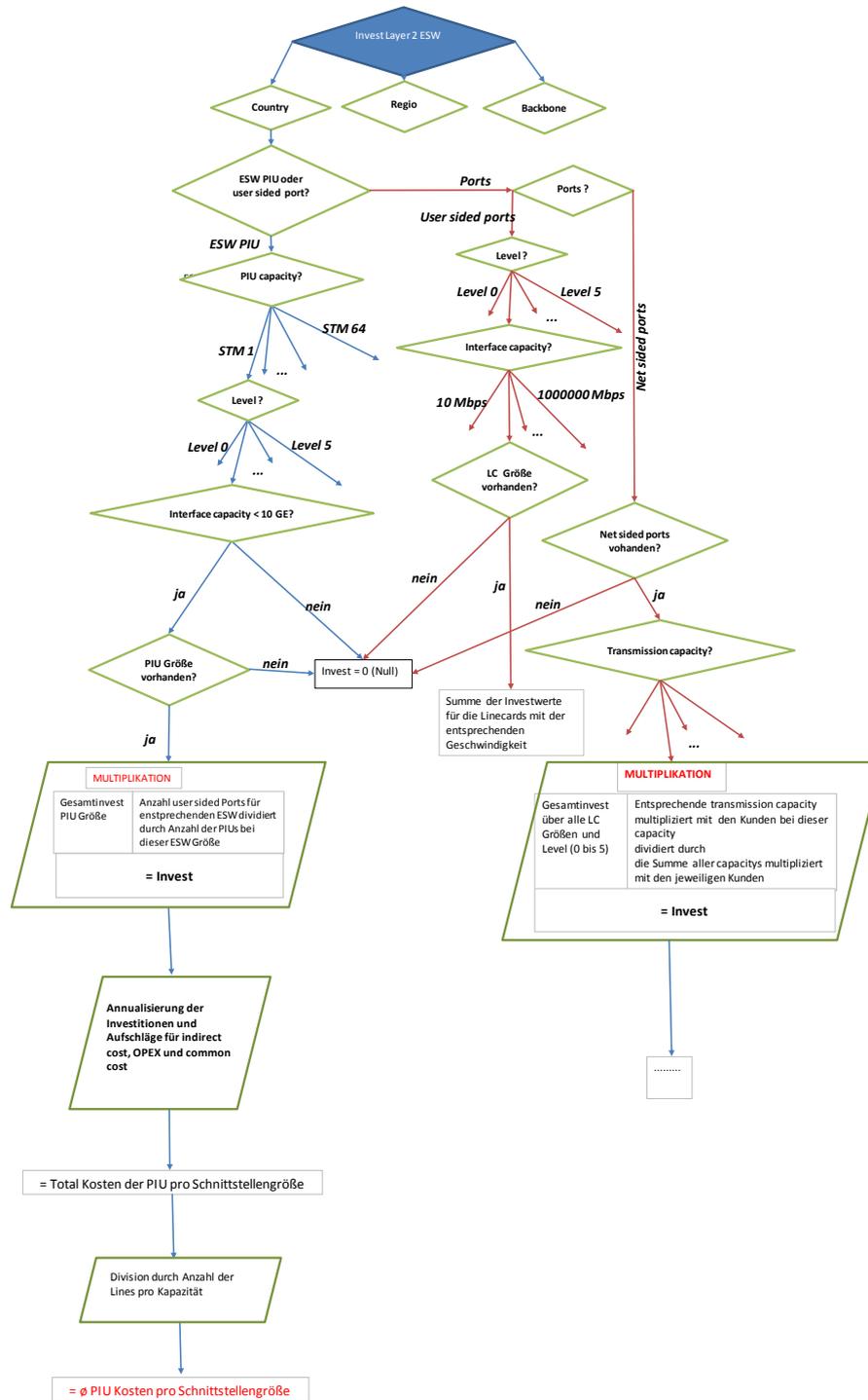


Abbildung A 2-5: Ethernet Switch Layer 2 (ESW Layer 2)



3 Anhang: Eingangsparameter des Mietleitungsmoduls

3.1 A Eingangsparameter Anschlusssegment:

Liste der Inputparameter zur Modellierung der Anschlusslinie

Variable
Kupfer-TAL-bezogene Inputparameter (Bestandteile der TAL Invest Modellierung)
Gesamtzahl der CUDA
Invest Trasse Erdkabel
Invest Trasse Kabelkanal, Rohre
Invest Kabelschächte
Invest Verstärker
Glasfaserbezogene Inputparameter
Durchschnittlicher Verbindungsmuffenabstand im Gf-ZN für Erd und Kabelkanalverlegung in m
Durchschnittlicher Invest je Verbindungsmuffe im Erdkabel (Gelmuffe für durchschnittliche Faserzahl Material und Montage)
Durchschnittlicher Invest je Verbindungsmuffe im Kabelkanal (Gelmuffe für durchschnittliche Faserzahl Material und Montage)
Durchschnittspreis Abzweigmuffe (Abzweigmuffe für durchschnittliche Faserzahl Material und Montage)
Durchschnittliche Anzahl gemeinsamer Nutzer einer Abzweigmuffe
Faserzahl des durchschnittlichen Glasfaserkabels Erdkabelverlegung
Invest für durchschnittliches Glasfaserkabel bei Erdkabelverlegung je Faser und Meter
Faserzahl des durchschnittlichen Glasfaserkabels im Kabelkanal
Invest für durchschnittliches Glasfaserkabel im Kabelkanal je Faser und Meter
Belegung des durchschnittlichen Glasfaserkabels bei Erdkabelverlegung in Prozent

Belegung des durchschnittlichen Glasfaserkabels bei Kabelkanalverlegung in Prozent
Durchschnittlicher Invest in Glasfaser HVt je Faser
Durchschnittlicher Invest in Glasfaserstecker (HVt)
Durchschnittlicher Invest für Glasfaser Endverschluss + Montage (HVt)
Durchschnittlicher Invest für Glasfaser KVz
Durchschnittlicher Invest in Glasfaserstecker (KVz)
Durchschnittlicher Invest in Glasfaserendverschluss + Montage (KVz)
Prozentualer Anteil der KVZ-Führung im Glasfasernetz der DTAG
Sonstige Inputparameter
Invest für Terminalmultiplexer (SDH) nach Bandbreiten differenziert
Invest für Ethernet Abschlusseinrichtung (CPE) nach Bandbreiten differenziert
Invest für SDH/Ethernet Konverter (im CPE) nach Bandbreiten differenziert
Durchschnittliche Länge der kupferbasierten Anschlussleitungen in Meter
Durchschnittliche bandbreitenspezifische Länge der Anschlusslinie in Meter (Bandbreiten für E1, SE (10 Mbps), E3, DS3, FE (100 Mbps), STM-1, STM-4, GE, STM-16, STM-64, 10G, STM-256, 100G)

3.2A Inputfile Nachfrage für Layer 1 und Layer 2

Variable	Type	Units	Comment
First line: for each bandwidth type (i) i=1-13			
Bw_type (1)	float	Mbps	Bandwidth value for E1 (2 Mbps)
Bw_type (2)	float	Mbps	Bandwidth value for SE (10 Mbps)
Bw_type (3)	float	Mbps	Bandwidth value for E3 (34 Mbps)
Bw_type (4)	float	Mbps	Bandwidth value for DS3 (45 Mbps)
Bw_type (5)	float	Mbps	Bandwidth value for FE (100 Mbps)

Bw_type (6)	float	Mbps	Bandwidth value for STM-1 (155 Mbps)
Bw_type (7)	float	Mbps	Bandwidth value for STM-4 (622 Mbps)
Bw_type (8)	float	Mbps	Bandwidth value for GE (1024 Mbps)
Bw_type (9)	float	Mbps	Bandwidth value for STM-16 (2560 Mbps)
Bw_type (10)	float	Mbps	Bandwidth value for STM-64 (10240 Mbps)
Bw_type (11)	float	Mbps	Bandwidth value for 10G (10000 Mbps)
Bw_type (12)	float	Mbps	Bandwidth value for STM-256 (40000 Mbps)
Bw_type (13)	float	Mbps	Bandwidth value for 100G (100000 Mbps)
For each MPoP (l) l=1..N, N=total number of Mpop			
Mpop_id (l)	string		MPoP name
Region_type(l)	int		0=Backbone;1=Regio;3=Country

Variable	Type	Units	Comment
Layer 1 leased lines			
For each bandwidth type : external demand			
nLL (l,i)	int		Number of leased lines (Interface capacity)
For each bandwidth type : internal demand			
nLL (l,i)	int		Number of leased lines (Interface capacity)
Thresh_int_low_LL1	int		Threshold Layer 1 internal demand, bw type low
Thresh_int_medium_LL1	int		Threshold Layer 1 internal demand, bw type medium
Thresh_int_high_LL1	int		Threshold Layer 1 internal demand, bw type high
For each bandwidth type : total demand			
nLL (l,i)	int		Number of leased lines (Interface capacity)

Variable	Type	Units	Comment
Layer 2 leased lines			
For each bandwidth type : external demand			
nLL (l,i)	int		Number of leased lines (Interface capacity)
nLL_tx (l,i)	int		Number of leased lines (Transmission link capacity)
For each bandwidth type : internal demand			
nLL (l,i)	int		Number of leased lines (Interface capacity)
nLL_tx (l,i)	int		Number of leased lines (Transmission link capacity)
Thresh_int_low_LL2	int		Threshold Layer 2 internal demand, bw type low
Thresh_int_high_LL2	int		Threshold Layer 2 internal demand, bw type high
For each bandwidth type : total demand			
nLL (l,i)	int		Number of leased lines (Interface capacity)
nLL_tx(l,i)	int		Number of leased lines (Transmission link capacity)

3.3A Anschluss, Aggregation und Transport im NGN Layer 1

MPoP A	MPoP B	Ethernet Ports	SDH Ports	reserved Bandwidth [M]	number	Layer 1
ID 1	ID B	SE	E1	0	>0	x
ID 1	ID B	FE	E3/DS3	0	>0	x
...		GE	STM-1	0	>0	x
		10GE	STM-4	0	>0	x
		100GE	STM-16	0	>0	x
			STM-64	0	>0	x
			STM-256	0	>0	x
ID N						

3.4A Anschluss, Aggregation und Transport im NGN Layer 2

MPoP A	MPoP B	Ethernet Ports	SDH Ports	reserved Bandwidth [M]	number	Layer 2
ID A	ID B	SE	E1	>0	>0	x
ID B	ID B	FE	E3/DS3	>0	>0	x
...		GE	STM-1	>0	>0	x
		10GE	STM-4	>0	>0	x
		100GE	STM-16	>0	>0	x
			STM-64	>0	>0	x
			STM-256	>0	>0	x
ID N						

3.5A Eingangsparameter für OPEX und indirekte Investitionen (Betriebs- und Mietkosten)

Variante A: Zuschlagsfaktoren

Mark-ups for network support investment:

Parameter	Range	Description
iif_mv_CPE	[0,1]	Investment for motor vehicles (allocated to CPE) as a percentage of direct investment in CPE
iif_of_CPE	[0,1]	Investment for office equipment (allocated to CPE) as a percentage of direct investment in CPE

Parameter	Range	Description
iif_wo_CPE	[0,1]	Investment for workshop equipment (allocated to CPE) as a percentage of direct investment in CPE
iif_it_CPE	[0,1]	Investment for IT network support equipment (allocated to CPE) as a percentage of direct investment in CPE
iif_nm_CPE	[0,1]	Investment for network management equipment (allocated to CPE) as a percentage of direct investment in CPE
iif_lb_CPE	[0,1]	Investment for land and buildings equipment (allocated to CPE) as a percentage of direct investment in CPE
iif_mv_ESW	[0,1]	Investment for motor vehicles (allocated to Ethernet Switch) as a percentage of direct investment in Ethernet Switch
iif_of_ESW	[0,1]	Investment for office equipment (allocated to Ethernet Switch) as a percentage of direct investment in Ethernet Switch
iif_wo_ESW	[0,1]	Investment for workshop equipment (allocated to Ethernet Switch) as a percentage of direct investment in Ethernet Switch
iif_it_ESW	[0,1]	Investment for IT network support equipment (allocated to Ethernet Switch) as a percentage of direct investment in Ethernet Switch
iif_nm_ESW	[0,1]	Investment for network management equipment (allocated to Ethernet Switch) as a percentage of direct investment in Ethernet Switch
iif_lb_ESW	[0,1]	Investment for land and buildings equipment (allocated to Ethernet Switch) as a percentage of direct investment in Ethernet Switch
iif_mv_SDH	[0,1]	Investment for motor vehicles (allocated to SDH equipment) as a percentage of direct investment in SDH equipment
iif_of_SDH	[0,1]	Investment for office equipment (allocated to SDH) as a percentage of direct investment in SDH
iif_wo_SDH	[0,1]	Investment for workshop equipment (allocated to SDH) as a percentage of direct investment in SDH
iif_it_SDH	[0,1]	Investment for IT network support equipment (allocated to SDH) as a percentage of direct investment in SDH
iif_nm_SDH	[0,1]	Investment for network management equipment (allocated to SDH) as a percentage of direct investment in SDH
iif_lb_SDH	[0,1]	Investment for land and buildings equipment (allocated to SDH) as a percentage of direct investment in SDH
iif_mv_DWDM	[0,1]	Investment for motor vehicles (allocated to DWDM equipment) as a percentage of direct investment in DWDM equipment
iif_of_DWDM	[0,1]	Investment for office equipment (allocated to DWDM) as a percentage of direct investment in DWDM
iif_wo_DWDM	[0,1]	Investment for workshop equipment (allocated to DWDM) as a percentage of direct investment in DWDM
iif_it_DWDM	[0,1]	Investment for IT network support equipment (allocated to DWDM) as a percentage of direct investment in DWDM
iif_nm_DWDM	[0,1]	Investment for network management equipment (allocated to DWDM) as a percentage of direct investment in DWDM
iif_lb_DWDM	[0,1]	Investment for land and buildings equipment (allocated to DWDM) as a percentage of direct investment in DWDM
iif_mv_OTN	[0,1]	Investment for motor vehicles (allocated to OTN equipment) as a percentage of direct investment in OTN equipment
iif_of_OTN	[0,1]	Investment for office equipment (allocated to OTN) as a percentage of direct investment in OTN

Parameter	Range	Description
iif_wo_OTN	[0,1]	Investment for workshop equipment (allocated to OTN) as a percentage of direct investment in OTN
iif_it_OTN	[0,1]	Investment for IT network support equipment (allocated to OTN) as a percentage of direct investment in OTN
iif_nm_OTN	[0,1]	Investment for network management equipment (allocated to OTN) as a percentage of direct investment in OTN
iif_lb_OTN	[0,1]	Investment for land and buildings equipment (allocated to OTN) as a percentage of direct investment in OTN
iif_mv_layer_0	[0,1]	Investment for motor vehicles (allocated to Layer 0 equipment) as a percentage of direct investment in Layer 0 equipment
iif_of_layer_0	[0,1]	Investment for office equipment (allocated to Layer 0 equipment) as a percentage of direct investment in Layer 0 equipment
iif_wo_layer_0	[0,1]	Investment for workshop equipment (allocated to Layer 0 equipment) as a percentage of direct investment in Layer 0 equipment
iif_it_layer_0	[0,1]	Investment for IT network support equipment (allocated to Layer 0 equipment) as a percentage of direct investment in Layer 0 equipment
iif_nm_layer_0	[0,1]	Investment for network management equipment (allocated to Layer 0 equipment) as a percentage of direct investment in Layer 0 equipment
iif_lb_layer_0	[0,1]	Investment for land and buildings equipment (allocated to Layer 0 equipment) as a percentage of direct investment in Layer 0 equipment
iif_mv_LER	[0,1]	Investment for motor vehicles (allocated to LER) as a percentage of direct investment in LER
iif_of_LER	[0,1]	Investment for office equipment (allocated to LER) as a percentage of direct investment in LER
iif_wo_LER	[0,1]	Investment for workshop equipment (allocated to LER) as a percentage of direct investment in LER
iif_it_LER	[0,1]	Investment for IT network support equipment (allocated to LER) as a percentage of direct investment in LER
iif_nm_LER	[0,1]	Investment for network management equipment (allocated to LER) as a percentage of direct investment in LER
iif_lb_LER	[0,1]	Investment for land and buildings equipment (allocated to LER) as a percentage of direct investment in LER
iif_mv_LSR	[0,1]	Investment for motor vehicles (allocated to LSR) as a percentage of direct investment in LSR
iif_of_LSR	[0,1]	Investment for office equipment (allocated to LSR) as a percentage of direct investment in LSR
iif_wo_LSR	[0,1]	Investment for workshop equipment (allocated to LSR) as a percentage of direct investment in LSR
iif_it_LSR	[0,1]	Investment for IT network support equipment (allocated to LSR) as a percentage of direct investment in LSR
iif_nm_LSR	[0,1]	Investment for network management equipment (allocated to LSR) as a percentage of direct investment in LSR
iif_lb_LSR	[0,1]	Investment for land and buildings equipment (allocated to LSR) as a percentage of direct investment in LSR

OPEX mark-ups:

Parameter	Range	Description
ocf_CPE	[0,1]	Annual OPEX for CPE equipment as a percentage of direct investment
ocf_ESW	[0,1]	Annual OPEX for Ethernet switch and ports as a percentage of direct investment
ocf_SDH	[0,1]	Annual OPEX for SDH equipment as a percentage of direct investment
ocf_DWDM	[0,1]	Annual OPEX for DWDM equipment as a percentage of direct investment
ocf_OTN	[0,1]	Annual OPEX for OTN equipment as a percentage of direct investment
ocf_layer_0	[0,1]	Annual OPEX for Layer 0 equipment as a percentage of direct investment
ocf_LER	[0,1]	Annual OPEX for LER and ports as a percentage of direct investment
ocf_LSR	[0,1]	Annual OPEX for LSR and ports as a percentage of direct investment
ocf_mv	[0,1]	Annual OPEX for motor vehicles as a percentage of direct investment
ocf_of	[0,1]	Annual OPEX for office equipment as a percentage of direct investment
ocf_wo	[0,1]	Annual OPEX for workshop equipment as a percentage of direct investment
ocf_it	[0,1]	Annual OPEX for IT network support equipment as a percentage of direct investment
ocf_nm	[0,1]	Annual OPEX for network management equipment as a percentage of direct investment
ocf_lb	[0,1]	Annual OPEX for land and buildings as a percentage of direct investment

Variante B: Absolute Beträge

Parameter	Range	Description
Layer 0	>0	Total OPEX for Layer 0 network elements
Layer 1	>0	Total OPEX for Layer 1 network elements
Layer 2	>0	Total OPEX for Layer 2 network elements
Layer 3/CTRL	>0	Total OPEX for Layer 3 / Control Layer network elements

3.6A Abschreibungsdauern

Parameter	Range	Description
el_CPE	>0	Economic lifetime for CPE unit
el_ESW	>0	Economic lifetime for Ethernet switch unit
el_ESW_ports	>0	Economic lifetime for ESW ports
el_LER	>0	Economic lifetime for LER
el_LER_ports	>0	Economic lifetime for LER ports
el_LSR	>0	Economic lifetime for LSR
el_LSR_ports	>0	Economic lifetime for LSR ports
el_SDH	>0	Economic lifetime for SDH Multiplexer
el_SDH_ports	>0	Economic lifetime for SDH Multiplexer ports
el_DWDM	>0	Economic lifetime for DWDM unit
el_DWDM_ports	>0	Economic lifetime for DWDM ports
el_OTN	>0	Economic lifetime for OTN unit
el_OTN_ports	>0	Economic lifetime for OTN ports
el_SDH_reg	>0	Economic lifetime for SDH repeater
el_DWDM_reg	>0	Economic lifetime for DWDM repeater
el_OTN_reg	>0	Economic lifetime for OTN repeater
el_L2_reg	>0	Economic lifetime for Layer 2 repeater
el_DXC	>0	Economic lifetime for DXC unit
el_DXC_ports	>0	Economic lifetime for DXC ports
el_OTN_OXC	>0	Economic lifetime for OTN OXC unit
el_OTN_OXC_ports	>0	Economic lifetime for OTN OXC ports
el_cable	>0	Economic lifetime for cables

Parameter	Range	Description
el_infra	>0	Economic lifetime for trenches (incl. empty ducts)
el_mv	>0	Economic lifetime for motor vehicles
el_of	>0	Economic lifetime for office equipment
el_wo	>0	Economic lifetime for workshop equipment
el_it	>0	Economic lifetime for IT network support equipment
el_nm	>0	Economic lifetime for network management equipment
el_lb	>0	Economic lifetime for land and buildings
el_Co_reg	>0	Economic lifetime for repeater copper access lines

Impressum

WIK-Consult GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
eMail: info(at)wik-consult.com
www.wik-consult.com

Vertretungsberechtigte Personen

Geschäftsführer	Dr. Iris Henseler-Unger
Direktor	Alex Kalevi Dieke
Abteilungsleiter Netze und Kosten	Dr. Thomas Plückebaum
Direktor	Dr. Ulrich Stumpf
Leiter Verwaltung	Karl-Hubert Strüver

Vorsitzender des Aufsichtsrates Winfried Ulmen

Handelsregister Amtsgericht Siegburg, HRB 7043

Steuer Nr. 222/5751/0926

Umsatzsteueridentifikations Nr. DE 123 383 795