

Der Einfluss von Next Generation Access auf die Kosten der Sprachterminierung

Autoren:
Stephan Jay
Thomas Plückebaum
Dragan Ilic

Bad Honnef, März 2010

**WIK Wissenschaftliches Institut für
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH**

Rhöndorfer Str. 68, 53604 Bad Honnef

Postfach 20 00, 53588 Bad Honnef

Tel 02224-9225-0

Fax 02224-9225-63

Internet: <http://www.wik.org>

eMail info@wik.org

[Impressum](#)

In den vom WIK herausgegebenen Diskussionsbeiträgen erscheinen in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern des Instituts sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten. Mit der Herausgabe dieser Reihe bezweckt das WIK, über seine Tätigkeit zu informieren, Diskussionsanstöße zu geben, aber auch Anregungen von außen zu empfangen. Kritik und Kommentare sind deshalb jederzeit willkommen. Die in den verschiedenen Beiträgen zum Ausdruck kommenden Ansichten geben ausschließlich die Meinung der jeweiligen Autoren wieder. WIK behält sich alle Rechte vor. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des WIK ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) zu vervielfältigen oder unter Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten oder zu verbreiten.

ISSN 1865-8997

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
Zusammenfassung	VII
Summary	VIII
1 Problemstellung	1
1.1 Die regulatorische Behandlung von Terminierungsentgelten im PSTN	1
1.2 Einfluss der Migration zu Next Generation Networks und Next Generation Access auf die Kosten der Terminierungsleistung	4
1.3 Der Einfluss von Bill and Keep	7
1.4 Aufbau der Arbeit	8
2 Struktur von NGA-Architekturen und ihr Einfluss auf den „Demarcation Point“ und die Kosten der Terminierung	9
2.1 Identifizierung der Trennlinien in wesentlichen NGA-Architekturen	10
2.1.1 Fibre to the Curb (FTTC)	11
2.1.2 Fibre to the Building (FTTB)	12
2.1.3 Fibre to the Home (FTTH)	12
2.1.4 Breitbandkabelnetze: Hybrid Fiber Coax (HFC)	17
2.2 Einfluss von Quality-of-Service-Strategien auf die Trennlinienziehung	19
2.3 Behandlung des SIP User Agent als Bestandteil der Vermittlungsfunktion	22
2.4 Zwischenfazit	24
3 Modellierung der Terminierungskosten in unterschiedlichen FTTx-Architekturen	26
3.1 Das Kostenmodell	26
3.1.1 Wesentliche Modellannahmen	28
3.1.2 Vorgehensweise zur Ermittlung der Sprachterminierungskosten	30
3.1.3 Bestimmung der Volumina von Telefonie, Daten und IPTV	32
3.1.4 Transport von TV in separater Wellenlänge/Faser	36
3.1.5 Umgang mit SIP User Agent	38
3.2 Analyse von Double-Play-Szenarien	39
3.3 Analyse von Triple-Play-Szenarien	42
4 Fazit	46
Literaturverzeichnis	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Grenzsetzung im PSTN	3
Abbildung 1-2:	Netzebenen im NGN	5
Abbildung 2-1:	Generische Struktur eines Next-Generation-Access-Netzes	10
Abbildung 2-2:	Fiber to the Curb (FTTC); Subscriber Access Network mit VDSL	11
Abbildung 2-3:	Fibre to the Building (Gebäudeanschluss in P2P Technik)	12
Abbildung 2-4:	Detailbetrachtung des Demarcation Points bei FTTH/P2P	13
Abbildung 2-5:	Point-to-Point- und PON-Technologie	14
Abbildung 2-6:	Shared-Medium-Charakter in PON-Architekturen	16
Abbildung 2-7:	Breitbandkabelnetze (Hybrid – Fiber – Coax)	17
Abbildung 2-8:	Heterogene Lage des Demarcation Points im NGA	24
Abbildung 2-9:	FTTx Strategie und Technologiewahl in ausgewählten Ländern	25
Abbildung 3-1:	Kern-, Aggregations- und Anschlussnetzkosten im Modell	27
Abbildung 3-2:	Umrechnung von Busy Hour Bandbreite in Monatliches Datenvolumen	33
Abbildung 3-3:	Problematische Bestimmung der Verkehrsverhältnisse durch Busy-Hour-Anteile	34
Abbildung 3-4:	Sprach- und IPTV-Verkehrsanteil in Abhängigkeit der Netzebene bei Multicast (beispielhaft)	36
Abbildung 3-5:	Terminierungskosten: Double Play, 65kbps Busy-Hour-Daten-Bandbreite, SIP User Agent anteilig in Kosten enthalten	39
Abbildung 3-6:	Sensitivitätsanalyse des Sprachverkehrsanteils bei steigender Busy-Hour-Bandbreite für Daten (Beispiel FTTC)	40
Abbildung 3-7:	Terminierungskosten: Double Play, 65kbps vs. 250kbps Busy-Hour-Datenbandbreite, SIP User Agent anteilig in Kosten enthalten	41
Abbildung 3-8:	Terminierungskosten: Double Play, 65kbps Busy-Hour-Datenbandbreite, inkl. und exkl. SIP User Agent	42
Abbildung 3-9:	Terminierungskosten: Double Play vs. Triple Play, 65kbps Busy-Hour-Daten-Bandbreite, inkl. SIP User Agent	43
Abbildung 3-10:	Terminierungskosten: Double Play vs. Triple Play Inband/Outband (65kbps Busy-Hour-Datenbandbreite, inkl. SIP User Agent)	44
Abbildung 3-11:	Terminierungskosten: Triple Play IPTV-Inband 65kbps Busy-Hour-Daten-Bandbreite, mit und ohne SIP User Agent	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Kapazitätsvergleich der vorgestellten NGA-Architekturen	18
Tabelle 2-2:	Ort der Trennlinie zwischen Anschluss und Verbindungsnetz in Abhängigkeit von der Verkehrsführung	21
Tabelle 3-1:	Kritische Marktanteile zum profitablen Betrieb in Deutschland aufgeschlüsselt in Cluster mit abnehmender Teilnehmerdichte	29
Tabelle 3-2:	Annahmen zum Umfang des IPTV-Multicast bis zum Trennlinienstandort	35

Abkürzungsverzeichnis

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
APL	Abschlusspunkt Linientechnik
CATV	Cable Television
CMTS	Cable Modem Termination System
CPNP	Calling Party's Network Pays
CPP	Calling Party Pays
DiffServ	Differentiated Service
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DP	Distribution Point
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
ECTA	European Competitive Telecommunication Association
ERG	European Regulators Group
EU	Europäische Union
FFTx	Fibre to the X
FTTB	Fibre to the Building
FTTC	Fibre to the Curb
FTTH	Fibre to the Home
FTTN	Fibre to the Node
GB	Gigabyte
Gbps	Gigabit per second
GPON	Gigabit Passive Optical Network
HE	Headend
HFC	Hybrid Fibre Coax
HVT	Hauptverteiler
ISDN	Integrated Services Digital Network
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
Kbps	Kilobit per second
KVz	Kabelverzweiger
LRAIC	Long Run Average Incremental Cost

LRIC	Long Run Incremental Cost
m	Meter
Mbps	Megabit per second
MEA	Modem Equivalent Asset
MPoP	Metropolitan Point of Presence
MSAN	Multi Service Access Node
NGA	Next Generation Access
NGN	Next Generation Network
OLT	Optical Line Terminator
ONT	Optical Network Terminator
ONU	Optical Network Unit
P2P	Point-to-Point
PON	Passive Optical Network
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
RF	Radio Frequency
SC	Street Cabinet
SIP	Sessions Initiation Protocol
SS7	Signalling System 7
TAL	Teilnehmeranschlussleitung
TKG	TeleKommunikationsGesetz
TV	Television
VDSL	Very High Digital Subscriber Line
VoIP	Voice over Internet Protocol
WACC	Weighted Average Cost of Capital
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WIK	Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste

Zusammenfassung

Die Zustellung („Terminierung“) eines Telefongesprächs kann nur durch den Netzbetreiber erfolgen, an den der angerufene Teilnehmer angeschlossen ist. Man spricht daher auch vom Vorliegen eines „Terminierungsmonopols“. Deshalb unterliegen die Märkte für Anruferzustellung einer ex-ante Regulierung mit regulierten Entgelten. Bei der Bestimmung der Kosten der Sprachterminierung wird im heutigen Regulierungsrahmen auf die Trennlinie zwischen gemeinsam genutztem Netz und dem Kunden zur alleinigen Verwendung überlassenen dedizierten Anschlussnetz abgestellt. Nur Kosten der Netzelemente, die nicht zum Anschlussnetz gehören - wo also eine Rivalität der Kunden um Netzverwendung vorliegt - sind bei der Berechnung zu berücksichtigen.

Bei den bisher für die Berechnung der Terminierungsentgelte für Telefonie herangezogenen PSTN/ISDN Netzen lag die Trennlinie zwischen gemeinsam im Wettbewerb miteinander genutzten Ressourcen und dem kundendedizierten Teil des Anschlussnetzes in den, üblicherweise bei den Hauptverteilern (HVT) angesiedelten, Konzentrationseinrichtungen des Sprachnetzes. Bei Übertragung des derzeitigen Regulierungsregimes auf moderne Anschlussnetze der nächsten Generation („Next Generation Access“ – NGA) ist der Ort dieser Trennlinie („Demarcation Point“) nicht mehr fest an einem Ort, sondern er kann je nach Architektur an einer anderen Stelle im Netz liegen. Bei den meisten NGA-Architekturen (FTTH/PON, FTTC, Breitbandkabel) wird der kundenindividuelle Teil des Anschlussnetzes kleiner, sodass im Vergleich zur Situation bei PSTN/ISDN mehr Netzelemente in die Kostenermittlung einzubeziehen wären. Bei FTTH/Point-to-Point hingegen kann sich der für die Terminierungskosten relevante Streckenabschnitt sogar verkürzen, wenn bisherige HVT-Standorte nicht mehr zur Verkehrskonzentration genutzt werden. Bei Passive Optical Networks (PON) ist es u.a. aufgrund der heterogenen Splitterposition in der Praxis besonders schwierig, die Lage des Demarcation Points einheitlich festzulegen.

Um die Auswirkungen dieser Veränderungen auf die Höhe der Terminierungsentgelte abschätzen zu können, haben wir unser WIK-NGA-Kostenmodell erweitert, und für Fibre-to-the-Curb und Fiber-to-the-Home Terminierungskosten eines hypothetischen deutschen Netzbetreibers bestimmt. Dabei zeigte sich im Ausgangsszenario mit Daten und Sprachdiensten auf aktuellem Niveau, dass die Kosten der Terminierung umso höher ausfielen, je mehr Netzelemente des klassischen Anschlussnetzes aufgrund der Verschiebung des Demarcation Points in der Kostenrechnung zu berücksichtigen waren. In Sensitivitätsanalysen zeigte sich jedoch auch, dass sich die Terminierungskosten der verschiedenen Architekturen mit zunehmendem Verkehrsvolumen und -anteil anderer Nicht-Sprache-Dienste immer weiter annähern. Bezieht man IPTV mit ein, werden die Unterschiede zwischen den Architekturen aufgrund des hohen IPTV-Verkehrsanteils in den investitionsintensiven Abschnitten des Anschlussnetzes sogar weitgehend egalisiert. In der vorliegenden Studie diskutieren wir Optionen bei der Vorgehensweise und hinterfragen diese Resultate kritisch.

Summary

Termination of a telephone call can only be realized by the network operator of the receiving party. This is frequently referred to as “termination monopoly”. And accordingly the markets for fixed and mobile call termination are regulated ex-ante including price control. The current regulatory regime considers only those parts of the network where customers compete for jointly used resources (mainly bandwidth) to determine the costs of call termination. Therefore, the critical border is the demarcation point between the dedicated access network and the aggregation network where customers compete for bandwidth.

In PSTN/ISDN networks this demarcation point was in concentrating units usually collocated with the Main Distribution Frames (MDF). However, when applying this regulatory framework to Next Generation Access (NGA) networks the location of the demarcation point could be located at different network levels depending on the NGA architecture considered, leading to heterogeneity of termination cost. In order to discuss these problems on a more solid basis we have set up this study to analyze qualitatively and quantitatively the impact of migrating to NGA on the cost of termination when applying the current methodology for cost determination.

First, we analyzed five NGA-architectures (Fibre-to-the-Cabinet, Fibre-to-the-Building, Fibre-to-the-Home in both Point-to-Point and Passive Optical Network technology as well as Hybrid Fibre Coax (broadband cable networks)) with respect to the location of the demarcation point. This proved heterogeneous developments: In the majority of architectures the demarcation point moves closer to the end user, i.e. the dedicated part of the network is increasingly getting smaller which means that more network elements should be considered for the calculation of call termination costs. However, in the case of Fiber-to-the-Home in Point-to-Point technology the part of the network relevant for termination cost can be shortened when current MDF locations are not used for concentration anymore. It proved to be especially difficult to identify a uniform Demarcation Point for Passive Optical Networks (PON), among other issues because of the large variety of splitter deployment alternatives.

We then expanded our WIK NGA cost model in order to approximate the termination cost for Fiber-to-the-Curb and Fiber-to-the-Home networks of a hypothetical German network operator. In the base scenario with voice and data usage on a current level it could be shown that termination cost was higher when additional network elements of the former local loop segment had to be considered in the calculation due to the location of the demarcation point being closer to the customer. However, sensitivity analysis also showed that termination cost of all architecture variants increasingly approaches the level of FTTH/Point-to-Point when traffic volume and share of non-voice services increases. When IPTV is included, this level differences between the architectures because of IPTV’s relatively high traffic share in those network segments with high investments. We discuss alternatives when applying the methodology and evaluate results critically.

1 Problemstellung

Die Zustellung („Terminierung“) eines Telefongesprächs kann nur durch den Netzbetreiber erfolgen, an den der angerufene Teilnehmer angeschlossen ist. Man spricht daher auch vom Vorliegen eines „Terminierungsmonopols“. Betreiber dieser Netze haben in dieser Funktion eine marktbeherrschende Stellung. Aus diesem Grund sind die Märkte für die Gesprächsterminierung in Festnetzen und die Gesprächsterminierung in Mobilfunknetzen reguliert und Teil der Märkteempfehlung der Europäischen Kommission, welche diejenigen Produkt- und Dienstmärkte identifiziert, für die eine ex-ante Regulierung in Frage kommt. Die Regulierung von Terminierungsentgelten ist ein wichtiges und immer wiederkehrendes Thema der regulierungsökonomischen Diskussion.

Durch die Migration zu glasfaserbasierten Anschlussnetzen („Next Generation Access“ – NGA) könnten sich die relevanten Kosten der Anrufzustellung verändern. Daher herrscht hinsichtlich der Bestimmung von Terminierungsentgelten im NGA bislang noch relativ große Unsicherheit. Das drückt sich in der Empfehlung der Europäischen Kommission zur Behandlung von Fest- und Mobilfunkterminierungsentgelten aus dem Jahr 2009¹ aus, wo auf die Trennlinie („Demarcation Point“) zwischen dem kundendedizierten Anschlussnetz und dem verkehrsgetriebenen, für die Kosten der Terminierung relevanten Netz abgestellt wird.

In dieser Arbeit unterstellen wir, dass die aktuelle regulatorische Behandlung der Bestimmung von Terminierungskosten auf das NGA übertragen wird und dass Kosten nach Maßgabe des Demarcation Points entweder dem Anschluss- oder dem Verbindungsnetz zugerechnet werden. Dafür untersuchen wir zunächst die Lage des Demarcation Points in unterschiedlichen NGA-Architekturen und setzen dann ein Kostenmodell ein, um die Kostenimplikationen für die Terminierung von Sprachminuten unter Anwendung der bisherigen Kostenzurechnungsregel (und damit Vorleistungsdefinition im NGA) zu quantifizieren.

1.1 Die regulatorische Behandlung von Terminierungsentgelten im PSTN

Alle Regulierungsbehörden der Europäischen Union haben den Markt für „Gesprächsterminierung in einem öffentlichen Telefonnetz von festen Standorten“ (Markt 3 der Empfehlung der EU-Kommission, ehemals Markt 9) notifiziert und den Betreibern mit strategischer Marktmacht ex-Ante Verpflichtungen auferlegt.

Die Preiskontrolle wird in den EU-Mitgliedsstaaten mehrheitlich kostenorientiert unter Zuhilfenahme von Kostenmodellen mit langfristigen zusätzlichen Kosten (Long Run

¹ “In a Next Generation Access (NGA) network the former loop between the cabinet and the exchange/Main Distribution Frame (MDF) becomes a shared medium and might not be treated as being subscriber-driven, but rather as being traffic-sensitive. The demarcation point between traffic- and non-traffic-sensitive costs in an NGA context is subject to **considerable uncertainty**.” Europäische Kommission (2009c): S. 23.

Incremental Cost – LRIC / Long Run Average Incremental Cost – LRAIC) und dem Ansatz von Wiederbeschaffungskosten als Kostenbasis durchgeführt.² Dies ist auch in Deutschland der Fall. Die LRIC / LRAIC mit angemessenem Gemeinkostenzuschlag entsprechen dabei dem Maßstab der Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung im Sinne des Telekommunikationsgesetzes TKG.³

Seit 2001 werden die Terminierungsentgelte in Deutschland elementbasiert⁴ berechnet. Dem Prinzip der verursachungsgerechten Kostenzurechnung wird Rechnung getragen, indem alle Netzkosten in dem Maße einfließen, wie sie von der Terminierungsleistung in Anspruch genommen werden. Es werden aber nur diejenigen Netzelemente berücksichtigt, die nicht dem Anschlussnetz zuzurechnen sind, in dem die Verwendung des Netzes nicht zu Rivalität zwischen den Nutzern führt. Die deutsche Regulierungsbehörde definiert dies wie folgt: ⁵

„Es wird somit das Netz ab dem Punkt am Hauptverteiler betrachtet, ab dem im Unterschied zur exklusiven Nutzung der ihm zugewiesenen Anschlussleitung durch einen Teilnehmer bei der Herstellung einer Verbindung eine gemeinsame Nutzung der Netzelemente stattfindet, d.h. rechtzeitig ab der sog. Teilnehmerbaugruppe („Linecard“), die aber noch eindeutig dem Teilnehmer zugeordnet werden kann und deren Kosten deshalb nicht in die Kosten der Verbindungsleistung als solche einfließen.“

Das heißt, dass die Kosten der Terminierung (im PSTN) durch die Anzahl der Sprachminuten getrieben sind, während die Kosten der Anschlussleitung durch die Anzahl der Kunden getrieben sind. Abbildung 1-1 zeigt die hier beschriebene Grenze grafisch netzseitig hinter den Linecards.

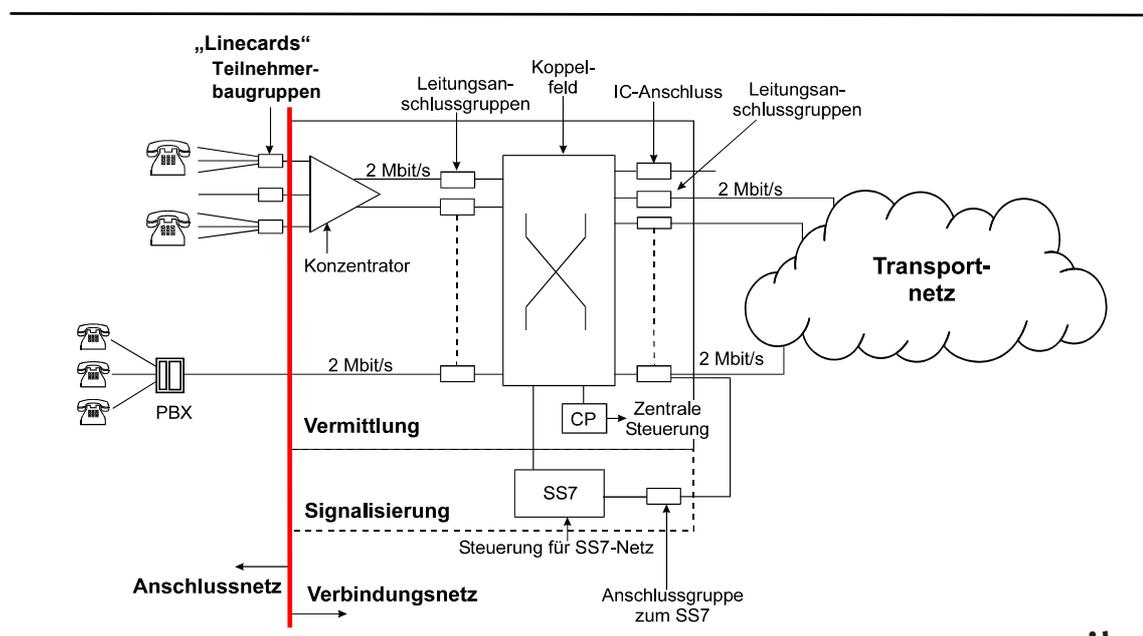
² Vgl. ERG (2008b): S.10.

³ Eine detaillierte Erläuterung findet sich z.B. in WIK (2002) oder in Anell / Zoz (2008).

⁴ Wesentlicher Bestandteil der elementbasierten Berechnung ist die Betrachtung der Zahl der durchlaufenen Ebenen und Netzelemente zur Terminierung eines Telefongesprächs.

⁵ RegTP (2000): S.29. Siehe dazu auch Europäische Kommission (1998): S.9.

Abbildung 1-1: Grenzsetzung im PSTN



Quelle: in Anlehnung an WIK (2002): S. 47.

Der Standort dieser „Demarkationslinie“ zwischen dem Teil, der dem kundenindividuellen Anschlussnetz zuzurechnen ist und dem Teil, der für die Bestimmung der Terminierungskosten relevant ist, wird von der EU-Kommission auch als „Demarcation Point“ bezeichnet.⁶ In dieser Arbeit wird auch „Trennlinie“ oder „Grenze“ synonym verwandt.

In Deutschland - und mehrheitlich auch in Europa - gelangten die Regulierungsbehörden in der Vergangenheit zu unterschiedlichen Terminierungsentgelten für Incumbent und Wettbewerber, wobei die Vorgehensweise⁷ und Argumentation⁸ zur Begründung solcher *asymmetrischer* Entgelte unterschiedlich ausfiel. Die Europäische Kommission sieht darin eine Reihe von Inkonsistenzen in der regulatorischen Praxis und folgert, dass ein gemeinsamer [harmonisierter] Ansatz auf Basis effizienter Kosten und die Anwendung symmetrischer Terminierungsentgelte wettbewerbsfördernd sind und zu niedrigeren Endkundenpreisen führen.⁹ Die Empfehlung identifiziert im Mobilfunksektor wei-

⁶ Europäische Kommission (2009c): 22.

⁷ In Deutschland und in drei weiteren Ländern wurde bis vor kurzem für Wettbewerber ein Aufschlag auf die berechneten Terminierungsentgelte des Incumbents einbezogen. In anderen Ländern kommen Durchschnittsbildung, Annäherung an Symmetrie über einen Gleitpfad und verzögerte reziproke (gegenseitige) Entgelte zum Einsatz. Im letzten Fall werden die Terminierungsentgelte der Wettbewerber auf die Höhe der Entgelte des Incumbents vor x Jahren unter Einbezug eines Aufschlags gesetzt. Vgl. ERG (2008a): S. 27-29.

⁸ Als Gründe werden angeführt: Unterschiedliche Marktanteile von markteintretenden und alteingesessenen Anbietern, zum anderen aber auch nicht beeinflussbare unterschiedliche Kosten (vor allem im Mobilfunk aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Frequenzen mit anderen Ausbreitungseigenschaften). Weiterhin wird unterstellt, dass die Asymmetrie als Anschubfinanzierung zugestanden worden sei. Vgl. Europäische Kommission (2009c): S.18-21.

⁹ Europäische Kommission (2008): S. 3 und Europäische Kommission (2009c): S. 16.

terhin mögliche technologisch bedingte Kostenunterschiede, die zu asymmetrischen Terminierungsentgelten führen können (z.B. ungleiche Frequenzuteilungen). Für das Festnetz werden jedoch keine objektiven Kostenunterschiede identifiziert, wenngleich sie nicht a priori ausgeschlossen werden. Diese Studie ist auch dadurch motiviert, zu überprüfen, ob die architekturbezogenen Unterschiede Gründe für Asymmetrie sein könnten.

Die Europäische Kommission und die ERG befürworten *symmetrische* Terminierungsentgelte und empfehlen den Regulierungsbehörden bei ihren Analysen und Entgeltentscheidungen langfristig auf symmetrische Entgelte hinzuarbeiten. Asymmetrische Entgelte sollen demzufolge nur die Ausnahme darstellen und bedürfen einer adäquaten Rechtfertigung.¹⁰ Es ist daher zu erwarten, dass die Regulierungsbehörden mittel- bis langfristig symmetrische Entgelte festlegen werden. Wir geben daher in dieser Studie auch einen Ausblick auf mögliche zukünftige Entwicklungen von Verkehrsmengen in unterschiedlichen NGA Architekturen.

In Deutschland ist die Regulierung der Terminierungsentgelte der Wettbewerber davon abhängig, ob der spezifische Betreiber sich bereits mit der Deutschen Telekom auf ein reziprokes Entgelt geeinigt hat oder nicht. Ist dies der Fall, so wird der Betreiber aus der Regulierung von Terminierungsleistungen entlassen. Ist dies nicht der Fall, so soll auch der Wettbewerber einer ex-ante Preiskontrolle unterworfen werden, sodass auch die Entgelte dieser Wettbewerber am Maßstab der Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung orientiert werden.¹¹ Dadurch wurde im Ergebnis faktisch eine Symmetrie der Terminierungsentgelte im Festnetz auf dem Niveau des Entgelts der Deutschen Telekom erreicht, da kein alternativer Anbieter bisher entsprechende Kostennachweise geführt hat.

1.2 Einfluss der Migration zu Next Generation Networks und Next Generation Access auf die Kosten der Terminierungsleistung

In einem Next Generation Network (NGN) wird ein IP-Netz eingesetzt, um viele verschiedene Dienste auf einem gemeinsamen Netz anzubieten. Die Übertragung von Sprache als Voice over IP (VoIP) erfolgt nicht mehr in einem dedizierten – also nur zu diesem Zweck errichteten – Sprachnetz, sondern in diesem breitbandigen IP-Netz, das gleichzeitig viele andere Kommunikationsinhalte gemeinsam und parallel überträgt und dadurch auch neue Anforderungen an die Gewährleistung der Sprachqualität stellt.

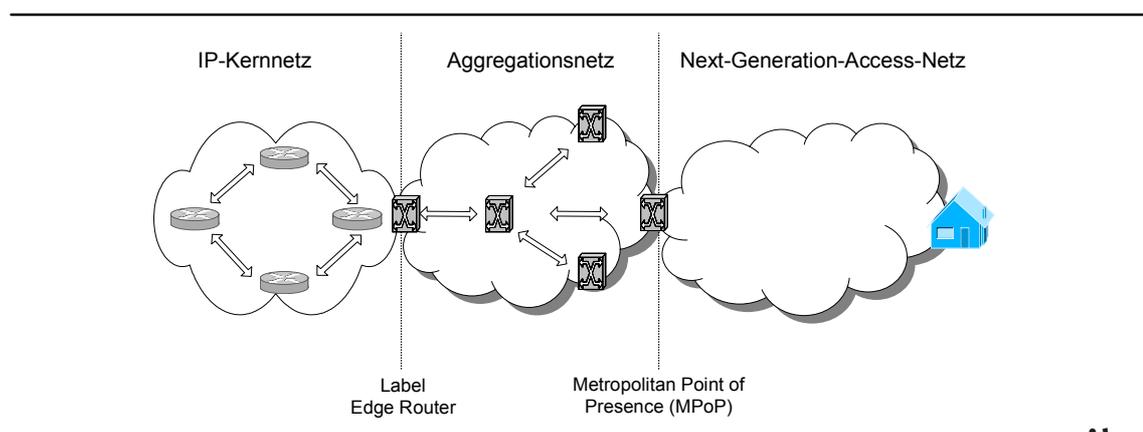
Um im Anschlussnetz höhere Bandbreiten für diese integrierte Kommunikation anbieten zu können, wird das optische Glasfasernetz, das heute gewöhnlich am Hauptverteiler

¹⁰ Vgl. Europäische Kommission (2008), Europäische Kommission (2009a) und ERG (2008a).

¹¹ Vgl. die Regulierungsverfügungen mit den Aktenzeichen BK 3d-08/023 (Telekom), BK 3b-08/0XX und BK 3b-08/0XX) (Wettbewerber, die sich mit der Deutschen Telekom auf reziproke Terminierungsentgelte geeinigt haben) und BK 3d-08/0XX (Wettbewerber, die sich nicht mit der Deutschen Telekom auf reziproke Terminierungsentgelte geeinigt haben).

endet, in Richtung des Endkunden verlängert. Unter Next Generation Access werden verschiedene Architekturen und Technologien zusammengefasst, die sich vor allem in der Ausdehnung der Glasfaser unterscheiden. Der Abschlusspunkt des NGA ist in allen Fällen der Metropolitan Point of Presence (MPoP¹²). Im MPoP endet das Anschlussnetz und es beginnt (spätestens hier) die Konzentration und Zuführung des Kundenverkehrs an das IP-basierte Kernnetz. Grundsätzlich könnte jede FTTx-Strategie (Fiber-to-the-X) eine andere effiziente Zahl von MPoP-Standorten bedingen. Da sich die Anzahl der Hauptverteiler im Zuge dieser Migration reduzieren kann, ist die Zahl der MPoPs prinzipiell eine Teilmenge der Zahl der heutigen Hauptverteiler. Die folgende Abbildung zeigt die gängige Einteilung von Kommunikationsnetzen in drei Ebenen Kernnetz, Aggregationsnetz¹³, und Anschlussnetz.

Abbildung 1-2: Netzebenen im NGN



Anders als im herkömmlichen, kupferbasierten Teilnehmeranschlussnetz verfügt der Endkunde bei den meisten NGA-Varianten nicht über eine bis zum MPoP *dedizierte*, also nur ihm zur alleinigen Nutzung zur Verfügung stehende Übertragungskapazität. Dies ist lediglich bei FTTH mit Point-to-Point-Technik (P2P) der Fall, in allen anderen Fällen liegen Mischformen vor, auf denen zumindest auf einem Teilstück zwischen MPoP und Kunde gemeinsam genutzte Streckenabschnitte existieren, auf denen sich die Kunden Bandbreite teilen. Teile des NGA werden also grundsätzlich von den Endkunden gemeinsam, um Kapazitäten „rivalisierend“, genutzt. Ausgehend vom bisherigen Regulierungsregime ist daher zu erwarten, dass sich mit Ausnahme von FTTH/P2P die Trennlinie zwischen kundendediziertem Netz und gemeinsam genutztem Netz in Richtung des Endkunden verschiebt. Bei FTTH/P2P hingegen tritt eher der gegensätzliche Effekt ein, weil die individuelle Teilnehmeranschlussleitung (TAL) bis zum MPoP

¹² Der Begriff des MPoP wird in der Draft NGA-Recommendation der EU-Kommission eingeführt, vgl. Europäische Kommission (2009b): S.11

¹³ Konzentratoren-, Konzentrations- und Aggregationsnetz werden hier synonym für den Netzabschnitt verwendet, der den Hauptverteiler bzw. den DSLAM im PSTN oder den MPoP mit dem Kernnetz verbindet.

reicht. Aufgrund der möglichen Schließung von Hauptverteilern kommt dies tendenziell einer Verlängerung im Vergleich zur Teilnehmeranschlussleitung im PSTN gleich. Mit Ausnahme von FTTH/P2P würden daraus also eine „kürzere“ Teilnehmeranschlussleitung und ein längeres „Verbindungsnetz“¹⁴ folgen.

Folgt man weiter dem bisherigen Regulierungsansatz des Demarcation Points, so ist zu erwarten, dass die gemeinsam im Wettbewerb um Bandbreite genutzten Netzsegmente einer verkehrsabhängigen Kostenrechnung zugeordnet werden. Hinsichtlich der Kosten der Sprachterminierung müssten dann die Kosten dieses gemeinsam genutzten Teils ermittelt und auf die Dienste verteilt werden. Diese Kosten sind folglich in Abhängigkeit von der FTTx-Strategie unterschiedlich. Wird die Trennlinie derart gesetzt ergeben sich daher möglicherweise sehr heterogene, von der Anschlussnetz Architektur abhängige Ergebnisse.

Auf der anderen Seite stellt sich in diesem Zusammenhang automatisch die Frage nach der Höhe des Entgeltes für den kundendedizierten Teil seines Anschlusses, das in der PSTN/ ISDN Welt seinen Ausdruck u.a. im Entgelt für die entbündelte Teilnehmeranschlussleitung (TAL) oder den entsprechenden Subloop (KVZ-TAL) bei VSDL-Architekturen findet. Ein Kunde, der ausschließlich telefoniert, profitiert nicht von der Realisierung des Sprachdienstes über ein NGA. Im Gegenteil erscheint es auch nur schwerlich zumutbar, dass dieser womöglich ein höheres Entgelt (eine höhere Grundgebühr) zahlen muss, weil die NGA-TAL einen höheren Preis aufweist als die herkömmliche PSTN-TAL, die den Dienst Telefonie in zufriedenstellender Qualität zur Verfügung stellt. Bei FTTH P2P wird die Kupferdoppelader durch eine dedizierte Glasfaser ersetzt, die u.U. sogar länger ist – und damit tendenziell teurer. Hier bekommt dieser Aspekt einer u.U. ungerechtfertigten Verteuerung auch unter Berücksichtigung eines sich verschiebenden Demarcation Point weiter in das Netz hinein seine besondere Bedeutung. In diesem Kontext hatte das WIK kürzlich vorgeschlagen, dass der Sprachanschluss durch die Migration zum NGN nicht teurer als im PSTN werden darf.¹⁵

¹⁴ Wir verwenden den Begriff des „Verbindungsnetzes“ der Anschaulichkeit halber in der Arbeit auch im NGN/NGA, obwohl die Kerneigenschaft des NGN gerade die Abkehr von einem verbindungsorientierten und die Zuwendung zu einem paketerorientierten Netz darstellt. Mit „Verbindungsnetz“ ist also der Teil des Netzes gemeint, der für die Terminierungskosten bis zum Demarcation Point in Betracht gezogen werden muss.

¹⁵ Vgl. Neu / Kulenkampff (2009): S. 88f. Diese Preise für alte Dienste, die neuerdings entweder mit neuer Technologie hergestellt oder durch neue Dienste auf Basis neuer Technologie verdrängt werden, „sollten denen entsprechen, die bisher auf Basis der Kosten der alten Technologie ermittelt worden sind. Diese Vorgehensweise stellt sicher dass Abnehmer weiterhin zu akzeptierten Preisen Produkte erhalten, die ihren bisherigen Bedürfnissen entsprechen, und dass den Anbietern Einnahmen auf einem Niveau gewährleistet wird, das entweder oberhalb des Kostenniveaus liegt, das – in der langen Frist – mit der neuen Technologie für diese Produkte erwartet wird, oder aber dem gegenwärtigen Marktwert dieser Produkte entspricht.“

Der vorliegende Beitrag will keine Antwort auf die Frage nach der regulierungspolitisch wünschenswerten Abgrenzung der Anschlussleitung geben. Vermutlich gibt es sogar sehr praxisrelevante Szenarien, in denen sich Anschluss- und Verbindungsnetz überlappen, bspw. weil mit den Reservefasern einer FTTB-Anbindung auch noch einzelne Kunden dediziert angeschlossen werden können. Vielmehr beschränkt er sich auf die Quantifizierung eines Teilaspekts. Unter der Annahme, dass Sprache im NGN weiterhin unter dem bestehenden Regime angeboten wird, beantworten wir die Frage:

„Was hat der Wechsel zu Next Generation Access für einen Effekt auf die Kosten der Sprachterminierung?“

Einen generellen Überblick über ökonomische Prinzipien der Regulierung von Terminierungsentgelten erlaubt ERG (2008a). Die Auswirkungen von NGA werden dort jedoch nicht untersucht. Die Europäische Kommission behandelt den Einfluss von NGA in ihrer Empfehlung zur Behandlung von Terminierungsentgelten relativ knapp und unbefriedigend.¹⁶ Die vorliegende Studie will daher einen Betrag zur Diskussion darüber leisten.

1.3 Der Einfluss von Bill and Keep

In vergangenen Studien des WIK wurde dargelegt, dass allein durch die Migration zu IP-basierten NGN die Problematik des Terminierungsmonopols nicht aufgehoben wird.¹⁷ Somit besteht auch in NGNs die Notwendigkeit der Regulierung des Marktes für Gesprächsterminierung. Allerdings könnte die Notwendigkeit der Berechnung von Terminierungsentgelten dadurch hinfällig werden, dass man von den derzeit in Europa gültigen Abrechnungssystemen Calling Party Pays (CPP) auf Retail- und Calling Party's Network Pays (CPNP) auf Wholesaleseite abweicht.

Bill and Keep ist eine solche Variante, bei der zur Zusammenschaltung verpflichtete Netzbetreiber Sprachverkehr ohne finanzielle Transaktionen austauschen und der Netzbetreiber des Anrufers keine Terminierungsentgelte an den Netzbetreiber des Angerufenen zahlt. Dann wäre die Notwendigkeit, Kosten der Terminierung und entsprechende Entgelte zu bestimmen, obsolet.

Da im NGN Sprache als VoIP übertragen wird, stellt sich grundsätzlich die Frage, ob man überhaupt zwei getrennte Zusammenschaltungsregime für Daten und Sprache benötigt. Auch bei der Zusammenschaltung für den Austausch von IP-Datenverkehr findet sich eine Form des Bill and Keep, wenn sich zwei Betreiber gegenseitig Zugang zu ihrem Adressraum gewähren und unter der Annahme etwa gleichhoher Verkehrs-

¹⁶ Vgl. Europäische Kommission (2009a): S. 10.

¹⁷ Vgl. Marcus / Elixmann / Carter / Bradner / Hackbarth / Jullien / Kulenkampff / Neumann / Portilla / Rey / Vogelsang (2008). Die Autoren argumentieren, dass das Terminierungsmonopol erst dann beseitigt werden kann, wenn Mechanismen zur Verfügung stehen, mit denen mehr als ein Anbieter Gespräche zu einer gegebenen Telefonnummer zuführen kann.

ströme gegenseitig keine Rechnung stellen (Peering). Gleichwohl spielt auch der bezahlte Austausch von IP-Verkehr eine Rolle (Transit).

Dennoch wird ein Bill and Keep System weltweit zurzeit nur in wenigen Ländern eingesetzt, und dort auch ausschließlich im Mobilfunksektor, während im Festnetz weiter Terminierungsentgelte abgerechnet werden (USA, Kanada, Singapur, Hong Kong). Die ERG analysierte Vor- und Nachteile eines Bill-and-Keep-Systems gegenüber dem heutigen Calling Network Party Pays und kommt zu dem Ergebnis, dass Bill and Keep langfristig vorteilhafter ist und abhängig von den nationalen Gegebenheiten auch über Gleitpfade erreicht werden könnte. Allerdings ist laut ERG kurz- bis mittelfristig das existierende Regime unter Berücksichtigung aller Vor- und Nachteile eine ebenso adäquate Wahl.¹⁸

Aus diesem Grunde halten wir es für wichtig, die Problematik der Terminierungskosten in NGA-Architekturen unter der Annahme eines (vorläufigen) Fortbestehens von CPNP zu untersuchen.

1.4 Aufbau der Arbeit

Im Fokus der Studie stehen Festnetze der nächsten Generation und die Kosten der Terminierung bei unterschiedlichen NGA-Netzen. Mobilfunknetze und Broadband-Wireless-Access-Netze werden nicht berücksichtigt. Die Diskussion um Varianten der derzeit in Europa gültigen Abrechnungssysteme Calling Party Pays / Calling Party's Network Pays (und besonders um Bill and Keep) werden ebenfalls ausgeklammert. Im Vordergrund stehen stattdessen die Unterschiede zwischen den relevantesten FTTx-Anschlussarchitekturen unter der Annahme einer Fortführung des bisherigen Regulierungsregimes. Die Untersuchung wird in zwei Blöcken durchgeführt:

Zunächst untersuchen wir in Kapitel 2 die Struktur von NGA-Architekturen und zeigen die Problemfelder bei der Definition des Demarcation Points auf. Dabei gehen wir kurz auch auf den Einfluss unterschiedlicher Verkehrsmanagement- bzw. Quality of Service-Strategien ein.

Anschließend führen wir in Kapitel 3 eine quantitative Abschätzung der Terminierungskosten für ausgewählte NGA-Architekturen durch. Zu diesem Zweck beschreiben wir zunächst das von uns eingesetzte WIK-NGA-Kostenmodell und diskutieren Vorgehensweisen und Alternativen bei der Ermittlung und Allokation der Kosten. Danach stellen wir die Ergebnisse der Szenariorechnungen dar.

Abschließend folgen in Abschnitt 4 unsere Schlussfolgerungen und ein Ausblick auf verbleibende Fragestellungen.

¹⁸ Vgl. ERG (2009a) S. 9f.

2 Struktur von NGA-Architekturen und ihr Einfluss auf den „Demarcation Point“ und die Kosten der Terminierung

Netze der nächsten Generation übertragen Informationen mit dem Internet-Protokoll (IP) und wandeln dafür Daten, Sprache, Video, etc. in IP-Pakete um. Die Vermittlung dieser Pakete erfolgt über Router und nutzt ein einheitliches Netz gemeinsam für eine Vielzahl von Diensten. Dies führt im Kernnetz (Backbone) und im Aggregationsnetz zu deutlichen Einsparungen bei den Netzbetreibern. Diese Migration dieser Netze auf leistungsfähige Routersysteme bezeichnet man üblicherweise mit Next Generation Networks¹⁹.

Mit wachsender Nachfrage nach Datenvolumen und besonders nach Bewegtbildübertragung müssen die Anschlussleitungen an den gestiegenen Bandbreitenbedarf angepasst werden. Dabei können dann auch im Anschlussnetz alle Kommunikationsobjekte über ein leistungsfähiges integrierendes IP-Netz zusammengefasst werden. Dieser Teil der Migration hin zu einer breitbandigen IP-Anschlussinfrastruktur wird als Next Generation Access, teils auch präziser als Next Generation Subscriber Access Network bezeichnet.

Der Abschlusspunkt des NGA ist der Metropolitan Point of Presence (MPoP), von welchem aus das Aggregationsnetz den Verkehr in das Kernnetz des Netzbetreibers abführt. Die Kommission schreibt in ihrer NGA-Empfehlung:²⁰ „It [der MPoP] is equivalent to the Main Distribution Frame (MDF) in the case of the copper access network“. Diese Ansicht ist angesichts der Heterogenität der NGA-Architekturen unserer Auffassung nach nicht in jedem Fall zutreffend (nur im Fall von FTTH/P2P ließe sich eine derartige funktionale Identität feststellen). Der kleinste gemeinsame Nenner des MPoPs für alle NGA-Architekturen ist, dass an diesem Punkt der erste Ethernetswitch steht.²¹ Bei Aufbau des NGA durch den Incumbent würde dieser vermutlich ausgewählte Hauptverteilerstandorte als MPoP verwenden. Es ist davon auszugehen, dass im Zuge der Reorganisation des Anschlussnetzes eine Vielzahl von Hauptverteilerstandorten wegfallen kann und die Konzentration von Anschlussleitungen an einem MPoP dann höher als bisher ausfällt. Jede NGA-Variante könnte bei einem vollständigen Neuaufbau ohne Rückgriff auf existierende Netzknoten eine andere effiziente Zahl an MPoPs haben.

Der *Distribution Point*²² ist ein zwischengeschalteter Netzknoten eines NGA-Netzes, an dem die Glasfaser vom MPoP aufgeteilt werden kann, bevor sie zum Gebäude der Endkunden geführt wird bzw. von dem aus die Gebäudeanbindung über Kupfer- oder Koaxialkabel realisiert wird. Der Bereich zwischen MPoP und Distribution Point wird als

¹⁹ In einer differenzierteren Betrachtung kann man in NGCN (Next Generation Core Network) und NGAN (Next Generation Aggregation Network) unterscheiden.

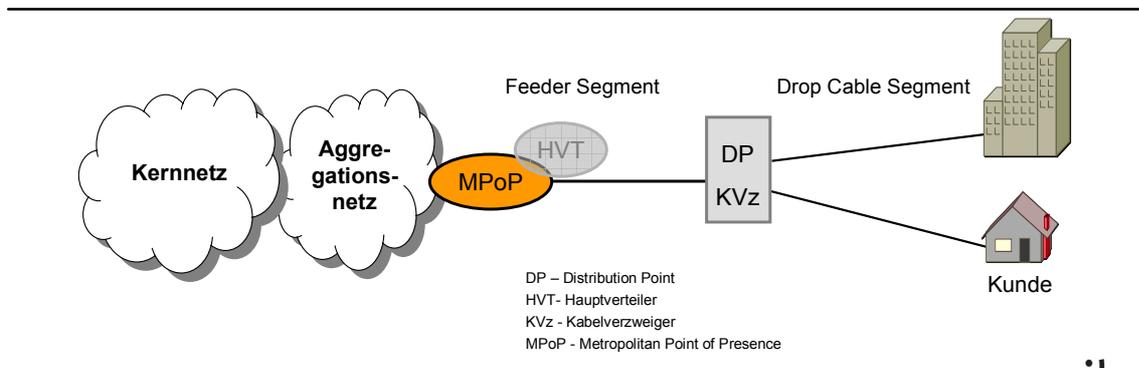
²⁰ Vgl. Europäische Kommission (2009b): S.11.

²¹ Eine Ausnahme wäre die Active Ethernet Architektur, mit einem aktiven Ethernet Switch an einem Distribution Point näher beim Kunden.

²² Vgl. Europäische Kommission (2009b): S.11.

Feeder, der Bereich zwischen Distribution Point und Kundengebäude als *Drop Cable Segment* bezeichnet (vgl. Abbildung 2-1).

Abbildung 2-1: Generische Struktur eines Next-Generation-Access-Netzes



Die Europäische Kommission beschreibt in Ihrer NGA-Empfehlung die Verschiebung des Demarcation Points in Abhängigkeit von der NGA-Architektur. Dieser Hypothese gehen wir im folgenden Unterkapitel nach und untersuchen – ausgehend von der bisherigen Regulierungspraxis – die Position des Demarcation Points. Desweiteren hat laut der Kommission auch die Verkehrsführung und Quality of Service Strategie des Netzbetreibers Auswirkungen auf die Lage des Demarcation Points. Dies untersuchen wir in Abschnitt 2.2.

2.1 Identifizierung der Trennlinien in wesentlichen NGA-Architekturen

NGA Architekturen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie anstelle der bisher üblichen Kupferkabel zumindest teilweise Glasfasern als Übertragungsmedium verwenden und dadurch die Bandbreiten-Längen-Problematik der Kupfertechnik²³ überwinden. Man unterscheidet gängigerweise die folgenden Anschlussarchitekturen in Abhängigkeit vom Ausmaß der Ausdehnung des optischen Anschlussnetzes zum Kunden:

- Fibre to the Curb (FTTC)
- Fibre to the Building (FTTB) als PON oder P2P
- Fibre to the Home (FTTH) als PON oder P2P
- Hybrid Fibre Coax (Breitbandkabelnetze)

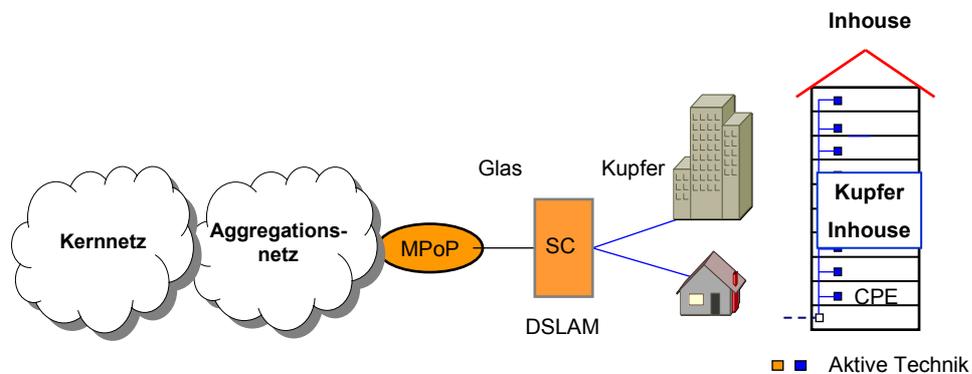
²³ Je länger die Kupferstrecke, desto geringer die übertragbare Bandbreite. Experten gehen davon aus, dass ein VDSL-Signal, das auf kurzen Strecken mit bis zu 100 Mbit/s down- und 50 Mbit/s upstream übertragen werden kann, über 1.000m nur noch 20 Mbit/s down- und 5 Mbit/s upstream erreicht.

2.1.1 Fibre to the Curb (FTTC)

Bei Fibre to the Curb (FTTC) wird die Glasfaser vom MPoP bis zu einem Straßenverteiler (SC – Street Cabinet (vgl. Abbildung 2-2)) auf einen VDSL DSLAM geführt. Von dort werden die Teilnehmer in den Gebäuden über Kupferkabel angeschlossen. FTTC erspart den Glasfaserausbau im Drop Cable Segment und kann die existierenden Inhaustelefonverkabelung nutzen. Durch die Verkürzung der Länge des Kupferkabels kann die Bandbreite erhöht werden, erreicht aber nicht das Niveau von komplett optischen Anschlussnetzen. Zudem erlaubt die Netzstruktur nicht, dass alle Kunden mit einer gleichgroßen Bandbreite versorgt werden, denn entscheidend ist die Länge des Subloops vom Distribution Point zum Kunden und wegen der Problematik gegenseitigen Störens (Übersprechens) die Zahl paralleler Nutzer. Bei dieser Lösung sind in den Straßenverteilern aktive Systeme unterzubringen, für die Platz, Energieversorgung und ggf. auch Klimatisierung zu schaffen sind.²⁴

Der Demarcation Point müsste bei FTTC am Distribution Point angesiedelt werden, genauer gesagt endet das Anschlussnetz (aus Kundensicht) hinter den kundenseitigen Linecards des Outdoor-DSLAMs (analog zu Abbildung 1-1).

Abbildung 2-2: Fiber to the Curb (FTTC); Subscriber Access Network mit VDSL



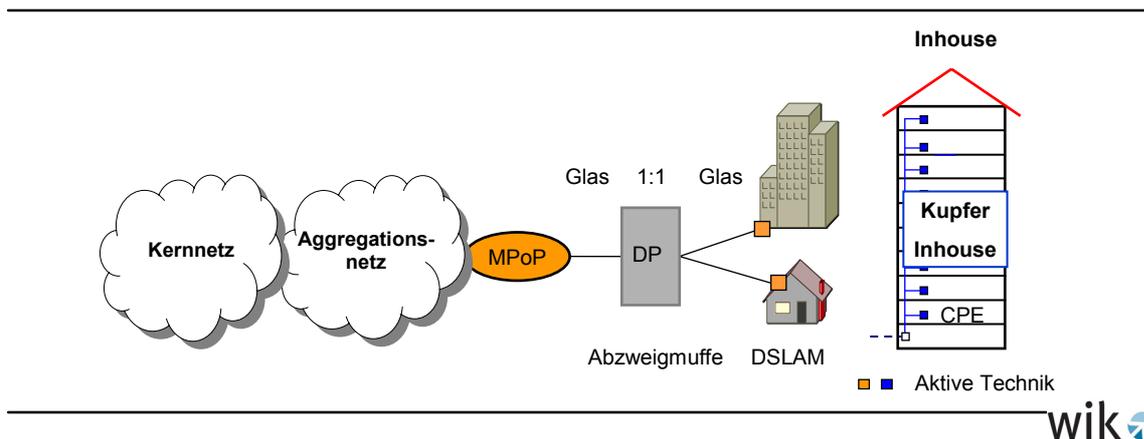
²⁴ Normalerweise muss jedes Street Cabinet mit einer Glasfaser angebunden werden. Eine Alternative dazu besteht in der Kaskadierung von Street Cabinets (Vgl. Elixmann / Ilic / Neumann / Plückebaum (2008): S. 76f. Dies verändert jedoch nicht die Grenzziehung zwischen Anschlussnetz und „Verbindungsnetz“.

2.1.2 Fibre to the Building (FTTB)

Die Glasfaser wird bis in jedes Gebäude der Kunden geführt und dort im Keller entweder auf einem VDSL-DSLAM (im Falle einer Point-to-Point-Technologie) oder einer Optical Network Unit (im Falle von PON-Technologie für die Anbindung mehrerer Gebäude an den MPoP) terminiert, von wo aus die einzelnen Wohnungen und Anschlüsse über die vorhandene Kupferverkabelung angeschlossen werden (Abbildung 2-3). Fibre to the Building benötigt somit nicht zwingend eine neue Inhaus-Verkabelung. Gleichwohl kann diese aber im Kundengebäude mit Glasfaser nachgerüstet werden. Die Bandbreite ist in jedem Fall für alle Teilnehmer homogener und höher als bei FTTC.

Der Demarcation Point wäre dann im Gebäude anzusiedeln, genauer gesagt endet das Anschlussnetz an den kundenseitigen Linecards am Mini-DSLAM bzw. den kundenseitigen Ports der Optical Network Unit.

Abbildung 2-3: Fibre to the Building (Gebäudeanschluss in P2P Technik)



2.1.3 Fibre to the Home (FTTH)

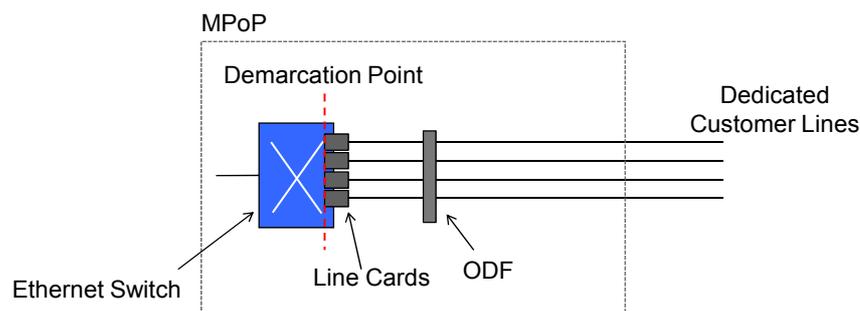
Bei FTTH wird die Glasfaser bis in jede Wohnung der Endteilnehmer geführt. Auch die Inhaus-Verkabelung besteht somit aus Glasfaser und ermöglicht maximale Bandbreiten für die Endkunden. Dabei ist zwischen P2P und PON zu unterscheiden.

2.1.3.1 P2P Technik und Demarcation Point

Beim Aufbau FTTH-Netzen stehen mit P2P und PON unterschiedliche Technologien zur Verfügung, die sich auf Verlegung und Schaltung der physischen Glasfasern zwischen Gebäude bzw. Kunde und dem MPoP beziehen. Der einfache Fall besteht darin, vom MPoP bis zu jedem Kunden eine individuelle Faser zu verlegen. Dieses Verfahren

wird als „Point-To-Point“ (P2P) bezeichnet. Dadurch steht jedem einzelnen Kunden die volle Kapazität einer Glasfaserleitung zum aktuellen Stand der Technik zur Verfügung (etwa Standard-Ethernet mit 1Gbps oder 10Gbps). Diese Kapazität muss der Kunde mit niemandem teilen. Der Demarcation Point läge folglich am MPoP, genauer gesagt hinter den kundenseitigen Ports des Ethernet Switches.

Abbildung 2-4: Detailbetrachtung des Demarcation Points bei FTTH/P2P



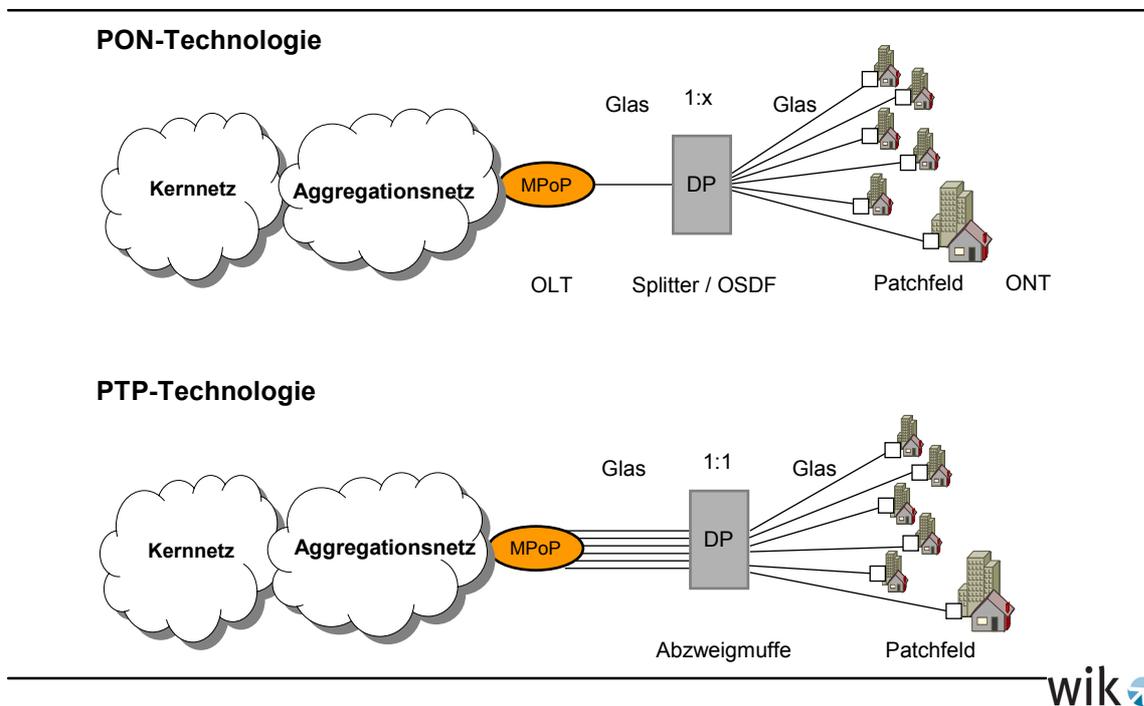
MPoP – Metropolitan Point of Presence
ODF – Optical Distribution Frame

2.1.3.2 PON Technik und Demarcation Point

Stattdessen kann dieser individuelle Faserstrang bereits nah bei den Kunden zusammengefasst werden. Dazu kann ein PON aufgebaut werden,²⁵ bei dem der Verkehr aus einer Glasfaser mithilfe passiver optischer Splitter auf mehrere Teilnehmer verteilt und in umgekehrter Richtung auch zusammengeführt wird. Es wird also für die Strecke vom MPoP bis nahe an eine Gruppe von Teilnehmern (zurzeit bis zu 128 je Splittergruppe) nur eine Glasfaser benötigt.

²⁵ Auf die Darstellung von „Active Ethernet“ verzichten wir in dieser Studie. Bei dieser Variante würde man den passiven optischen Splitter am Distribution Point durch eine aktive Komponente ersetzen. Die Implikationen für die Kosten der Terminierung sind dann analog einer FTTC/VDSL-Architektur zu deuten, da der optische Sub-Loop genau wie der kupferbasierte Sub-Loop bei VDSL dem Teilnehmer dediziert zur Verfügung steht. Die Argumentation für die Behandlung der Strecke zwischen Street Cabinet / Kabelverzweiger und MPoP sind auch analog zu FTTC/VDSL.

Abbildung 2-5: Point-to-Point- und PON-Technologie



Dazu ist es aber erforderlich, dass der „Optical Line Terminator“ (OLT) die Senderechte der einzelnen Teilnehmer an zentraler Stelle (im MPoP) diszipliniert, so dass immer nur ein Teilnehmer zur selben Zeit sendet. Insofern hängt die verfügbare Upstream-Kapazität eines Teilnehmers direkt von der Aktivität der anderen Nutzer ab, die an den gleichen Splitter angeschlossen sind. In der umgekehrten Richtung verbreitet sich die Nachricht eines OLT für einen Teilnehmer auf allen Fasern eines Splitters. Nur der adressierte Teilnehmer nimmt diese dann an und wertet sie aus. Zur selben Zeit kann damit nur eine Nachricht auf dem Netz übertragen werden. Die Teilnehmer teilen sich damit auch die auf dieser einen Faserverbindung maximal mögliche Bandbreite (derzeit bei GPON 2,5 Gbit/s down- und 1,25 Gbit/s upstream). Kein Teilnehmer kann senden, wenn gerade jemand anderes sendet, und er kann nicht empfangen, wenn gerade eine Nachricht für einen anderen übertragen wird. Auf der Teilnehmerseite wird ein Gegenstück zum OLT benötigt, die ONU (Optical Network Unit) bei mehreren Teilnehmern in einem Gebäude bzw. der ONT (Optical Network Terminator) bei nur einem Teilnehmer, die die Sende- und Empfangsrechte interaktiv verwalten.

Weil eine PON-Technologie weniger Fasern im Feeder Segment benötigt, ist sie kostengünstiger als ein P2P-Design. Die Höhe dieses ökonomischen Vorteils hängt jedoch erheblich davon ab, in welchem Umfang Grabungsarbeiten notwendig sind oder auf existierende Leerrohre zurückgegriffen werden kann. Sind keine Leerrohre verfügbar, so sind in beiden Fällen umfangreiche Grabungsarbeiten durchzuführen und der Kostenvorteil von PON ist gering. In einer Situation, in der keine Leerrohrknappheit

herrscht, sind für P2P und auch für PON nur wenig Grabungsarbeiten durchzuführen. In diesen beiden Fällen liegt der Kostenvorteil von PON unter 10%. Sollte jedoch gerade genug Leerrohrkapazität vorhanden sein, um die Fasern für PON einzuziehen, für P2P jedoch aufgrund der höheren Faserzahl Grabungsarbeiten erforderlich sein, so entsteht ein deutlicher Kostenunterschied (geschätzt auf ca. 25%).²⁶

Auch bei der Definition von Vorleistungen für einen entbündelten Teilnehmeranschluss ergeben sich erhebliche Unterschiede zwischen PON und P2P Architekturen. Während sich bei P2P die einzelne kundendedizierte Faser ab dem MPoP entbündeln ließe, gilt dies bei PON erst ab dem letzten Splitter²⁷ vor dem Kunden.

Bei FTTB-Architekturen hat die Gestaltung des Netzes als PON oder P2P keine Auswirkungen auf die Trennlinienziehung, weil die Kunden ab dem Abschlussgerät im Keller des Hauses ohnehin um Bandbreite konkurrieren und ihre kundenindividuelle Anschlussleitung effektiv nur noch aus der Inhaus-Verkabelung besteht. In einem FTTB-PON konkurrieren die Kunden allerdings nicht nur mit anderen Kunden des gleichen Gebäudes, sondern auch noch mit Kunden anderer Gebäude, die am gleichen Splitter angebunden sind.

Bei FTTH-Netzen hingegen spielt die Entscheidung für eine P2P- oder eine PON-Technologie bei der Trennlinienbestimmung eine sehr große Rolle. In einem FTTH/P2P-Netz entstehen verhältnismäßig „lange“ optische Teilnehmeranschlusssleitungen, die auf der gesamten Verbindung zwischen Kundenmodem und MPoP dedizierte Kapazität für den individuellen Kunden bereitstellen. Diese Bandbreite wird auf diesem Abschnitt in keinem Fall vom Nutzungsverhalten anderer Teilnehmer beeinflusst. Damit steht jedem einzelnen Teilnehmer die volle Kapazität moderner optischer Übertragungswege uneingeschränkt zur Verfügung. Der erste Punkt der Verkehrskonzentration ist im MPoP.

Bei einem FTTH/PON hat jeder Nutzer eine eigene Faser von der Wohneinheit bis zum Splitter. Dennoch wird seine nutzbare Kapazität für Downstream und Upstream durch die Aktivität der anderen Teilnehmer eingeschränkt. Insofern kann man von Konkurrenz um Bandbreite auf der gesamten Verbindung zwischen individuellem Kundenmodem in der Wohneinheit und MPoP ausgehen. Der Demarcation Point läge dann in der Wohnung des Kunden und müsste in dessen Endgerät angesiedelt werden.

Man kann die Trennlinie bei FTTH/PON aber auch anders interpretieren, indem man auf die individuellen Fasern jedes einzelnen Teilnehmers im Drop Cable Segment abstellt. So kann argumentiert werden, dass erst ab dem Splitter eine Konzentration erfolgt und die Trennlinie analog zum PSTN bei den kundenseitigen Ports des Splitters anzusiedeln ist. Diese Argumentation wird auch gestützt durch die Tatsache, dass die

²⁶ Vgl. Fischer (2009): S. 21; Elixmann / Ilic / Neumann / Plückebaum (2008): S. XVII; idate (2006): S. 33f.

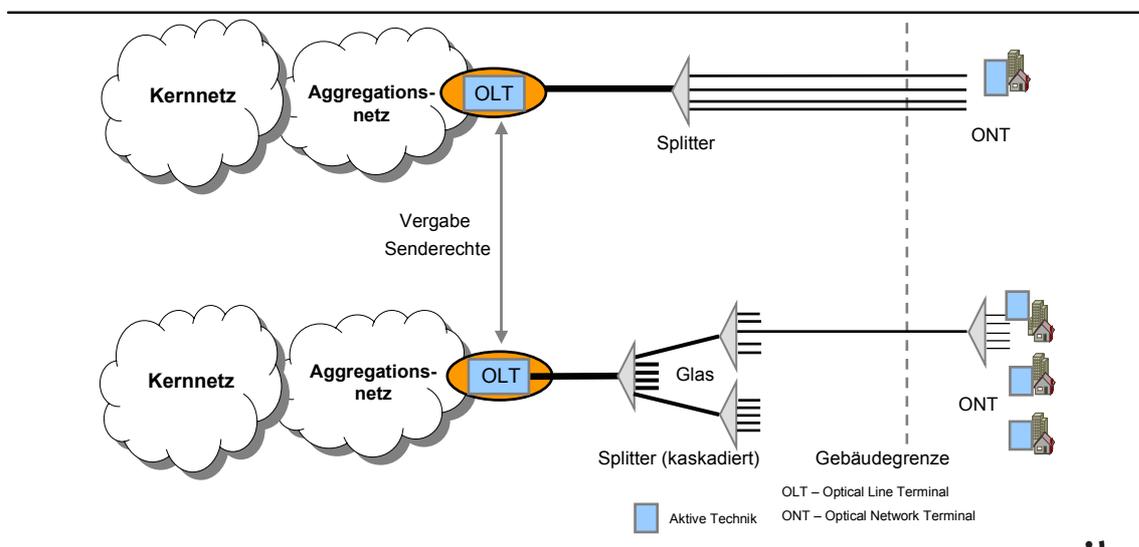
²⁷ Die Vorleistungen für den Teilnehmeranschluss bei NGA Architekturen werden in dieser Studie nicht weiter vertieft.

Faser zwischen Kunden und Splitter entbündelt werden könnte. Der Demarcation Point läge dann am Distribution Point und zwar hinter dem kundenseitigen Port des Splitters.

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Splitter nicht in jedem Fall in einem Distribution Point untergebracht sein muss, sondern abhängig von der Teilnehmersdichte und Architektur auch an anderen Stellen oder auch kaskadiert (vgl. Abbildung 2-6) aufgebaut wird. Einige Netzbetreiber setzen den Splitter in den Keller von Gebäuden mit vielen Teilnehmern. Andere Betreiber verwenden kaskadierte Splitter, von denen evtl. einer an einem Distribution Point außer Haus und einer im Gebäude aufgebaut wird. Dann wäre vom Teilnehmer aus gesehen am ersten Splitter die Grenze zu ziehen. Die Kosten der Terminierung können also auch bei dieser Interpretation umfangreiche Bestandteile des Netzes zwischen MPoP und Kunde umfassen.²⁸ Insofern bietet nur die Grenzziehung in der Wohnung des Teilnehmers (am ONT) eine für alle Implementierungsvarianten einheitliche Festlegung, die auch eine verhältnismäßig einfache Umsetzung in Kostenmodelle erlaubt.

Ob und inwieweit hierbei die Kosten der Inhausverkabelung einbezogen werden sollten, insbesondere, wenn sie, wie in Deutschland üblich, nicht vom Netzbetreiber bezahlt werden, ist ein weiterer wichtiger Aspekt. Faktisch wäre bei Ausklammern der Inhausverkabelung die Grenzlinie zumindest ökonomisch im Keller bzw. an der Haus-einführung (dem Abschlusspunkt Linientechnik (APL)).

Abbildung 2-6: Shared-Medium-Charakter in PON-Architekturen

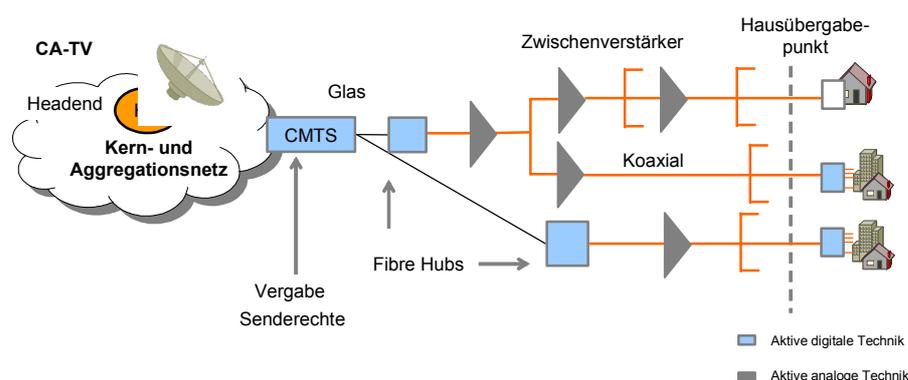


²⁸ In diesem Zusammenhang lässt sich noch unterscheiden, dass der optische PON-Splitter im Gegensatz zur Linecard eines DSLAMs oder den Remote Concentrator Units im reinen Schmalband-PSTN-Fall kein aktives, sondern ein rein passives Netzelement ist, dass keine Intelligenz innehat und auch keinerlei Senderechte verwaltet. Einzig der OLT steuert den Zugriff der Teilnehmer auf das Netz.

2.1.4 Breitbandkabelnetze: Hybrid Fiber Coax (HFC)

Auch die Breitbandkabelnetze der TV-Kabelnetzbetreiber können zu hohen Bandbreiten weiterentwickelt werden und sind daher zu den Next Generation Access Technologien zu zählen. Kabelnetze sind in der Regel als Hybrid-Fiber-Coax-Topologie (HFC) aufgebaut. Dabei wird das optische Netz bis zu einem Knotenpunkt in die Nähe der Endkunden geführt, von wo aus ein Koaxialkabelnetz die Endkunden in einer Busstruktur anschließt. Letzteres ist gerade in unserem Kontext von großer Bedeutung, da es sich beim Koax-Teil des Anschlussnetzes um ein shared medium handelt, bei dem die Teilnehmer wie bei PON um Bandbreite konkurrieren. Auch in HFC-Netzen muss eine Verwaltungseinheit (das Cable Modem Termination System – CMTS) die Senderechte der Teilnehmer zusammen mit den Cable Modems bei den Teilnehmern verwalten. Dies geschieht nach denselben Verfahren, wie sie bereits für PON-Netze beschrieben wurden. Insofern hängt die verfügbare Bandbreite eines einzelnen Kunden stark von der Aktivität anderer Kunden ab.

Abbildung 2-7: Breitbandkabelnetze (Hybrid – Fiber – Coax)



Im Zuge der Weiterentwicklung der Kabelnetze spielen zwei Faktoren eine Rolle: Zum einen werden durch die Umstellung von DOCSIS 2.0 auf DOCSIS 3.0²⁹ deutlich höhere Bandbreiten erzielt (bis zu 400Mbps ggü. 50Mbps Downstream). Zum anderen können die Kabelnetzbetreiber die Anzahl der Kunden, die durch den gleichen Koaxialstrang bedient werden reduzieren, in dem sie die Fibre Hubs näher zum Kunden führen und eine geringere Anzahl Kunden je System versorgen. Beide Maßnahmen ermöglichen eine Erhöhung der potenziellen Bandbreite je Kunde.

Bei der Suche nach der Trennlinie zwischen dediziert bereitgestellten und gemeinsam genutzten Netzelementen stellen sich aufgrund der Shared-Medium-Eigenschaften die gleichen Fragen wie bei PON. Man könnte die Trennlinie an dem Punkt ansetzen, an

²⁹ DOCSIS = Data Over Cable Service Interface Specification.

dem jedem Kunden eine eigene physische Leitung zur Verfügung steht. Dies wäre je nach vorliegender Struktur der Hausübergabepunkt oder der letzte Verzweigungspunkt. Andererseits könnte man wegen des Shared-Medium-Charakters des gesamten Netzes (Zuteilung von Nutzungsrechten restringieren den Nutzer auf der gesamten Strecke zwischen CMTS und Wohnung) den Demarcation Point auch in das Cable Modem in der Wohnung des Endteilnehmers legen und ggf. auch die Hausverkabelung als gemeinsam genutzte Infrastruktur betrachten. Auch hier würde damit von der Heterogenität der Implementierungen der Kabel-TV Verteilnetze abstrahiert und eine einheitliche Grenzlinie festgelegt werden können.

Die folgende Tabelle 2-1 vergleicht die Kapazitäten der vorgestellten NGA-Architekturen. Dabei ist die durchschnittliche Bandbreite pro Nutzer bei den Shared-Medium-Architekturen FTTH/PON und HFC mit DOCSIS 3.0 nur bedingt aussagekräftig, da hier die Untergrenze an Kapazität bei gleichzeitiger Nutzung durch alle Kunden angegeben wurde. Diese pauschalierte Rechnung greift bei diesen Architekturen jedoch zu kurz, weil sie Qualitätsunterschiede nicht berücksichtigt. Denn wenn alle Teilnehmer gleichzeitig senden wollen, führt dies zu Verzögerungen und höherem Delay, Jitter und ggf. sogar zu Paketverlust. Diese Qualitätseinbußen wachsen mit der Zahl von Teilnehmern, die am gleichen PON- bzw. HFC-Segment angeschlossen sind. Andererseits kann ein einzelner Nutzer auch die maximale Kapazität für sich nutzen, wenn kein anderer gleichzeitig senden will.

Tabelle 2-1: Kapazitätsvergleich der vorgestellten NGA-Architekturen³⁰

Technology	Maximum Capacity Downstream	Maximum Capacity Upstream	Average capacity per user Downstream (20 users)	Average capacity per user Upstream (20 users)
FTTC / VDSL2	50 Mbps	15 Mbps	50 Mbps	15 Mbps
FTTB / VDSL2	100 Mbps	20 Mbps	100 Mbps	20 Mbps
FTTH / GPON (max 128 users)	2.5 Gbps	1,25 Gbps	125 Mbps	62,5 Mbps
FTTH / P2P	100 Mbps 1 Gbps	100 Mbps 1 Gbps	100 Mbps 1 Gbps	100 Mbps 1 Gbps
HFC (DOCSIS 3.0)	160 Mbps and more with bundling techniques	120 Mbps and more with bundling techniques	8 Mbps and more with bundling techniques	6 Mbps and more with bundling techniques

Quelle: Rendon / Plückebaum et al. (2009)

³⁰ Mögliche Überbuchungen im Aggregations- und Kernnetz sind bei diesem Vergleich nicht berücksichtigt.

2.2 Einfluss von Quality-of-Service-Strategien auf die Trennlinienziehung

Die Europäische Kommission skizzierte den Effekt der Ausdehnung der Verbindungsnetze im NGA in Richtung des Endkunden. Sie konstatiert aber lapidar und ohne Begründung, dass derzeit für ein Forward-Looking-Netzwerk angenommen werden könne, dass der Sprachübertragung unabhängig von der eingesetzten Technologie stets dedizierte Bandbreite zur Verfügung stehe.³¹ Die Kommission stellt daher fest, dass alle Fälle, in denen Sprachverkehr nicht getrennt vom Datenverkehr geführt und die Kapazität auf der Verbindung zum MPoP stattdessen überbucht und der Sprachverkehr priorisiert wird (vgl. Tabelle 2-2), zurzeit irrelevant sind. Diese Auffassung teilen wir nicht.

Grundsätzlich kann der Netzbetreiber zur Gewährleistung der Qualität des (Sprach-) Verkehrs neben dem Einsatz von unterstützenden Instrumenten im Wesentlichen drei verschiedene Strategien einsetzen.³² Er kann dafür Sorge tragen, dass es selbst im Fehlerfall nie zu Bandbreitenengpässen kommt, weil stets ausreichende Kapazitäten vorgehalten werden (Überdimensionierung); er kann im Lastfall Pakete bestimmter Dienste bevorzugt weiterleiten (Priorisierung) oder er kann für verschiedene Dienste eine definierte Kapazität reservieren, sodass deren Verkehr nicht von anderen Verkehren verdrängt werden kann (Reservierung). Der Einsatz von Priorisierung ist heute Stand der Technik. Der Transport von Verkehr im Aggregationsnetz ist in jedem Fall als Konzentration zu betrachten, welche zu Rivalität der Kunden um Bandbreite führt. Fraglich ist hingegen, wie die Verbindung

- von MPoP zu Kabelverzweiger bei FTTC,
- von MPoP zu Gebäude bei FTTB und
- von MPoP zum designierten Demarcation Point bei FTTH/PON (Distribution Point, Gebäude oder Wohnung, siehe Kapitel 2.1.3) und Breitbandkabel (analog zu PON).

zu bewerten ist. Da bei FTTH/P2P der Demarcation Point bereits am MPoP angesiedelt ist, spielt die Behandlung des Sprachverkehrs zwischen MPoP und Kunde für die Bestimmung der Terminierungskosten keine Rolle.

³¹ „For the time being it can be assumed that an efficient forward-looking network will allocate dedicated capacity to the voice channel irrespective of the technology deployed. Hence, the existing demarcation remains unchanged, unless there are significant NGA developments inducing an observable general trend towards using shared capacity, which would be reflected in the regulated access regime.“ Europäische Kommission (2009c): S.23.

³² Für eine Diskussion zur Qualitätsdifferenzierung in IP Netzen s. auch Rendon / Plückebaum / Jay (2009) oder Jay / Plückebaum (2008).

2.2.1.1 Verkehrsführung bei FTTC

Der Demarcation Point liegt am MPoP, wenn der Sprachverkehr von anderen Verkehrsarten getrennt wird. Grundsätzlich kann eine Verkehrstrennung einfach dadurch erreicht werden, dass der Sprachverkehr über den niederfrequenten Teil der Kupferdoppelader und der Datenverkehr auf VDSL im hochfrequenten Teil der Kupferdoppelader als IP-Verkehr geführt wird.³³ Wenn jedoch der Sprachverkehr bereits beim Kunden als VoIP generiert und in einem gemeinsamen IP-Datenstrom über die Anschlussleitung übertragen wird, müssen andere Maßnahmen getroffen werden, z.B. die von der Kommission beschriebene Kapazitätsreservierung.³⁴ Wird der Sprachverkehr jedoch im gemeinsamen IP-Strom geführt und über Priorisierung bevorzugt behandelt, bleibt die Konkurrenz der Kunden um Bandbreite auf dem Feeder Segment bestehen und der Demarcation Point läge am Distribution Point.

2.2.1.2 Verkehrsführung bei FTTB, FTTH PON und Breitbandkabelnetzen

Bei FTTB herrscht unabhängig von der Technologiewahl (PON / P2P) zunächst einmal Konkurrenz auf der Verbindung vom Gebäude zum MPoP, schließlich werden mehrere Kunden eines Gebäudes mit einer Faser angebunden. Bei PON herrscht auf der Strecke zwischen MPoP und designedem Demarcation Point (Splitter Lokation am Distribution Point / Gebäude oder Wohnung) nur dann kein Wettbewerb der Kunden um Sprachbandbreite, wenn der Sprachverkehr in einem getrennten Kanal geführt wird. Bei FTTB und FTTH PON müsste der OLT für jeden Sprachkanal eine feste Bandbreite zuordnen und diesen in den ONU/ ONT separat auf einen Sprachanschluss auskoppeln³⁵. Diese Möglichkeit ist in den PON Systemen grundsätzlich angelegt, weil die Vergabe der Senderechte über kurze, feste Zeitschlitze erfolgt. Bei FTTB mit VDSL-Modems im Keller jedes Gebäudes müssten entsprechend der FTTC Diskussion ausreichende Kanäle vorgesehen werden, wobei hier nur die VoIP Ansätze in Betracht kommen (vgl. Abschnitt 2.2.1.1) Erreicht man eine separierte Führung des Sprachverkehrs eines Teilnehmers, so müsste der Demarcation im MPoP angesiedelt werden.

33 Diese Technik wurde mit Beginn der Breitbandübertragung über DSL eingesetzt. Der Sprachverkehr wurde am HVT über die netzseitigen DSL-Splitter ausgekoppelt und der althergebrachten, separaten PSTN/ ISDN Architektur zugeführt. Unseres Kenntnisstandes nach gibt bei VDSL-Outdoor DSLAMs auch die Option, mit einem Splitter für niederfrequenten Sprachverkehr zu arbeiten und ihn dann am DSLAM auszukoppeln. Für die Sprachübertragung ab der dann eingesetzten Remote Concentration Unit (oder dem MSAN) stehen unterschiedliche Vermittlungsprotokolle zur Verfügung, die Sprachverkehr entweder konzentrieren (V5.2) oder nicht (V5.1).

34 Dies könnte durch eine dedizierte Kapazität für den Sprachverkehr jedes einzelnen Kunden oder durch eine getrennte Führung des Sprachverkehrs aller Kunden in einem separaten Kanal mit ausreichender Dimensionierung geschehen.

35 Z.B. als analoger a/b Port oder als S₀ ISDN Port. Eher theoretischer Natur ist eine womöglich in Zukunft entstehende Option, bei der im Kontext der Kombination von WDM (Wave Division Multiplexing) mit PON separate Farben für die Sprache verwendet werden könnten.

Wenn der Verkehr jedoch nicht getrennt und zudem die Bandbreite des Anschlussnetzes zwischen MPoP und Kunde überbucht wird³⁶, ist sehr wahrscheinlich davon auszugehen, dass der Netzbetreiber zur Gewährleistung von Quality of Service Priorisierung einsetzt. Dann verbliebe der Demarcation Point an der direkt aus der Architektur abgeleiteten Position (FTTB: Gebäude; FTTH/PON: Splitter Lokation oder Wohnung).³⁷

Technisch ist es auch in Breitband-Kabelnetzen möglich, Kapazitäten für den Sprachverkehr zu reservieren. Dies würde dann auf der gesamten Strecke zwischen CMTS und Kundenmodem erfolgen. In diesem Fall wäre dann die Trennlinie auf Höhe des CMTS anzusetzen, welcher im Blick auf Netzhierarchie und Kundenzahl mit dem Metropolitan Point of Presence zu vergleichen wäre. Wird der Sprachverkehr hingegen nur im IP-Strom priorisiert, dann ist auch die Busstruktur der Koaxialanschlussnetze in die Berechnung der Terminierungskosten einzubeziehen. Damit sind Breitbandkabelnetze einer FTTB-(PON)-Architektur sehr ähnlich.

Tabelle 2-2 fasst die Auswirkungen von Technologie und Verkehrsführung auf die Trennlinie bei den drei FTTx-Architekturen zusammen. Bei der späteren Modellierung haben wir diese Varianten nicht mehr individuell geprüft, sondern nur die Trennlinienziehung wie in 2.1 diskutiert und unter der Annahme einer Priorisierung des Sprachverkehrs dargelegt. Zum einen scheint diese Vorgehensweise der Qualitätsbehandlung in den aufkommenden All-IP Netzen überwiegend üblich, zum anderen führt aber auch nur diese Form zu Diskussionsbedarf der hier behandelten Art.

Tabelle 2-2: Ort der Trennlinie zwischen Anschluss und Verbindungsnetz in Abhängigkeit von der Verkehrsführung

	FTTC	FTTB	FTTH PON & HFC	FTTH P2P
Gemeinsame Kanäle für Sprache und Daten (Mit Überbuchung & Priorisierung)	KVz	Keller	Je nach Betrachtung*	MPoP
Getrennte Kanäle für Sprache und Daten	MPoP	MPoP	MPoP	MPoP

* Siehe Kapitel 2.1 zu PON und HFC.

36 Überbuchung wäre dann gegeben, wenn die Summe aller endkundenseitig verkauften Bandbreiten in einem PON-Netz größer als die technisch bereitgestellte Kapazität ist, also z.B. wenn bei 2,5Gbps Gesamtkapazität in einem 32:1 GPON jedem Kunden 100Mbps angeboten werden (= 3,2 Gbit/s).

37 Es ist vorstellbar, dass in einem PON keine Überbuchung auf gemeinsam genutzten Verbindungen des Subscriber Access Networks vorgesehen wird: Die auf dem Endkundenmarkt verkaufte Kapazität jedes einzelnen Kunden müsste dafür so begrenzt werden, dass selbst bei gleichzeitiger, maximaler Ausnutzung durch alle Kunden die technisch auf der Faser bereitgestellte Gesamtbandbreite nicht überschritten wird. Bei einem Splittingverhältnis von 64:1 (32:1) bei GPON und 2,5Gbps Bandbreite auf der Faser ergäbe das rein rechnerisch eine maximal vermarktete Bandbreite von etwa 39Mbps (78Mbps) pro Kunde, bei der es dann nie zu Konkurrenz käme.

Diese vereinfachende Rechnung berücksichtigt aber nicht, dass das PON weiterhin ein Shared Medium bleibt, bei dem Qualitätsbußen (z.B. höhere Paketlaufzeit, im Extremfall Paketverlust) auftreten, wenn viele/alle Teilnehmer gleichzeitig senden wollen. Wollten tatsächlich alle Teilnehmer gleichzeitig senden und überstiege deren gesamter Kapazitätsbedarf nicht die technische Obergrenze des GPON, so müssten aufgrund des hier unterstellten TDM - GPON (TDM - Time Division Multiplexing,) einige Teilnehmer dennoch eine höhere Paketlaufzeit hinnehmen. Insofern ist selbst bei einem PON ohne Überbuchung nicht automatisch abzuleiten, dass keine Rivalität vorliegt und der Demarcation Point daher am MPoP anzusiedeln wäre.

2.3 Behandlung des SIP User Agent als Bestandteil der Vermittlungsfunktion

Bislang musste nur am Punkt der Trennlinie eine Aufteilung der Kosten auf Anschluss- und Verbindungsnetz vorgenommen werden. Alle Netzelemente, die sich kundenseitig von der Trennlinie befinden, sind für die Bestimmung der Terminierungskosten irrelevant. Es gibt aber ein Netzelement, bei dem diskutiert werden muss, ob es trotz der Lage im Anschlussnetz nicht zu den Terminierungskosten gerechnet werden muss. Dabei handelt es sich um den SIP User Agent, der mindestens einen Teil der Vermittlungsfunktion im NGN innehat. Der Umgang mit dem SIP User Agent ist nicht abhängig von der NGA-Architektur und wirkt sich daher nicht auf das Verhältnis der Terminierungskosten verschiedener Architekturen zueinander aus (man würde ihn entweder bei allen Architekturen berücksichtigen oder bei keiner). Dennoch wollen wir die Problematik hier skizzieren und haben bei der Rechnung in Kapitel 3 auch zwei Optionen der Behandlung des SIP User Agents erfasst.

Im PSTN erfolgt die Signalisierung zum Vermittlungsauf- und -abbau im Netz durch das SS7-Signalisierungsverfahren. Die Signalisierung zwischen Nutzer und Netz hat jedoch keinerlei vermittlungsrelevante Funktion. In einer reinen IP-Welt, die mit dem Session Initiation Protocol (SIP) arbeitet, gibt es nur ein Protokoll, das für die Vermittlung verantwortlich ist (das SIP). Ein SIP User Agent beim Endteilnehmer meldet seinen Verbindungswunsch zu einem Anzurufenden beim SIP Server an. Dieser ermittelt dessen IP-Adresse und gibt sie an den Anrufer. Die eigentliche Kommunikation miteinander läuft direkt im IP-Netz ohne weitere Zuhilfenahme des SIP-Servers, dem allenfalls das Gesprächsende mitgeteilt wird. Kennt der Anrufer bereits die IP-Adresse des Anzurufenden, ist ein SIP Server für den Gesprächsaufbau nicht zwingend erforderlich. Die Vermittlungsfunktion könnte also vollständig durch die SIP User Agents abgebildet werden.

In der Praxis würde ein Netzbetreiber, der seinen Kunden VoIP anbietet, aber einen SIP Server betreiben. Dies würde er alleine schon deshalb machen, weil ein User Agent nicht immer die gleiche IP-Adresse hat. In der Regel melden sich die User Agents daher an einem SIP-Server an, der die SIP-Adressen in IP-Adressen auflösen kann. Der User Agent ist allerdings elementarer Bestandteil der Vermittlungsfunktion des Netzes. Es stellt sich die Frage, ob er daher wie die SS/ Signalisierungsfunktionen des PSTN Netzes auch bei den Kosten der Terminierung zu berücksichtigen ist.

Betrachtet man die Vermittlungsfunktion als elementare Funktionalität des Verbindungsnetzes und überträgt diese Zuordnung auf das NGN, dann müsste man den SIP User Agent im Endgerät³⁸ des Kunden kostenseitig für die Terminierung einbeziehen. Ergänzend stellt sich dann die Frage, in welcher Höhe dieser einfließen sollte. Dazu gibt es unserer Kenntnis nach zumindest einen europäischen Präzedenzfall im Rahmen einer Entgeltentscheidung, bei dem der User Agent anteilig in den Terminierungskosten berücksichtigt wurde (siehe Kapitel 3.1.5).

Stellt man hingegen nicht auf diese funktionale Zuordnung ab, dann könnte als Kostentreiber des SIP-User Agent allein die Zahl der Teilnehmer identifiziert werden. Zwar kann man die im Netz verbleibende Vermittlungskapazität weiterhin überbuchen³⁹, es besteht aber keine Rivalität um die Vermittlungsfunktion des User Agents eines Kunden. Daraus wiederum ließe sich ableiten, dass er als kundenediziertes Element dem Anschlussnetz zuzurechnen wäre und deshalb bei der Terminierungskostenermittlung vollständig ausgeblendet werden müsste. Allein der SIP-Server im Netz wäre dann zu berücksichtigen.

Je nach Beantwortung dieser Frage ändert sich die Höhe der Kosten der Terminierung. Wir rechnen in der Modellierung später beide Varianten, um auch diese Problematik zu quantifizieren.

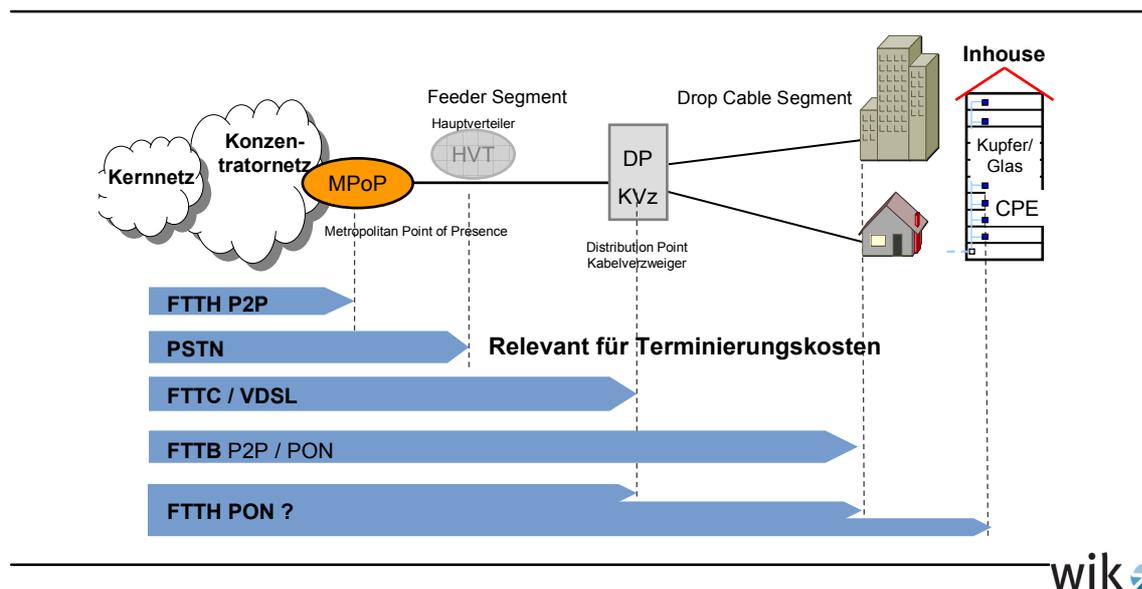
38 Der Begriff „Endgerät“ wurde hier nicht abschließend trennscharf definiert. Welche Geräte beim Kunden zum Einsatz kommen, wer diese kontrolliert und wo SIP-User-Agent-Funktionalitäten angesiedelt sind ist u.U. keine leicht zu beantwortende Frage. Im Modell haben wir uns auf den kundenseitigen Netzabschluss bezogen. Im Fall von FTTC ist das bspw. VDSL-Modem oder der VDSL-Router beim Kunden.

39 Der SIP Server im Netz hat immer noch Bottleneck Funktion und kann überlastet werden, einfach indem zu viele Verbindungswünsche, Gesprächsanfangs- und Endinformationen auf einmal auftreten. Der Netzbetreiber muss also nach wie vor eine Dimensionierungsentscheidung hinsichtlich der netzseitigen Vermittlungskapazitäten treffen.

2.4 Zwischenfazit

Der Demarcation Point kann je nach Architektur, QoS Realisierung und Interpretation von PON entweder am MPoP, an einem Distribution Point (nah oder fern vom Kunden), im Gebäude oder gar in der Wohnung liegen.

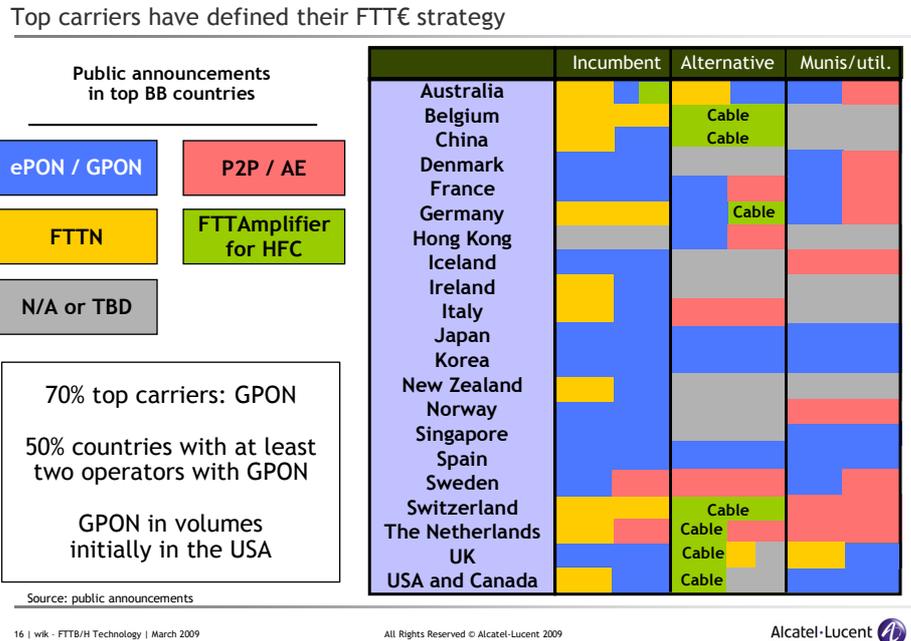
Abbildung 2-8: Heterogene Lage des Demarcation Points im NGA



Alle bislang geschilderten Architektur- und Technologievarianten werden von Netzbetreibern eingesetzt (siehe Abbildung 2-9, FTTN (Fiber to the Node) ist hier synonym mit FTTC zu verstehen). Mit Blick auf die Technologiewahl P2P oder PON kann man aus Regulierungssicht die einfachere Entbündelbarkeit von P2P hervorheben. Darüber hinaus ist P2P die zukunftssicherste Technologie, da sie den Endkunden die größtmögliche Kapazität bereitstellen kann, und dies sogar kundenindividuell unterschiedlich und bedarfsorientiert. Die Kommission äußert sich zur Technologiewahl aber nicht im Rahmen der Empfehlung zu Terminierungsentgelten. Es erscheint auch aufgrund der spezifischen Vor- und Nachteile, die zu lokal unterschiedlichen effizienten Lösungen führen können (Stichwort Verfügbarkeit von Leerrohren), nicht angebracht, die eine Technologie der anderen zum Zwecke der Definition eines effizienten Netzes vorzuziehen.⁴⁰ Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der pfadabhängigen Effizienz, weil abhängig vom Entwicklungspfad und den historisch unterschiedlichen Voraussetzungen die eine oder andere NGA Architektur im Einzelfall effizienter sein kann.

⁴⁰ Auch die ERG stellt fest: „[...]economic viability of roll-out strategies is largely influenced by specific local characteristics“. ERG (2009b): S. 4.

Abbildung 2-9: FTTx Strategie und Technologiewahl in ausgewählten Ländern



Quelle: Wulf (2009).

Letztlich sollten die Wahl von Architektur und Technologie den Investoren überlassen bleiben. P2P und PON sind in Kombination mit FTTB und FTTH eigenständige Netzarchitekturen, die einzeln betrachtet werden müssen. Wird über die Terminierungskosten in NGA-Architekturen nachgedacht, dann sind unseres Erachtens nach nicht nur – wie von der Kommission unterstellt - eine Auswahl, sondern alle in Tabelle 2-2 abgegrenzten Architekturvarianten relevant. Selbst dabei zeigt die Praxis, dass die Standorte von PON-Splittern oder CATV-Verstärkern sehr unterschiedlich sein können, sodass man auch FTTH/PON nicht als homogene Architektur bezeichnen kann, es sei denn, der hier vorgeschlagene Demarcation Point in der Wohnung der Kunden werde übernommen.

Im folgenden Kapitel werden wir eine Auswahl von repräsentativen Architekturen und Trennlinienvarianten kostenseitig unter Rückgriff auf ein Bottom-Up-Kostenmodell analysieren.

3 Modellierung der Terminierungskosten in unterschiedlichen FTTx-Architekturen

In diesem Kapitel wird für drei der diskutierten Architekturen (FTTH/P2P, FTTC und FTTH/PON mit Splitter (1:64) am Distribution Point) eine Abschätzung der Kosten der Sprachterminierung durchgeführt. Für die FTTB-Architekturen ist davon auszugehen, dass diese zwischen FTTC und FTTH anzusiedeln sind, und zwar wegen des mit FTTH vergleichbaren Infrastrukturausbaus deutlich näher an FTTH als an FTTC. Auf eine explizite Modellierung von FTTB haben wir daher an dieser Stelle verzichtet.

Es ist dabei auch besonders von Interesse, wie sich die Terminierungskosten ändern, wenn der Anteil der Sprachtelefonie abnimmt, was in zukünftigen Dienstszenarien zu erwarten ist. Dafür haben wir zunächst ein „Double Play“-Dienstszenario gerechnet, was ausschließlich Sprache und Daten, aber kein Multicast-IPTV betrachtet. Danach wird die Übertragung von IPTV einbezogen, und zwar einmal für alle Architekturen als „Inband“ zusammen mit dem Sprach- und Datenverkehr und einmal für FTTH/PON-„Outband“ in einer separaten Wellenlänge, Man spricht dann auch von einer RF-Overlay Übertragung⁴¹. Video-on-Demand Verkehr haben wir als Individualverkehr immer in der Menge des Datenverkehrs angesiedelt und nicht im Multicast IPTV.

Bei FTTH/PON haben wir mit Blick auf die in Kapitel 2.1.3 geführte Diskussion die Trennlinie einmal am Splitter im Distribution Point, einmal im Gebäudekeller und einmal in der Wohneinheit des Teilnehmers angesetzt.

Zunächst beschreiben wir das Kostenmodell und die Vorgehensweise der Berechnung. Anschließend werden Ergebnisse und Sensitivitäten vorgestellt.

3.1 Das Kostenmodell

Grundlage der Bearbeitung ist das WIK NGA-Modell, das ursprünglich der Abschätzung der ökonomischen Reichweite von NGA-Architekturen diente⁴² und das wir um zusätzliche Funktionalitäten zur Berechnung von Terminierungskosten erweitert haben. Es handelt sich um ein Bottom-Up-LRIC-Modell (Long-Run Incremental Cost), das Investitionswerte und Kosten separat für Cluster unterschiedlich hoher Teilnehmerdichte berechnet. Die Strukturparameter Teilnehmerdichte, Anzahl von Hauptverteilern & Kabelverzweigern, Teilnehmerzahl etc. entsprechen der Parametrisierung für Deutschland im Rahmen unserer Projekte für die ECTA. Die Kabel- bzw. Trassenlängen gehen dabei auf Schätzungen zurück. Im Modell wird ein „Stand-Alone First Mover“ unterstellt, also ein Wettbewerber, der ohne Zugang zu Leerrohren oder Dark Fibre sein NGA aufbaut.

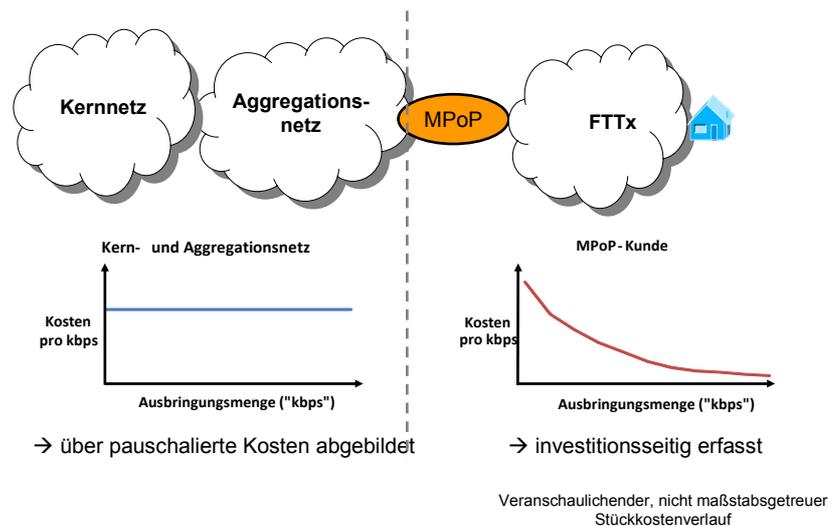
⁴¹ RF-Overlay (Radio Frequency Overlay) auf einer separaten Wellenlänge ist ein Standard-Feature aller GPON Systeme, wird aber auch vereinzelt bei P2P Systemen angeboten.

⁴² Vgl. Elixmann / Ilic / Neumann / Plückebaum (2008).

Als einzige Vorleistung wird die KVz-TAL auf Kupferbasis modellseitig im Falle von FTTC unterstellt.

Für das NGA erfasst das Modell die Investitionen „Bottom-Up“, setzt jedoch für Kern- und Aggregationsnetz pauschalierte Kosten an. Diese steigen somit im Modell linear mit zunehmender Bandbreite an und weisen keine expliziten Anfangsinvestition wie im Anschlussnetz auf (siehe dazu Abbildung 3-1: Eine Zunahme an Kapazität führt im Gegensatz zum Anschlussnetz nicht zu einer Abnahme der Durchschnittskosten pro kbps). Diese pauschalierten Kosten wurden zu einem früheren Zeitpunkt aus einem anderen Bottom-Up-Modell generiert. Bei kleinen Marktanteilen dürfte diese Modellbesonderheit zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Kosten führen, da ja auch im Kernnetz Anfangsinvestitionen grundsätzlich einen degressiven Kostenverlauf bedingen, der bei niedriger Nachfrage zu vergleichsweise hohen Kosten pro kbps führt. Da wir aber von einem hohen Marktanteil von 50% ausgehen (siehe folgende Ausführungen), stellt sich diese Problematik nicht.⁴³

Abbildung 3-1: Kern-, Aggregations- und Anschlussnetzkosten im Modell



⁴³ Anzumerken ist jedoch folgendes: Die Grundlage der pauschalierten Kosten pro kbps in Kern- und Aggregationsnetz ist ein Bottom-Up Modell, für das zum damaligen Zeitpunkt hinsichtlich der Zahl der Netzebenen, Knotenzahl, Bandbreitennachfrage und Penetration Annahmen getroffen wurden, die nicht exakt deckungsgleich sind mit den Szenarien, die wir hier betrachten. Beispielsweise wurde im Kernnetzmodell ein national tätiger Wettbewerber mit einem Marktanteil von 16% unterstellt. In dieser Studie betrachten wir jedoch Netzbetreiber, die nur in den ersten vier Clustern Deutschlands aktiv sind (ca. 18,5% der Teilnehmer) und dort 50% Marktanteil erzielen, also über deutlich weniger Kunden verfügen. Da dennoch die pauschalierten Kosten pro kbps angesetzt werden, unterschätzen wir in diesem Modell die Kosten von Aggregation- und Kernnetz. Weiterhin wird aufgrund der Pauschalierung der Kosten für alle Architekturen das „gleiche“ Aggregations- und Kernnetz angenommen, was eine grobe Vereinfachung darstellt. Ein in Entwicklung befindliches Modell wird die Unterschiede der Aggregationsnetze in Abhängigkeit von der NGA-Architektur differenziert abbilden können. Vor diesem Hintergrund stellen wir nachher nur Relationen von Gesamtkosten der Terminierung mit unterschiedlichen Anschluss- aber „gleichen“ Aggregations- und Kernnetzen dar.

Allen Architekturen liegen grundsätzlich zahlenmäßig die deutschen Hauptverteiler und Kabelverzweiger zugrunde (den Cluster zugeschlüsselt).⁴⁴ Es wurde die vereinfachende Annahme getroffen, dass alle Architekturen ihren Verkehr auf die gleiche Anzahl von MPoPs konzentrieren.

3.1.1 Wesentliche Modellannahmen

Wir gehen davon aus, dass in einem Cluster, der für den Ausbau vorgesehen ist, stets alle Teilnehmer anschließbar gemacht werden („100% homes passed“). Das bedeutet, dass - unabhängig von der tatsächlichen Zahl der Kunden - im Fall von FTTC jeder Kabelverzweiger mit Glasfaser und bei FTTH jedes Gebäude mit so viel Glasfasern wie Kunden angebunden wird.

Die Kapitalkosten (WACC – Weighted Average Cost of Capital) stellen einen wichtigen Hebel für die Kostenrechnung dar. Es gibt Argumente dafür, dass der Aufbau von NGA mit einem höheren Risiko verbunden ist als das bisherige PSTN⁴⁵. Unter bestimmten Voraussetzungen (angeführt wird ein vollständiges Umschalten aller Kunden auf NGA durch den Incumbent) kann es auch Argumente dafür geben, dass keine höhere Risikoprämie zugestanden werden sollte. In dieser Studie haben wir - analog zur Anwendung unseres NGA-Modells im Standardszenario für die Profitabilitätsuntersuchungen für die ECTA - einen WACC von 10% angesetzt, was dem unteren Ende der diskutierten Kapitalkostensätze entspricht. Es werden keine Sensitivitätsanalysen für den WACC durchgeführt. Klar ist, dass sich mit steigendem WACC die Kosten (der Sprachterminierung) erhöhen. Der WACC wurde für alle modellierten NGA-Varianten in gleicher Höhe angesetzt.

Es wurde eine Kundenzusammensetzung aus Single-Play (18%), Double-Play (59%), Triple-Play (14%) und Geschäftskunden (9%) unterstellt, die zu einer durchschnittlichen Bandbreite pro Kunde in der Busy Hour von rund 75kbps führt.⁴⁶ Die Netzdimensionierung erfolgt nur anhand dieses Durchschnittskundenprofils (keine Überprüfung, ob an einem gegebenen Knotenpunkt z.B. besonders viele Triple-Play- oder Business-Kunden liegen). Dieser durchschnittliche Kunde wurde für alle FTTx-Varianten angenommen. Für die IPTV Dienste wurde ein Portfolio von 100 Programmen à 5Mbps zugrundegelegt, was als Multicast im Netz übertragen wird und nicht in der zuvor genannten durchschnittlichen Bandbreite je Kunde enthalten ist. Multicast und Datenvolumen werden in den Berechnungen zudem variiert (siehe Tabelle 3-2 in Abschnitt 3.1.3).

⁴⁴ Gleiche Vorgehensweise wie bei Elixmann / Ilic / Neumann / Plückebaum (2008).

⁴⁵ EU-Kommissarin Viviane Reding forderte im Sommer und Herbst 2008 explizit die Einführung einer höheren Risikoprämie für FTTx-Projekte und nannte eine Größenordnung von 15%. Siehe hierzu, FAZ Interview mit Viviane Reding, 19.09.2008 (Unbekannter Autor (2008)).

⁴⁶ Single-Play Kunden fragen 10kbps Busy Hour nach. Double- Triple- und Geschäftskunden wurden hier vereinfachend alle mit 90kbps angesetzt und sind homogen hinsichtlich Busy Hour Bandbreite und Telefonienachfrage. Die Sprachtelefonie ist daher mit 10kbps für alle Kunden eingegangen. Multicast IPTV ist nicht in diesen Werten enthalten. Aus der Gewichtung der Nachfrage mit den Kundengruppen entsteht der durchschnittliche Busy Hour Wert von 75kbps = 18% x 10kbps + 82% x 90kbps

Im Modell werden alle Investitionen auf ein Jahr umgerechnet und gemeinsam mit Betriebs- und Gemeinkosten (erfasst durch Aufschläge auf die Investitionen) in Gesamtkosten pro Kunde pro Monat überführt. Diese Kosten können mit dem durchschnittlichen Umsatz je Kunde (ARPU – Average Revenue Per User) verglichen werden, um zu Profitabilitätsaussagen zu gelangen. Je höher der Marktanteil und die Zahl der Kunden, umso geringer sind auf Grund des hohen Maßes an Fixkostendegression die Kosten pro Kunde. Der kritische Marktanteil, der Profitabilität gestattet, ist dann erreicht, wenn die Kosten je Kunde auf das Niveau des ARPU oder darunter abgesunken sind. Die Profitabilität der FTTx-Varianten ist dabei sehr unterschiedlich (vgl. Tabelle 3-1). Die Farben signalisieren Marktanteile unter 40% (grün), zwischen 40%-80% (gelb) und über 80% (rot). Es wurde angenommen, dass mehr als 80% Marktanteil wegen Wettbewerb mit alternativen Infrastrukturen (z.B. mobile Netze bzw. „mobile-only“-Haushalte) und „Technikverweigerern“ nicht zu erreichen sind. 40% signalisiert insofern die Grenze, bei dem im Markt Platz für zwei FTTx-Betreiber verbleibt.⁴⁷

Tabelle 3-1: Kritische Marktanteile zum profitablen Betrieb in Deutschland aufgeschlüsselt in Cluster mit abnehmender Teilnehmerdichte

Cluster	Potenzielle Teilnehmer	Kumulierter Anteil	Kritischer Marktanteil		
			FTTC	FTTH/PON	FTTH/P2P
Dense urban	118.087	0,3%	16%	32%	36%
Urban	904.596	2,4%	23%	47%	54%
Less Urban	4.858.656	13,7%	29%	64%	75%
Dense Suburban	2.041.008	18,5%	33%	69%	82%
Suburban	2.848.088	25,1%	43%	84%	>100%
Less Suburban	5.249.763	37,4%	55%	>100%	>100%
Dense Rural	14.616.576	71,5%	>100%	>100%	>100%
Rural	12.192.893	100,0%	>100%	>100%	>100%

Für die Modellierung der Terminierungskosten haben wir uns entschieden, den Ausbau auf die ersten vier Cluster zu beschränken und einen einheitlichen Marktanteil für alle Cluster von 50% anzunehmen, der in etwa in der Mitte des Spektrums der beobachteten kritischen Marktanteile liegt. Alternativ hätte man ggf. die Architektur- und Clusterindividuellen kritischen Marktanteile verwenden können. Zur besseren Vergleichbarkeit (gleiches Ausbaugelände und gleiche Zahl von Kunden) haben wir aber diese einheitliche Vorgehensweise gewählt.

Im Modell wird inhärent ein eingeschwungener Zustand hinsichtlich der Marktverhältnisse („Steady State“) unterstellt. Das bedeutet, dass kein sukzessiver Aufbau der Infrastruktur und kein Wachsen des Marktanteils über mehrere Jahre berücksichtigt wird.

⁴⁷ Detaillierte Modellbeschreibungen finden sich in Elixmann / Ilic / Neumann / Plückebaum (2008) und Jay / Plückebaum / Ilic (2009).

Wir gehen im Modell davon aus, dass alle Kunden über VoIP telefonieren.

3.1.2 Vorgehensweise zur Ermittlung der Sprachterminierungskosten

Zunächst muss das Netz dimensioniert werden, um die Gesamtkosten zu ermitteln. Grundsätzlich erfolgt dies anhand der Nachfrage nach Kapazität in der Busy Hour. Die Vorgehensweise unterscheidet sich modellbedingt zwischen Kern-/ Aggregationsnetz einerseits und Anschlussnetz andererseits.

- Im Kern- und Aggregationsnetz erfolgt keine explizite Dimensionierung (Aufbau von ausreichend Übertragungswegen, Routern, etc.), sondern es wird ein konstanter kbps-Preis für die Busy Hour vorgegeben. Die Kostenermittlung erfolgt daher einfach durch Multiplikation der Nachfragemenge (kbps) pro Nutzer in der Busy Hour mit der Nutzerzahl und dem Preis pro kbps in der Busy Hour.
- Im Anschlussnetz wird eine einheitliche Technologie für jeden Anschluss eingesetzt, d.h. alle Teilnehmer in einem Cluster erhalten z.B. einen FTTH/PON-Anschluss; es gibt keinen Technologiemix. Die Dimensionierung wird hier primär durch die Anschlusszahlen und nur begrenzt durch die Verkehrsnachfrage getrieben (unterstellte Nachfrage der durchschnittlichen Nutzer lastet die optische Anschlussleitung nicht aus). Bei FTTH gehen wir in den hier definierten Nutzungsszenarien davon aus, dass die Kapazität der Anschlussleitung sowohl bei P2P als auch bei PON (Splittingverhältnis von 1:64) ausreicht. Das gilt grundsätzlich auch für das optische Feeder Segment bei FTTC zwischen Outdoor-DSLAM und MPoP. Allerdings würde das Modell bei Überschreiten der vorgesehenen Maximalkapazität hinsichtlich Kundenzahl und netzseitiger Kapazität der Feeder Anbindung eines Outdoor DSLAMs zusätzliche Outdoor-DSLAMs und entsprechende Feeder Fasern verlegen.

Für das so dimensionierte Netz können dann die Gesamtkosten ermittelt werden, die für jede Netzebene von Kernnetz bis zur Inhausverkabelung und dem Kundenmodem ausgewiesen werden.

Nun müssen die Kosten des NGA an der Trennlinie aufgeteilt werden, um nur den Teil der Gesamtkosten zu berücksichtigen, der zum „Verbindungsnetz“ gehört.

- Bei FTTC wurden die kundenseitigen Line-Cards des Outdoor-DSLAMs am Distribution Point dem Anschlussnetz zugerechnet. Die Kosten des restlichen DSLAMs (ohne Line-Cards) wurde denn nutzungsabhängig auf alle Dienste verteilt. Nicht eindeutig zurechenbare Elemente wie Multifunktionsgehäuse und

Raumluftversorgung haben wir anhand des Anteils der eindeutig aufteilbaren Elemente anteilig zugeschlagen.⁴⁸

- Bei FTTH/PON haben wir als Ausgangsgrundlage ein PON mit Splitter am Distribution Point (keine Kaskadierung) gewählt:
 - Trennlinie in der Wohnung: In die Terminierungskosten fließt das komplette Feeder und Drop Segment, sowie die Kosten der Inhausverkabelung mit ein.
 - Trennlinie im Gebäudekeller: In die Terminierungskosten fließt das komplette Feeder und Drop Segment, nicht aber die Kosten der Inhausverkabelung mit ein.⁴⁹
 - Trennlinie am Distribution Point: Der optische Splitter am Distribution Point müsste analog wie bei FTTC der DSLAM aufgeteilt und in Teilen dem Anschluss- und Verbindungsnetz zugeordnet werden. Vereinfachend wurde in der Rechnung der Splitter gesamthaft in die Kosten der Terminierung einbezogen. Die Kosten sind daher tendenziell überschätzt. In dem hier angelegten PON Szenario liegt der Splitter in der Erde, es gibt also keine weiteren aufzuteilenden Kosten von Gehäuse oder Patchfeld (Optical Street Distribution Frame) (der Splitter selbst benötigt keinen Strom).
- Bei FTTH/P2P zählen der Optical Distribution Frame (ODF) auf dem die Fasern der optischen Anschlussleitungen ankommen, das Patchkabel zur Verbindung des ODF mit dem Ethernetswitch und die kundenseitigen Ports des Ethernet Switches im MPoP zum Anschlussnetz und werden in den Kosten der Terminierung nicht berücksichtigt. Der Rest des Switches muss hingegen bei den Kosten der Terminierung berücksichtigt werden. Grundsätzlich wären weiterhin die Kosten von Raum, Raumluft, Energie etc. auf Anschluss- und Verbindungsnetz aufzuteilen.

Die von uns verwendeten pauschalierten Kosten für das Aggregationsnetz enthalten aber bereits den Raum und den Rest des Ethernetswitches. Die Kosten können daher im Modell nicht anteilig dem Anschlussnetz zugerechnet werden, obwohl die Rechenlogik dies verlangt. Insofern werden die Kosten der Terminierung bei FTTH/P2P überschätzt.⁵⁰

48 Der Anteil des kundendedizierten Teils der DSLAM-Investition nimmt mit sinkender Teilnehmerdichte ab, weil es weniger Kunden pro DSLAM gibt. In den dichten Gebieten, für die die Modellierung vorgenommen wurde beträgt er 45%-60%, in den ländlichen nur noch 20-40%.

49 Dieses Ergebnis beruht weiterhin auf einem FTTH/PON mit Splitter am Distribution Point ohne Kaskadierung.

50 Für ihre zukünftig exaktere Bestimmung wurde bereits mit konzeptionellen Arbeiten an einem neuen Modell für das Aggregationsnetz begonnen, mit dem eine verursachungsgerechte Aufteilung der Kosten vorgenommen werden kann.

3.1.3 Bestimmung der Volumina von Telefonie, Daten und IPTV

Die so erhaltenen Gesamtkosten von Kernnetz bis zur Trennlinie werden nun auf den Kostenträger „Kapazität“ („kbps“) verteilt. Es ist daher für jeden Dienst zu ermitteln, in welchem Maße er das Netz auf jeder Netzebene in Anspruch nimmt. Die Summe der nachgefragten Verkehrsmengen aller Dienste (Telefonie, Daten, IPTV) ist die Bemessungsgrundlage für die Kostenallokation der einzelnen Dienste. Dazu wurde auf Jahres- bzw. Monatsvolumina (in Gigabyte pro Monat) abgestellt. Die so erhaltenen Volumenverhältnisse der Dienste bestimmen dann deren Anteil an den für die Terminierung relevanten Gesamtkosten.

Zur Bestimmung des Nachfragevolumens wurde wie folgt vorgegangen:

- Für das Volumen der Sprachtelefonie wurden marktübliche durchschnittliche Monatsvolumina je Kunde herangezogen (1000 Minuten pro Kunde pro Monat).⁵¹ Der Kapazitätsbedarf einer Telefonsekunde wurde mit 100kbps auf einem üblichen Niveau abgeschätzt.⁵² Es wird davon ausgegangen, dass der Netzbetreiber zur Gewährleistung von Quality of Service Priorisierung einsetzt. Die Ermittlung der tatsächlichen Kosten der Implementierung einer solchen QoS-Strategie und die anschließend nötige Aufteilung auf die verschiedenen Dienste konnte mit dem bestehenden Kostenmodell nicht differenziert geleistet werden. Hilfsweise wurde die Rechenregel „Doppelte Bandbreite“ herangezogen, die aus der Literatur bekannt ist.⁵³ Anstatt also die Kosten einer Differentiated-Service-Architektur (DiffServ) exakt abzubilden, wurde stattdessen die für eine Telefonsekunde notwendige Bandbreite auf 200kbps verdoppelt, um durch die zusätzlichen Bandbreitenkosten die Kosten der Bereitstellung von Qualität anzunähern.⁵⁴ Im Modell durchlaufen die Telefonminuten eine Routingmatrix, die diese Minuten abhängig von Netzebene (Backbone, Aggregation, Feeder etc.) und Minutentyp (On-Net, Outbound, Terminierung) bewertet. Die so bewerteten Minuten werden dann in GB pro Monat umgerechnet, um mit den Volumina von Daten und Video vergleichbar zu sein.⁵⁵ Im Modell wird dabei nicht mehr auf die Ebene einzelner Kunden abgestellt, sondern nur noch Gesamtvolumina verglichen. Rückgerechnet auf den einzelnen Kunden betragen die 1000 min

⁵¹ On-Net-Verkehr sowie ausgehender und eingehender Verkehr.

⁵² Vgl. Nölle (2005).

⁵³ Vgl. Evans / Filselfils (2007): S.250.

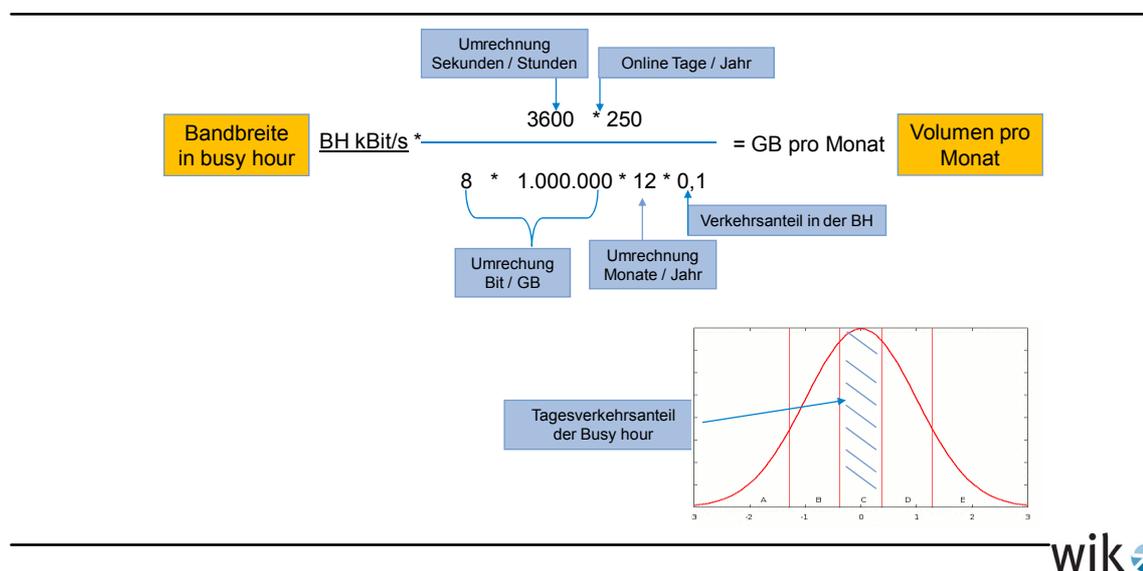
⁵⁴ Es gäbe auch noch eine andere Überlegung zur Verdoppelung der Bandbreite: Ein Telefonat ist eine 2-Wege Duplex-Kommunikation, bei der gleichzeitig in beide Richtungen kommuniziert wird (werden kann). Man könnte also annehmen, dass die Netzdimensionierung 100kbps in die eine und weitere 100kbps in die andere Kommunikationsrichtung bereitstellen muss. Auf den Verbindungen zwischen zwei Netzknoten ist das aber nicht erforderlich, weil Kapazität dort symmetrisch bereitgestellt wird. Allerdings müssen die Netzknoten (den Routern / Switches) prinzipiell je Kommunikationsrichtung 100kbps vorhalten. Bei den Modellrechnungen wurde das nicht berücksichtigt.

⁵⁵ Zur Umrechnung in Gigabyte wurde die folgende Formel verwendet: Sprachminuten x 60 Sekunden x 2 x 100kbps / 8 / 1.000.000. Die letzten beiden Divisoren dienen der Umrechnung von KiloBit in Gigabyte.

(bewertet durch die Routing Matrix und unter Berücksichtigung der QoS-Fiktion etwa 1,7GB pro Kunde pro Monat für Telefonie. ⁵⁶

- Das Volumen des Datenverkehrs (exklusive Multicast von IPTV) wird gleichfalls als Jahreswert bzw. durchschnittlicher Monatswert bestimmt. Da ein Jahres- oder Monatsvolumen pro Kunde nicht verfügbar war, wurde dieses aus dem Nachfragewert für Daten in der Busy Hour abgeleitet. ⁵⁷ Dabei wurde die folgende Formel angewendet (siehe Abbildung 3-2). Rechnet man diesen Wert ebenfalls in Volumen pro Kunde pro Monat um, so ergeben sich ca. 7,5GB für Daten. ⁵⁸

Abbildung 3-2: Umrechnung von Busy Hour Bandbreite in Monatliches Datenvolumen



Bei dieser Rechnung ist der kritische Parameter der Anteil des Tagesverkehrs, der in die Busy Hour fällt. Je geringer dieser Wert, desto höher ist das hochgerechnete Monatsvolumen. Vor dem Hintergrund neuer Dienste und verändernder Nutzungsgewohnheiten wäre die Repräsentativität des hier angenommenen Wertes für zukünftige NGA-Netze zu diskutieren. In dieser Untersuchung geht es jedoch nur um die Analyse der Verhältnisse von NGA-Architekturen zueinander.

⁵⁶ Dieser Wert ist illustrativ anzusehen und gilt prinzipiell für die Netzebenen unterhalb des Aggregationsnetzes, da im Kern- und Aggregationsnetz durch das unterschiedliche Routing verschiedener Verkehre differenziertere Volumina entstehen.

Anstatt wie hier geschehen von monatlichen Minutenwerten auszugehen, könnte man ebenso wie beim Datenvolumen die Verkehrsmenge aus der Busy Hour Kapazität hochrechnen. In diesem Fall ergäbe sich rückgerechnet ein höheres monatliches Minutenvolumen als von uns im Modell angesetzt.

⁵⁷ Herangezogen wurde dafür die Zahl der Double- & Tripleplay sowie die Geschäftskunden und deren Daten-Nachfrage in der Busy Hour (90kbps ./ 10kbps Sprache).

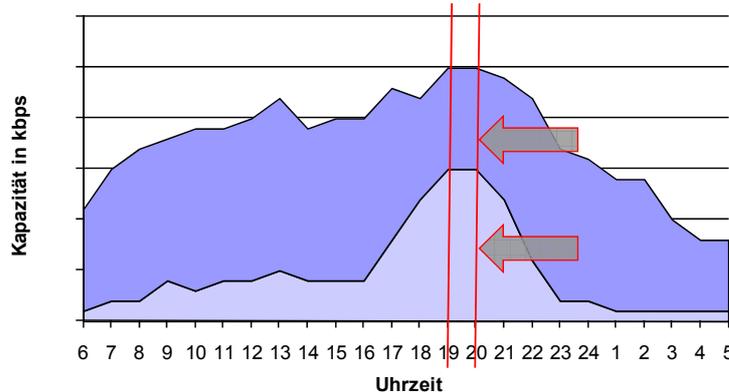
⁵⁸ Auch hier ist der Wert illustrativ zu verstehen, da er für die Ebenen unterhalb des Kernnetzes gilt.

der und um den generellen Effekt steigender Datenverkehre auf die Kosten der Terminierung und nicht um die Ermittlung absoluter Terminierungskosten.

Alternativ zu diesem Vorgehen hätte man sowohl für Sprache als auch für Daten die reinen Bandbreiten Verhältnisse zur Busy Hour heranziehen können. Dann stellt sich die Frage nach der Repräsentativität der Busy Hour Verkehrsverhältnisse für die Nutzung der Dienste im Tages-, Monats- oder gar Jahresdurchschnitt. Es ist nämlich sogar wahrscheinlich, dass die Busy Hour Verhältnisse von denen abweichen, die bei einer Betrachtung der Tagesnutzung ermittelt würden. Vergleicht man in Abbildung 3-3 die Flächenverhältnisse des ganzen Tages, so müsste dem hellblauen Dienst (die untere Fläche) wohl ein geringerer Anteil zugerechnet werden als sich bei reiner Betrachtung der Verhältnisse zur Busy-Hour ergäbe.

Abbildung 3-3: Problematische Bestimmung der Verkehrsverhältnisse durch Busy-Hour-Anteile

Verhältnis der Flächen über den ganzen Tag u.U.
anders als Peak-Verhältnis



In dem Maße wie man mit anderen Verfahren zu unterschiedlichen Verkehrsanteilen der verschiedenen Dienste gelangt, verändern sich folglich auch die Kosten der Sprachterminierung. Es verbleibt als offene Frage, mit welcher Abschätzung man einer kostenverursachungsgerechten Zuordnung am nächsten kommt.

- IPTV wird im Modell als Multicast von einem zentralen Punkt ausgeliefert, was die effizienteste Ausstrahlung von TV in einem IP Netz darstellt. Jedes Programm läuft bis zum Entkoppelungspunkt nur einmal im Multicast unabhängig von der Anzahl der Zuschauer. Bei den von uns angenommenen 100 Programmen zu je 5Mbps ergibt das eine Multicastgruppe mit 500Mbps.

Die Kapazität heutiger Anschlussleitungen (ADSL2+) erreicht diese Kapazität nicht annähernd. Auch bei FTTC mit VDSL ab dem Kabelverzweiger kann nur ein Bruchteil des gesamten Programmpakets übertragen werden. Erst FTTH gestattet es, in P2P-Technik grundsätzlich und mit Einschränkungen bei PON, den Multicast bis zum Kunden aufrechtzuerhalten, was dann einer Broadcast-übertragung entsprechen würde. Für die Ermittlung der Kosten der Terminierung ist von Relevanz, wie IPTV bis zur Trennlinie übertragen wird. Ob aber bei FTTH/P2P das gesamte Programmpaket von 100 Programmen oder nur eine Auswahl vom MPoP zum Kunden übertragen wird, ist für die Terminierungskostenanalyse irrelevant, weil der gesamte Abschnitt zwischen MPoP und Kunde nicht in die Terminierungskostenermittlung eingeht. Im Modell haben wir deshalb folgendes angenommen:

Tabelle 3-2: Annahmen zum Umfang des IPTV-Multicast bis zum Trennlinienstandort

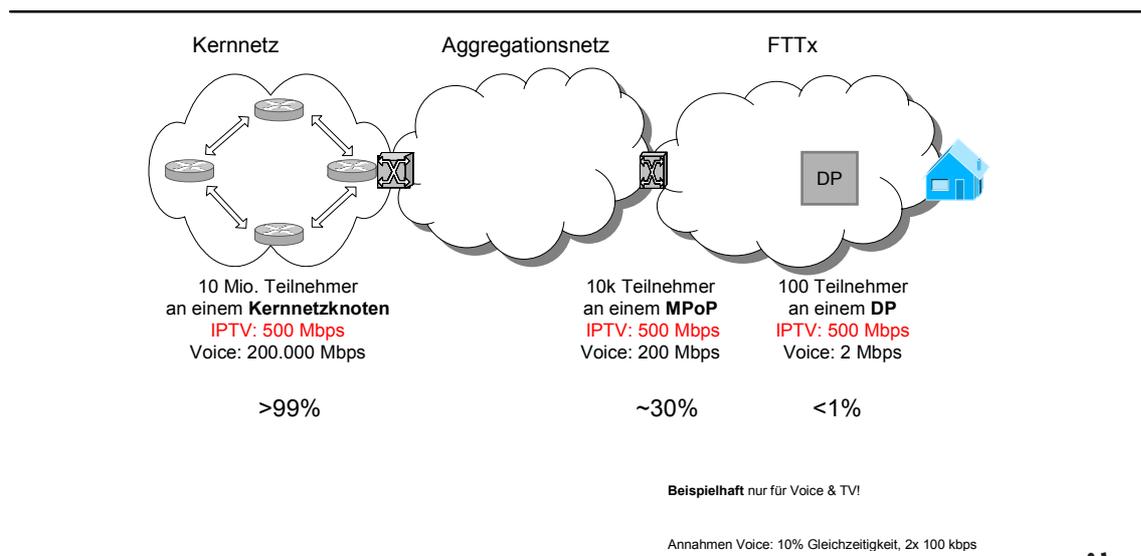
Architektur	Standort der Trennlinie	IPTV-Übertragung
FTTC	DSLAM am Kabelverzweiger	Multicast von 100 Programmen bis zum DSLAM am Kabelverzweiger
FTTH/PON	Verschiedene Varianten diskutiert: 1) Distribution Point, 2) Gebäude, 3) Kunde	Multicast von 100 Programmen bis zum MPoP Reduzierter Multicast von 50 Programmen vom MPoP bis zum Kunden, da maximal 64 Kunden an einem PON-Strang hängen (Splittingverhältnis 1:64) und unter statistischen Erwägungen nicht die volle Multicastgruppe übertragen werden muss
FTTH/P2P	MPoP	Multicast von 100 Programmen bis zum MPoP

Die Übertragung von IPTV (Multicast) erfolgt somit fundamental anders als die von Sprache und Daten (Unicast), bei der eine individuelle Kommunikation zwischen zwei Kommunikationspartnern erfolgt. Wenn ein Kunde 1,7GB Telefonie und 7,5GB Daten pro Monat nachfragt, so können diese Werte einfach mit der Zahl der Kunden auf einem Netzabschnitt multipliziert werden, um die Netzlast auf diesem Abschnitt zu ermitteln. Für diese Unicast-Dienste aggregieren sich die Verkehre in den Netzebenen als Summe aller angeschlossenen Teilnehmer, d.h. je höher die Netzebene, desto mehr Verkehr wird aggregiert. Der IPTV-Multicast liegt hingegen als Dauerlast in der definierten Höhe an jedem einzelnen Knoten und unabhängig von der Netzebene in gleicher Höhe vor, und zwar zu jedem Zeitpunkt des Tages und nahezu unabhängig von der Anzahl der Kunden. Es ist daher nicht möglich, einen direkten Vergleichswert „IPTV-Volumen pro Kunde pro Monat“ über alle Netzebenen hinweg zu generieren. Das führt dazu, dass man das Volumen der Multicast-Dienste nicht direkt und netzebenenübergreifend mit den Diensten der Individualkommunikation vergleichen kann. Stattdessen werden die Verkehrsanteile der drei Dienste auf jeder Netzebene einzeln verglichen, um die jeweiligen Gesamtkosten der Netzebene korrekt zuzurechnen. Dabei gilt, dass sich das

Verhältnis der Individualverkehre (Sprache, Daten) zueinander über die Netzebenen nicht verändert.

In umgekehrter Perspektive kann man daraus auch bereits jetzt schlussfolgern, was dies für den Anteil des Telefonverkehres⁵⁹ am Gesamtverkehr bedeutet: Dieser wird nämlich im Kernnetz höher sein, wo es nur wenige Netzknoten gibt, über die zwar der Telefon-Verkehr von Millionen von Kunden abgewickelt wird, aber an dem dennoch nur der einfache IPTV-Multicast übertragen wird. Andererseits wird der Telefonanteil an einem Outdoor-DSLAM bei FTTC im Vergleich zum Multicast verschwindend gering sein, weil dort nur der Telefon-Verkehr von wenigen Kunden transportiert wird, aber wiederum der einfache IPTV-Multicast anliegt. Diesen Zusammenhang verdeutlicht die folgende Abbildung, die veranschaulichend (!) nur Telefonie und IPTV-Verkehrsanteile quantitativ auf drei Netzebenen vergleicht.

Abbildung 3-4: Sprach- und IPTV-Verkehrsanteil in Abhängigkeit der Netzebene bei Multicast (beispielhaft)



3.1.4 Transport von TV in separater Wellenlänge/Faser

Bei der Bereitstellung von TV-Diensten nehmen einige Netzbetreiber eine Trennung von breitbandigen Diensten und TV-Diensten durch die Verwendung separater Glasfasern vor, welche bei der Neuverlegung der Infrastruktur nur zu vernachlässigbaren Zusatzkosten führen.⁶⁰ Idealerweise wird das TV-Signal dann über eine im Haus bereits existierende Koax-TV-Verkabelung verteilt. Dadurch wird auf der kompletten Strecke

⁵⁹ und analog auch des Datenverkehrs.

⁶⁰ Zum Beispiel Netcologne (Deutschland), sowie Reggefiber und Glasvezelnet (beide Niederlande).

zwischen MPoP und Kunde Bandbreite für Sprache und Daten frei und es stellt sich auch nicht mehr das Problem der Überbrückung der Strecke vom Telekommunikations-Endgerät zum Fernseher in der Wohnung des Kunden.

Die für PON in Deutschland überwiegend eingesetzten GPON-Systeme bieten eine separate Wellenlänge für die TV-Übertragung standardmäßig mit an, sodass statt einer separaten Faser auch eine separate Wellenlänge („Farbe“) für das TV-Signal genutzt werden kann. Insgesamt werden dann drei Wellenlängen für die Übertragung eingesetzt: eine für den Upstream von Sprache und Daten, eine für den Downstream von Sprache und Daten, sowie eine für den TV-Downstream. Die Vorteile im hier berücksichtigten Fall von FTTH/PON sind vor allem die Möglichkeit, dies ohne Zusatzkosten durchzuführen. Mit dem Auslagern des TV-Signals verbleibt eine höhere Bandbreite für Sprache und Daten. Für die aktuelle Nachfrage reicht damit auch eine günstige Fast-Ethernet- (100Mbps) Schnittstelle am Endgerät aus, anstelle auf teurere GigEthernet- (1Gbps) Schnittstellen zu wechseln, wenn das Endgerät den kompletten Triple-Play-Verkehr abwickeln muss.⁶¹

Wir modellieren daher beide Varianten der TV-Signal Übertragung:

- TV als Multicast im IP-Verkehr (In-Band) und
- TV als separate RF-Übertragung⁶² über einen getrennten Kommunikationsweg (Out-Band).

Wird eine zusätzliche Faser mitverlegt, so muss diese auch einen Teil der Verlegekosten tragen. Die synergetische Verlegung von zusätzlichen Glasfasern oder Leerrohren bei anstehenden Tiefbauarbeiten wird auch als „Beilauf“ bezeichnet. Dem Beilauf sind anteilig die Kosten des Netzes zuzurechnen, was in der Regel anhand der Faserzahl, der Grabenbreite etc. geschieht. Im Fall von FTTH/PON mit TV-Signal auf einer separaten Farbe kann man in ähnlicher Weise vorgehen und diesen TV-Beilauf anteilig an den Gesamtkosten des PON beteiligen. Im Modell haben wir für das Szenario mit TV auf separater Farbe den Anteil aus der Zahl der Wellenlängen abgeleitet und die Kosten der Netzelemente zwischen Kunde und MPoP je zu einem Drittel dem TV-Dienst zugeschlagen. Die verbleibenden Kosten wurden dann unter Berücksichtigung der Verkehrsanteile von Sprache und Daten auf diese beiden Dienste verteilt.

Für FTTH/P2P haben wir dies nicht berücksichtigt, weil ohnehin keine Netzkosten in diesem Abschnitt für die Terminierung anfallen. Bei FTTC gibt es keine Anreize für eine zusätzliche Faser zum Distribution Point, weil dort ein TV-Anschluss keine Abnehmer fände. Daher wurde auch dort keine Beispielrechnung durchgeführt.

⁶¹ Für den in diesem Modell angenommenen Multicast von 500Mbps bzw. 250Mbps für PON (siehe Kapitel 3.1.3) wäre eine Fast-Ethernet Schnittstelle mit 100Mbps bereits nicht mehr ausreichend.

⁶² RF – Radio Frequency.

FTTB wurde von uns nicht modelliert. Hier ergeben sich aber die größten Vorteile eines solchen Vorgehens, deshalb gehen wir dennoch kurz darauf ein. Bei FTTB ist der Netzbetreiber ohnehin darauf angewiesen, die existierende Inhausverkabelung (Kupfer- oder Koax) zu nutzen und hat dadurch weniger Kapazitäten als bei einer optischen Inhausverkabelung zur Verfügung. Soweit möglich würde er sich bemühen, eine existierende Koaxverkabelung im Haus für die Verteilung des TV-Signals zu verwenden. Wenn eine separate Faser für TV verlegt wird, braucht man keinen teureren Router zur Trennung von Sprache, Daten und TV. Diese Faser endet im Gebäude dann auch auf einem separaten Netzabschluss und nicht auf dem Mini-DSLAM.⁶³ Wird ein FTTB/PON aufgebaut gilt wiederum, dass die dritte Wellenlänge standardmäßig im System vorhanden ist. Die ONU bildet dann auch gleichzeitig den TV Netzabschluss.

3.1.5 Umgang mit SIP User Agent

In Kapitel 2.3 wurde bereits die Frage diskutiert, wie mit dem SIP User Agent umgegangen werden soll, der im NGN Teil der Vermittlungsfunktion ist. Beziehen wir die Vermittlungsfunktionen analog zum PSTN voll in die Terminierungsentgeltbestimmung ein, müsste auch der SIP-User Agent Berücksichtigung finden. Zur Festlegung des Anteils der Inanspruchnahme durch den Sprachdienst gibt es nach unserer Kenntnis bislang noch wenig Überlegungen. Statt auch dort die Verhältnisse der Verkehrsvolumina als Maßstab zu nehmen, wäre es ggf. korrekter, auf die Zahl der Signalisierungen abzustellen, die von den verschiedenen Diensten durchgeführt werden. Dann müsste man untersuchen, wie hoch der Anteil der Sprachterminierung an den gesamten Signalisierungen des Endgeräts ist. Uns sind hierzu noch keine umfassenden Untersuchungen bekannt. Sie hätten auch den Rahmen dieser Studie gesprengt. Als Anhaltspunkt dient uns daher vereinfachend ein Regulierungsverfahren in Italien, bei dem für den SIP User Agent eines NGA-Betreibers 1/3 der Kosten des Endgeräts bei der Berechnung von Terminierungsentgelten berücksichtigt wurden.

Als Gegenpol zu dieser Vorgehensweise haben wir Varianten gerechnet, bei der die Endgerätekosten keine Berücksichtigung finden (in den späteren Diagrammen gekennzeichnet als „excl. SIP User Agent“).

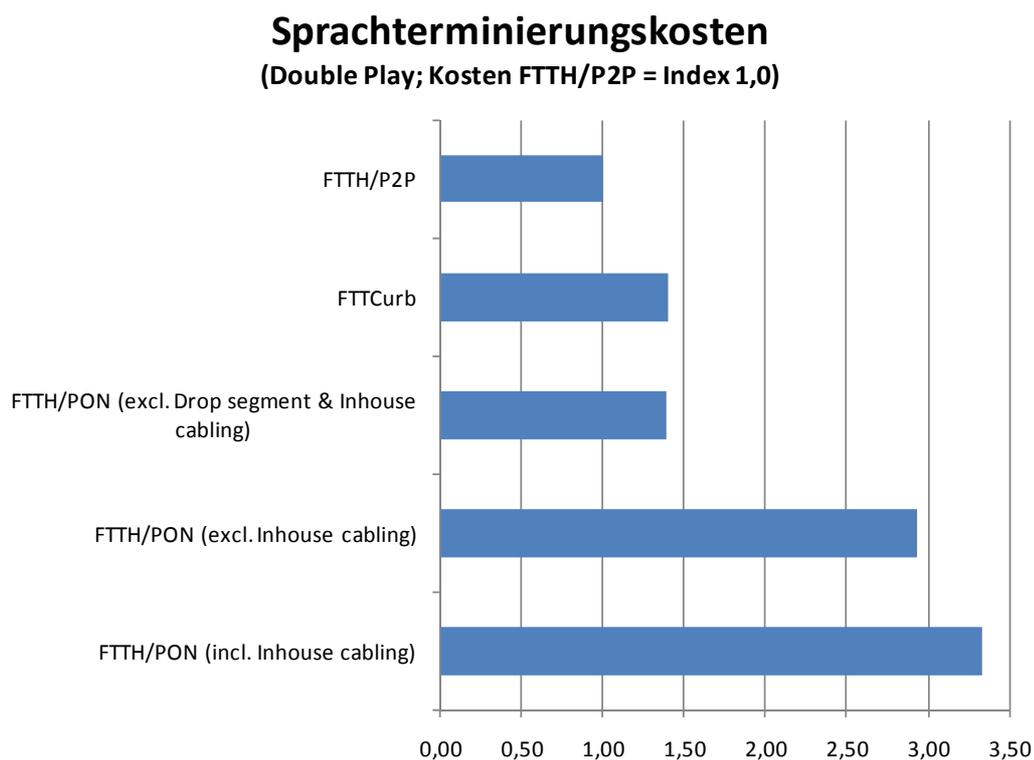
⁶³ Sprache und Daten würden bei FTTB über die Telefonverkabelung in die Wohneinheiten, bei FTTH/PON über eine optische Inhausverkabelung transportiert, sodass auch im Haus keine Konkurrenz um Bandbreite mit dem TV-Signal besteht.

3.2 Analyse von Double-Play-Szenarien

Der zuerst betrachtete Fall fokussiert auf ein Netz, in dem die Kunden nur Sprache und Daten, jedoch zunächst kein IPTV nachfragen („Double Play“). Ausgangsszenario ist der Durchschnittskunde mit 75kbps durchschnittlicher Bandbreite in der Busy Hour (davon 65kbps für Daten und 10kbps für Telefonie). Die Kosten des User Agent im Endgerät sind im Referenzfall in Abbildung 3-5 mit 33% eingeflossen.

In den folgenden Darstellungen haben wir die Kosten der Terminierung auf den Wert von FTTH/P2P als Index 1,0 normiert. Dies entspricht daher der Trennlinienziehung am MPoP. Der Wert für FTTH/P2P aus dem zuerst diskutierten Fall in der folgenden Abbildung 3-5 gilt für alle nachfolgenden indexierten Abbildung als Referenzwert. Die Grafiken sind somit alle direkt miteinander vergleichbar.

Abbildung 3-5: Terminierungskosten: Double Play, 65kbps Busy-Hour-Daten-Bandbreite, SIP User Agent anteilig in Kosten enthalten

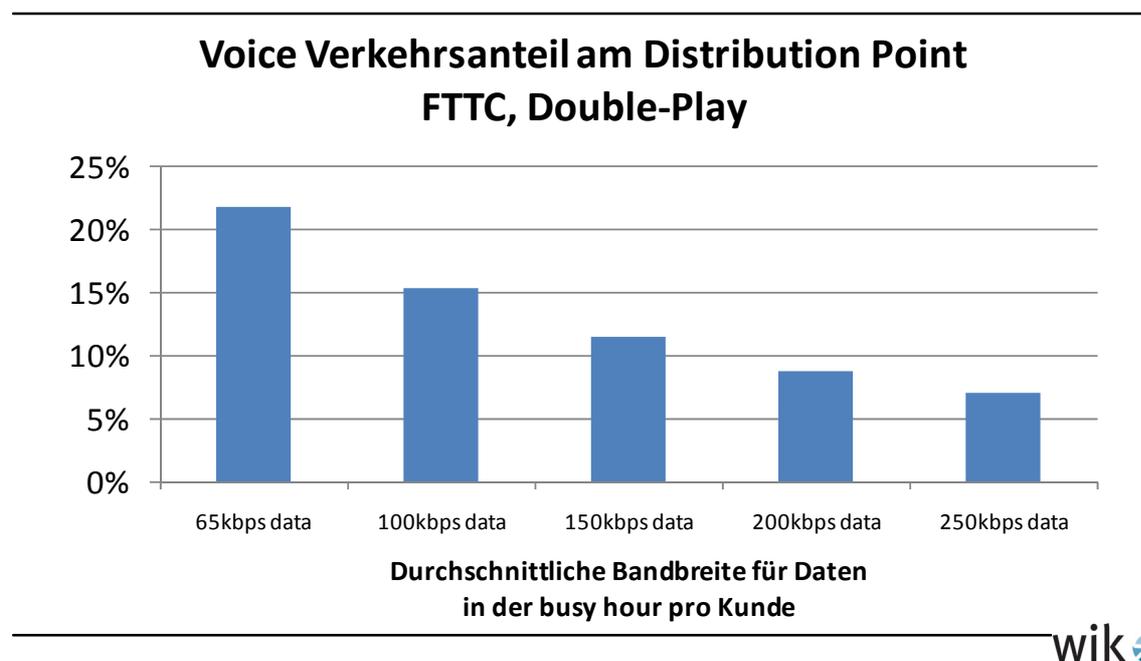


In Abbildung 3-5 wird deutlich, dass mit der Verkürzung des dedizierten Netzabschnitts, d.h. der Verlagerung des Demarcation Points näher zum Endkunden, die Kosten der Terminierung ansteigen. Es ist eine deutliche Erhöhung für die letzten beiden Varianten von FTTH/PON zu beobachten, bei denen auch das Drop Cable Segment in die Kosten

mit einfließt. In der FTTH/PON-Variante mit Trennlinienziehung am Distribution Point sind die Kosten etwas geringer als bei FTTC. Dies liegt daran, dass der Splitter günstiger ist als ein DSLAM und darüber hinaus als passives Netzelement über einen längeren Zeitraum abgeschrieben wird und nur geringe Betriebskosten aufweist.

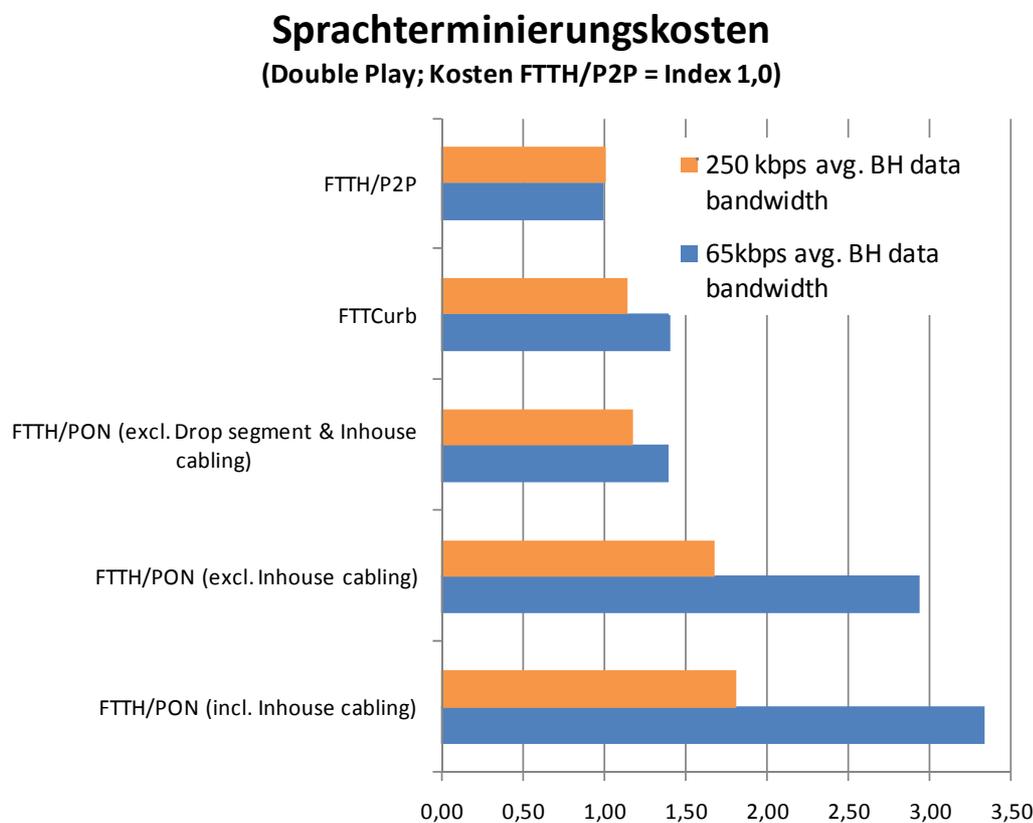
Uns interessiert nun, wie sich der Sprachanteil in einer zukunftsgerichteten Perspektive mit stetig steigenden Datenvolumina entwickelt. Zu diesem Zweck haben wir Sensitivitäten gerechnet, bei denen als einziger Parameter die durchschnittliche Bandbreite für Daten in der Busy Hour sukzessive von 65kbps auf 250kbps erhöht wurde. Es zeigt sich, dass der Anteil von Sprache dadurch von knapp über 20% im Ausgangsszenario auf etwas über 5% absinkt (siehe Abbildung 3-6).

Abbildung 3-6: Sensitivitätsanalyse des Sprachverkehrsanteils bei steigender Busy-Hour-Bandbreite für Daten (Beispiel FTTC)



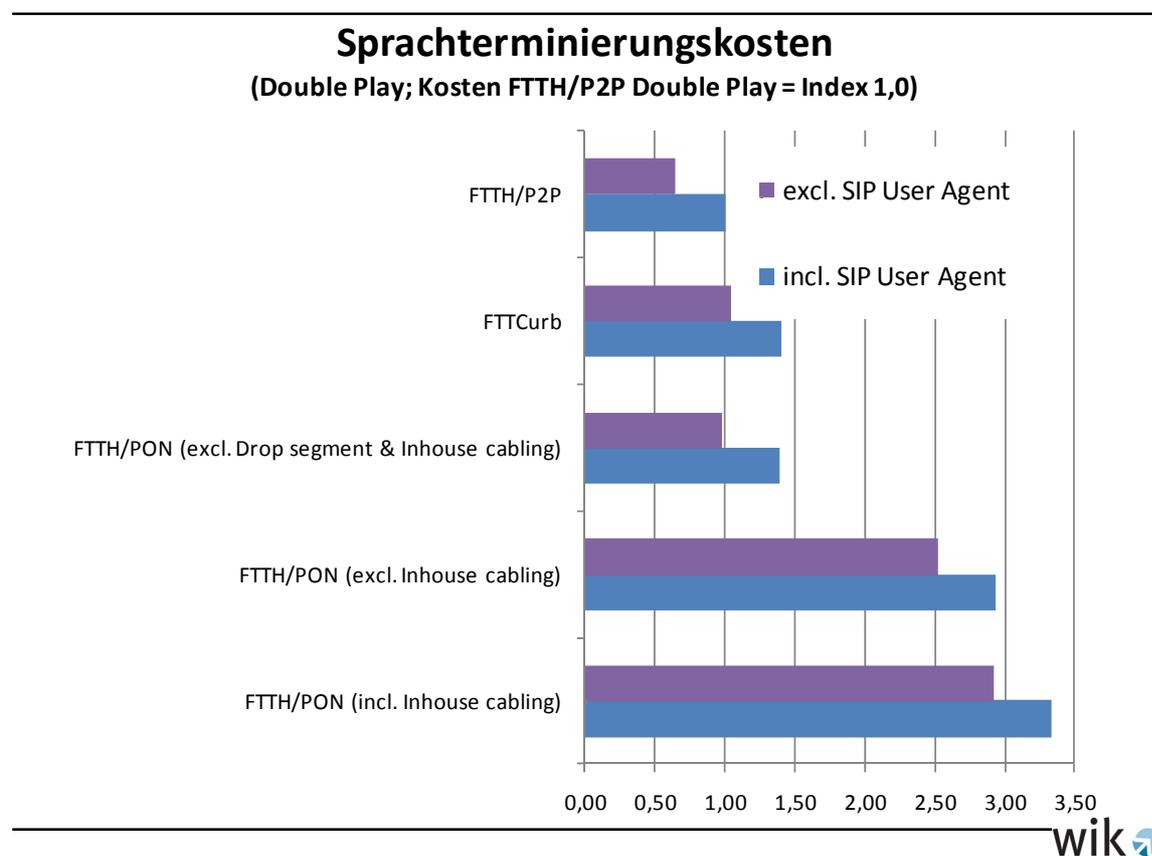
Entsprechend sinken die Kosten der Sprachterminierung mit sinkendem Anteil der Sprachtelefonie am Verkehrsvolumen. In der folgenden Abbildung lässt sich gut nachvollziehen, wie durch den sinkenden Anteil der Telefonie am Verkehrsvolumen besonders auch die hohen Kosten im Feeder und Drop Cable sukzessive zu Lasten der Datendienste gehen und die Kosten der Sprachterminierung auch für die FTTH/PON Varianten nah an den Referenzwert für FTTH/P2P heranrücken. Ein FTTC-Ausbau liegt in diesem Szenario schon sehr nah am Kostenindex einer Trennlinie am MPoP. Die blauen Balken für 65kbps durchschnittliche Datenbandbreite in der Busy Hour entsprechen denen aus Abbildung 3-5.

Abbildung 3-7: Terminierungskosten: Double Play, 65kbps vs. 250kbps Busy-Hour-Datenbandbreite, SIP User Agent anteilig in Kosten enthalten



Bislang ging der SIP User Agent im Endgerät des Kunden mit einem Anteil von 33% in die Gesamtkosten mit ein. Nun wird eine Vergleichsrechnung durchgeführt, in welcher der Anteil des Kundenmodems auf 0% gesetzt wurde (vgl. zu den Argumenten Kapitel 2.3). In der folgenden Abbildung 3-8 zeigt sich, dass dies zu einer spürbaren Reduzierung der Sprachterminierungskosten führt. Der SIP User Agent ist somit ein wichtiger Faktor für die Bestimmung der relevanten Kosten und übt, abhängig von der Höhe des angesetzten Wertes, einen wesentlichen Einfluss auf.

Abbildung 3-8: Terminierungskosten: Double Play, 65kbps Busy-Hour-Datenbandbreite, inkl. und exkl. SIP User Agent

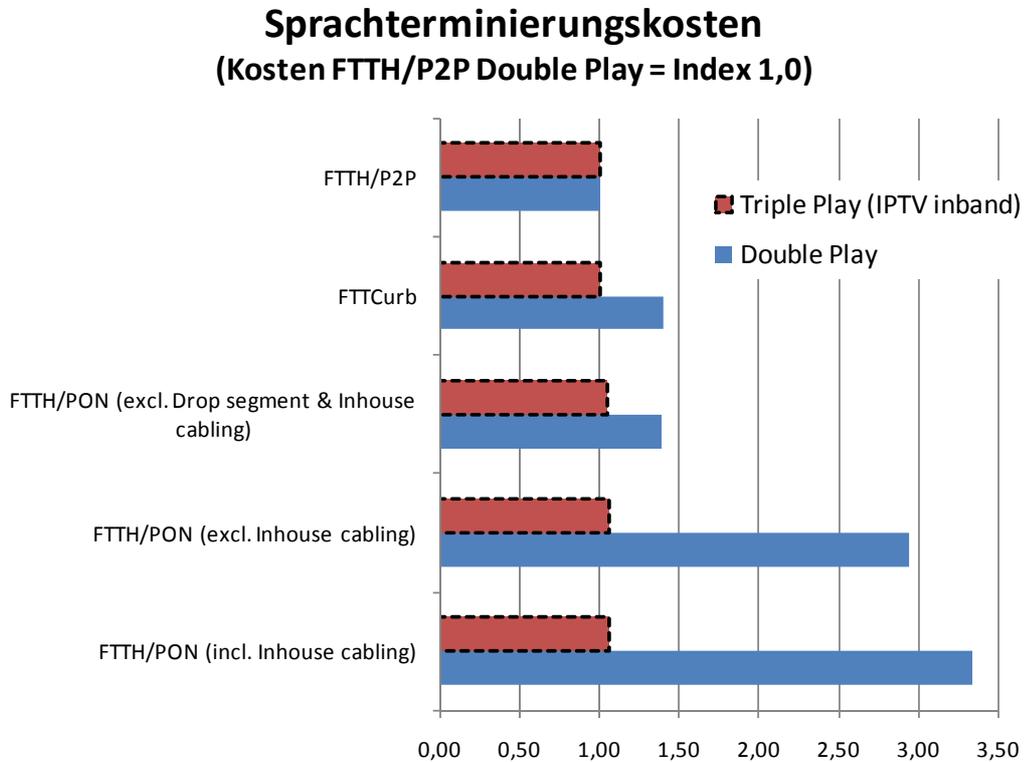


3.3 Analyse von Triple-Play-Szenarien

Ausgehend von der Referenzrechnung mit 65kbps Busy-Hour-Datenbandbreite (75kbps Daten & Sprache) inklusive 33% Endgerätekostenanteil für den SIP User Agent haben wir im Modell nun den IPTV-Multicast hinzugefügt. Dieser belastet wie in Abschnitt 3.1.3 beschrieben die Netzebenen unterschiedlichen stark. Schon ohne quantitative Analyse ist zu erwarten, dass mit der Berücksichtigung der Volumina von IPTV eine weitere deutliche Verkleinerung der Sprachverkehrsanteile und damit der Terminierungskosten zu erwarten ist. Im NGA entstehen durch die Einbeziehung von IPTV in den Datenstrom im Modell keine Zusatzkosten, da die verfügbare Kapazität (außer bei FTTC) groß genug ist, um die hier angenommene Zahl von Kanäle zu übertragen.

Dies bestätigt sich durch die Modellierung. Der Effekt ist mit der hier verwendeten Parametrisierung (siehe 3.1.3) noch einmal deutlich stärker als die Beispielrechnung mit 250kbps Busy-Hour-Datenbandbreite je Kunde. De facto wird durch IPTV nahezu eine Nivellierung der Sprachterminierungskosten auf dem Niveau einer Trennlinie am MPoP erreicht (Abbildung 3-9).

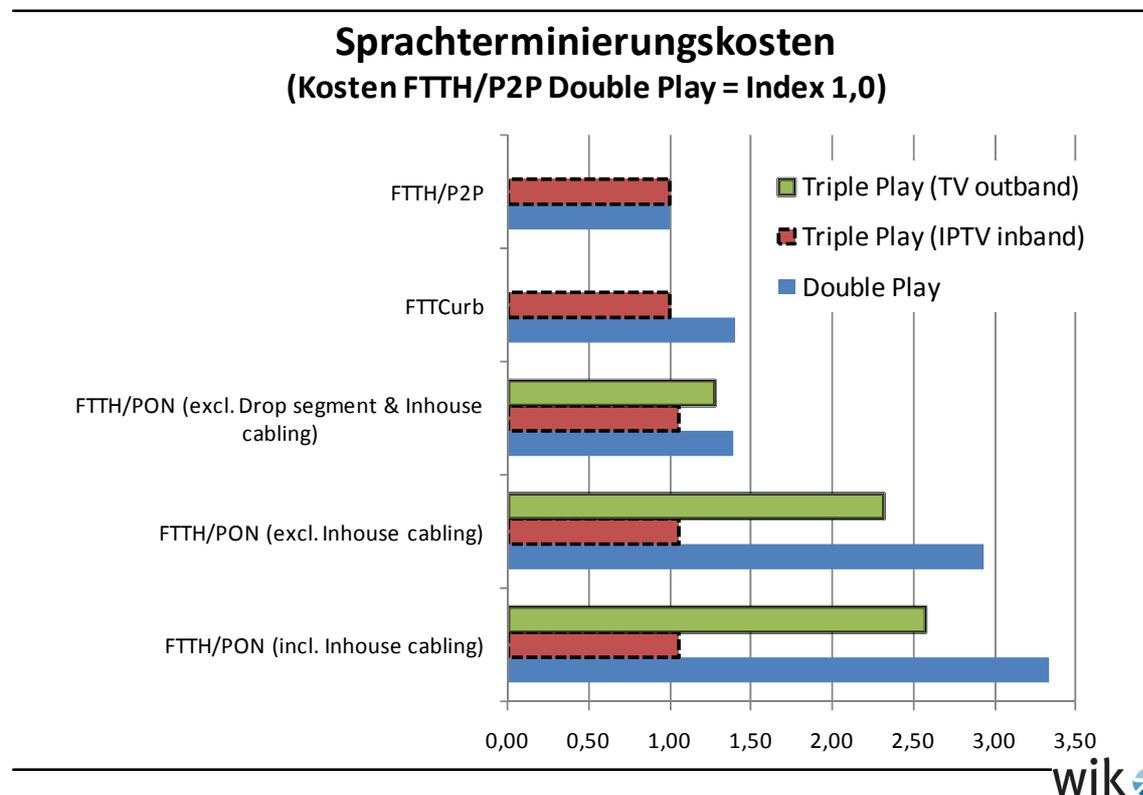
Abbildung 3-9: Terminierungskosten: Double Play vs. Triple Play, 65kbps Busy-Hour-Daten-Bandbreite, inkl. SIP User Agent



In Kapitel 3.1.4 wurde bereits gezeigt, dass manche Betreiber für die Übertragung des TV Signals eine separate Faser bzw. eine separate Wellenlänge (GPON) einsetzen, was besonders für die FTTB-Architektur Vorteile mit sich bringt. Im Modell haben wir nur für FTTH/PON eine Variante mit separater Wellenlänge für das TV Signal gerechnet, bei der dann 1/3 aller Kosten zwischen MPoP und Kunde dem TV-Dienst zugeschlagen wurden. Die verbleibenden 2/3 der Kosten wurden anschließend wie im Double-Play-Szenario zwischen Sprache und Daten gemäß des Verkehrsanteils aufgeteilt. Im Ergebnis liegen die Sprachterminierungskosten deutlich unter denen im Double Play Fall. Man erkennt im Gegensatz zum IPTV Fall mit Inband-Übertragung aber deutlich die zusätzlichen Kosten der investitionsintensiven Verlegung der Glasfaser bis zum Kunden, die nun nicht mehr durch das dominante TV-Volumen nivelliert werden (Abbildung 3-10).⁶⁴

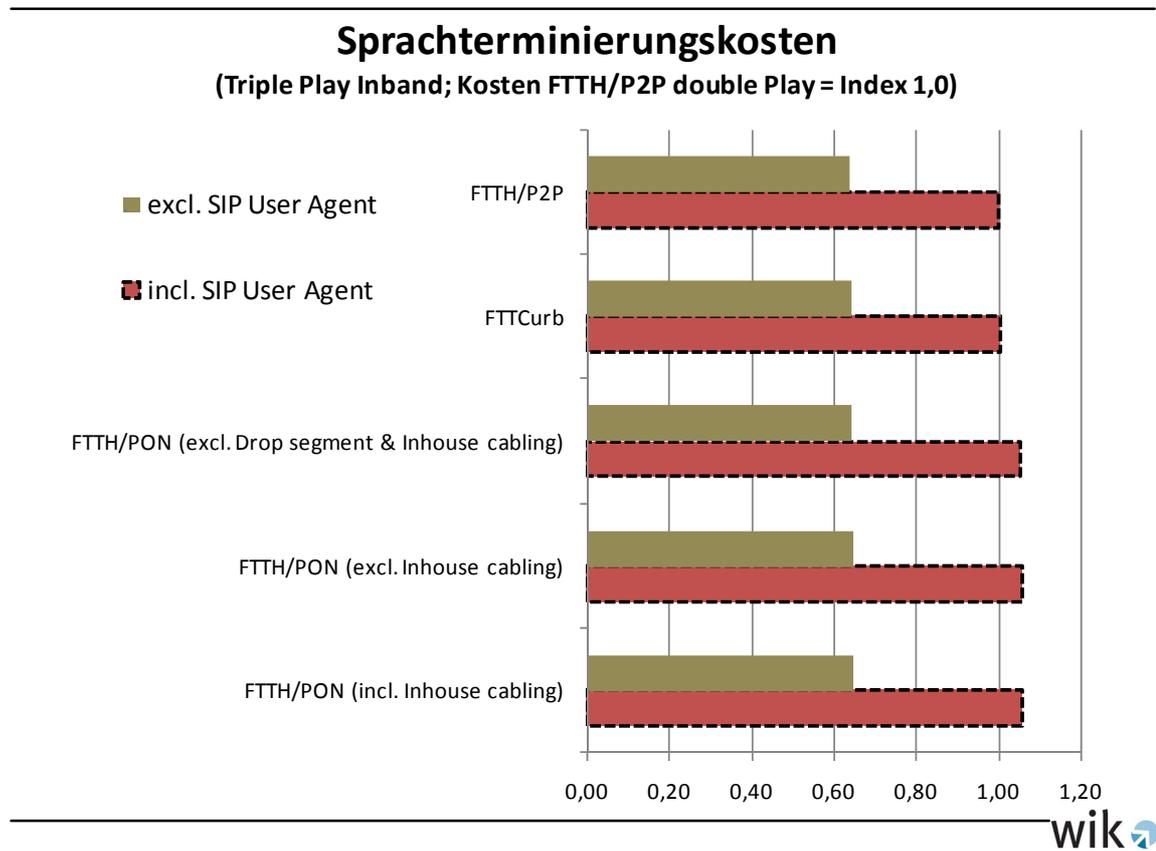
⁶⁴ Auch bei FTTH P2P kommen Multifaser Architekturen in der Praxis vor. Insbesondere dort, wo Greenfield aufgebaut wird, sind die Mehrkosten für zusätzliche Fasern verhältnismäßig gering. Für einen Vier-Faser Ausbau, wie er in der Schweiz angestrebt wird, werden die Mehrkosten mit weniger als 30% angegeben. Eine separate Faser je Wohnung hat bei FTTH P2P jedoch keine Auswirkung auf die Kosten der Terminierung, weil der dedizierte Abschnitt zwischen MPoP und Kunde nicht in die Kostenrechnung einfließt.

Abbildung 3-10: Terminierungskosten: Double Play vs. Triple Play Inband/Outband (65kbps Busy-Hour-Datenbandbreite, inkl. SIP User Agent)



Abschließend haben wir einen letzten Vergleich gerechnet, bei dem auch im IPTV-Inband-Fall der Kostenanteil des SIP User Agents auf 0% reduziert wurde. Dies stellt in der hier abgebildeten Modellwelt das Szenario dar, bei dem die Terminierungskosten am geringsten sind. Der Nivellierungseffekt wird noch weiter verstärkt und die Kosten der Sprachterminierung aller modellierten Varianten pendeln sich auf praktisch gleichem Niveau ein. Der rote Balken für Triple Play (IPTV Inband) entspricht dem aus Abbildung 3-10.

Abbildung 3-11: Terminierungskosten: Triple Play IPTV-Inband 65kbps Busy-Hour-Daten-Bandbreite, mit und ohne SIP User Agent



Diese Vergleichsrechnungen offenbaren vor allem zwei Dinge: Es gibt einerseits eine deutliche Heterogenität unter den NGA-Architekturen hinsichtlich der Terminierungskosten. Andererseits werden diese Unterschiede mit abnehmendem Anteil der Sprachtelefonie immer geringer.

4 Fazit

Es gibt eine Vielzahl von Varianten, in denen Anschlussnetze der nächsten Generation aufgebaut werden, weil die jeweiligen nationalen, regionalen und lokalen Gegebenheiten die ökonomisch optimale Architekturstrategie determinieren. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der pfadabhängigen Effizienz, weil die lokale Ausgangssituation für den ökonomisch effizienten Ausbaupfad mitbestimmend sein kann.

Legt man die bisherige Definition der Trennlinie zwischen kundendediziertem und gemeinsam genutztem Netz an, so ergeben sich dadurch viele unterschiedliche Endpunkte des „Verbindungsnetzes“. Die Bestimmung der Lage dieses „Demarcation Points“ ist dabei nicht eindeutig, wie die Diskussion um FTTH/PON zeigt, bei der es Argumente für eine Trennlinie am Distribution Point, am Gebäude oder gar in der Wohneinheit gibt. Der Demarcation Point könnte sich sogar in Abhängigkeit vom gewählten Verkehrsmanagement bzw. der QoS-Strategie verschieben und auch bei einer gegebenen FTTx-Architektur zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Insofern war zu erwarten, dass sich bei Übertragung der Trennlinienmethodologie auf das NGA auch eine heterogene Kostenlandschaft ergibt, die je nach Architektur entsprechend unterschiedliche Kosten der Terminierung hervorbringt. Dies ist grundsätzlich auch der Fall, wie die ersten Szenariorechnungen gezeigt haben, bei denen die Terminierungskosten umso größer sind, je weiter der Ausbau der Glasfaser an den Kunden getrieben wird (FTTC und FTTH/PON). Dem gegenüber waren sie im Falle von FTTH/P2P am geringsten, weil dort die dedizierte Anschlussleitung länger und das „Verbindungsnetz“ kürzer wird.

Nach der korrekten Bestimmung derjenigen Netzelemente, die für die Sprachterminierung zu berücksichtigen sind, ist die nächste kritische Frage die verursachungsgerechte Kostenallokation der verbleibenden Kosten auf den Sprachterminierungsdienst. Der Umgang mit Einzelpositionen wie dem SIP User Agent und der Umgang mit Outband-TV Architekturen sind dabei durchaus umstritten. Auch die Bestimmung der Verkehrsanteile selbst, welche die Kostenallokation determinieren, ist nicht trivial. Das Modell zeigt deutlich, wie mit zunehmender Bandbreite für andere Dienste (Daten, IPTV) - bei gleichbleibendem Telefonverhalten - die Kosten der Sprachterminierung zurückgehen. Dabei wirken besonders die großen Volumina von IPTV egalierend auf die Terminierungskosten unterschiedlicher NGA-Architekturen ein. Je nachdem welche Vorgehensweise angewandt wird, ergeben sich in einigen Szenarien sogar praktisch einheitliche Kosten der Sprachterminierung bei allen untersuchten NGA-Varianten auf dem Niveau einer Trennlinienziehung am MPoP. Über die Frage, welche der Vorgehensweisen nun die „richtige“ ist, wird sicher noch engagiert diskutiert werden. Die Tendenz hingegen ist eindeutig: Die Kosten der Terminierung im NGA sind nicht einheitlich, sondern von der Architektur abhängig. Diese Unterschiede werden aber mit zunehmender volumenmäßiger Beanspruchung durch andere Dienste immer kleiner und können u.U. völlig verschwinden.

Dieses Ergebnis erlaubt aber noch weitere Interpretation jenseits der Sphäre regulierter Entgelte: In der Kostenrechnung wurde gezeigt, wie der Großteil der Kosten des NGA anhand des Kostenträgers Bandbreite bzw. Volumen dem bandbreitenintensiven IPTV-Dienst zugerechnet wurde. Wenn man die aktuelle Penetration von IPTV betrachtet, sind die von uns gewählten 14% IPTV Kunden bereits zukunftsorientiert gewählt. Damit wird der Ausbau von NGA durch einen Dienst finanziert, der nur von einem Bruchteil der Kunden nachgefragt wird. Die Kosten der (übertragungstechnischen) Produktion von IPTV sind aufgrund des Multicast-Charakters nahezu unabhängig von der Zahl der tatsächlichen Nutzer und stellen quasi Fixkosten dar. Wird die Kostenallokation über die in unserem Modell angewandte Methodologie durchgeführt, so müssten die Netzbetreiber dringend anstreben, alle ihre Kunden als IPTV-Abonnenten zu gewinnen. Das könnte erklären, warum im französischen Breitbandwettbewerb jeder der großen Akteure in der Lage ist, ein Triple-Play Angebot zu einem Marktpreis von 30€ anzubieten. Nur mit einer breiten IPTV-Abonnentendecke liegen die Durchschnittskosten eines IPTV-Monatsabonnements überhaupt auf einem vermarktbareren Niveau. Würde man im Szenario mit „Inband“ IPTV die „Terminierungskosten von IPTV pro Kunde pro Monat“ ausrechnen, so ergäbe sich ein astronomisch hoher Preis, der am Markt niemals durchsetzbar wäre.

Sollten unter den gegebenen Rahmenbedingungen tatsächlich unterschiedliche Kosten für verschiedene NGA-Architekturen angesetzt und in Entgelte umgesetzt werden, dann stellt sich noch ein weiteres Problem: Diejenige Architektur mit der größten Zukunftssicherheit hinsichtlich Bandbreite (FTTH/P2P) gibt mit den niedrigsten Terminierungskosten – jenseits von allen anderen Abwägungen über Leistungsfähigkeit der Infrastruktur – die geringste Anreizwirkung für Investoren. (Alternative) Netzbetreiber könnten mit der Wahl von FTTB oder FTTH/PON zusätzliche Einnahmen zur Refinanzierung ihrer NGA-Investitionen anstreben. Somit würde die Regulierung der Terminierungsentgelte möglicherweise Anreize setzen, lieber in PON statt in P2P zu investieren. Das ist u.U. auf mittel-langfristige Sicht nicht erwünscht (Vorteile von P2P für Kapazität (nachträgliches Aufrüsten von PON auf P2P) und Entbündelbarkeit).

Das aktuelle WIK-NGA-Modell setzt für die Kostenrechnung in Kern- und Aggregationsnetz pauschalierte Kosten an. In einem aktuellen Projekt entwickelt das WIK ein detailliertes Bottom-Up-NGN-Modell, das auch die Skaleneffekte der Produktion im Kern- und Aggregationsnetz berücksichtigt. Streng genommen sind die Ergebnisse der Terminierungskostenrechnung daher umso ungenauer, je größer der Anteil von Kern- und Aggregationsnetz an den Gesamtkosten wird. Bei Trennlinienziehung am MPoP für FTTH/P2P, was von uns als Referenzindex gewählt wurde, ist dies aber genau der Fall. Dort sind praktisch ausschließlich die in diesem Modell nur pauschaliert abgebildeten Kosten relevant. Mit anderen Worten: Je näher die Balken in den Diagrammen in Kapitel 3 an den Index 1 heranreichen, umso ungenauer ist die Aussage für die absolute Höhe der Kosten. Wir werden dies mit dem in Entwicklung befindlichen neuen Kostenrechnungsmodul wesentlich präziser abschätzen können.

Gleichwohl: Die in dieser Studie ermittelten Tendenzaussagen werden dadurch nicht entwertet, schließlich stellen wir – bei gleichem Aggregations- und Kernnetz - auf die Unterschiede zwischen den NGA-Architekturen ab. Im Gegenteil glauben wir, dass wir hiermit einen Diskussionsbeitrag leisten können, der zum ersten Mal die in der Terminierungsentgelttempfehlung der EU-Kommission aufgeworfenen Probleme quantitativ thematisiert und so überhaupt erst eine adäquate Grundlage für die Bewertung des Umgangs mit den Kosten der Terminierung in NGA-Infrastrukturen erlaubt.

Für die Bestimmung der Terminierungsentgelte in NGA Architekturen ergeben sich noch eine Vielzahl offener Fragen für zukünftige Untersuchungen:

So bleibt derzeit offen, inwieweit sich aus der Vielzahl möglicher NGA Architekturen auch unter Berücksichtigung der Pfadabhängigkeit einige wenige Architekturen als effizient herauschälen, die dann für die Bestimmung der Kosten effizienter Leistungsbe-
reitstellung herangezogen werden können. Die Frage der Effizienz ist letztlich auch unter dem Aspekt zu beleuchten, welche zukünftigen Bandbreiten je Endkunde und welche Qualitätsanforderungen berücksichtigt werden müssen.

Wir haben in dieser Studie ausschließlich den Aspekt der Bestimmung von Terminierungsentgelten betrachtet. Der andere, kundenedizierte Teil des Anschlussnetzes wurde hier nicht untersucht. Insbesondere wurden auch Fragestellungen zur Entzunderung von Vorleistungen bei den verschiedenen NGA Architekturen nur am Rande gestreift. Bei der Mischung unterschiedlicher Zugangsarchitekturen (z.B. bei Multifibre Installationen) mag es zukünftig vorkommen, dass entbündelte Vorleistungen bis hin zum MPoP an Wholesale Kunden verkauft werden, während andererseits aber FTTB mit Demarcation Point im Keller der Kundengebäude implementiert wird. Es kann daher in Zukunft sinnvoll sein, auf der einen Seite Teile des Anschlussnetzes mit in die Terminierungsentgeltbestimmung einzubeziehen, andererseits aber andere Teile derselben Infrastruktur entbündelt veräußerbar zu gestalten. TAL und Vermittlungsnetz stoßen dann nicht mehr am HVT oder am KVZ aufeinander, sondern überlappen sich, wie dies ansatzweise auch schon bei der FTTC Architektur erkennbar wird, wo Leerrohre und Dark Fibre zwischen KVZ und HVT entbündelt verkauft werden können und dann ansatzmäßig aus den Terminierungsentgelten herauszurechnen sind.

Offen ist derzeit auch die Diskussion, inwieweit wir zukünftig auf Netzarchitektur individuelle Terminierungsentgelte hinauslaufen werden, oder ob es einen Netzbetreiber individuellen Mix der Anschlussarchitekturen oder andere Mischkalkulationen als Grundlage der Berechnung geben wird. Zu bedenken bleibt dabei, dass Netzarchitektur individuelle Entgelte ausgeprägte unterstützend steuernde Effekte für den angestrebten und volkswirtschaftlich gewollten Breitbandausbau haben – allerdings nicht für alle Architekturen gleichermaßen.

Literaturverzeichnis

- Anell, P. / Zoz, K. (2008): Die Auswirkungen der Festnetzmobilfunksubstitution auf die Kosten des leitungsvermittelten Festnetzes. WIK Diskussionsbeitrag 304, Bad Honnef, http://www.wik.org/content/diskus/diskus_304.pdf.
- Elixmann, D. / Ilic, D. / Neumann, K.-H. / Plückebaum, T. (2008): The Economics of Next Generation Access. Study for the ECTA, Bad Honnef, http://www.wik.org/content_e/ecta/ECTA%20NGA_masterfile_2008_09_15_V1.pdf.
- ERG (2008a): ERG's Common Position on symmetry of fixed call termination rates and symmetry of mobile call termination rates, http://www.erg.eu.int/doc/publications/erg_07_83_mtr_ftr_cp_12_03_08.pdf.
- ERG (2008b): Regulatory Accounting in Practice, http://www.erg.eu.int/doc/publications/erg_08_47_final_ra_in_practice_081016.pdf.
- ERG (2009a): Draft Common Position on Next Generation Networks Future Charging Mechanisms / Long Term Termination Issues, http://erg.ec.europa.eu/doc/publications/2009/erg_09_34_draft_cp_ngn_future_charging_mechanisms_final.pdf.
- ERG (2009b): Report on Next Generation Access - Economic and Regulatory Principles, http://www.erg.eu.int/doc/publications/erg_09_17_nga_economic_analysis_regulatory_principles_report_090603_v1.pdf.
- Europäische Kommission (1998): Empfehlung der Kommission zur Zusammenschaltung in einem liberalisierten Telekommunikationsmarkt. Teil 2 - Getrennte Buchführung und Kostenrechnung, http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomms/doc/library/recomm_guidelines/intconnection_recommendation/c98160de.doc
- Europäische Kommission (2008): Draft Commission Recommendation on the Regulatory Treatment of Fixed and Mobile Termination Rates in the EU, Brüssel, http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomms/doc/library/public_consult/termination_rates/termination.pdf.
- Europäische Kommission (2009a): Commission Recommendation of 7.5.2009 on the Regulatory Treatment of Fixed and Mobile Termination Rates in the EU, Brüssel, http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomms/doc/implementation_enforcement/article_7/recom_term_rates_en.pdf.
- Europäische Kommission (2009b): Draft Commission Recommendation on regulated access to Next Generation Access Networks (NGA) - 2nd public consultation, Brussels, http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomms/doc/library/public_consult/nga_2/090611_nga_recommendation_spc.pdf.
- Europäische Kommission (2009c): Recommendation on the Regulatory Treatment of Fixed and Mobile Termination Rates in the EU - EXPLANATORY NOTE, Brussels, http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomms/doc/library/public_consult/termination_rates/explanatory.pdf.
- Evans, J. / Filsfils, C. (2007): Deploying IP and MPLS QoS for Multiservice Networks. San Francisco, Elsevier.

- Fischer, W. (2009): FTTH Technology Considerations. WIK Conference "Challenges for FTTB/H in Europe", Berlin.
- idate (2006): Etude sur le développement du très haut débit en France, Montpellier, http://www.telecom.gouv.fr/fonds_documentaire/rapports/rap_thd.pdf.
- Jay, S. / Plückebaum, T. (2008): Strategien zur Realisierung von Quality of Service in IP-Netzen. WIK-Diskussionsbeitrag 315, Bad Honnef, http://www.wik.org/content/diskus/Diskus_315.pdf.
- Jay, S. / Plückebaum, T. / Ilic, D. (2009): Optionen des Netzzugangs bei Next Generation Access. Diskussionsbeitrag 332, Bad Honnef, http://wik.org/content/diskus/diskus_332.pdf.
- Marcus, S. / Elixmann, D. / Carter, K. R. / Bradner, S. / Hackbarth, K. / Jullien, B. / Kulenkampff, G. / Neumann, K.-H. / Portilla, A. / Rey, P. / Vogelsang, I. (2008): The Future of IP Interconnection: Technical, Economic, and Public Policy Aspects. Study for the European Commission, Bad Honnef, http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomms/doc/library/ext_studies/future_ip_intercon/ip_intercon_study_final.pdf.
- Neu, W. / Kulenkampff, G. (2009): Long-Run Incremental Cost und Preissetzung im TK-Bereich - unter besonderer Berücksichtigung des technischen Wandels. WIK Diskussionsbeitrag Nr. 323, Bad Honnef, http://www.wik.org/content/diskus/diskus_323.pdf.
- Nölle, J. (2005): Voice over IP: Grundlagen, Protokolle, Migration. Berlin, VDE-Verlag.
- RegTP (2000): Beschluss BK 4a-00-018.
- Rendon, J. / Plückebaum, T. / Jay, S. (2009): LRIC Cost Approaches for differentiated QoS in broadband networks. WIK Diskussionsbeitrag, Bad Honnef.
- Unbekannter Autor (2008): Neue Glasfasernetze sollen frei zugänglich sein. Frankfurter Allgemeine Zeitung. Frankfurt.
- WIK (2002): Analytisches Kostenmodell Nationales Verbindungsnetz - Referenzdokument 2.1.1, Bad Honnef.
- Wulf, A. H. (2009): Challenges for Fibre-based Telecom Networks in Europe. WIK Conference "Challenges for FTTB/H in Europe", Berlin.

Als "Diskussionsbeiträge" des Wissenschaftlichen Instituts für Infrastruktur und Kommunikationsdienste sind zuletzt erschienen:

- Nr. 257: Christin-Isabel Gries:
Entwicklung der DSL-Märkte im internationalen Vergleich, Oktober 2004
- Nr. 258: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Diana Rätz:
Alternative Streitbeilegung in der aktuellen EMVU-Debatte, November 2004
- Nr. 259: Daniel Schäffner:
Regulierungsökonomische Aspekte des informatorischen Unbundling im Energiebereich, Dezember 2004
- Nr. 260: Sonja Schölermann:
Das Produktangebot von Universaldienstleistern und deren Vergleichbarkeit, Dezember 2004
- Nr. 261: Franz Büllingen, Aurélie Gillet, Christin-Isabel Gries, Annette Hillebrand, Peter Stamm:
Stand und Perspektiven der Vorratsdatenspeicherung im internationalen Vergleich, Februar 2005
- Nr. 262: Oliver Franz, Marcus Stronzik:
Benchmarking-Ansätze zum Vergleich der Effizienz von Energieunternehmen, Februar 2005
- Nr. 263: Andreas Hense:
Gasmarktregulierung in Europa: Ansätze, Erfahrungen und mögliche Implikationen für das deutsche Regulierungsmodell, März 2005
- Nr. 264: Franz Büllingen, Diana Rätz:
VoIP – Marktentwicklungen und regulatorische Herausforderungen, Mai 2005
- Nr. 265: Ralf G. Schäfer, Andrej Schöbel:
Stand der Backbone-Infrastruktur in Deutschland – Eine Markt- und Wettbewerbsanalyse, Juli 2005
- Nr. 266: Annette Hillebrand, Alexander Kohlstedt, Sonia Strube Martins:
Selbstregulierung bei Standardisierungsprozessen am Beispiel von Mobile Number Portability, Juli 2005
- Nr. 267: Oliver Franz, Daniel Schäffner, Bastian Trage:
Grundformen der Entgeltregulierung: Vor- und Nachteile von Price-Cap, Revenue-Cap und hybriden Ansätzen, August 2005
- Nr. 268: Andreas Hense, Marcus Stronzik:
Produktivitätsentwicklung der deutschen Strom- und Gasnetzbetreiber – Untersuchungsmethodik und empirische Ergebnisse, September 2005
- Nr. 269: Ingo Vogelsang:
Resale und konsistente Entgeltregulierung, Oktober 2005
- Nr. 270: Nicole Angenendt, Daniel Schäffner:
Regulierungsökonomische Aspekte des Unbundling bei Versorgungsunternehmen unter besonderer Berücksichtigung von Pacht- und Dienstleistungsmodellen, November 2005
- Nr. 271: Sonja Schölermann:
Vertikale Integration bei Postnetzbetreibern – Geschäftsstrategien und Wettbewerbsrisiken, Dezember 2005
- Nr. 272: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm:
Transaktionskosten der Nutzung des Internet durch Missbrauch (Spamming) und Regulierungsmöglichkeiten, Januar 2006
- Nr. 273: Gernot Müller, Daniel Schäffner, Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Indikatoren zur Messung von Qualität und Zuverlässigkeit in Strom- und Gasversorgungsnetzen, April 2006
- Nr. 274: J. Scott Marcus:
Interconnection in an NGN Environment, Mai 2006
- Nr. 275: Ralf G. Schäfer, Andrej Schöbel:
Incumbents und ihre Preisstrategien im Telefondienst – ein internationaler Vergleich, Juni 2006
- Nr. 276: Alex Kalevi Dieke, Sonja Schölermann:
Wettbewerbspolitische Bedeutung des Postleitzahlensystems, Juni 2006

- Nr. 277: Marcus Stronzik, Oliver Franz:
Berechnungen zum generellen X-Faktor für deutsche Strom- und Gasnetze: Produktivitäts- und Inputpreisdifferential, Juli 2006
- Nr. 278: Alexander Kohlstedt:
Neuere Theoriebeiträge zur Netzökonomie: Zweiseitige Märkte und On-net/Off-net-Tariffdifferenzierung, August 2006
- Nr. 279: Gernot Müller:
Zur Ökonomie von Trassenpreissystemen, August 2006
- Nr. 280: Franz Büllingen, Peter Stamm in Kooperation mit Prof. Dr.-Ing. Peter Vary, Helge E. Lüders und Marc Werner (RWTH Aachen):
Potenziale alternativer Techniken zur bedarfsgerechten Versorgung mit Breitbandzugängen, September 2006
- Nr. 281: Michael Brinkmann, Dragan Ilic:
Technische und ökonomische Aspekte des VDSL-Ausbaus, Glasfaser als Alternative auf der (vor-) letzten Meile, Oktober 2006
- Nr. 282: Franz Büllingen:
Mobile Enterprise-Solutions — Stand und Perspektiven mobiler Kommunikationslösungen in kleinen und mittleren Unternehmen, November 2006
- Nr. 283: Franz Büllingen, Peter Stamm:
Triple Play im Mobilfunk: Mobiles Fernsehen über konvergente Hybridnetze, Dezember 2006
- Nr. 284: Mark Oelmann, Sonja Schölermann:
Die Anwendbarkeit von Vergleichsmarktanalysen bei Regulierungsentscheidungen im Postsektor, Dezember 2006
- Nr. 285: Iris Bösch:
VoIP im Privatkundenmarkt – Marktstrukturen und Geschäftsmodelle, Dezember 2006
- Nr. 286: Franz Büllingen, Christin-Isabel Gries, Peter Stamm:
Stand und Perspektiven der Telekommunikationsnutzung in den Breitbandkabelnetzen, Januar 2007
- Nr. 287: Konrad Zoz:
Modellgestützte Evaluierung von Geschäftsmodellen alternativer Teilnehmernetzbetreiber in Deutschland, Januar 2007
- Nr. 288: Wolfgang Kiesewetter:
Marktanalyse und Abhilfemaßnahmen nach dem EU-Regulierungsrahmen im Ländervergleich, Februar 2007
- Nr. 289: Dieter Elixmann, Ralf G. Schäfer, Andrej Schöbel:
Internationaler Vergleich der Sektorperformance in der Telekommunikation und ihrer Bestimmungsgründe, Februar 2007
- Nr. 290: Ulrich Stumpf:
Regulatory Approach to Fixed-Mobile Substitution, Bundling and Integration, März 2007
- Nr. 291: Mark Oelmann:
Regulatorische Marktzutrittsbedingungen und ihre Auswirkungen auf den Wettbewerb: Erfahrungen aus ausgewählten Briefmärkten Europas, März 2007
- Nr. 292: Patrick Anell, Dieter Elixmann:
"Triple Play"-Angebote von Festnetzbetreibern: Implikationen für Unternehmensstrategien, Wettbewerb(s)politik und Regulierung, März 2007
- Nr. 293: Daniel Schäffner:
Bestimmung des Ausgangsniveaus der Kosten und des kalkulatorischen Eigenkapitalzinssatzes für eine Anreizregulierung des Energiesektors, April 2007
- Nr. 294: Alex Kalevi Dieke, Sonja Schölermann:
Ex-ante-Preisregulierung nach vollständiger Marktöffnung der Briefmärkte, April 2007
- Nr. 295: Alex Kalevi Dieke, Martin Zauner:
Arbeitsbedingungen im Briefmarkt, Mai 2007
- Nr. 296: Antonia Niederprüm:
Geschäftsstrategien von Postunternehmen in Europa, Juli 2007

- Nr. 297: Nicole Angenendt, Gernot Müller, Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Stromerzeugung und Stromvertrieb – eine wettbewerbsökonomische Analyse, August 2007
- Nr. 298: Christian Growitsch, Matthias Wissner:
Die Liberalisierung des Zähl- und Messwesens, September 2007
- Nr. 299: Stephan Jay:
Bedeutung von Bitstrom in europäischen Breitbandvorleistungsmärkten, September 2007
- Nr. 300: Christian Growitsch, Gernot Müller, Margarethe Rammerstorfer, Prof. Dr. Christoph Weber (Lehrstuhl für Energiewirtschaft, Universität Duisburg-Essen):
Determinanten der Preisentwicklung auf dem deutschen Minutenreservemarkt, Oktober 2007
- Nr. 301: Gernot Müller:
Zur kostenbasierten Regulierung von Eisenbahninfrastrukturentgelten – Eine ökonomische Analyse von Kostenkonzepten und Kostentreibern, Dezember 2007
- Nr. 302: Patrick Anell, Stephan Jay, Thomas Plückerbaum:
Nachfrage nach Internetdiensten – Diensteararten, Verkehrseigenschaften und Quality of Service, Dezember 2007
- Nr. 303: Christian Growitsch, Margarethe Rammerstorfer:
Zur wettbewerblichen Wirkung des Zweivertragsmodells im deutschen Gasmarkt, Februar 2008
- Nr. 304: Patrick Anell, Konrad Zoz:
Die Auswirkungen der Festnetzmobilfunksubstitution auf die Kosten des leitungsvermittelten Festnetzes, Februar 2008
- Nr. 305: Marcus Stronzik, Margarethe Rammerstorfer, Anne Neumann:
Wettbewerb im Markt für Erdgasspeicher, März 2008
- Nr. 306: Martin Zauner:
Wettbewerbspolitische Beurteilung von Rabattsystemen im Postmarkt, März 2008
- Nr. 307: Franz Büllingen, Christin-Isabel Gries, Peter Stamm:
Geschäftsmodelle und aktuelle Entwicklungen im Markt für Broadband Wireless Access-Dienste, März 2008
- Nr. 308: Christian Growitsch, Gernot Müller, Marcus Stronzik:
Ownership Unbundling in der Gaswirtschaft – Theoretische Grundlagen und empirische Evidenz, Mai 2008
- Nr. 309: Matthias Wissner:
Messung und Bewertung von Versorgungsqualität, Mai 2008
- Nr. 310: Patrick Anell, Stephan Jay, Thomas Plückerbaum:
Netzzugang im NGN-Core, August 2008
- Nr. 311: Martin Zauner, Alex Kalevi Dieke, Torsten Marner, Antonia Niederprüm:
Ausschreibung von Post-Universaldiensten. Ausschreibungsgegenstände, Ausschreibungsverfahren und begleitender Regulierungsbedarf, September 2008
- Nr. 312: Patrick Anell, Dieter Elixmann:
Die Zukunft der Festnetzbetreiber, Dezember 2008
- Nr. 313: Patrick Anell, Dieter Elixmann, Ralf Schäfer:
Marktstruktur und Wettbewerb im deutschen Festnetz-Markt: Stand und Entwicklungstendenzen, Dezember 2008
- Nr. 314: Kenneth R. Carter, J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Network Neutrality: Implications for Europe, Dezember 2008
- Nr. 315: Stephan Jay, Thomas Plückerbaum:
Strategien zur Realisierung von Quality of Service in IP-Netzen, Dezember 2008
- Nr. 316: Juan Rendon, Thomas Plückerbaum, Iris Böschen, Gabriele Kulenkampff:
Relevant cost elements of VoIP networks, Dezember 2008

- Nr. 317: Nicole Angenendt, Christian Growitsch, Rabindra Nepa, Christine Müller:
Effizienz und Stabilität des Stromgroßhandelsmarktes in Deutschland – Analyse und wirtschaftspolitische Implikationen, Dezember 2008
- Nr. 318: Gernot Müller:
Produktivitäts- und Effizienzmessung im Eisenbahninfrastruktursektor – Methodische Grundlagen und Schätzung des Produktivitätsfortschritts für den deutschen Markt, Januar 2009
- Nr. 319: Sonja Schölermann:
Kundenschutz und Betreiber Auflagen im liberalisierten Briefmarkt, März 2009
- Nr. 320: Matthias Wissner:
IKT, Wachstum und Produktivität in der Energiewirtschaft - Auf dem Weg zum Smart Grid, Mai 2009
- Nr. 321: Matthias Wissner:
Smart Metering, Juli 2009
- Nr. 322: Christian Wernick unter Mitarbeit von Dieter Elixmann:
Unternehmensperformance führender TK-Anbieter in Europa, August 2009
- Nr. 323: Werner Neu, Gabriele Kulenkampff:
Long-Run Incremental Cost und Preissetzung im TK-Bereich - unter besonderer Berücksichtigung des technischen Wandels, August 2009
- Nr. 324: Gabriele Kulenkampff:
IP-Interconnection – Vorleistungsdefinition im Spannungsfeld zwischen PSTN, Internet und NGN, November 2009
- Nr. 325: Juan Rendon, Thomas Plückebaum, Stephan Jay:
LRIC cost approaches for differentiated QoS in broadband networks, November 2009
- Nr. 326: Kenneth R. Carter
with contributions of Christian Wernick, Ralf Schäfer, J. Scott Marcus:
Next Generation Spectrum Regulation for Europe: Price-Guided Radio Policy, November 2009
- Nr. 327: Gernot Müller:
Ableitung eines Inputpreisindex für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor, November 2009
- Nr. 328: Anne Stetter, Sonia Strube Martins:
Der Markt für IPTV: Dienstverfügbarkeit, Marktstruktur, Zugangsfragen, Dezember 2009
- Nr. 329: J. Scott Marcus, Lorenz Nett, Ulrich Stumpf, Christian Wernick:
Wettbewerbliche Implikationen der On-net/Off-net Preisdifferenzierung, Dezember 2009
- Nr. 330: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann, Stephan Jay:
"Breitband/Bandbreite für alle": Kosten und Finanzierung einer nationalen Infrastruktur, Dezember 2009
- Nr. 331: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Antonia Niederprüm, Martin Zauner:
Preisstrategien von Incumbents und Wettbewerbern im Briefmarkt, Dezember 2009
- Nr. 332: Stephan Jay, Dragan Ilic, Thomas Plückebaum:
Optionen des Netzzugangs bei Next Generation Access, Dezember 2009
- Nr. 333: Christian Growitsch, Marcus Stronzik, Rabindra Nepal:
Integration des deutschen Gasgroßhandelsmarktes, Februar 2010
- Nr. 334: Ulrich Stumpf:
Die Abgrenzung subnationaler Märkte als regulatorischer Ansatz, März 2010
- Nr. 335: Stephan Jay, Thomas Plückebaum, Dragan Ilic:
Der Einfluss von Next Generation Access auf die Kosten der Sprachterminierung, März 2010

ISSN 1865-8997