

Brinkmann, Michael; Ilic, Dragan

Working Paper

Technische und ökonomische Aspekte des VDSL-Ausbaus: Glasfaser als Alternative auf der (vor-) letzten Meile

WIK Diskussionsbeitrag, No. 281

Provided in Cooperation with:

WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH, Bad Honnef

Suggested Citation: Brinkmann, Michael; Ilic, Dragan (2006) : Technische und ökonomische Aspekte des VDSL-Ausbaus: Glasfaser als Alternative auf der (vor-) letzten Meile, WIK Diskussionsbeitrag, No. 281, WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste, Bad Honnef

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/226895>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Technische und ökonomische Aspekte des VDSL-Ausbaus

**Glasfaser als Alternative
auf der (vor-) letzten Meile**

**Michael Brinkmann
Dragan Ilic
Nr. 281**

Oktober 2006

**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	III
Tabellenverzeichnis	III
Zusammenfassung	V
Summary	VI
1 Einleitung	1
2 Varianten des Glasfasereinsatzes im Teilnehmeranschlussnetz	2
2.1 Die klassische kupferbasierte Teilnehmeranschlussleitung	2
2.2 Glasfaser im Teilnehmeranschlussnetz	10
2.2.1 Optische Netze	10
2.2.2 Die hybride Kupfer-Glasfaser Teilnehmeranschlussleitung	15
2.3 Die Glasfaserverlegung im Rahmen des VDSL-Ausbaus	17
3 Die Kosten der Glasfaser im Teilnehmeranschlussnetz	22
3.1 Ausgangspunkt	22
3.2 Wirtschaftlichkeitsüberlegungen mit Blick auf VDSL	23
3.2.1 Kostenstandard	23
3.2.2 Berücksichtigte Investitions- und Kostenkomponenten	25
3.2.3 Szenarien mit Blick auf die Verlegekosten	25
3.2.4 Abschätzung der Investitionskosten	27
3.2.4.1 Glasfaserkabel und Installation / Tiefbau	27
3.2.4.2 Kabelverzweiger, Outdoor-DSLAM und Splitter	28
3.2.4.3 Verzweigerkabel	30
3.2.4.4 Ausrüstungen und Anlagen für den Bereich Netzwerkunterstützung	30
3.2.4.5 VDSL-Splitter und Modems	30
3.2.4.6 Betriebskosten	31
3.2.4.7 Retailkosten	31
3.2.4.8 Gemeinkosten	32
3.2.5 Ableitung der relevanten Erlöskomponente und Bestimmung der „kritischen“ Teilnehmerzahl	32
3.3 Interpretation und Einordnung der Ergebnisse	35
3.4 Alternativrechnungen	37

4	Ausblick und Regulatorische Aspekte	42
4.1	VDSL als neuer Regelanschluss im All-IP NGN?	42
4.2	Zugangsfragen im Anschlussnetz stellen sich neu	44
4.3	Kurz- und mittelfristige Aspekte	45
5	Ergebniszusammenfassung und Fazit	47
	Literaturverzeichnis	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematischer Aufbau eines kupferbasierten Teilnehmeranschlussnetzes	2
Abbildung 2:	Entwicklung breitbandiger Anschlüsse in Deutschland	7
Abbildung 3:	Abhängigkeit der Bitrate von der Länge der Kupferstrecke	9
Abbildung 4:	Point to Point Architektur eines Glasfasernetzes (Stern-Struktur)	12
Abbildung 5:	Point to Multipoint Architektur eines auf Glasfaser basierenden Netzes	13
Abbildung 6:	Schematischer Aufbau eines hybriden Teilnehmeranschlussnetzes auf Basis von Kupferkabeln und Glasfaser	18
Abbildung 7:	Verlauf der Durchschnittskosten des VDSL-Ausbaus	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusätzliche Netzelemente für ADSL/ADSL 2+ und VDSL	20
Tabelle 2:	Kostenkomponenten im Zusammenhang mit VDSL	25
Tabelle 3:	Parameter zur Ermittlung der Investitionskosten der Glasfaserverlegung	28
Tabelle 4:	Parameter zur Bestimmung der Investitionskosten für KVz-Umbauten, Outdoor-DSLAM, Splitter (netzseitig) und Line Cards	29
Tabelle 5:	Parameter zur Berechnung der indirekten Investitionen sowie die für diese Kategorien angesetzten Parameter zur Kapitalrückgewinnung	30
Tabelle 6:	Zuschlag für operative Kosten	31
Tabelle 7:	Retailkosten	32
Tabelle 8:	Gemeinkostenzuschlag	32
Tabelle 9:	Geschätzte monatliche Gesamtkosten des VDSL-Ausbaus und Break-Even-Penetration	35
Tabelle 10:	Ergebnisse bei reduziertem Invest für Umbaumaßnahmen, DSLAM, KVz und Splitter	37
Tabelle 11:	Ergebnisse bei veränderter Preisveränderungsrate	38
Tabelle 12:	Ergebnisse bei Berücksichtigung der Kosten für die KVz-TAL	39
Tabelle 13:	Ergebnisse bei einem Referenzpreis von 25 Euro	40
Tabelle 14:	Ausblick: Roll-Out auf weitere 40 Städte	40

Zusammenfassung

Zu einer der relevantesten Entwicklungen im deutschen Telekommunikationsmarkt gehört gegenwärtig der Ausbau des Teilnehmeranschlusssnetzes mit Glasfaser und die damit verbundene Einführung der Übertragungstechnik VDSL. Die Deutsche Telekom verlegt zur Zeit in 10 und später in 40 weiteren deutschen Großstädten Glasfaser im Teilnehmeranschlussbereich, um auf dieser Basis VDSL einzuführen und Triple Play-Dienste anzubieten.

Neben der „klassischen“ auf Kupfer basierenden Teilnehmeranschlussleitung findet mit dem Glasfaserausbau ein alternatives Übertragungsmedium Einzug in das Anschlussnetz. Die vorliegende Arbeit diskutiert die mit dem VDSL-Ausbau verbundenen strukturellen Veränderungen im Bereich der Teilnehmeranschlussleitung und stellt die betroffenen Netzelemente im Einzelnen näher dar.

Es erfolgt außerdem eine Abschätzung der Kosten, die durch den VDSL-Ausbau getrieben sind. Vor dem Hintergrund der jüngst konkretisierten (tariflichen) Ausgestaltung des Triple Play-Produktes versucht die Arbeit eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des VDSL-Ausbaus durchzuführen. Der Fokus richtet sich hierbei insbesondere auf die Frage, welche kritische Menge an VDSL-Anschlüssen realisiert werden muss, damit die gesamten Kosten des Ausbaus gerade gedeckt werden und das gewählte Geschäftsmodell stabil sein kann.

Die Ergebnisse der Berechnungen werfen die Frage auf, ob VDSL nicht der neue „Regelanschluss“ wird und es mittelfristig nicht die dominante Strategie für den Netzbetreiber ist, eine Migration sämtlicher Produkte und Dienste im Teilnehmeranschlusnetz hin zu VDSL zu forcieren. Nicht zuletzt deshalb ist in diesem Zusammenhang längerfristig auch von einem Übergang hin zu einem All-IP Netz zu sprechen.

Das Anschlussnetz wird von der Migration hin zu einem All-IP-Netz nicht unberührt bleiben und unterliegt in einem solchen längerfristigen Szenario gravierenden Veränderungen. Relevante Zugangsfragen z.B. mit Blick auf bestehenden Zugang zum Hauptverteiler stellen sich damit neu.

Ein solches Szenario existiert bereits in der Realität: Der Blick in die Niederlande zeigt, dass KPN im Begriff ist, ihr gegenwärtiges Telekommunikationsnetz in ein All-IP-Netz migrieren zu lassen. Die Funktionalität bestehender Hauptverteiler fällt weg und nur etwa jeder sechste Hauptverteiler bleibt als Netzknoten mit Konzentrationsfunktion für Breitbandverkehr bestehen.

Summary

One of the currently most significant developments in the German Telecommunication Market refers to the roll out of fibre technology and the introduction of VDSL within the Access Network. In initially 10 and later on further 40 German cities, Deutsche Telekom is going to deploy fibre technology in the local loop to provide VDSL and Triple Play services to end-customers.

Therefore, fibre as an alternative transmission medium becomes relevant besides the traditional copper based access lines. This work discusses the implications on the network structure and the corresponding network elements in the local loop being accompanied with the VDSL roll out.

Further, the paper estimates the underlying costs which are used – together with the most recently defined Triple Play retail prices – for evaluating the profitability of the VDSL roll out. The analysis focuses on the question, which break-even penetration has to be achieved to cover the costs and to sustain the business case.

The results reveal that VDSL might constitute the relevant standard in the future and forcing all services' migration to VDSL might be the operator's appropriate strategy. In the long run this aspect addresses the migration to an All-IP network which in turn significantly affects the current access network. Further on, attention has to be paid to a whole set of regulatory issues for example to access to the main distribution frame.

With respect to the migration of existing networks to an All-IP network, KPN is alleged as a realistic example for such a scenario. In the course of replacing its current network KPN intends to maintain only a small fraction of recent main distribution frames. The functionality of the existing distribution frames will be reluctant. Only every sixth of them will act as a broadband concentration point.

1 Einleitung

Zu einer der relevantesten Entwicklungen im deutschen Telekommunikationsmarkt gehört gegenwärtig der Ausbau des Teilnehmeranschlussnetzes mit Glasfaser und die damit verbundene Einführung der Übertragungstechnik VDSL. Dies ergibt sich nicht zuletzt aus den großen Erwartungen seitens DTAG aber auch seitens anderer Netzbetreiber gegenüber dieser Technologie. Den Ausbau treibt, laut DTAG, in erster Linie das als Triple Play bezeichnete Dienstebündel aus breitbandigem Internetzugang, IP-Telefonie und IP-TV voran, zu dessen Realisierung jedoch bisherige DSL-Techniken, wie z.B. ADSL 2+, auch in der Lage sind. Realisiert die DTAG Triple Play über die bereits erprobte ADSL 2+ Technik, resultieren hieraus keine nennenswerten Umbauten und Investitionskosten im Anschlussbereich, so dass dies die Frage aufwirft, warum die DTAG die mit der Einführung von VDSL verbundenen Investitionen von bis zu 3 Mrd. Euro in Kauf nimmt bzw. ob und, wenn ja, welche weiteren Aspekte existieren, die den Glasfaserausbau rechtfertigen.

Um diese Fragen zu beantworten, versucht diese Arbeit die Kosten des Glasfaserausbaus abzuschätzen und anschließend die für eine Kostendeckung erforderliche Anzahl an VDSL-Anschlüssen abzuleiten. Auf dieser Basis soll schließlich eine erste Einschätzung vorgenommen werden, inwieweit und unter welchen Bedingungen der Glasfaserausbau in ein marktfähiges VDSL-Produkt münden kann.

Gleichzeitig bringt der VDSL-Ausbau strukturelle Veränderungen bestehender Topologien im Bereich des Teilnehmeranschlussnetzes mit sich. Dieser Beitrag beschäftigt sich daher auch mit der Frage, welche Konsequenzen sich hieraus für das Teilnehmeranschlussnetz ergeben.

Der Diskussionsbeitrag baut sich wie folgt auf: Das Kapitel 2 beschreibt den klassischen Aufbau einer Teilnehmeranschlussleitung und die erforderlichen Anpassungen, die mit dem Glasfaser-Ausbau einhergehen. Das Kapitel zählt die für VDSL erforderlichen Netzelemente konkret auf und diskutiert die durch VDSL hervorgerufenen technischen Implikationen auf andere DSL-Varianten wie z.B. ADSL und ADSL 2+. In Kapitel 3 werden die identifizierten Netzelemente übernommen und die für den Ausbau anfallenden Investitionen abgeleitet. Das Kapitel zielt darauf ab, Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit des Glasfaserausbaus bzw. der Einführung von VDSL anzustellen. Kapitel 4 gibt schließlich einen kurzen thematischen Ausblick hinsichtlich heute und zukünftig relevanter netz-technischer und regulatorischer Aspekte.

2 Varianten des Glasfasereinsatzes im Teilnehmeranschlussnetz

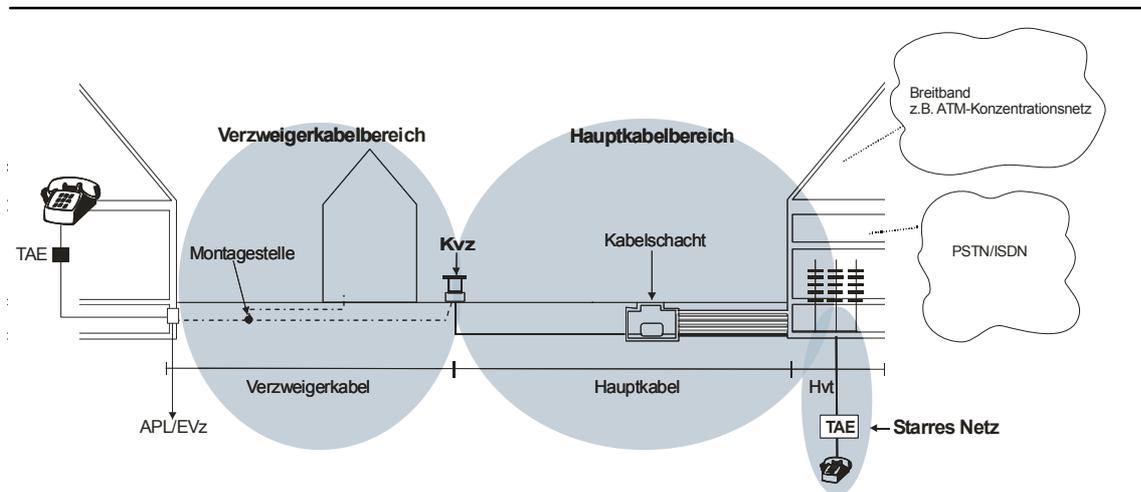
2.1 Die klassische kupferbasierte Teilnehmeranschlussleitung

Struktur der TAL

In der Regel versteht sich eine Teilnehmeranschlussleitung (TAL) als Kupferleitung, die einem Endkunden den Zugang ins Telekommunikationsnetz ermöglicht und die kundenseitig am Abschlusspunkt der Linientechnik (APL) beginnt und netzseitig am Hauptverteiler (HVt) endet. Zur Anbindung an die TAL dient dem Kunden ein Endstellenkabel (Verkabelung innerhalb des Hauses) und eine Telekommunikationsanschlusseinheit (TAE), die beide nicht Bestandteil der TAL sind und die in der Regel der Hausbesitzer bereitstellt.

Den strukturellen Aufbau eines Teilnehmeranschlussnetzes, das aus einer kupferbasierten TAL besteht, stellt die nachfolgende Abbildung dar.

Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines kupferbasierten Teilnehmeranschlussnetzes



Quelle: WIK

wik

Die TAL eines Kunden besteht in der Regel aus Verzweigerkabel und Hauptkabel. Das Verzweigerkabel erstreckt sich zwischen APL und Kabelverzweiger (KVz) und kann in das Endkabelnetz und das Verzweigerkabelnetz i.e.S. unterteilt werden.¹ Netzseitig vom Verzweigerkabelnetz schließt das Hauptkabel an, das am Hauptverteiler (HVt) endet. Der

¹ Die Definition entstammt dem Referenzdokument 2.0 für das Anschlussnetz, das vom WIK im Auftrag der BNetzA erstellt wurde. Vgl. hierzu Bundesnetzagentur (2000, S.13).

KVz, der sich an der Schnittstelle zwischen Verzweigerkabel- und Hauptkabelbereich befindet, bündelt die kundenseitigen Verzweigerkabel zu einem großen Hauptkabel, so dass im Hauptkabelbereich die TAL gemeinsam geführt werden.

Besondere Netzstruktur - Starres Netz

Die Mehrzahl der klassischen kupferbasierten TAL besitzt eine Struktur, wie sie der vorangegangene Abschnitt beschreibt. Das so genannte „starre Netz“ weicht jedoch hiervon insofern ab, als dass hier die Anbindung zwischen Kunden und HVt direkt erfolgt. In diesem Fall realisiert der Netzbauer die Anbindung des Kunden ohne Einsatz von KVz.

Aus ökonomischer Sicht ist ein „starres Netz“ dann vorteilhaft, wenn die Investitionshöhe für eine direkte Anbindung zwischen Kundenstandort und HVt geringer ist als bei einer Anbindung des Kunden via KVz. Weil die Höhe der Investition vornehmlich von der Länge verlegter Kabel abhängt, bietet sich ein „starres Netz“ meist für solche Kundenstandorte an, deren Abstand zum HVt geringer ist als die Summe aus der Strecke zwischen Kunde und KVz plus KVz und HVt. Entscheidet sich der Netzbauer trotz der unmittelbaren HVt-Nähe eines Kunden für eine Anbindung an den nächstgelegenen KVz, resultieren hieraus gegenüber einer direkten Anbindung höhere Kabelinvestitionen und zusätzliche Kosten für die Nutzung von KVz-Steckplätzen.

Verlegearten

Teilnehmeranschlussleitungen unterscheiden sich auch nach der Art ihrer Verlegung. So lässt sich die Strecke zwischen Kunde und HVt entweder mithilfe von Telefonmasten überirdisch zurücklegen, wobei in diesem Fall von Luftkabeln die Rede ist, oder die Verlegung der Anschlussleitungen geschieht unterirdisch als Erdkabel oder Röhrenkabel. Unter diesen Varianten findet in Deutschland vornehmlich die Röhrenkabel- und Erdkabelverlegung ihre Anwendung. Bei der Röhrenkabelverlegung vergräbt der Netzbauer Kabelkanalanlagen in der Erde und zieht anschließend TAL durch die Rohre. Verzichtet der Netzbauer hingegen auf den Einsatz von Röhren und verlegt alternativ die Kupferleitungen direkt unterirdisch, so ist die Rede von Erdkabeln.

Realisierbare Dienste auf der klassischen TAL – Schmalbandige Dienste

Unabhängig davon, für welche TAL-Variante der Netzbauer sich letztlich entscheidet, ist die Übertragung schmalbandiger Dienste, wie beispielsweise Telefonie, Telefax oder schmalbandige Datenübertragungsdienste, in allen Fällen möglich. Kommt hierbei die herkömmliche analoge PSTN-Technik (Public Switched Telephone Network-) zur Anwendung, erfolgt die Signalübertragung im Frequenzbereich zwischen 300 bis 3400 Hz. Setzt der Netzbetreiber hingegen ISDN (Integrated Services Digital Network) ein, erweitert sich die Obergrenze des nutzbaren Frequenzbereichs auf bis zu 120 kHz. Der darüber liegende Frequenzbereich bleibt in diesem Fall von schmalbandigen Diensten jedoch ungenutzt.

Realisierbare Dienste auf der klassischen TAL – Breitbandige Dienste

Frequenzen oberhalb von 120 kHz lassen sich jedoch für breitbandige Dienste, wie beispielsweise IP-Telefonie, IP-TV und breitbandiges Internet, nutzen. Die Realisierung breitbandiger Dienste setzt – neben den DSL spezifischen Leitungsendgeräten, wie z.B. Modem, Splitter, DSLAM – jedoch voraus, dass (1) die physikalischen Eigenschaften der Kupferleitung und (2) der so genannte Effekt des Übersprechens dies zulassen. Die DSL-Beschaltung einer kupferbasierten TAL ist zudem (3) nur bei Existenz entsprechender Übertragungstechnik an den Endpunkten der Leitung möglich. Diese Punkte werden nachfolgend behandelt.

- Die physikalischen Eigenschaften der Kupferleitung, wie z.B. Porosität, Oxidationsanteil, Leitungslänge und –durchmesser, sind entscheidende Parameter, um eine Kupfer-TAL hinsichtlich ihrer Breitbandfähigkeit zu beurteilen. Hierzu lässt sich sagen, dass mit zunehmender Porosität, Oxidationsanteil und Leitungslänge sowie mit abnehmendem Leitungsquerschnitt einer Kupferleitung die Dämpfung der Frequenzen tendenziell zunimmt, wovon insbesondere Frequenzen des oberen Frequenzbereichs, also Wellenlängen die der Übertragung breitbandiger Dienste dienen, betroffen sind. Soll eine Kupferleitung breitbandige Dienste realisieren, ist es notwendig, die oben genannten Parameter unterhalb eines im Vorfeld bestimmten Höchstwertes, der beispielsweise für den Parameter „Länge der Kupferleitung“ bei einer maximalen Strecke von etwa 3 bis 5 km liegt, zu halten.² Sollen breitbandige Dienste auch auf längeren Kupferstrecken realisierbar sein, bietet sich der Einsatz von Zwischenregeneratoren an, die den durch die Kupferleitung verursachten Pegelverlust ausgleichen. Die Kupferstrecke lässt sich hierdurch jedoch nicht beliebig ausweiten, da Regeneratoren auch den Pegel von Störfrequenzen erhöhen und so das Signal-Rausch Verhältnis zunehmend verringern.
- Überschreitet die Zahl innerhalb eines Kabelbaums mit DSL beschalteter TAL einen bestimmten Schwellwert, resultiert hieraus tendenziell der Effekt des „Übersprechens“, der zu einer Verfälschung breitbandiger Signale und zu einem Verlust an Information führt. In der Theorie resultiert „Übersprechen“ in der Regel stets dann, wenn elektrische Felder in unmittelbarer Nähe zueinander existieren und auf einer Teilstrecke parallel zueinander verlaufen, was zumindest auf den gemeinsam genutzten Teilstrecken der TAL, wie z.B. im Hauptkabel und in Teilen des Verzweigerkabels, gegeben ist. Besitzen benachbarte mit DSL beschaltete TAL jedoch einen angemessenen Mindestabstand zueinander, lässt sich der Effekt verhindern, so dass in der Praxis die Positionierung DSL-fähiger TAL in adäquatem Abstand zueinander eine geeignete Lösung darstellt. Möglich ist ein solches Vorgehen jedoch nur, wenn der Netzbetreiber die Zahl mit DSL beschalteter TAL innerhalb eines Ka-

² Vgl. hierzu: http://www.dsl-magazin.de/grundlagen/xDSL_ADSL_SDSL_VDSL_48_3.html (Stand: 30.08.2006) und Wimoesterer (2005).

belstrangs begrenzt, so dass hieraus eine Restriktion hinsichtlich der DSL-Fähigkeit einer TAL resultiert.³

Erfüllt die klassische kupferbasierte TAL die oben genannten physikalisch bedingten Restriktionen, lassen sich hierauf grundsätzlich breitbandige DSL-Übertragungsverfahren realisieren. Das Übertragungsverfahren ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) und seine Weiterentwicklung ADSL 2+ nutzt zur Realisierung breitbandiger Dienste den Frequenzbereich bis zu 1.104 kHz bzw. 2.208 kHz, wodurch sich das nutzbare Frequenzband gegenüber schmalbandigen PSTN/ISDN-Verfahren um ein Vielfaches erweitert. Möglich ist für DSL-fähige TAL zudem eine zeitgleiche Nutzung schmal- und breitbandiger Dienste, so dass der schmalbandige Anschluss für den Kunden fortbesteht. Weil die klassische TAL jedoch in ihrer bisher beschriebenen Ausgestaltung zur Realisierung breitbandiger Techniken nicht ausreicht, ist die Kupfer-TAL um folgende Netzelemente zu ergänzen:

- Ein Modem, das am Kundenstandort installiert wird und das die durch den PC erzeugten Datenpakete in eine entsprechende DSL-Technik moduliert und umgekehrt die am Kundenstandort ankommenden Signale in solche Daten „zurück-wandelt“ bzw. demoduliert, die sich vom PC des Kunden verarbeiten lassen.
- Zwei Splitter, die jeweils am Kunden- und Hauptverteilerstandort, also an den Netzabschlusspunkten der Kupfer-TAL, installiert sind und die die Frequenzbereiche für schmalbandige und breitbandige Dienste voneinander abtrennen.⁴ Es handelt sich um kombinierte Hoch- und Tiefpassfilter, die im Fall von ADSL schmalbandigen Diensten den Frequenzbereich bis 120 kHz (im Falle von ISDN) und breitbandigen Diensten den Frequenzbereich von 138 kHz bis 1.104 kHz zuweisen.⁵ Unabhängig von der verwendeten DSL-Variante fächert der Splitter das Frequenzspektrum stets in zwei Bereiche auf, so dass hierdurch Telefon- und Internetdienste voneinander unabhängig und zeitgleich realisierbar sind. Der netzseitige Splitter empfängt die Signale des kundenseitigen Splitters und überprüft, ob es sich hierbei um schmalbandige oder breitbandige Frequenzen handelt. Je nach Dienst leitet der Splitter das Signal anschließend entweder in das schmalbandige PSTN-Verbindungsnetz oder in das breitbandige Zugangsnetz weiter.
- DSLAM-Einheiten (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), die in der Regel am Standort des Hauptverteilers errichtet werden und die breitbandige Dienste elekt-

³ Da der Effekt des „Übersprechens“ durch die Einführung von VDSL an zusätzlicher Bedeutung gewinnt, widmet sich die Arbeit diesem Punkt nochmals im Detail in einem der nachfolgenden Kapitel.

⁴ Die Notwendigkeit eines Splitters an beiden Leitungsenden ergibt sich zumindest für die hier beschriebenen Verfahren ADSL und ADSL 2+. Mit dem Übertragungsverfahren G.lite existiert jedoch auch ein Übertragungsverfahren, das vollkommen ohne Splitter auskommt. Dieser Vorteil impliziert jedoch zugleich den folgenden Nachteil: Weil eine klare Trennung der Frequenzbereiche zwischen schmalbandigen und breitbandigen Diensten ohne Splitter nicht möglich ist, erzielt G.lite mit 1.5 Mbit/s im Vergleich zu ADSL und ADSL 2+ auch nur geringere Bitraten.

⁵ Durch die Technik ADSL 2+ erweitert sich der obere Frequenzbereich sogar auf 2.208 kHz.

risch/optisch wandeln. Die Transformation der Dienste ist deshalb notwendig, weil am Hauptverteilerstandort die Schnittstelle zwischen einem kupferbasierten und einem glasfaserbasierten Netz vorliegt, so dass der DSLAM das in der Kupferleitung als elektrischer Impuls vorliegende Signal in ein optisches Signal umwandelt *et vice versa*. Der DSLAM übernimmt neben dieser Funktion zudem die Aufgabe eines Multiplexers, das heißt er erzeugt mehrere physikalische oder logische Kanäle auf einem einzigen Übertragungsmedium, so dass sich über eine einzige Glasfaserleitung die Signale mehrerer Kunden übertragen lassen ohne dass sich diese untereinander stören.⁶

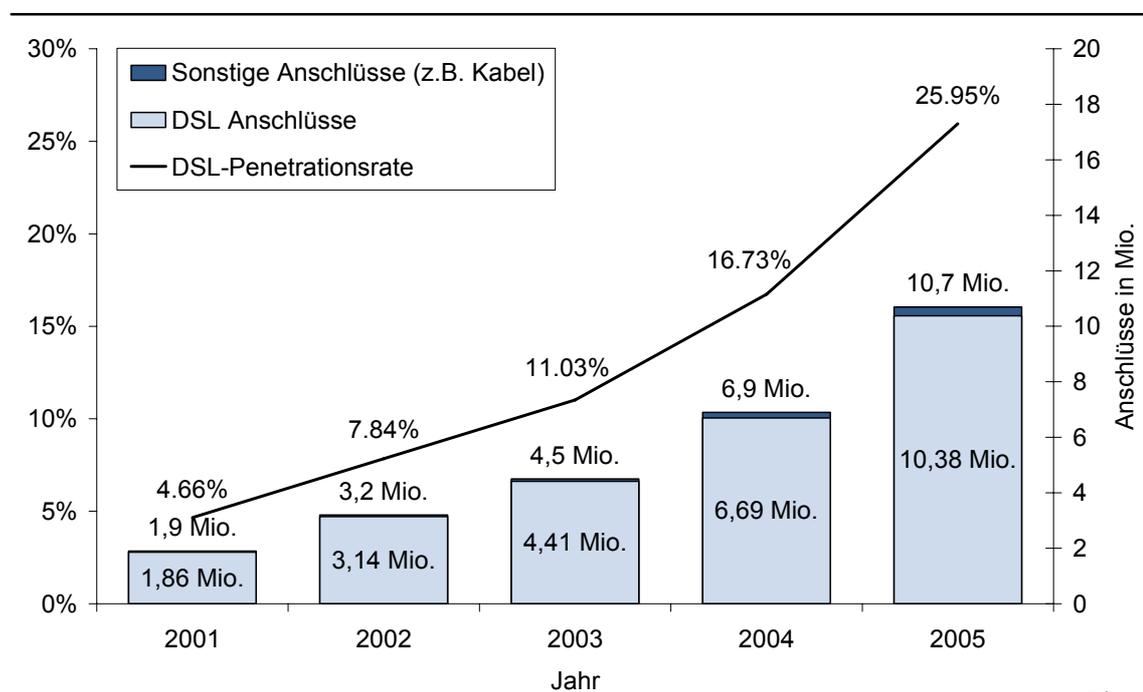
Empirische Entwicklung der DSL-Anschlusszahlen

In der Empirie steigt die Zahl vorhandener DSL-Anschlüsse in Deutschland seit Jahren an. Gab es 2001 noch 1,86 Mio. DSL-Anschlüsse, waren es 2003 bereits 4,41 Mio. und 2005 10,38 Mio. (siehe Abbildung 2).⁷ Im Verhältnis zur Gesamtzahl deutscher Haushalte (ca. 40 Mio.) ergibt sich hieraus für die Jahre 2001 bzw. 2005 eine DSL-Penetrationsrate von 4,66 % bzw. 25,95 %. Die Entwicklung dürfte sich für das Jahr 2006 fortsetzen und lässt ein weiteres signifikantes Wachstum erwarten. Der in diesem Zusammenhang diskutierte Wert von 15 Mio. Anschlüssen belegt, dass auch in naher Zukunft die DSL-Penetration weiter ansteigen wird.

⁶ Vgl. Ranft (1997, S. 218).

⁷ Die Abbildung basiert auf Werten des Jahresberichts der Bundesnetzagentur (2005a, S.32).

Abbildung 2: Entwicklung breitbandiger Anschlüsse in Deutschland



Quelle: Bundesnetzagentur (2005a, S. 31)



Der Zuwachs der DSL-Anschlüsse hat zwischen den Jahren 2004 und 2005 noch einmal an Fahrt gewonnen, was nach Ansichten der Bundesnetzagentur unter anderem darauf zurückzuführen ist, dass im Jahr 2004 die DTAG ein Resale-Produkt (T-DSL-Resale) eingeführt hatte, das Wettbewerbern den Zugang zum DSL-Markt erleichtert hat. Als weiteren Grund führt die Bundesnetzagentur den starken Preisverfall von Flat-rate-Produkten für Internetdienste zwischen 2004 und 2005 an, deren monatlicher Preis bei gleich bleibender Leistung innerhalb dieses Zeitraums von 29,95 € auf 9,95 € gesunken ist und somit nur noch einem Drittel des Ursprungswertes entspricht.⁸

Die in Abbildung 2 ausgewiesene Gesamtzahl an DSL-Anschlüssen setzt sich aus mehreren DSL-Anschlussvarianten zusammen und lässt keine Schlüsse auf die Entwicklung einzelner Anschlusstechniken, wie z.B. DSL 1000, DSL 2000, DSL 6000 und ADSL 2+, zu. Es lässt sich jedoch aus dem zunehmenden Angebot zeitsensitiver Anwendungen, wie z.B. Livestreams und Videokonferenzen, ableiten, dass Kunden zunehmend DSL-Anschlüsse mit vergleichsweise hohen Übertragungsraten nachfragen.⁹ Hinzu kommt, dass gegenwärtig massive Promotions im Markt beobachtbar sind mit dem Ziel höherwertige Anschluss-Varianten zu vermarkten. Ein in der Tendenz wachsender Bedarf an

⁸ Vgl. Bundesnetzagentur (2005b, S. III).

⁹ Der Bericht zum Breitbandatlas (2006, S. 8) stellt fest, dass sich die durchschnittlich genutzte Bitrate pro Anschluss im Bereich 512 bis 1.024 kbit/s zunehmend in Richtung 1.024 bis 2.048 kbit/s entwickelt.

Bandbreite pro Kunde lässt sich jedoch nicht nur für die Vergangenheit konstatieren, sondern lässt sich vor dem Hintergrund einer wachsenden Relevanz von Triple Play und *Video on Demand*-Diensten (VoD-) auch auf die Zukunft übertragen.¹⁰ Triple Play ist ein Dienstebündel, das sich aus Internet, Telefonie und IPTV zusammensetzt.¹¹

Auch wenn die ADSL 2+ Technik Triple Play Dienste realisieren kann, beschränkt sich jedoch das Übertragungsverfahren in der Regel auf eine geringe Zahl zeitgleich realisierbarer hoch aufgelöster Fernsehkanäle (HDTV) pro Anschluss. Versorgt beispielsweise ein breitbandiger Anschluss mehrere Fernsehgeräte innerhalb eines Haushaltes mit verschiedenen Programmen, stößt hierdurch ADSL 2+ in der Regel an seine Grenzen. Ähnliches gilt dann, wenn ein Kunde so genanntes Zapping (schnelles Umschalten zwischen verschiedenen Fernsehkanälen) oder die Picture in Picture- Funktion nutzen will, die eine zeitgleiche Übermittlung mehrerer Fernsehprogramme pro Kunde voraussetzt. Diese beiden Fälle benötigen tendenziell hohe Bitraten, die ein Übertragungsverfahren auf einer rein kupferbasierten TAL nicht oder nur schwerlich erzielen kann.

„Kupferleitung als Engpass?“

Weil die bereits erwähnte Dämpfung des Kupfers auf Basis des heutigen Kenntnisstandes (ADSL 2+) lediglich Bitraten von bis zu 25 Mbit/s zulässt, und dieser Wert sich auch nur bei einer außerordentlich geringen Kupferstrecke ergibt, lässt sich darüber spekulieren, ob eine rein kupferbasierte TAL die zunehmende Nachfrage nach Bitraten langfristig bedienen kann. Weil das an das Teilnehmeranschlussnetz angrenzende breitbandige Konzentrationsnetz (siehe Abbildung 1) zudem auf Glasfaser aufsetzt, die im Gegensatz zu Kupfer außerordentlich geringe Dämpfungswerte vorweist, lässt sich der Engpass bei der Realisierung höherer Bitraten in der Regel bei der Kupferleitung lokalisieren. Dies gilt umso mehr, wenn die Länge der für die Übertragung genutzten Kupferstrecke zunimmt, so dass die realisierbare Bitrate weiter sinkt.

Den Zusammenhang zwischen Bitrate und Kupferstrecke stellt Abbildung 3 für ADSL 2+, VDSL 1 und VDSL 2 schematisch dar.¹² Die hier betrachteten Übertragungstechniken unterscheiden sich primär im Hinblick auf das von ihnen genutzte Frequenzband, dessen Obergrenze sich von ADSL 2+ über VDSL 1 und VDSL 2 zunehmend von 2.208 kHz, 12.000 kHz bzw. 30.000 kHz nach oben verschiebt. Die unterschiedlichen Frequenzbänder führen bei einer Gegenüberstellung von Bitrate und Kupferlänge zu verschiedenen Kurvenverläufen.

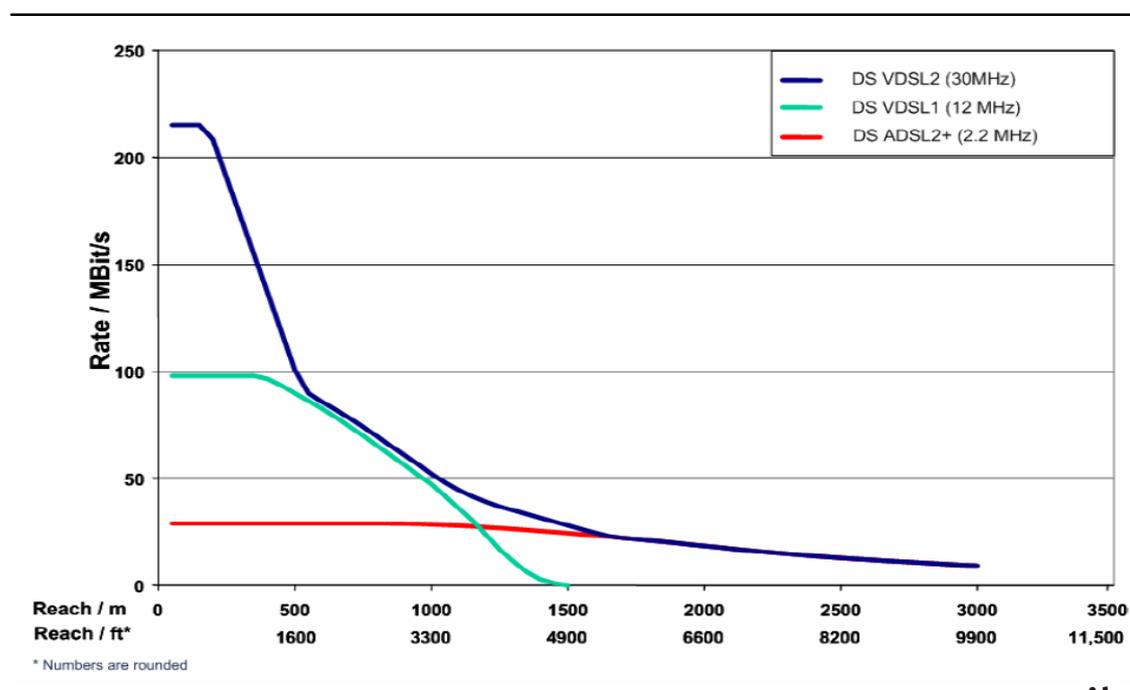
¹⁰ Das hoch auflösende digitale Fernsehen (HDTV) benötigt je nach gewählter Kodierung eine Bitrate von etwa 6-16 Mbit/s (dsl tarife (2006), swisscom (2006, S. 18)).

¹¹ Vgl. Römer (2006).

¹² Die für VDSL 2+ in der Abbildung dargestellte Bitrate in Höhe von bis zu 200 Mbit/s versteht sich als theoretisch möglicher Wert (Wimoesterer (2005)). Aufgrund der physikalischen Eigenschaften der Kupferleitung, die zu einer Dämpfung des VDSL-Signals führen, finden sich jedoch weit geringere Bandbreiten in der Praxis wieder.

Gilt beispielsweise die Annahme, dass die Kupfer-TAL im (bundesweiten) Durchschnitt eine Länge von 1,6 km besitzt, beträgt laut Abbildung 3 die maximale Bitrate für ADSL 2+ weniger als 25 Mbit/s.¹³ Ein ähnlicher Wert ergibt sich bei dieser Annahme auch für die von der Deutschen Telekom forcierten VDSL 2-Technik. Liegt die Kupferstrecke dahingegen unterhalb dieses Wertes, ergeben sich für VDSL 1 und VDSL 2 deutlich höhere Übertragungsraten gegenüber ADSL 2+, so dass beispielsweise aus einer Länge von etwa 500 m, was etwa der durchschnittlichen Kupferstrecke im Verzweigerkabel nahe kommen dürfte, für VDSL 1 und VDSL 2 Bitraten von knapp 100 Mbit/s resultieren.¹⁴

Abbildung 3: Abhängigkeit der Bitrate von der Länge der Kupferstrecke



Quelle: Wimoesterer (2005)

Möchte der Netzbetreiber derart hohe Übertragungsraten erzielen bietet es sich an, die Kupferstrecke zu verkürzen, indem das Hauptkabel durch Glasfaser ersetzt wird. Qualitätseinbußen bedingt durch Dämpfung würden somit an Bedeutung verlieren, während die maximale Bandbreite pro Kunde erhöht würde.¹⁵

¹³ Vgl. Skurk et al. (2006, S. 237).

¹⁴ Vgl. Friedman (2000) und Funkschau (2005).

¹⁵ Vgl. Light Reading (2001, S. 1).

2.2 Glasfaser im Teilnehmeranschlussnetz

2.2.1 Optische Netze

Im Vergleich zum kupferbasierten Teilnehmeranschlussnetz ergeben sich im Glasfasernetz abgesehen von der Infrastruktur vornehmlich Änderungen anhand der eingesetzten Netzelemente. Im Gegensatz zu dem im kupferbasierten Anschlussnetz verwendeten Hauptverteiler, markiert eine Optical Line Termination- Einheit (OLT) in der Regel den netzseitigen Abschlusspunkt des optischen Netzes, während eine Optical Network Unit (ONU) das optische Netz kundenseitig abschließt, so dass sie sich folglich am Schnittpunkt zwischen optischen und kupferbasierten Netzabschnitten befindet und als elektrisch/optischer Signalwandler fungiert.

Der Ausbau eines optischen Netzes beginnt in der Regel am Standort des Hauptvertteilers und erstreckt sich von hier aus in Richtung Kundenstandort, so dass neben reinen Glasfaser-TAL auch TAL-Varianten (als Übergangsformen auf dem Weg zum reinen optischen Netz) existieren, die sich aus jeweils einem Teilabschnitt neu verlegter Glasfaser und einem Teilabschnitt bereits existierender Kupferleitung zusammensetzen. Weil am Schnittpunkt zwischen Glasfaser und Kupferleitung eine ONU erforderlich ist und diese entsprechende Infrastruktur (Gehäuse, Stromversorgung etc.) benötigt, empfiehlt sich die Nutzung bereits existierender Knotenpunkte des Netzes, wie z.B. des KVz, so dass sich mit dieser Methode die Investitionen der Verlegung verringern lassen.

Erstreckt sich Glasfaser vom Hauptverteilerstandort bis an den KVz, so dass lediglich das Verzweigerkabel auf Kupferleitungen aufsetzt, wird diese Netzvariante in der Regel als Fibre to the Curb (FTTCurb) bezeichnet, während ein Glasfaserausbau, der bis an den Kundenstandort reicht, die Bezeichnung Fibre to the Home (FTTH) trägt.¹⁶ Im Gegensatz zu FTTCurb ist bei FTTH auch der Verzweigerkabelbereich mit Glasfaser ausgebaut, so dass bei FTTH die ONU vom KVz zum Kundenstandort „wandert“. Auch wenn die gesamte Strecke zwischen Hauptverteilerstandort und Kundenstandort aus Glasfaser besteht, benötigt FTTH dennoch eine ONU, weil die am Kundenstandort vorliegende Hausverkabelung in der Regel auf Kupfer aufsetzt.

Die bereits von der Deutschen Telekom in den Jahren nach 1993 realisierten Glasfaser-Varianten ISIS/OPAL bzw. HYTAS, die vornehmlich in den neuen Bundesländern vor-

¹⁶ Neben den bereits genannten FTTH- und FTTCurb-Varianten wird in der einschlägigen Fachliteratur vereinzelt auch nach Fibre to the building (FTTB) unterschieden. Wie bei FTTH erfolgt auch bei FTTB die Glasverlegung bis an den Kundenstandort, jedoch ist der Unterschied zwischen FTTB und FTTH daran festzumachen, dass im Fall von FTTB ein großes Wohn- oder Mehrfamilienhaus (Wohnblock) angebunden wird und bei FTTH die Anschlüsse exklusiv der Anbindung eines einzelnen Endkunden (Einfamilienhaus) dienen.

kommen,¹⁷ stellen ein Beispiel für FTTCurb bzw. FTTH Varianten in Deutschland dar.¹⁸ Die Zahl der Anschlüsse, die auf ISIS/OPAL bzw. HYTAS aufsetzen, liegt zur Zeit bei etwa 1,5 Mio., was etwa 4,4 % der Anschlüsse der Deutschen Telekom entspricht.¹⁹

Neben dem Übertragungsmedium lassen sich optische Netze bzw. ihre hybriden Varianten auch nach ihrer Architektur unterscheiden, wobei die Zahl der Anschlüsse, die eine einzelne Verbindung gemeinsam nutzen, als Unterscheidungsmerkmal dient.²⁰ Verfügt ausschließlich ein Anschluss über die Leitung zwischen ONU und OLT, so dass dieser nicht mit anderen Anschlüssen in der Leitungsnutzung konkurrieren muss, besitzt das Netz eine Point to Point-Architektur (P2P). Erfolgt dahingegen eine Nutzung der Verbindung durch mehrere Anschlüsse gemeinsam, handelt es sich bei der Netzarchitektur um Point-to-Multipoint (P2MP).

Den Aufbau eines P2P-Netzes stellt Abbildung 4 schematisch dar und verdeutlicht die für eine solche Architektur typische „Sternstruktur“. Meist lässt sich die Sternform in der Realität jedoch nicht wieder finden, weil hier der Netzbauer Leitungen in der Regel gemeinsam in Kabelkanalanlagen verlegt, um so Verbundvorteile zu erzielen. Dennoch liegt die Struktur auch in diesem Fall vor, wenn auch nur in ihrer logischen Konzeption eine ONU an das OLT stets über eine exklusive Leitung anzubinden.

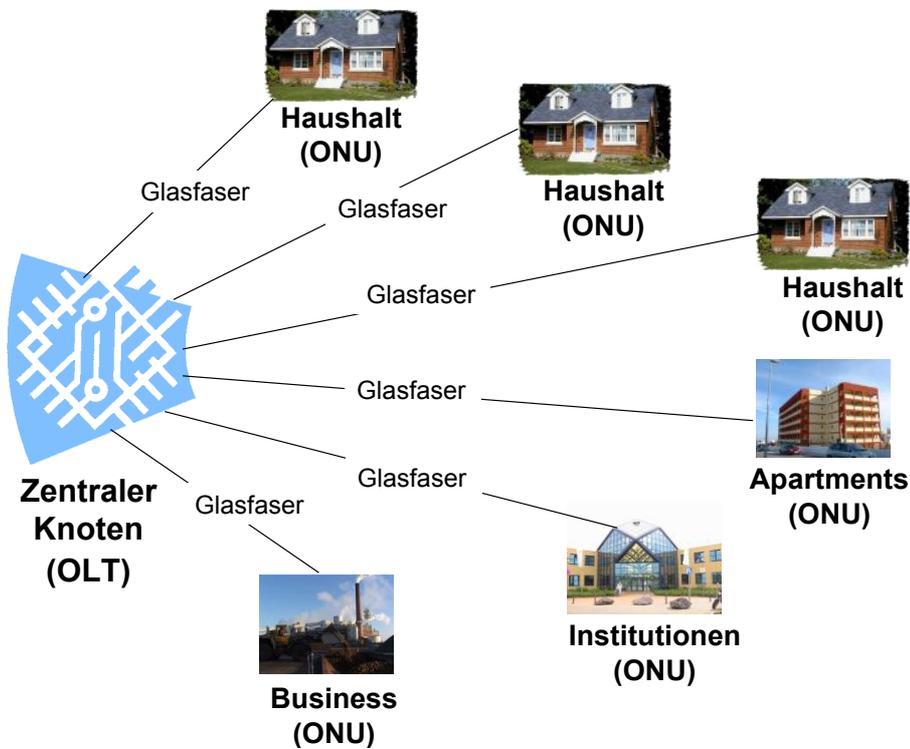
¹⁷ ISIS ist die Abkürzung für Integriertes System zur Bereitstellung von Netzinfrastruktur auf optischer Basis, während OPAL für Optische Anschlussleitung steht. HYTAS ist die Abkürzung für Hybride Teilnehmeranschlussleitung.

¹⁸ Vgl. Ranft (1997).

¹⁹ Vgl. Forschungsinstitut für Telekommunikation (2005, S. 5) sowie den Konzern-Zwischenbericht der Deutschen Telekom (2006, S. 27), der die Zahl schmalbandiger Festnetzanschlüsse innerhalb Deutschlands, die als Basis für die Anteilsberechnung diente, mit 34,2 Mio. beziffert.

²⁰ Die nachfolgend beschriebenen Architekturarten beschränken sich nicht ausschließlich auf die in diesem Abschnitt zu behandelnden optischen Netze, sondern lassen sich in der Regel auch auf andere Netze, wie z.B. das im vorangegangenen Abschnitt beschriebene rein kupferbasierte Teilnehmeranschlussnetz oder Mischformen aus Kupfer und Glasfaser, übertragen. Die hier vorgestellten Architekturformen basieren u. a. auf Banerjee (2003).

Abbildung 4: Point to Point Architektur eines Glasfasernetzes (Stern-Struktur)



Quelle: Banerjee, Sirbu (2003)

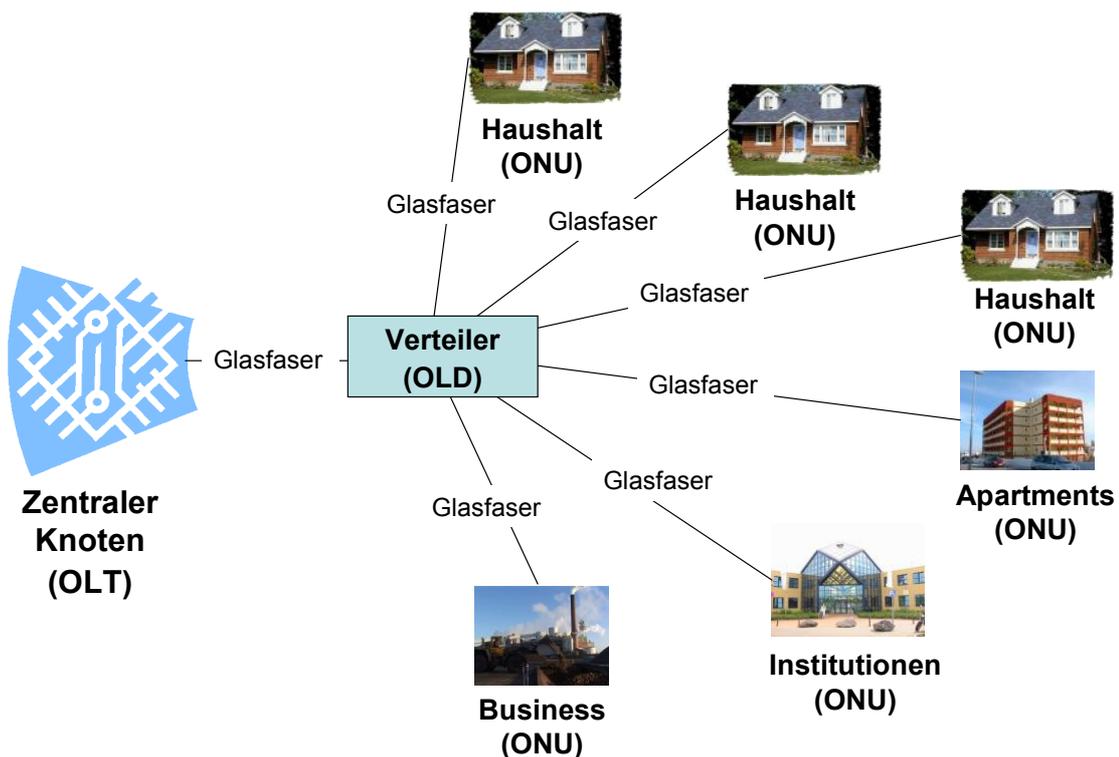
Die P2P-Architektur zeichnet sich durch folgende Punkte aus:

- Sie ist unkompliziert zu realisieren, weil jeder Kunde eine exklusive Leitung besitzt, über die er seine Verkehrsströme realisiert. Hätten mehrere Anschlüsse dahingegen Zugriff auf eine einzelne Leitung, wie bei P2MP, würde sich der Aufwand der Netzrealisierung erhöhen, weil dann ein Management zur Koordinierung der verschiedenen Anschlüsse und ihrer Verkehrsströme untereinander notwendig wäre. Das Management für ein P2P-Netz beschränkt sich hingegen auf ein Minimum.
- Die Datensicherheit ist hoch, weil die Exklusivität der Leitung in der Regel das Abgreifen bzw. „Auslesen“ kundenspezifischer Daten durch unberechtigte Dritte im Vergleich zu gemeinsam genutzten Leitungen deutlich erschwert.
- Die zwischen zwei Standorten realisierte Übertragungsgeschwindigkeit hängt von den an den Abschlusspunkten des Mediums installierten Geräten ab, so dass, möchte ein Netzbetreiber sein P2P-Netz aufrüsten, dieser lediglich die Abschlussgeräte austauschen muss, während das Übertragungsmedium in der Regel von den Umbauarbeiten unberührt bleibt. Damit bietet sich dem P2P-Netzbetreiber eine einfache und kostengünstige Möglichkeit der Aufrüstung.

- Die P2P-Architektur impliziert Investitionen, die im Vergleich zur P2MP-Architektur außerordentlich hoch und die vornehmlich aus der Bereitstellung einer Leitung pro Anschluss zurückzuführen sind. Dieser Aspekt spricht gegen den Bau eines P2P-Netzes.

Die Struktur eines P2MP-Netzes stellt Abbildung 5 schematisch dar. Im Gegensatz zu einem P2P-Netz (Abbildung 4) verwendet ein P2MP-Netz ein zusätzliches Netzgerät, das in der Regel als Optical Line Distributor (OLD) bezeichnet wird und das für die Bündelung und Entbündelung der Verkehrsströme unterschiedlicher Kunden auf der gemeinsam genutzten Leitung notwendig ist. Der OLD befindet sich an dem Ort, wo die separate Leitung in eine von mehreren geteilte Verbindung übergeht, wobei sich der gemeinsam genutzte Verbindungsabschnitt zwischen OLD und OLT befindet und die für jeden Anschluss separate Leitung zwischen OLD und ONU vorliegt.

Abbildung 5: Point to Multipoint Architektur eines auf Glasfaser basierenden Netzes



Quelle: FTTH Council (2004)

Die bei P2P-Netzen vorliegenden Vorteile (Einfache Netzerrichtung, hohe Datensicherheit, flexible Netzausrüstung) lassen sich bei P2MP-Netzen aufgrund des gemeinsam genutzten Leitungsabschnittes nur sehr eingeschränkt wiederfinden.

Damit sich bei P2MP-Netzen die gleichen oder zumindest ähnliche Vorteile wie bei P2P-Netzen einstellen, bieten sich beispielsweise Protokolle zur Erzeugung so genannter ‚virtueller‘ Leitungen, die Eigenschaften physischer Leitung imitieren, an. Im Hinblick auf die Datensicherheit kommen die zur Zeit eingesetzten Protokolle jedoch selten an die Sicherheitsstufe einer physisch getrennten Leitung heran, so dass ein Abhören von Daten durch Dritte bei P2MP-Netzen leichter als bei P2P-Netzen möglich ist.²¹

Welche der hier genannten architektonischen Netzstrukturen ein Netzbetreiber letztlich realisiert, hängt in der Regel von der gewünschten Qualität anzubietender Dienste und der für den Netzbau vorgesehenen Investitionshöhe ab. Misst der Netzbauer beispielsweise der Sicherheit in der Datenübertragung eine hohe Bedeutung bei und nimmt zudem höhere Netzinvestitionen in Kauf, bietet sich in der Regel der Bau eines P2P-strukturierten Netzes an. Verfolgt der Netzbetreiber dahingegen das Ziel, die für den Netzbau anfallenden Aufwendungen möglichst gering zu halten, entscheidet er sich meist für den Bau eines P2MP-Netzes. Weil sich beim Netzbau jedoch ein Trade-off zwischen Investitionshöhe und Datensicherheit ergibt, nimmt der P2MP-Netzbetreiber in diesem Fall eine geringere Datensicherheit gegenüber P2P-Netzen in Kauf.

Passive optische Netze und aktive optische Netze

Optische Netze lassen sich nicht nur hinsichtlich ihrer Netzarchitektur klassifizieren, sondern auch nach der Notwendigkeit einer Stromversorgung für die im optischen Netz eingesetzten Geräte, wobei ONU und OLT von dieser Zuordnung herauszunehmen sind, weil diese als elektrisch/optische Signalwandler generell eine Stromversorgung benötigen. Benötigen die innerhalb des Netzes vorliegenden Netzelemente, wie z.B. optische Verstärker oder optische Verteiler, eine Stromversorgung, lässt sich das entsprechende Netz als aktives optisches Netz (AON) bezeichnen. Kommen die Geräte hingegen ohne Stromversorgung aus, handelt es sich hierbei um passive optische Netze (PON).

Weil PON keine Stromversorgung benötigen, ist die Zahl an Freiheitsgraden bei ihrer Errichtung in der Regel größer als bei AON, so dass der Planungsaufwand und die Investitionen, die mit dem Bau des Netzes anfallen, ebenfalls geringer sind.²² Die im PON anfallenden Investitionen sind zudem deshalb geringer, weil hier die an die entsprechenden Netzelemente gestellten technischen Anforderungen niedriger sind als die eines AON, so dass in der Regel hieraus geringere Preise für PON-Netzelemente resultieren. Die geringeren Investitionen für ein PON können sich zudem daraus ergeben, dass die im PON eingesetzten Einheiten in der Regel kleiner sind als ihre aktiven Gegenstücke, so dass sie sich meist einfacher und kostengünstiger in ein bereits bestehendes Netz integrieren lassen. Dies kann zwar einen Umbau der bereits existierenden Gebäudeeinheiten, wie z.B. eine Erweiterung des KVz-Gehäuses, erfordern, die hier-

²¹ Vgl. Bluscke (2004, S.270).

²² Die nachfolgend genannten Vorteile eines PON lassen sich unter <http://www.alcatel.com/bnd/fttu/-pon101.jhtml> nachlesen. Vgl. auch Alcatel, (2005a), Alcatel, (2005b), Alcatel, (2005c).

aus resultierenden Investitionen sind dabei jedoch überschaubar und liegen in der Regel unter den Aufwendungen für einen Neubau.

Neben den direkten Investitionen in optische Netze lässt sich gleiches für die Betriebskosten feststellen. Weil mit zunehmender Zahl aktiver Netzelemente die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Netzes steigt, resultieren für PON geringere Aufwendung als für AON. Nicht zuletzt aus diesem Aspekt lässt sich ableiten, dass die Lebensdauer eines PON ebenfalls länger ist als bei einem AON.

Im Vergleich zu einem PON besitzt ein AON in der Regel den Vorteil Kunden über eine längere Distanz anzubinden, was primär aus dem Einsatz aktiver optischer OLD resultiert.²³ Der Einsatz aktiver optischer Verteiler führt nicht zu einer Leistungsteilung des Signals, wie es z.B. bei passiven OLD der Fall ist, sondern zu einer Regeneration des Signalpegels, so dass sich hieraus für ein AON Reichweiten bis zu 60 km ergeben.²⁴

In Deutschland hat die DTAG sowohl aktive als auch passive Netzvarianten in den 1990er Jahren realisiert, wobei sich ISIS und die OPAL-Variante „HYTAS“ zu den aktiven optischen Netz zählen lassen, während die passive OPAL-Variante als PON klassifizierbar ist.

2.2.2 Die hybride Kupfer-Glasfaser Teilnehmeranschlussleitung

Wie bereits erwähnt, existieren im Anschlussnetz Varianten, die neben Glasfaser zu einem gewissen Teil auch aus Kupferkabel oder Koaxialkabel bestehen und die aufgrund ihres Mischform-Charakters häufig als hybride Anschlussleitungen bezeichnet werden. Die nachfolgenden Abschnitte gehen auf die in Deutschland am häufigsten realisierten hybriden Teilnehmeranschlussleitungen näher ein.

Hybride Glasfaser-Koaxial-Teilnehmeranschlussleitung

Der Anteil der Haushalte, die ihre Fernseh- und Rundfunkprogramme über Koaxialkabel beziehen, beträgt etwa 56%.²⁵ Möchte der Kabelnetzbetreiber außer den üblichen Broadcast-Diensten, wie z.B. TV-Kanäle und Rundfunk, noch interaktive Dienste, wie z.B. Internet oder Telefonie, dem Kunden anbieten, erfordert dies in der Regel eine Verlegung von Glasfaser im Kabelzubringernetz, wodurch sich höhere Bitraten, die für diese zusätzlichen Dienste notwendig sind, realisieren lassen. Die hier vorliegende hybride Mischform aus Koaxialkabel und Glasfaser wird als Hybrid Fibre and Coaxial-Netz (HFC-) bezeichnet und kann je nach Glasfaseranteil Reichweiten bis zu 80 Kilometern erzielen.

²³ Vgl. hierzu Bluschke et al. (2004, S. 271).

²⁴ Vgl. FTTH Council (2004, S. 5).

²⁵ Die an dieser Stelle genannten Daten beziehen sich auf Bluschke et al. (2004, S. 306). Eine ähnliche Anzahl an Haushalten mit Kabelanschluss nennt Broderson (2005). Er geht von einer absoluten Zahl an Haushalten mit Kabelanschluss von 18 Millionen aus.

Gegenüber anderen hybriden Netzen weisen HFC-Netze technische und historische Restriktionen auf, die einem deutschlandweiten Angebot bidirektionaler Dienste, wie z.B. Telefonie und Internetdienste, bisher entgegenwirken.²⁶ Die technische Einschränkung ergibt sich in der Regel aus dem für den *upload* von Internet- und Telefondiensten vorgesehenen Frequenzband, das im Vergleich zu anderen auf dem Koaxialkabel übertragenen Diensten vergleichsweise schmal ist. Der hieraus resultierende Engpass lässt sich in der Regel umgehen, indem der Kabelnetzbetreiber die Zahl der Internet- und Telefonanschlüsse pro Anschlussbereich beschränkt, so dass pro Anschluss eine ausreichende Bitrate verfügbar ist. Geht ein Kabelnetzbetreiber so vor, führt dies in der Regel jedoch zu einer beschränkten Realisierung von Verbundvorteilen, wie z.B. die Verteilung von Fixkosten auf eine große Anschlusszahl, so dass im Vergleich zu alternativen hybriden Netzlösungen die Kosten pro Anschluss bei HFC-Netzen höher ausfallen könnten.

Neben der oben beschriebenen technischen Einschränkung des HFC-Netzes wirkt auch die hohe Zahl an Kabelnetzbetreibern einem flächendeckenden Glasfaserausbau entgegen. Das Problem resultiert in der Regel aus der Tatsache, dass jeder Netzbetreiber individuell entscheidet, ob und wann er sein Netz aufrüsten möchte, so dass sich hieraus meist ein uneinheitliches Vorgehen im Hinblick auf den HFC-Netzausbau ergibt. Dies führt in der Regel zu HFC-Netzen, deren Angebot sich lediglich auf Regionen beschränkt, während eine deutschlandweite Verfügbarkeit von Internet- und Telefondiensten nicht gegeben ist.

Unter anderem führen die hier genannten Gründe zu einer im Vergleich zum Telekommunikationsnetz noch vergleichsweise geringen Zahl an Kunden, die breitbandige Internetdienste über Kabelnetze beziehen. Im Hinblick auf das weitere Vorgehen in dieser Arbeit soll deshalb auf HFC-Netze nicht weiter eingegangen werden, so dass sich die nachfolgenden Kapitel auf Glasfaser-Kupferdoppelader Varianten konzentrieren.

Hybride Glasfaser-Kupferdoppelader-Teilnehmeranschlussleitung

Neben den bisher beschriebenen HFC-Netzen, die aus einer Kombination aus Glasfaser und Koaxialkabel bestehen, existieren auch hybride TAL, bei denen an Stelle des Koaxialkabels Kupferdoppeladern zum Einsatz kommen. Weil aus wirtschaftlichen Überlegungen die Glasfaser grundsätzlich an einem bereits existierenden Knotenpunkt enden sollte, bieten sich für das Telekommunikationsnetz in Deutschland in der Regel entweder der KVz oder EVz an. Reicht die Glasfaser bis an den EVz besteht die gesamte TAL aus Glasfaser, so dass hier keine hybride TAL vorliegt. Verlegt der Netzbetreiber hingegen in einem bereits bestehenden kupferbasierten Anschlussnetz Glasfaser bis zum KVz und nutzt auf dem Streckenabschnitt zwischen KVz und EVz die existierende Kupferdoppelader, realisiert er eine hybride TAL. FTTCurb lässt sich somit als hybride TAL klassifizieren.

²⁶ Vgl. hierzu Büllingen et al. (2002).

In diesem Fall stellt sich die Frage nach der Konsistenz der bisherigen TAL-Definition. Netzstrukturell umfasst die rein kupferbasierte TAL in der Regel den Bereich zwischen APL und HVt und bietet zudem auf diesem Abschnitt jedem Anschluss eine exklusive Leitung an. In der Regel fällt mit der Glasfaserverlegung auf der Strecke zwischen HVt und KVz zumindest in diesem Netzbereich die exklusive Zuordnung der Leitung und damit ein wesentlicher Bestandteil der TAL-Definition weg.²⁷ Dies lässt sich auch in der Realität wieder finden: Die Anschlüsse von bereits realisierten FTTCurb Varianten von ISIS / OPAL besitzen in der Regel zwischen APL und KVz eine exklusive Leitung und teilen sich auf dem verbleibenden Streckenabschnitt bis zum HVt die vorliegende Glasfaser mit anderen Anschlüssen.

2.3 Die Glasfaserverlegung im Rahmen des VDSL-Ausbaus

Die DTAG plant im Rahmen ihres angekündigten Glasfaserausbaus zur VDSL-Einführung Glasfaser bis an den KVz zu verlegen und auf dem Abschnitt zwischen KVz und EVz auf bereits existierende Kupferdoppeladern zurückzugreifen, so dass dies der oben erwähnten FTTCurb-Variante entspricht. Der Ausbau soll in zwei Phasen erfolgen und umfasst in der ersten Ausbaustufe die Städte Berlin, Düsseldorf, Frankfurt, Hamburg, Hannover, Köln, Leipzig, München, Nürnberg und Stuttgart. Die zweite Etappe der Glasfaserverlegung soll sich auf 40 weitere Städte erstrecken, wobei die DTAG diese Ausbaustufe grundsätzlich noch in Frage stellt, bis die Frage der VDSL-Regulierung seitens der Bundesnetzagentur entschieden ist.

Das im Rahmen des Glasfaserausbaus eingeführte Übertragungsverfahren VDSL 2 setzt auf einer Kombination aus Kupferleitung und Glasfaser auf, nutzt den Frequenzbereich bis zu 30.000 kHz zur Übertragung von Diensten und ermöglicht so Bitraten von theoretisch mehr als 200 Mbit/s pro Anschluss (Vergleiche hierzu Abbildung 3). Diese Bitraten lassen sich jedoch aufgrund der bereits erwähnten dämpfenden Eigenschaften von Kupfer lediglich bei sehr kurzen Kupferstrecken erzielen. Mit dem Einbringen der Glasfaser erreicht die DTAG eine Verkürzung der Kupferstrecke bis auf das Segment zwischen Endkunde und Kabelverzweiger.

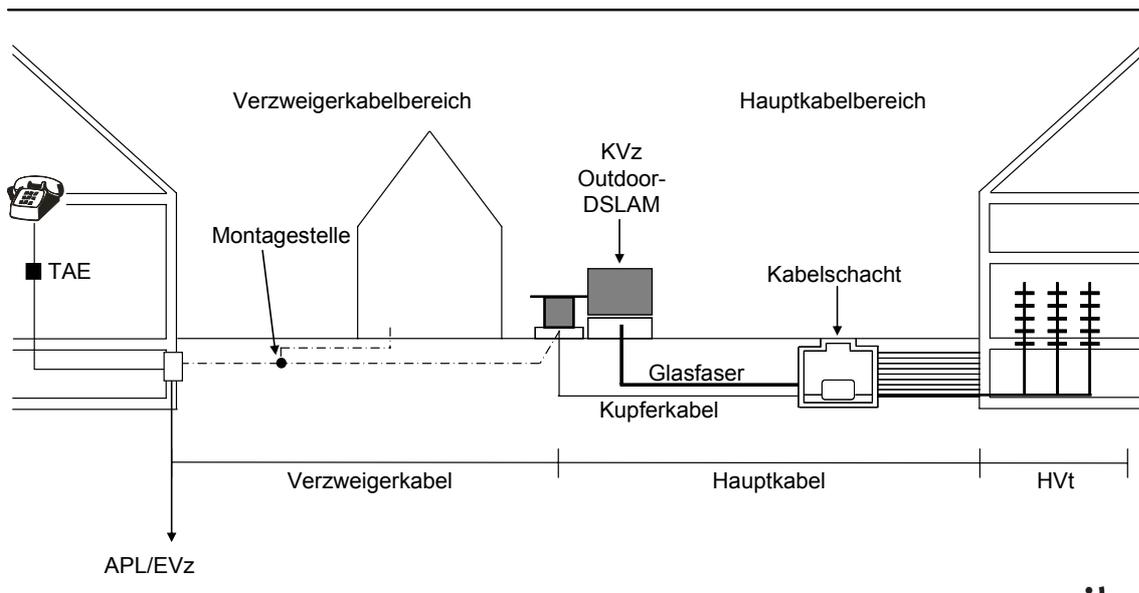
In Anlehnung an Abbildung 1, die eine kupferbasierte Anschlussleitung schematisch wiedergibt, stellt Abbildung 6 die Situation dieser Anschlussleitung nach der Glasfaserverlegung dar und zeigt auf, dass die Einführung von VDSL bzw. die damit verbundene

²⁷ Der Vorleistungsmarkt in Deutschland definiert eine Reihe von Zugangsvarianten zum Teilnehmeranschluss. So wird z.B. danach unterschieden, ob es sich um 2- oder 4-Drahtkupferleitungen handelt oder ob diese hoch- oder niederbitratig sind.

Die Bundesnetzagentur hat den Zugang zur Teilnehmeranschlussleitung auf Basis von ISIS/OPAL als Teil des Markt 11 („Zugang zur Teilnehmeranschlussleitung“) definiert (siehe hierzu auch Bundesnetzagentur (2004) und Monopolkommission (2005)). Der Zugang zu analogen, ISDN-Basis- und ISDN-Primärmultiplexanschlüssen auf Basis von ISIS/OPAL wird damit ebenfalls als mögliche Zugangsvariante erklärt. Der Zugang zu den ISIS/OPAL-Varianten wird am Hauptverteiler gewährt.

Glasfaserverlegung für einzelne Netzbereiche des Anschlussnetzes unterschiedlich starke Änderungen impliziert.²⁸

Abbildung 6: Schematischer Aufbau eines hybriden Teilnehmeranschlussnetzes auf Basis von Kupferkabeln und Glasfaser



Quelle: WIK

Auf der Strecke zwischen Endkunde und Kabelverweiger bleiben die wesentlichen Rahmenbedingungen für die Kosten der klassischen TAL weitestgehend unverändert. Als Übertragungsmedium dient hier nach wie vor die Kupferader, die in Form der Erdverlegung oder in Kabelkanalanlagen verlegt werden. Sowohl für herkömmliche Anschlüsse als auch für VDSL-Anschlüsse gilt, dass im Verzweigerkabel alle Kupferleitungen vom Endkunden bis zum Kabelverweiger zusammen geführt werden. Als kostentreibende Größe ist im Verzweigerkabelbereich deshalb nach wie vor die Nachfrage nach Anschlussleitungen bzw. nach Anschlüssen zu identifizieren.

Kabelverweiger

Mit Blick auf den Kabelverweiger ist, wie oben dargestellt, zu erwarten, dass in den betroffenen Anschlussbereichen und Verzweigerbereichen neue, größere, für die Unterbringung auch von aktiver Technik geeignete Kabelverweigergehäuse errichtet bzw. bestehende Kabelverweiger erweitert werden. So werden darin unter anderem der für VDSL benötigte Outdoor-DSLAM und Splitter installiert und betrieben. Anschlussleitun-

²⁸ Vgl. hierzu und zu den aus VDSL resultierenden Implikationen die Stellungnahme des Wissenschaftlichen Arbeitskreises für Regulierungsfragen (2005).

gen, die nicht für VDSL umgewidmet werden, werden im Kabelverzweiger nach wie vor mit dem Hauptkabel verbunden und zum Hauptverteiler geführt.

Es erscheint plausibel, dass die Anzahl der Kabelverzweigerstandorte weitgehend unverändert bleibt und neue Kabelverzweigergehäuse sich zumeist am Standort eines bereits existierenden KVz befinden werden. Dies entspricht auch dem aktuellen Vorgehen der DTAG.

Offen ist hier, ob die Investitionen in neue Kabelverzweigergehäuse als VDSL-spezifische Investitionen zu behandeln sind, für die dann auch eine Rationalität bestünde, die Investitionskosten entsprechend auf VDSL umzulegen. Zweifelsohne sind die neuen Kabelverzweiger im Zusammenhang mit dem VDSL-Ausbau zu sehen und werden dazu verwendet, darin für VDSL benötigte technische Ausrüstung unterzubringen und die VDSL-Kupferleitungen zum DSLAM zu führen. Bereits existierende Kabelverzweiger bieten diese technische Möglichkeit nicht. Vielmehr kann für bestehende Kabelverzweigergehäuse angenommen werden, dass diese in ihrer Kapazität weitgehend ausgeschöpft sind (abgesehen von Verzweigerbereichen mit nur einer geringen Anzahl von Teilnehmeranschlüssen).

Hauptkabel zwischen den Kabelverzweigern und dem Hauptverteiler

Im Hauptkabelnetz liegen Glasfaser und Kupferhauptkabel in der Regel in gemeinsam genutzten Kabelkanalanlagen vor. Herkömmliche Anschlussleitungen einschließlich solcher, die mit einer ADSL-Technologie (ADSL, ADSL2+) beschaltet sind, nutzen kurzfristig weiterhin das Kupferkabel in diesem Netzsegment. Auf der Infrastrukturebene bedeutet dies, dass Kupfer- als auch Glasfaserleitungen in Kabelkanalanlagen gemeinsam geführt werden, so dass auch Gräben und Schächte gemeinsam genutzt werden.

Zusammenfassende Änderungen

Die im Zusammenhang mit der VDSL-Einführung zusätzlich benötigten Netzgeräte gibt Tabelle 1 zusammenfassend wieder und stellt diese den für eine DSL-Beschaltung einer kupferbasierten TAL benötigten Geräten gegenüber. Im unmittelbaren Vergleich zwischen den ADSL bzw. ADSL 2+ Verfahren einerseits (in der Tabelle als xDSL zusammengefasst) und VDSL andererseits lässt sich im Verzweigerbereich, bis auf die Wahl eines entsprechend anderen Modem- und Splittertyps, kein großer Unterschied erkennen. Die Unterschiedlichkeit der beiden Verfahren zeigt sich dahingegen am Kabelverzweiger, Hauptkabelbereich und Hauptverteiler auf. Der im Rahmen mit der DSL-Beschaltung am HVt errichtete DSLAM findet sich bei VDSL nicht am HVt, sondern am KVz wieder, was aus der Glasfaserverlegung im Hauptkabelbereich resultiert.

Tabelle 1: Zusätzliche Netzelemente für ADSL/ADSL 2+ und VDSL

	KVz-TAL (xDSL-fähig)	Hybride TAL (VDSL-fähig)
Kundenstandort	xDSL-Modem, xDSL-Splitter	VDSL-Modem, VDSL-Splitter
Verzweigerkabelbereich	Kupferleitung	Kupferleitung
Kabelverzweiger	- *1	VDSL Splitter, Outdoor-DSLAM *2
Hauptkabelbereich	Kupferkabel	Glasfaser-Überbau
Hauptverteiler	xDSL-Splitter, DSLAM	-

*1 herkömmliche KUZ

*2 Neue oder erweiterte Kabelverzweiger

Quelle: WIK

Besonderheit „Übersprechen“

Aufgrund der Verlegung von Glasfaser im Hauptkabelbereich und der zu erwartenden Migration von Anschlüssen von der bereits existierenden Kupferleitung hin zu diesem neuen Medium ändert sich in der Regel für diesen Netzabschnitt die Situation des „Übersprechens“. Weil es sich bei diesem Effekt um eine physikalische Störung handelt, die bei Vorliegen mehrerer benachbarter elektrischer Felder auftritt, und weil die Glasfaserübertragung keine elektrischen Impulse verwendet, ist eine verringerte Bedeutung dieses Effekts zu erwarten.

VDSL setzt jedoch im Verzweigerkabelbereich auf Kupferdoppeladern auf, so dass in diesem Anschlussleitungsabschnitt neben den bereits vorliegenden ADSL und ADSL 2+ Techniken dieses neue Übertragungsverfahren zusätzlich hinzukommt, was die Wahrscheinlichkeit des „Übersprechens“ erhöht. Entscheidet sich die DTAG zudem für einen im Vergleich zu ADSL bzw. ADSL 2+ höheren Übertragungspegel bei VDSL, führt dies in der Regel zu vergleichsweise starken elektrischen Feldern, so dass der Effekt hierdurch verschärft wird.

„Übersprechen“ lässt sich meist jedoch durch geeignete Methoden, wie z.B. eine adäquate Auspegelung des VDSL-Signals, entschärfen, so dass sich der Einfluss der VDSL-Einführung auf ADSL bzw. ADSL 2+ minimieren lässt. Die technischen Möglichkeiten zur Minimierung von Qualitätseinbußen bei ADSL bzw. ADSL 2+ sollten im Zusammenhang mit der VDSL-Einführung auf ihre Anwendbarkeit geprüft werden, nicht zuletzt um so solche Wettbewerber, deren Produkte derzeit zumeist auf ADSL beschalteten kupferbasierten Anschlussleitung aufsetzen, vor den aus der VDSL-Einführung potenziell resultierenden Nachteilen zu schützen.

Besonderheiten: Wegfall der Exklusivität

Neben der Besonderheit, die sich durch VDSL für das „Übersprechen“ ergibt, lässt sich im Zusammenhang mit der hybriden Netzstruktur außerdem die Aufhebung der exklusiven Leitung im Hauptkabelbereich als weiterer Aspekt nennen. Während bei der klassischen kupferbasierten TAL die Exklusivität der Leitung zwischen Endkunde und HVt vorliegt, verkürzt sich diese mit der Einführung von VDSL und dem damit verbundenen Glasfaserausbau auf das Verzweigerkabel. Die mit der Exklusivität der Leitung verbundenen Vorteile, wie z.B. die erschwerte Datenabhörung und eine ständige Verfügbarkeit von Kapazität, findet sich im Hauptkabelbereich somit nicht wieder.

3 Die Kosten der Glasfaser im Teilnehmeranschlussnetz

3.1 Ausgangspunkt

Die gegenwärtige Diskussion über einen VDSL-Ausbau in Deutschland weist darauf hin, dass der Glasfasereinsatz im Teilnehmeranschlussnetz zukünftig an Relevanz gewonnen haben wird. Diskutiert wird ein zweistufiger Ausbauplan, der in einem ersten Schritt die Erschließung von 10 und später von 40 Städten vorsieht. Realisiert die DTAG den angekündigten Ausbau würden bereits in der ersten Ausbaustufe auf diesem Wege etwa 5,5 Mio. potenzielle Anschlüsse adressiert werden.²⁹ Dies entspricht, bezogen auf die Gesamtanzahl aller etwa 39 Mio. Teilnehmeranschlüsse³⁰ im Netz der DTAG etwa 14%. Wie viele VDSL-Anschlüsse sich in der nahe liegenden Zukunft realisieren lassen, wird maßgeblich davon abhängen, ob es sich bei dem VDSL-Angebot um ein marktfähiges Endkundenprodukt handelt.

Mit dem im Juli 2006 eingeführten VDSL-Paket setzt die DTAG erste Rahmenbedingungen: Das „TriplePlay“ Paket ermöglicht VoIP, Fernsehen und Surfen. Der von der DTAG veranschlagte Preis für VDSL-Anschlüsse beträgt 34,99 € je Monat und Anschluss, was etwa dem doppelten Preis eines DSL 1000-Anschlusses entspricht. Er ist nur in Kombination mit einem klassischen Telefonanschluss (ab 15,95 €) erhältlich.³¹ Zusammen mit einer die Internet- und IPTV-Nutzung umfassenden Flat Rate (19,95 €, obligatorisch) und einer VoIP-Flatrate (9,95 €, fakultativ) verlangt die DTAG monatlich zwischen 70-80 Euro je Kunde und Monat.³² Es existieren mit dem Angebot von

29 Die Zahl der Anschlüsse liegt in einer plausiblen Größenordnung mit der Zahl der Haushalte in den 10 Städten. Öffentlich verfügbare Daten zeigen für diesen Bereich gegenwärtig etwa 6,1 Mio. Haushalte auf. Die Telekom möchte 90% dieser Haushalte mit VDSL versorgen (vgl. hierzu

für Berlin: http://www.berlin-mitte.de/index_3341_de.html,

für Hamburg: http://fhh1.hamburg.de/fhh/behoerden/behoerde_fuer_innere/statistisches_landesamt/zeit/zeit2Tab2.htm,

für Düsseldorf: http://www.duesseldorf.de/statistik/d_ueberblick/gesamt.shtml#Haushalte,

für Frankfurt: [http://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=2811&_myvars\[_id_listenartikel\]=7524](http://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=2811&_myvars[_id_listenartikel]=7524),

für Hannover: <http://www.hannover.de/data/download/s/statistik/Strukturdaten06/strukturdaten2006.pdf>,

für Köln: <http://www.stadt-koeln.de/zahlen/bevoelkerung/artikel/04628/index.html>,

für Leipzig: http://www.leipzig.de/imperia/md/content/02-5_jugend_soziales_gesundheit_schule/sozialreport2005.pdf,

für München: <http://www.muenchen.de/>,

für Nürnberg: http://www.statistik.nuernberg.de/stat_inf/niz/NiZ2006.pdf,

für Stuttgart: http://www.stuttgart.de/sde/menu/frame/ns_top_11021_11041.htm).

30 Die Telefonanschlüsse umfassen sowohl analoge (etwa 69%), ISDN-Basis- (etwa 31%) und ISDN-Primärmultiplexanschlüsse (<1%).

31 Interessanterweise ist der Bezug des „klassischen“ Telefonanschlusses für das VDSL-Angebot obligatorisch und entspricht mit mindestens 15,95 Euro pro Monat und Anschluss etwa dem früher zu entrichtenden Preis für den analogen T-Net Telefonanschluss (lt. AGB der Telekom heute nicht mehr vertrieben). Das kupferbasierte Netzsegment zwischen Kabelverzweiger und Hauptverteiler bleibt aus Kundensicht demzufolge zumindest kostenmäßig weiterhin relevant.

32 Kunden, die VoIP-Dienste in Anspruch nehmen, erhalten von der Telekom eine separate Rufnummer aus der 032-Nummerngasse („Nationale Teilnehmerrufnummer“). Für weitere Informationen zu den Nationalen Teilnehmerrufnummern siehe auch Bundesnetzagentur, Sachgebiete, Regulierung Telekommunikation.

Fremdsprachenpaketen, PayTV-Kanälen, Installationsservices etc. weitere Leistungskomponenten, die hier jedoch nicht weiter betrachtet werden.³³

Der nächste Abschnitt beschäftigt sich näher mit der Frage, welche kritische Menge an VDSL-Anschlüssen erreicht werden müsste und ob es sich bei dem Paket um ein „Erfolgsmodell“ handelt. Zu diesem Zweck erfolgt hier eine grobe Abschätzung der zugrunde liegenden Kosten für den VDSL-Ausbau und die Gegenüberstellung mit gegenwärtig diskutierten Endkundenpreisen.

3.2 Wirtschaftlichkeitsüberlegungen mit Blick auf VDSL

Der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebene technische Ausbau der Glasfaser, der eine Verlegung der Glasfaser bis an den KVZ, die Errichtung von Outdoor-DSLAM sowie von kunden- und netzseitigen Splittern und von VDSL-Modems beinhaltet, impliziert eine Reihe von Investitionen. Je nachdem, ob die VDSL Nachfrage die hierfür anfallenden Aufwendungen decken kann, wird sich herausstellen, inwiefern es sich hierbei um ein Erfolgsmodell handelt. Um eine Aussage abgeben zu können, ob die DTAG mit VDSL ein erfolgreiches Konzept verfolgt, versucht diese Arbeit auf Basis öffentlich zugänglicher Quellen sowie eigenen Schätzungen die Kosten der VDSL Technik zu ermitteln. Zur Beurteilung, ob es sich dabei um ein Erfolgsmodell handelt, dient ein Kalkulationsansatz, bei dem untersucht wird, ob der konstatierte Endkundenpreis die Kosten pro VDSL-Anschluss deckt. Ermittelt wird die kritische Penetrationsrate an VDSL-Anschlüssen, bei der sich ein kostendeckender Preis einstellt. Der hier gewählte Ansatz beruht zumeist auf vorsichtig getroffenen Annahmen und genügt u.E. einer groben (kostenmäßigen) Beurteilung des Glasfaserausbaus.

3.2.1 Kostenstandard

Die Berechnung orientiert sich an den so genannten Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung (KEL), weil dieser Kostenstandard nicht nur ein substanzielles Element in der regulatorischen Praxis darstellt, sondern auch für das hier untersuchte Investitionskalkül eines Netzbetreibers von Relevanz ist. Ersteres gilt insbesondere in Bezug auf Entgeltregulierung und –genehmigung, denn die KEL stellen den relevanten Maßstab dar, an dem die Höhe genehmigungsbedürftiger Entgelte gemessen und demzufolge über die Genehmigungsfähigkeit des Entgeltes entschieden werden muss.

³³ Informationen sind dem Produktangebot der Telekom entnommen, das unter <http://www.t-home.de> erhältlich ist (zuletzt abgerufen im September 2006).

Das TKG sieht die KEL als Maßstab explizit bei der Entgeltgenehmigung vor. Bei den KEL handelt es sich um eine Größe, die sich zusammensetzt aus

- 1) den langfristigen zusätzlichen Kosten der Leistungsbereitstellung,
- 2) einem angemessenen Gemeinkostenzuschlag, und
- 3) einer angemessenen Verzinsung des eingesetzten Kapitals,

soweit jeweils für die Leistungsbereitstellung relevant.

Zur Quantifizierung der langfristigen zusätzlichen Kosten wird der FL-LRAIC Kostenstandard (Forward Looking Long Run Average Incremental Costs) herangezogen. Das ökonomische Modell dahinter betrachtet einen wettbewerblich organisierten, bestreitbaren Markt, auf dem die Bedingungen idealerweise so sind, dass Anreize zur effizienten Produktion und Leistungserstellung vorliegen. Der Wettbewerb in einem solchen Markt führt dazu, dass Ineffizienzen entweder mit Gewinneinbußen oder im Extremfall auch mit der Ausscheidung vom Markt bestraft werden. Hierbei muss es sich nicht vorrangig um ein tatsächlich im Markt befindliches Unternehmen handeln. Das Konzept der FL-LRIC zielt vielmehr auf einen Als-Ob-Wettbewerb ab, also eine Situation, in der sich das etablierte Unternehmen dem Druck eines potenziell in den Markt eintretenden Unternehmens gegenüber sieht. Dementsprechend soll durch die FL-LRIC als Kern der KEL ein Marktergebnis simuliert werden, welches sich in einem funktionsfähigen Wettbewerb ergäbe.

Wie bereits in vorigen Abschnitt erwähnt, hängen die hier anzusetzenden KEL für VDSL von den inkrementellen (Netz-) Kosten für VDSL sowie Retailkosten und Gemeinkosten ab. Die für VDSL resultierenden inkrementellen Kosten ergeben sich dabei aus den Investitionen, die durch die Technik, die Installation und Tiefbauleistungen zusätzlich anfallen.

Um die Investitionen in entsprechende Kostenwerte umzurechnen bietet sich die Verwendung eines so genannten Kapitalkostenfaktors an. Dieser transformiert die Investitionen in jährliche Kosten und zieht hierzu die ökonomischen Lebensdauern, die zu erwartende Verzinsung sowie Preisveränderungsraten ins Kalkül mit ein. Wie sich der Kapitalkostenfaktor im Detail zusammensetzt, lässt sich in entsprechender Fachliteratur nachlesen.³⁴

Außerdem fließen in die Berechnungen keine Kosten ein, die typischerweise in Verbindung mit der erstmaligen Einführung eines neuen Produktes stehen. Hierunter fallen beispielsweise Aufwendungen für Einführungswerbung, Promotionen, Forschung und Entwicklung u.ä. Dies würde die anzusetzenden Kosten tendenziell erhöhen und die unten abgeleiteten Ergebnisse in ihrer Aussage noch verstärken.

³⁴ Hierzu empfiehlt sich der WIK-Newsletter Artikel von Ickenroth (1998).

3.2.2 Berücksichtigte Investitions- und Kostenkomponenten

Zur Realisierung von VDSL bedarf es der Installation und des Betriebs zusätzlicher Netzelemente im Teilnehmeranschlussnetz. Die Einführung von VDSL benötigt als zusätzliche Netzelemente VDSL-Modems, kundenseitige und netzseitige Splitter, Outdoor-DSLAM, größere KVz-Gehäuse und Glasfaser im Hauptkabelbereich. Es kann davon ausgegangen werden, dass je VDSL-Anschluss ein Modem sowie ein (kunden-seitiger) Splitter benötigt wird. Im KVz-Gehäuse können DSLAM-Einheiten mit mehreren ein- und ausgangseitigen Karten installiert werden. Die eingangsseitigen Karten nehmen die vom Endkunden kommenden Leitungen auf und können darüber hinaus die Splitterfunktionalität für jeden einzelnen Anschluss beinhalten. Der DSLAM bietet eine erste Konzentrationsfunktion, so dass der Verkehr mehrerer Teilnehmer auf den netz-seitig angebundene Glasfaserleitungen (gebündelt) weiter geführt wird.

Neben diesen Investitions- und Kostenkomponenten werden in den Berechnungen außerdem Kosten aus dem Bereich des Netzwerksupports sowie Betriebs-, Vertriebs- und Gemeinkosten berücksichtigt.

Tabelle 2: Kostenkomponenten im Zusammenhang mit VDSL

1. Glasfaserkabel und Installation/Tiefbau
2. KVz, Outdoor-DSLAM und Splitter (netzseitig)
3. Verzweigerkabel zwischen Endkunde und KVz
4. Ausrüstungen und Anlagen für den Bereich Netzwerkkunterstützung
5. Splitter (endkundenseitig)
6. Modem
7. Betriebskosten
8. Retail- bzw. Vertriebskosten
9. Gemeinkosten

3.2.3 Szenarien mit Blick auf die Verlegekosten

Mit Blick auf die Belegung der oben genannten Komponenten mit Investitions- bzw. Kostenwerten sehen wir unterschiedliche Freiheitsgrade. Während die Parametrisierung für die unter 2. – 9. dargestellten Komponenten durch Rückgriff auf entsprechende Equipmentpreise und Zuschläge weitestgehend determiniert sind, ergeben sich für die Kosten der Glasfaserverlegung im Hauptkabel vergleichsweise größere Spannweiten. Dies leitet sich daraus ab, dass für die Verlegung unterschiedliche produktionstechnische Strategien in Frage kommen, die zu signifikanten Unterschieden in den dann anzusetzenden Investitionskosten führen können.

Um den Einfluss dieser potenziellen Kostenunterschiede auf die Marktfähigkeit des VDSL-Produktes zu untersuchen, sind in die Berechnung folgende verschiedene Betrachtungswinkel mit Blick auf die anzusetzenden Glasfaserverlegekosten eingeflossen:

Szenario 1 („Betriebswirtschaftlich inkrementeller Kostenansatz“): Eine Variante besteht darin, die Glasfaser in Rohre und Kabelkanalanlagen einzuziehen, so dass vorhandene Leerkapazitäten in diesem Bereich genutzt werden können. Die Tiefbauinvestitionen beschränken sich hier auf die reine Glasfaser-Installation, d.h. dass aufwendige Erweiterungen bestehender Trassen und Linientechnik nicht erforderlich sind. Dieser Ansatz unterstellt, dass durchweg ausreichend Leerrohrkapazitäten im Hauptkabelbereich vorliegen, die für den Glasfasereinsatz genutzt werden können. Dieser Ansatz entspricht deshalb einem Kostenansatz, bei dem nur gefragt wird, welche Kosten durch eine weitere Ausbringungseinheit (hier die Glasfaser) entstehen. Er diskriminiert damit explizit in zeitlicher Hinsicht zwischen bereits vorhandenen Anlagen und solchen, die neu erstellt werden. Der Gedanke, bspw. Tiefbaukosten als Verbundkosten von Glasfaser- und Kupferbasierten Anschlüssen zu interpretieren, fließt in die Betrachtung hier nicht mit ein. Die Deckung dieser (Verbund-) Kosten muss deshalb zwangsläufig durch andere Dienste und Produkte erfolgen.

Im Rahmen der Berechnung gehen wir von einem Verlegepreis von 3,00 Euro pro Meter aus. Dieser Wert umfasst lediglich die für die Glasfaser und das Durchschießen durch Leerrohre entstehenden Kosten.

Szenario 2 („Allokationsansatz“): In diesem Szenario werden zwar auch die Kosten für die Glasfaser sowie deren Installation betrachtet, jedoch wird darüber hinaus ein gewisser Anteil der Kosten für die Kabelkanalanlagen und Trassen in Ansatz gebracht. Bei den auf Glasfaser entfallenden Tiefbauinvestitionen handelt es sich um inkrementelle Kosten, die im Gegensatz zu einem Standardgraben, der lediglich Kupferleitungen führt, zusätzlich in Ansatz zu bringen sind. Die hier durchgeführte Berechnung geht lediglich von einer gemeinsamen Verlegung von Glasfaser und Kupferleitungen aus und lässt weitere im Hauptkabelbereich denkbare Beiläufe, wie z.B. elektrische Leitungen, Wasserrohre u.ä., unberücksichtigt. Die Berechnung ist folglich kostenkonservativ.

Die Tiefbauarbeiten, die für die gemeinsame Verlegung von Glasfaser und Kupferleitungen resultieren, werden mit einem Investitionswert von 202 Euro pro Meter angesetzt. Die durch die Verlegung von Glasfaser inkrementell anfallenden Tiefbauinvestitionen in Höhe von 63,75 Euro pro Meter rechnet dieses Szenario dem VDSL-Anschluss zu, was einem Kostenanteil von etwa 32 % entspricht. Dieser Wert umfasst neben den Aufwendungen für die Glasfaser selbst außerdem anteilig die Investitionen in Leerrohre, Gräben, Kabelschächte und damit verbundene Arbeiten.

Szenario 3 („Stand-alone Ansatz“): Das dritte Szenario soll schließlich die denkbare Spannbreite anzusetzender Kosten noch oben hin begrenzen und eine Obergrenze hinsichtlich der zurechenbaren (Tiefbau-) Investitionen darstellen, indem unterstellt

wird, die Errichtung der Glasfaserstrecken erfolge Stand-Alone. Eine gemeinsame Nutzung mit z.B. Kupferkabeln ergibt sich hier per Definition nicht und Verbundvorteile kommen hier also nicht zum Tragen. Die gesamten Investitionen, die für die Glasfasererrichtung anfallen, werden ausschließlich dem VDSL-Anschluss zugerechnet. Die anrechenbaren Kosten für die Glasfaserverlegung fallen hier deshalb am höchsten aus.

Im Rahmen der Berechnung gehen wir von einem Verlegepreis von 130,00 Euro pro Meter aus. Dieser Wert umfasst in Analogie zu Szenario 2 Investitionen in Glasfaser und Leerrohre, sowie die im Rahmen der Verlegung entstehenden Investitionen für Grabungsarbeiten und Kabelschächte. Weil der Netzbetreiber in diesem Ansatz Glasfaser „Stand alone“ verlegt, ergibt sich hieraus, (a) dass die aus der Verlegung resultierenden Investitionen vollständig durch Glasfaser zu tragen sind, und (b) dass gegenüber Szenario 2 das Ausmaß des Grabens geringer ist.

Die Investitionen in Kabelverzweiger, DSLAM und netzseitige Splitter sind dagegen in allen drei Szenarien gleich hoch angesetzt worden.

3.2.4 Abschätzung der Investitionskosten

3.2.4.1 Glasfaserkabel und Installation / Tiefbau

Nach Aussage der DTAG umfasst die erste Phase des Glasfaserausbaus eine Strecke von insgesamt etwa 10.000 km.³⁵ Die anzusetzende Investitionshöhe für Glasfaser und Installation/Tiefbau berechnet sich unter Rückgriff auf den Investitionspreis pro Meter. Der Preis pro Verlegemeter umfasst neben den Materialkosten auch die Investitionskosten für Tiefbau, so dass dieser Wert die gesamten Aufwendungen für die Verlegung von Glasfaser im Hauptkabel berücksichtigt. Die Szenarien mit Blick auf die Verlegekosten äußern sich in unterschiedlich hoch angesetzten Investitionswerten pro Meter. In den Szenarien 1, 2 und 3 wird gemäß den oben beschriebenen Kostenunterschieden ein Verlegepreis von 3,00 Euro, 63,75 Euro und 130 Euro pro Meter angesetzt.

Zur Annualisierung der Investitionen wurde eine Abschreibungsdauer von 20 Jahren, ein Zinssatz von 8% und eine durchschnittliche zu erwartende jährliche Preisveränderungsrate von 0% angesetzt.

35 Die hier genannten 10.000 km, die Telekom in einem Interview mit den VDI nachrichten nennt, entsprechen der im Rahmen der ersten Ausbauphase verlegten Glasfaserstrecke und ermöglichen die Anbindung von 90% der etwa 6.1 Mio. Anschlüsse in den 10 Städten. Das heißt 14% aller in Deutschland existierenden Telefonanschlüsse können hierdurch potentiell VDSL erhalten. Das Interview lässt sich nachlesen unter http://www.vdi-nachrichten.com/vdi_nachrichten/aktuelle_ausgabe/akt_ausg_detail.asp?source=rubrik&cat=2&id=28763 (Stand: 2. August 2006).

Tabelle 3: Parameter zur Ermittlung der Investitionskosten der Glasfaserverlegung

Länge der Glasfaser, in Meter	10.000.000
Szenario 1: Verlegepreis pro Meter Glasfaser, in €	3,00
Szenario 2: Verlegepreis pro Meter Glasfaser, in €	63,75
Szenario 3: Verlegepreis pro Meter Glasfaser, in €	130,00
Ökonomische Abschreibungsdauer der Glasfaser	20 Jahre
Zinssatz, in Prozent	8,00
Preisveränderungsrate, in Prozent	0,00

Die jährlichen Kosten für die Glasfaserverlegung ergeben sich für Szenario 1, 2 und 3 zu 3,06 Mio., 65 Mio. bzw. 132,4 Mio. Euro pro Jahr. Pro Monat lassen sich für Szenario 1, 2 und 3 hieraus Kosten in H.v. 250.000 , 5,4 Mio. bzw. 11,03 Mio. Euro ableiten. Die hier ausgewiesenen Kosten verstehen sich exklusive indirekten Kosten, Betriebskosten und Gemeinkosten.

3.2.4.2 Kabelverzweiger, Outdoor-DSLAM und Splitter

In den Berechnungen gehen wir davon aus, dass der anzusetzende Investitionswert je Kabelverzweiger durchschnittlich 25.000 € beträgt.³⁶ Diese Größe fällt annahmegemäß je Kabelverzweiger genau einmal an. Dies beinhaltet Material und Installation von Outdoor-DSLAM, Splitter und die in diesem Zusammenhang anfallenden Umbauarbeiten am KVz. Nicht enthalten sind hierin die Kosten der am Outdoor-DSLAM zu installierenden kundenseitigen Karten, die das Modell mit 70 € pro (VDSL-) Anschluss separat berücksichtigt.

Im Vergleich zu herkömmlichen DSLAM zeichnen sich Outdoor-DSLAM dadurch aus, dass ihre Unterbringung in den KVz-Gehäusen in der Regel größere Kabelverzweiger bzw. eine Erweiterung bestehender KVz-Gehäuse erfordert. Neben seiner Größe und den einhergehenden Anforderungen an die KVz-Gehäuse zeichnet sich der Outdoor-DSLAM auch durch seine Witterungsbeständigkeit z.B. gegenüber Temperaturschwankungen und Feuchtigkeit aus, woraus höhere Ansprüche im Hinblick auch die Netzelektronik resultieren, die sich auch in den Investitionskosten niederschlagen.

Der für den KVz-Umbau, Outdoor-DSLAM und Splitter angesetzte Abschreibungszeitraum beträgt 6 Jahre. Dieser Wert versteht sich als Durchschnitt über die Abschreibungszeiten der unter dieser Position zusammengefassten Netzelemente. Der Durch-

³⁶ Der hier angesetzte Wert berücksichtigt neben den Investitionen pro Outdoor-DSLAM, weitere im Zusammenhang mit der Installation anfallende Investitionen, wie z.B. neue KVz-Gehäuse sowie im Rahmen des KVz-Ausbaus anfallende Installationsarbeiten (Vgl. hierzu Grohmann (2005) sowie die Aussagen unter <http://www.verivox.de/News/ArticleDetails.asp?aid=9304>).

schnittswert umfasst sowohl vergleichsweise hohe Abschreibungszeiten, die beispielsweise für das KVz-Gehäuse anzusetzen sind, als auch Abschreibungszeiten für im KVz untergebrachte Hardware, wie z.B. Outdoor-DSLAM, Splitter etc., die im Vergleich dazu in der Regel geringer sind. Die Line Card hingegen wird separat berücksichtigt und stellt keinen Durchschnittswert dar, weshalb die angenommene Abschreibungsdauer mit 3 Jahren niedriger angesetzt wurde. Der Zins und die Preisveränderungsrate belaufen sich hier (und im Folgenden) auf 8 % bzw. 0 %.

Unter der Annahme, dass in den 10 Städten durchschnittlich etwa 210 Anschlüsse auf einen KVz entfallen, ergeben sich für die mit VDSL zu versorgenden 5,5 Mio. Anschlüsse etwa 26.000 Kabelverzweiger. Diese durchschnittliche Anschlusszahl pro KVz basiert auf Angaben der Telekom zum VDSL-Ausbau mit Stand Mitte 2006.³⁷ Der VATM verweist in diesem Zusammenhang mit 230 Anschlüssen je KVz auf einen Wert ähnlicher Größenordnung.³⁸ Die Anzahl der KVz erscheint u.E. nicht unplausibel, wenn man beachtet, dass sich hieraus (für städtische Bereiche) etwa 400 m Glasfaserstrecke zwischen KVz und Hauptverteiler ergeben. Im Folgenden wird deshalb unterstellt, dass an 26.000 Kabelverzweigern Umbaumaßnahmen erforderlich sind und entsprechendes DSLAM-Equipment zu installieren ist.

Tabelle 4: Parameter zur Bestimmung der Investitionskosten für KVz-Umbauten, Outdoor-DSLAM, Splitter (netzseitig) und Line Cards

Anzahl an Outdoor-DSLAM / Splitter / KVz-Umbaumaßnahmen	26.000
Preis pro KVz-Umbau (inkl. Outdoor-DSLAM, netzseitigem Splitter etc.) in €	25.000
Line Cards, pro Kunde, in €	70
Ökonomische Abschreibungsdauer (KVz-Umbau, Outdoor-DSLAM, Splitter)	6 Jahre
Ökonomische Abschreibungsdauer der Line Cards	3 Jahre
Zinssatz, in Prozent	8,00
Preisveränderungsrate, in Prozent	0,00

Gemäß diesen Parametern belaufen sich die annualisierten Kosten für den KVz-Umbau, Outdoor-DSLAM und Splitter in Summe auf 140,6 Mio. €, was einem monatlichen Betrag in Höhe von 11,72 Mio. € entspricht. Daneben ergibt sich für die Kosten von Line Cards ein Betrag in Höhe von 2,26 € pro Anschluss und Monat. Die hier ausgewiesenen Kosten enthalten keine indirekten Kosten, Betriebskosten und Gemeinkosten.

³⁷ Vgl. hierzu die Pressemitteilung der Telekom zum Stand des VDSL-Ausbaus vom 7.06.2006 (<http://www.telekom3.de/de-p/pres/14-s/inha/060706-vdsl-netz-ar.html>).

³⁸ Vgl. VATM (2006).

3.2.4.3 Verzweigerkabel

Weil die von der DTAG angebotenen auf VDSL basierenden Produkte nur in Verbindung mit einem analogen Telefonanschluss erhältlich sind, und die durch den analogen Anschluss erzielte Grundgebühr bereits die Kosten der kupferbasierten TAL, also auch des Verzweigerkabels, deckt, bleiben die auf dieses Netzsegment entfallenden Kosten unberücksichtigt. Dies lässt sich nicht zuletzt aufgrund der Tatsache rechtfertigen, dass auf der Verzweigerkabel-Anschlussleitung keine inkrementellen Kosten im Rahmen der VDSL-Einführung anfallen.

3.2.4.4 Ausrüstungen und Anlagen für den Bereich Netzwerkunterstützung

Die in den vorangegangenen Punkten hergeleiteten Kostenpositionen resultieren aus Aufwendung in Netzgeräte, die in direktem Zusammenhang mit dem Netzbau stehen und deshalb als direkte Investitionen bezeichnet werden. Neben direkten Kosten fallen jedoch im Rahmen des Netzbaus, Netzbetriebs und Netzunterhalts auch Investitionen an, die sich nicht unmittelbar im Netz wieder finden, jedoch für den Bau, Betrieb und Unterhalt des Netzes erforderlich sind und zu denen z.B. Aufwendungen für Werkstätte oder Montagefahrzeuge zählen.

Die hier durchgeführte Berechnung berücksichtigt indirekte Investitionen mit einem Aufschlag von 10 % auf die direkten Investitionen, so dass sich die so ermittelten indirekten Investitionen anschließend unter Annahme einer ökonomischen Abschreibungsdauer von 10 Jahren in eine annualisierte Form überführen lassen.

Tabelle 5: Parameter zur Berechnung der indirekten Investitionen sowie die für diese Kategorien angesetzten Parameter zur Kapitalrückgewinnung

Zuschlag für Indirekte Investitionen, in Prozent	10
Ökonomische Abschreibungsdauer Indirekte Güter	10 Jahre
Zinssatz, in Prozent	8,00
Preisveränderungsrate, in Prozent	0,00

3.2.4.5 VDSL-Splitter und Modems

Im Rahmen der Einführungsphase stellt die DTAG ein Paket bestehend aus Mediareceiver, Router, VDSL Splitter und VDSL Modem gegen einen einmaligen Betrag von 99,95 € bereit.³⁹ Methodisch sind deshalb die dahinter liegenden Kosten für Beschaf-

³⁹ Vgl. hierzu die im Internet vorliegende Informationsseite der DTAG zu den VDSL-Produkten T-Home Complete Basic und T-Home Complete Plus (<http://www2.t-home.de/dyn/c/77/68/57/7768576.html>).

fung, Vertrieb usw. nicht in die Berechnungen aufgenommen worden. Zweifel bestehen jedoch, ob der von der DTAG für das „Media-Paket“ erhobene Einmal-Preis die Kosten der hierin enthaltenen Geräte tatsächlich deckt. Der hier geäußerte Zweifel verstärkt sich nicht zuletzt aufgrund der Tatsache, dass die DTAG das Paket lediglich für eine beschränkte Anzahl an Kunden vorhält und somit das Angebot kontingentiert.

Insoweit, als dass der Kaufpreis von knapp 100 Euro nicht kostendeckend ist, käme dies einer Promotion gleich, deren Kosten in den Berechnungen aber nicht erfasst werden.

3.2.4.6 Betriebskosten

Die operativen Kosten, die im Zusammenhang mit dem Betrieb und der Instandhaltung des Netzes periodisch wiederkehren, berücksichtigt das Modell mit einem prozentualen Aufschlag in Höhe von 10 % auf direkte und indirekte Investitionen. Unter operative Kosten oder auch Betriebskosten fallen z.B. Mietkosten, Kosten der Energieversorgung, u.ä.

Tabelle 6: Zuschlag für operative Kosten

Zuschlag für operative Kosten, in Prozent	10
---	----

3.2.4.7 Retailkosten

Außerdem sind Kosten zu berücksichtigen, die im weiteren Sinne im Zusammenhang mit dem Produktvertrieb an die Endkunden stehen. Hierunter fallen beispielsweise

- Marketing- und Akquisitionskosten durch Provisionszahlungen, Preispromotions, Werbung,
- Kundenbetreuungskosten (Customer Care), wie z.B. Call Center,
- Kosten des Billing, wie z.B. Rechnungslegung und –versand, Mahnwesen.

Es erscheint sinnvoll, diese Kosten auf den Kundenbestand zu verteilen. Hierbei ist gegebenenfalls zu beachten, dass Kunden neben dem reinen Anschluss auch nutzungsabhängige Produktkomponenten nachfragen und der für den Anschluss relevante Teil der Retailkosten identifiziert und zugerechnet wird (so wird bspw. nur eine Rechnung ausgestellt, die sowohl die Grundgebühr des Anschlusses als auch die Internetnutzung umfasst). Für die hier vorgenommene Berechnung gehen wir in einer Schätzung von 4,00 EUR je Kunde und Monat aus.

Tabelle 7: Retailkosten

Monatliche Retailkosten, in Euro	4,00
----------------------------------	------

3.2.4.8 Gemeinkosten

Es bleiben letztlich noch solche Kosten zu berücksichtigen, die mit den bisher genannten Positionen noch nicht erfasst und abgebildet sind. Aufgrund der schon oben dargestellten Kostenkomponenten, so wie sie bis hierhin dargestellt wurden, verbleibt nur noch ein geringer Teil, der als Gemeinkosten zu klassifizieren ist. Im Wesentlichen sind dies unternehmensweite Gemeinkosten, die beispielsweise im Zusammenhang mit der Administration, Human Resources, Werbung oder der Verwaltung stehen und hier per Definition nicht als Einzelkosten anzusehen sind.

Entsprechend gängiger Praxis werden die Gemeinkosten als prozentualer Zuschlag auf direkte Kosten, indirekte Kosten und operative Kosten definiert. Für die hier vorgenommene Berechnung gehen wir in einer Schätzung von einem Gemeinkostenzuschlag in Höhe von 10 % aus.

Tabelle 8: Gemeinkostenzuschlag

Zuschlag Gemeinkosten, in Prozent	10
-----------------------------------	----

3.2.5 Ableitung der relevanten Erlösponente und Bestimmung der „kritischen“ Teilnehmerzahl

Ziel soll es sein, diejenige Anzahl an VDSL-Kunden abzuleiten, bei der die Kosten des VDSL-Ausbaus durch realisierbare Erlöse gerade gedeckt werden. Die Tragbarkeit des Ausbaus wird maßgeblich davon abhängen, wie hoch die Nachfrage nach VDSL zukünftig ausfällt. Zur Beurteilung des VDSL-Ausbaus erfolgt im nächsten Schritt deshalb eine Gegenüberstellung der, wie oben dargestellt, ermittelten Kosten mit dem relevanten Endkundenpreis. Dieser orientiert sich in den Berechnungen an dem wie im Abschnitt 3.1 dargestellten aktuellen Tarifmodell der Telekom: Als Referenzpreis greift die Berechnung ausschließlich auf den monatlich zu entrichtenden Anschlusspreis i.H.v. 34,99 Euro zurück.

Wie weiter oben beschrieben, vertreibt die Telekom den VDSL-Anschluss ausschließlich in Kombination mit einem Telefonanschluss, für den ein zusätzliches Entgelt zu

entrichten ist.⁴⁰ Wir gehen vereinfachend davon aus, dass diese monatlichen Erlöse gerade diejenigen Kosten decken, die aus der Bereitstellung und des Betriebs eines Telefonanschlusses resultieren. Sofern also diese monatlichen Anschlussentgelte betrachtet würden, müsste die im Modell durchgeführte Kostenberechnung auch die Kosten der klassischen TAL einbeziehen. Unter dieser Annahme ist die Berücksichtigung des klassischen Telefonanschlusses ergebnisneutral, weshalb die damit verbundenen monatlichen Erlöse nicht berücksichtigt werden. Die Herleitung der zur Kostendeckung benötigten Anschlusszahl bezieht sich somit auf den monatlich zu entrichtenden Preis für den reinen VDSL-Anschluss i.H.v. 34,99 Euro.

Nicht-Berücksichtigung von Erlösen aus der Bereitstellung

Für die Bereitstellung des Anschlusses ist vom Endkunden in der Regel ein Bereitstellungsentgelt zu entrichten. Wir gehen davon aus, dass alle zugrunde liegenden (Bereitstellungs-) Kosten hierdurch gedeckt werden. Bereitstellungsentgelte fließen in die Berechnung deshalb nicht mit ein.

Nicht-Berücksichtigung von Erlösen aus Flatrates

Gleiches gilt für die Erlöse aus den nutzungsabhängigen Tarifkomponenten für die Internetflatrate sowie IPTV- und VoIP-Flatrate. Diese werden im Rahmen der Berechnungen nicht berücksichtigt.

Genau genommen ist an dieser Stelle zu hinterfragen, ob nicht auch Teile der Flatrates zur Deckung der Kosten des VDSL-Ausbaus beitragen. Denn in die Kosten des VDSL-Ausbaus fließen im engeren Sinne nicht nur Komponenten ein, die als anschlussgetrieben, sondern auch gemeinhin als nutzungsabhängig klassifiziert werden können. Entsprechend gängiger Abgrenzungspraxis fielen hierunter die Kosten der Glasfaser und Teile des Outdoor-DSLAM (netzseitige Karte).

Die Beantwortung der Frage, ob die Kosten des VDSL-Ausbaus durch die Flattarife (teilweise) gedeckt werden, gestaltet sich schwierig, weil diese auch Kosten in nachgelagerten Netzsegmenten (z.B. ATM-/IP-Netz, IPTV-spezifische Netzelemente etc.) adressieren. Ein Erklärungsbeitrag liefert das Tarifmodell der Telekom selbst: Verglichen mit Flattarifen für ADSL 2+ Anschlüsse zeigt sich beispielsweise, dass die VoIP-Flatrate mit etwa 10 Euro identisch bepreist ist. Lediglich bei der Flatrate für Internet und IP-TV legen die Tarifmodelle offen, dass die Flatrate im Falle VDSL mit 19,95 € annähernd doppelt so teuer ist wie bei ADSL 2+ (9,95 €). Allerdings umfasst die Flatrate bei ADSL 2+ lediglich VoD Dienste, während bei VDSL zusätzlich Free-TV Kanäle angeboten werden. Ob die Residualgröße vollständig durch die Zusatzkosten aus dem Free-TV Angebot beschrieben werden, kann hier nicht abschließend eruiert werden. Ein Blick

⁴⁰ Dieses Arrangement entspricht damit praktisch einer Situation, in der (klassischer) Telefon- und VDSL-Anschluss parallel betrieben werden. Weiter unten wird schließlich szenarienhaft untersucht, welche Kosten sich ergeben, wenn VDSL den (alleinigen) „Regelanschluss“ darstellt.

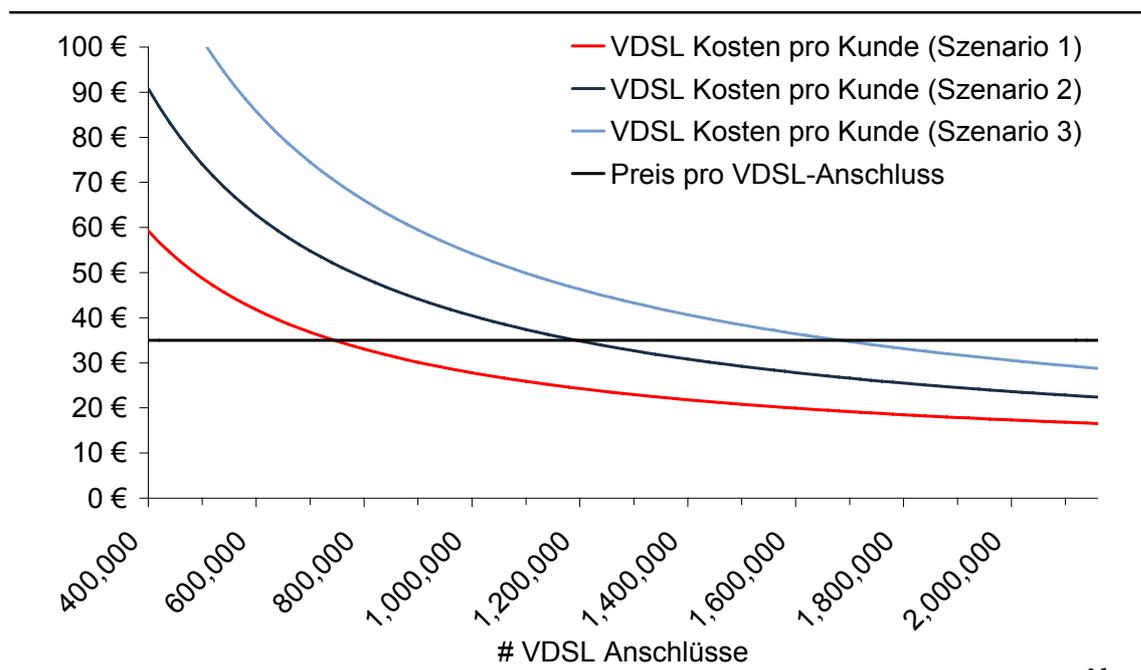
auf vergleichbare Angebote für IP-TV Flatrates, die zudem auf ADSL 2+ basieren, zeigt ähnliche Größenordnung auf.

Im Rahmen dieser Arbeit erscheint es u. E. gerechtfertigt, für die Berechnungen die Annahme zu treffen, dass die Flatrate-Komponenten nicht zur Kostendeckung im wie oben abgegrenzten VDSL-Ausbau beitragen.

Ergebnis: Bestimmung der kritischen Teilnehmerzahl

Vor dem Hintergrund der oben getroffenen Annahmen über die Abgrenzung von Kosten und die Berücksichtigung von Erlösen, lassen sich nun die Gesamtkosten des VDSL-Ausbaus abschätzen. Gesucht ist die kritische Teilnehmerzahl, bei der die Durchschnittskosten gerade durch den VDSL-Tarif gedeckt werden. Zu diesem Zweck wurde die Teilnehmeranzahl variiert und die Kosten des VDSL-Ausbaus auf dieser Basis abgeschätzt. Mit Blick auf die durchschnittlichen Kosten je Kunde und Monat, ergibt sich somit folgendes Bild:

Abbildung 7: Verlauf der Durchschnittskosten des VDSL-Ausbaus



Die Abbildung zeigt den erwartungsgemäß degressiven Verlauf der Durchschnittskosten auf. In die Kosten sind alle oben genannten Kostenkomponenten eingeflossen. Die unterschiedlichen Konventionen hinsichtlich des angesetzten Verlegepreises werden in der Abbildung durch die drei Kostenkurven dargestellt. Unter Berücksichtigung des angesetzten Referenzpreises von 34,99 Euro je Kunde und Monat würden die durchschnittlichen Kosten pro Kunde im Szenario 2 gerade gedeckt bei einer Zahl von etwa

1,2 Mio. VDSL Anschlüssen. Dies entspricht monatlichen Gesamtkosten von etwa 42 Mio. Euro. Mit Blick auf die Penetrationsrate bedeutet das, dass bei etwa 5,5 Mio. potenziellen VDSL-Anschlüssen etwa 22% erschlossen werden müssen. Das heißt, dass etwa jeder fünfte Anschluss am Kabelverzweiger mit VDSL beschaltet würde.

Erwartungsgemäß ergibt sich für Szenario 1 und Szenario 3 ein anderes Bild. Im Szenario 1 werden die im Vergleich niedrigsten Kosten der Glasfaserinstallation betrachtet. Dieser Fall betrachtet eine Situation, in der die Möglichkeit zur Ausnutzung ausreichend vorhandener Leerkapazitäten bei den Kabelnetzanlagen und Rohren unterstellt wird. Die berechnete Break-Even-Menge bzw. Break-Even-Penetration liegt hier bei etwa 760.000 VDSL-Anschlüssen bzw. fast 14 %. Die gesamten monatlichen Kosten belaufen sich in diesem Szenario auf 26,6 Mio. Euro.

Für das Szenario 3 gilt, dass die Break-Even-Menge mit 1,7 Mio. VDSL-Anschlüssen am höchsten ausfällt, weil hier eine Stand-Alone-Produktion des Glasfaserabschnittes unterstellt wurde. Dieses Szenario soll den Versuch zur Ableitung einer Obergrenze leisten. Es führt zu den vergleichsweise höchsten monatlichen Kosten und spiegelt eine Situation wider, in der bei Kabelkanalanlagen keine ausreichenden Leerkapazitäten nutzbar gemacht werden können. Die monatlichen Gesamtkosten belaufen sich hier auf 59,5 Mio. Euro. Die berechnete Break-Even-Penetration liegt hier bei etwa 31 %.

Tabelle 9: Geschätzte monatliche Gesamtkosten des VDSL-Ausbaus und Break-Even-Penetration

Szenario	Geschätzte Gesamtkosten des VDSL-Ausbaus pro Monat	Kritische Anzahl an VDSL-Anschlüssen „Break-Even-Menge“	Kritische Penetrationsrate
Szenario 1	26,6 Mio. Euro	760.000	14 %
Szenario 2	41,9 Mio. Euro	1.200.000	22 %
Szenario 3	59,5 Mio. Euro	1.700.000	31 %

3.3 Interpretation und Einordnung der Ergebnisse

Die kritische Teilnehmermenge liegt je nach betrachtetem Szenario folglich zwischen 760.000 und 1,7 Mio. VDSL Anschlüssen. Die Spannweite ist hauptsächlich durch die in den drei Szenarien unterschiedlich angesetzten Kosten für den Hauptkabelabschnitt getrieben. Während die Investitionen in Kabelverzweiger, DSLAM und Splitter in allen drei Szenarien gleich hoch angesetzt wurde, werden die Tiefbauinvestitionen über verschiedene Kostenallokationsszenarien variiert.

Szenario 1: 760.000 VDSL-Anschlüsse bzw. 14 %

In Szenario 1 ist die Break-Even-Penetration am geringsten, weil sich die Tiefbauinvestitionen hier auf die reine Glasfaser-Installation – zudem in der am wenigsten kostenintensiven Variante, dem Durchziehen in Rohren – beschränken. Bereits früher getätigte Investitionen in Tiefbau und Linientechnik bleiben hier unberücksichtigt. Dieser Ansatz unterstellt, dass durchweg ausreichend Leerkapazitäten im Hauptkabelbereich vorliegen, die für den Glasfasereinsatz genutzt werden können und das diese Ressource unentgeltlich genutzt werden kann. Dieser Ansatz entspricht deshalb einem Kostenansatz, bei dem nur gefragt wird, welche Zusatzkosten durch die Installation der Glasfaserstrecken entstehen. Obwohl die Glasfaser auch Ressourcen im Bereich Tiefbau beansprucht, erfolgt in diesem Szenario bewusst keine Allokation derartiger Verbundkosten. Die entsprechenden Kosten für Tiefbau, Kabelkanalanlagen u.ä. müssen deshalb zwangsläufig von anderen Diensten und Produkten getragen werden. Verbundvorteile kommen hier also vollständig und ausschließlich dem VDSL-Ausbau zugute.

Szenario 2: 1.200.000 VDSL-Anschlüsse bzw. 22 %

Das Konzept, die inkrementell mit der Glasfaserverlegung anfallenden Kosten dem VDSL-Anschluss zuzurechnen, ist dagegen Bestandteil des zweiten Szenarios. Hierin werden zwar auch die Kosten für die Glasfaser sowie deren Installation betrachtet, jedoch wird darüber hinaus ein gewisser Anteil der Kosten für die Kabelkanalanlagen und Trassen in Ansatz gebracht. Als Schlüssel dient, wie bereits im Abschnitt zu den einzelnen Kostenkomponenten erwähnt, 31,56 %. Weil der Glasfaser in diesem Szenario Kosten der Kabelnetzanlagen und der Trassen alloziiert werden, fallen die anrechenbaren Kosten und damit natürlich auch die Break-Even-Penetration höher aus.

Szenario 3: 1.700.000 VDSL-Anschlüsse bzw. 31 %

Das dritte Szenario soll schließlich eine Obergrenze hinsichtlich der zurechenbaren (Tiefbau-) Investitionen darstellen, indem unterstellt wird, die Errichtung der Glasfaserstrecken erfolge Stand-Alone. Eine gemeinsame Nutzung mit z.B. Kupferkabeln ergibt sich hier per Definition nicht und Verbundvorteile kommen hier also nicht zum Tragen. Die gesamten Investitionen, die für die Glasfasererrichtung anfallen, werden ausschließlich dem VDSL-Anschluss zugerechnet. Bei sonst gleich bleibenden Investitionen in DSLAM, Splitter u.ä. fällt die Break-Even-Menge in diesem Szenario deshalb am größten aus. Dieses Szenario entspricht damit tendenziell dem für einen alternativen Netzbetreiber relevanten Szenario, bei dem ein Aufbau vergleichbarer Infrastruktur erfolgt, ohne dass bspw. ein Zugang zu Leerrohren (der Telekom und/oder anderer Anbieter) erfolgt.

Weil in Szenario 3 von Verbundvorteilen abstrahiert wird, die in der Realität aber durchaus realisiert werden können, ist die Stand-Alone-Betrachtung als theoretisch denkbare Obergrenze zu verstehen. Unseres Erachtens entspricht tendenziell das zweite Szenario dem relevanten Szenario. Dies gilt auch im Vergleich zum ersten Szenario, weil darin nur die Zusatzkosten für die Glasfaser und das Durchschießen der Glasfaser betrachtet werden. Szenario 2 betrachtet neben diesen Kosten weitere inkrementelle Kosten, die im Zusammenhang mit der Glasfaserverlegung stehen und weist diese der Glasfaser verursachungsgerecht zu.

Die hier durchgeführte Kostenanalyse geht zudem von einem eingeschwungenen Zustand der Penetration aus und lässt einen in der Realität zu erwartenden Zeitpfad der Penetration unberücksichtigt. Ein Großteil der im Zusammenhang mit dem VDSL-Ausbau stehenden Investitionen besitzt jedoch Fixkosten-Charakter, so dass diese Aufwendungen bereits während der Roll-out Phase anfallen. Das Ausblenden des zeitlichen Verlaufs hin bis zur kritischen Penetration führt somit tendenziell zu einer Unterschätzung der Kosten der VDSL-Einführung.

3.4 Alternativrechnungen

Nachfolgende Ergebnisse wurden bei Variation der jeweils genannten Eingabegröße ceteris paribus in Form von Alternativberechnungen abgeleitet.

- Reduzierte Investitionen in Outdoor-DSLAM, KVz-Gehäuse, Splitter und Umbau

Die oben dargestellten Berechnungen basieren auf einem fixen Investitionswert für den Outdoor-DSLAM, Kabelverzweiger, Splitter und Umbau in Höhe von je 25.000 Euro. Im Rahmen dieser Alternativberechnung wurde untersucht, welche Break-Even-Mengen sich ergeben, wenn anstelle dessen ein Investitionswert von 20.000 Euro (entspricht -20%) angesetzt wird.

Tabelle 10: Ergebnisse bei reduziertem Invest für Umbaumaßnahmen, DSLAM, KVz und Splitter

	Kritische Anzahl an VDSL-Anschlüssen	Kritische Penetrationsrate	Veränderung zum Ausgangsniveau
Szenario 1	620.000	11 %	⬇️
Szenario 2	1.060.000	19 %	⬇️
Szenario 3	1.540.000	28 %	⬇️

- **Veränderte Preisveränderungsrate**

In dieser Alternativberechnung werden alle Investitionen annualisiert unter Berücksichtigung einer angenommenen jährlichen durchschnittlichen Preisveränderungsrate von – 5 %. Es ergeben sich folgende Break-Even-Mengen:

Tabelle 11: Ergebnisse bei veränderter Preisveränderungsrate

	Kritische Anzahl an VDSL-Anschlüssen	Kritische Penetrationsrate	Veränderung zum Ausgangsniveau
Szenario 1	820.000	15 %	⬇️
Szenario 2	1.360.000	25 %	⬇️
Szenario 3	1.940.000	35 %	⬇️

- **Integration des analogen Telefonanschlusses in den VDSL Anschluss: Die Kosten der KVz-TAL**

Den Berechnungen liegt die Annahme zugrunde, dass das Angebot des VDSL-Anschlusses einen klassischen Telefonanschluss voraussetzt, dessen Kosten allerdings bereits durch die Entrichtung des entsprechenden Endkundertarifs gedeckt werden. Mittelfristig ist jedoch mit einem Wegfall des klassischen analogen Anschlusses zu rechnen, weil sich die hierauf aufsetzenden Dienste auch über VDSL realisieren lassen, so dass der VDSL-Anschluss als alleiniger Anschluss denkbar ist.

Die Kostenstruktur des VDSL-Anschlusses ist dann weiter zu fassen, als es in den obigen Berechnung erfolgte, weil zusätzlich auch die Kosten der KVz-TAL, mithin also die Kosten des (kupferbasierten) Netzsegments zwischen Endkunde und Kabelverzweiger, zu berücksichtigen sind. Zu diesem Zweck wurde eine Alternativberechnung durchgeführt, die je VDSL-Anschluss zusätzlich zu den oben dargestellten Kostenkomponenten einen Kostensatz für die KVz-TAL in Höhe von monatlich 7,55 Euro ansetzt.⁴¹ Dieser Wert soll diejenigen Kosten approximieren, die mit der Errichtung und dem Betrieb der Kupferstrecke zwischen Kunde und Kabelverzweiger in Verbindung stehen. Um die Auswirkung dieser kostenmäßigen Variation auf die Höhe der Break-Even-Menge zu analysieren, wurden die resultierenden gesamten Durchschnittskosten wiederum dem Referenzpreis von 34,99 Euro gegenübergestellt.

⁴¹ Dieser Wert orientiert sich an den gegenwärtig von der Bundesnetzagentur genehmigten Entgelten für die Überlassung der KVz-TAL.

Berücksichtigt man die Kosten der KVz-TAL ergeben sich folgende Break-Even-Mengen⁴²:

Tabelle 12: Ergebnisse bei Berücksichtigung der Kosten für die KVz-TAL

	Kritische Anzahl an VDSL-Anschlüssen	Kritische Penetrationsrate	Veränderung zum Ausgangsniveau
Szenario 1	1.020.000	19 %	☹☹
Szenario 2	1.640.000	30 %	☹☹
Szenario 3	2.300.000	42 %	☹☹

- Preisniveau alternativer Triple-Play Produkte

Den Ausgangsberechnungen liegt zugrunde, dass sich der Referenzpreis an dem gegenwärtigen VDSL-Angebot der Deutschen Telekom orientiert. Dieser beträgt knapp 35 Euro pro Monat. Hinzu kommen bis zu 30 Euro monatlich für die Nutzung von Internet, Telefonie und IPTV.

Dieser Anschlusspreis und damit auch der Gesamtpreis für das Triple Play Produkt liegt im oberen Bereich dessen, was sich mit Blick auf „alternative“ Triple Play-Angebote im Markt ergibt. So bieten in Deutschland und Frankreich Anbieter Triple Play-Dienste bereits für monatlich etwa 30 Euro an.⁴³ An dieser Stelle sei betont, dass die Flatrates hierin bereits enthalten sind.

Die hier angesprochenen alternativen Triple Play Angebote basieren zumeist auf ADSL 2+ und setzen nicht auf VDSL-Technologie auf. Wenngleich hiermit offensichtlich unterschiedliche Kosten verbunden sind (ADSL 2+ nutzt beispielsweise bestehende Kupferleitungen im Hauptkabelbereich), ist aus Endkundensicht jedoch zu erwarten, dass vorrangig die Produktbestandteile und Leistungsmerkmale wie z.B. maximale Bandbreite, Anzahl der TV-Kanäle etc. von Bedeutung sind. Bis zu einem gewissen Grade kann diesbezüglich aber eine Vergleichbarkeit zwischen Triple Play Angeboten, die auf ADSL 2+ oder VDSL basieren, konstatiert werden.

Für den Fall, dass sich hieraus ein Preisanpassungsbedarf für das auf VDSL basierende Triple Play Produkt zukünftig ergeben sollte, untersucht die folgende Alternativberechnung, welche Break-Even-Mengen sich bei gegebenen Kosten in den drei Szenarien ergeben, wenn der Endkumentarif für das Triple Play Produkt auf ein vergleichbares Niveau sinkt. Entsprechend der bisherigen Vorgehensweise be-

⁴² Zur Vergleichbarkeit werden die Berechnungen nach wie vor für alle drei Szenarien durchgeführt. Streng genommen ist hier, aufgrund des darin eingenommenen Blickwinkels auf die Stand-alone Verlegung, eigentlich das Szenario 3 von vorrangiger Bedeutung.

⁴³ Siehe hierzu beispielsweise www.1&1.de, www.free.fr.

schränkt sich die Untersuchung lediglich auf den Anschluss. Zu diesem Zweck wurde in den Berechnungen ein Referenzpreis in Höhe von 25 Euro (anstelle von 34,99 Euro) pro Monat angesetzt.

Tabelle 13: Ergebnisse bei einem Referenzpreis von 25 Euro

	Kritische Anzahl an VDSL-Anschlüssen	Kritische Penetrationsrate	Veränderung zum Ausgangsniveau
Szenario 1	1.160.000	21 %	⦿⦿⦿
Szenario 2	1.860.000	34 %	⦿⦿⦿
Szenario 3	2.620.000	48 %	⦿⦿⦿

- VDSL-Ausbau auf insgesamt 50 Städte

Die oben dargestellten Berechnung berücksichtigen den Glasfaserausbau in 10 Städten und reflektieren damit die erste Ausbaustufe der Deutschen Telekom. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang wie sich die Ergebniswelt bei Ausbau weiterer 40 Städte verändert. Unseres Erachtens werden sich im Rahmen dieses Ausbau eine Reihe wichtiger Determinanten verändern: Hierzu zählen die durchschnittlichen Tiefbau- und Verlegekosten pro Meter, die Anschlussdichte am KVz bzw. Outdoor-DSLAM und die durchschnittliche Länge der Glasfaser zwischen Hauptverteiler und Outdoor-DSLAM.

Die nachfolgende Tabelle stellt die zu erwartenden Veränderungen dieser Determinanten und deren kostenmäßige Wirkungsrichtung im Vergleich zur ersten Ausbaustufe dar.

Tabelle 14: Ausblick: Roll-Out auf weitere 40 Städte

	Erwartete Veränderung gegenüber Ausbau in 10 Städten	Erwartete Veränderung der Break-Even-Penetration
Tiefbau- und Verlegekosten pro Meter	⦿	⦿
Anschlussdichte am KVz bzw. DSLAM	⦿	⦿
Durchschnittliche Länge der Glasfaserstrecke	⦿	⦿

Durch die Tatsache, dass sowohl die Anschlussdichte am Kabelverzweiger sinkt als auch die durchschnittliche Länge der Glasfaserstrecke wächst, ist eine steigende kritische Penetration zu erwarten. Ein gegenläufiger Effekt kann sich daraus ergeben, dass die Tiefbauinvestitionen in den 40 weiteren Städten im Durchschnitt tendenziell geringer ausfallen. Nicht zuletzt aufgrund des vergleichsweise hohen Inves-

titionsanteils der Umbaumaßnahmen und des DSLAMs ist jedoch zu vermuten, dass die kritische Penetration gegenüber der ersten Ausbaustufe zunehmen wird. Eine explizite Quantifizierung des Gesamteffektes kann im Rahmen zusätzlicher Arbeiten geleistet werden, sobald hierfür eine breitere Informations- und Datenbasis (wie z.B. die Liste der betroffenen Städte und Gebiete) vorliegt.

4 Ausblick und Regulatorische Aspekte

4.1 VDSL als neuer Regelanschluss im All-IP NGN?

Der gegenwärtig in Rede stehende Umbau in Teilen des Anschlussnetzes zielt primär darauf, auf dieser Basis VDSL-Anschlüsse und Triple Play-Dienste zu vertreiben. Die Ergebnisse der Berechnungen deuten darauf hin, dass in diesem Bereich jedoch soviel Kostendegressionspotenzial liegt, dass zu fragen ist, ob VDSL nicht der neue „Regelanschluss“ wird. Nicht zuletzt weil mit den Komponenten Tiefbau, Glasfaser und DSLAM ein Großteil der Ausbaurkosten sprungfixen Charakters ist, kann an dieser Stelle deshalb die These aufgestellt werden, dass es mittelfristig die dominante Strategie für den Netzbetreiber ist, eine Migration sämtlicher Produkte und Dienste im Teilnehmeranschlussnetz hin zu VDSL zu forcieren.

Hinzu kommt, dass der Parallelbetrieb von Glasfaser und Kupferleitungen im Hauptkabelbereich hinsichtlich seiner Effizienz hinterfragt werden muss. Ein ausschließlich auf Glasfaser betriebenes Hauptkabelsegment dürfte signifikante Kosteneinsparungen zumindest hinsichtlich der Betriebskosten mit sich bringen.

Mit Blick auf die Migration ist ein besonderes Augenmerk auf den klassischen Sprachtelefonanschluss zu richten. So zeigen die Verkehrsmengen im Festnetz bereits heute signifikante Verschiebungen vom schmalbandigen (und im Festnetz als leitungsvermittelter Verkehr geführter Verkehr) hin zu breitbandigem (im ATM-Konzentrations- bzw. im IP-Netz geführter) Internetverkehr auf. Auch die zunehmende Nachfrage nach VoIP-Angeboten deutet in der heute beobachtbaren Tendenz darauf hin, dass auch Sprachverkehr dem Festnetz zunehmend weg bricht und in paketvermittelte Netze migriert. Setzt sich diese Entwicklung zukünftig fort, kann dies einen Erklärungsbeitrag zur Frage des „VDSL-Regelanschlusses“ leisten.

Denkbar ist, auch heutige ADSL-Anschlüsse produktionstechnisch so auszugestalten, dass auch diese Anschlüsse die Glasfaserstrecken im Hauptkabel mitbenutzen können.⁴⁴ Demnach würden (nahezu) sämtliche Strecken zwischen Kabelverzweiger und Hauptverteiler auf Glasfasertechnik aufsetzen und es ermöglichen, nicht nur VDSL-Anschlüsse, sondern auch relevante andere Produkte, die bislang auf Kupfertechnologie im Hauptkabel aufsetzen, hierüber zu realisieren. Außerdem würde ein Teil der heute im HVt betriebenen Technik (z.B. DSLAM für ADSL-Anschlüsse) wegfallen, woraus folgt, dass die Notwendigkeit der HVt-Standorte neu zu prüfen ist.

Das Anschlussnetz unterliegt in einem solchen längerfristigen Szenario gravierenden Veränderungen. Insbesondere der Hauptkabelbereich und der Hauptverteiler sind hier-

⁴⁴ Es ist gegenwärtig bereits möglich ADSL-Anschlüsse netzseitig am Outdoor-DSLAM anzuschließen. Hierzu lassen sich abwärtskompatible (VDSL-)Line Cards verwenden.

von betroffen. Die Funktionalität von klassischen Hauptverteilern wird zu hinterfragen sein in dem Sinne, dass ein Großteil der heute über 7000 Hauptverteiler obsolet wird und nur ein Teil dieser Standorte als Verkehrskonzentrationspunkte weiter fungiert. An die Stelle des Hauptverteilers als netzseitigen Abschluss der Teilnehmeranschlussleitung tritt dann der Kabelverzweiger, der DSLAM-Einheiten nicht nur für die VDSL-, sondern (mittelfristig) auch für die ADSL-Anschlüsse und die darüber generierten Daten- und Sprachverkehre bereithält. Aus Sicht des ATM-Konzentrationsnetzes bzw. des IP-Netzes würde die unterste Netzebene nicht auf Ebene der Hauptverteiler, sondern durch die Kabelverzweiger dargestellt. Kabelverzweiger könnten dann an einem Teil der heute bestehenden Hauptverteilerstandorte als nächst höhere Ebene angebunden werden, sodass hier eine weitere Verkehrsaggregation stattfinden könnte.

Der Fall KPN in den Niederlanden

Ein solches Szenario ist keine Utopie, sondern bereits real existent. So plant die KPN in den Niederlanden bereits den Neubau des Access-Netzes.

KPN ist im Begriff, ihr gegenwärtiges Netz (Telefonie, Breitband, Mietleitungen) in ein All-IP-Netz migrieren zu lassen auf Basis dessen alle Dienste und Produkte realisiert werden können, einschließlich z.B. IPTV.

Nach Aussagen von KPN soll das All-IP-Netz durch folgende Eckpunkte beschrieben sein:⁴⁵

- Die Übertragungstechnik wird auf IP/Ethernet aufsetzen,
- das leitungsvermittelte Netz wird abgebaut,
- weniger als 200 von insgesamt 1361 Hauptverteilerstandorten werden als so genannte "Metro Core Locations" bestehen bleiben (allerdings ohne Hauptverteilerfunktionalität),
- das Netzsegment zwischen den "Metro Core Locations" und den etwa 28.000 Kabelverzweigern wird auf Basis von Glasfaser umgewidmet,
- der Breitbandinternetzugang wird auf Basis von VDSL 2 oder, falls die technischen und ökonomischen Voraussetzungen erfüllt sind, auf Basis reiner Glasfaseranschlüsse („fibre to the home“ oder „fibre to the office“) realisiert,
- der Ausbauplan sieht vor, die Kabelverzweiger zu kategorisieren: Kategorie 1 bezieht sich auf Kabelverzweiger in Gebieten, in denen entbündelter Teilnehmerzugang und Kollokation bislang nicht nachgefragt wird, Kategorie 2 auf Kabelverzweiger in Gebieten, in denen dies sehr wohl der Fall ist, der Teilnehmer aber mehr als

⁴⁵ Siehe hierzu auch www.kpn-wholesale.nl (Link "All-IP").

2 Kilometer vom HVt entfernt ist. Die dritte Kategorie schließlich ist identisch mit der zweiten Kategorie, der Teilnehmer ist allerdings weniger als 2 km vom HVt entfernt. Dem Vernehmen nach ist KPN im Begriff den Umbau mit den ersten beiden Kategorien zu beginnen und mit Kategorie 3 abzuschließen.

Schon dieses Jahr werden Pilotversuche gestartet. Ziel ist es, die Implementierung in 2010 abgeschlossen zu haben.

4.2 Zugangsfragen im Anschlussnetz stellen sich neu

Ein Netz, in dem der Großteil der Hauptverteiler zugunsten einer veränderten Netzstruktur nicht mehr betrieben wird, wird zwangsläufig auch den Vorleistungsmarkt und somit das Geschäftsmodell insbesondere der alternativen Teilnehmernetzbetreiber beeinflussen. Viele heute relevante Zugangsfragen stellen sich neu.

Während nach heute gängiger Praxis Teilnehmeranschlüsse und DSL-Anschlüsse der Wettbewerber auch über die Vorleistungsprodukte Teilnehmeranschlussleitung und Line Sharing realisiert werden, bedürfte es zukünftig eines alternativen Zugangs, der eine Kombination aus dem Zugang am Kabelverzweiger und einem Bitstromzugang darstellen könnte. Mittelfristig wird zu diskutieren sein, unter welchen Bedingungen der Zugang am Hauptverteiler für Wettbewerber aufrecht erhalten werden kann und sollte, wenn gleichzeitig der Übergangsprozess hin zu einem All-IP NGN im Gange ist.

Werden die HVt-Standorte und somit auch die Zugangsmöglichkeiten der Wettbewerber an diesem Netzpunkt aufgegeben, bedeutet dies, dass die Wettbewerber den Verkehr der Kunden entweder direkt am KVz abholen und somit ihr eigenes Netz bis zu dieser Übergabeebene ausbauen oder sich den Kundenverkehr in Form einer Bitstromlösung von der Deutschen Telekom bis zu einem höheren Punkt der Netzübergabe transportieren lassen.

Zwar steht auf Ebene der Kabelverzweiger mit der KVz-TAL schon heute ein Vorleistungsprodukt zur Verfügung, das Zugang am Kabelverzweiger erlaubt. Allerdings handelt es sich hier um weit mehr als 200.000 Kabelverzweiger. Es ist offensichtlich, dass eine Kalibrierung der Geschäftsmodelle heute im Markt tätiger Wettbewerber auf den KVz-Zugang aufgrund des hohen investiven Aufwands allenfalls für einen Teil der Kabelverzweiger in Frage kommt. Nicht nur, dass sie an den entsprechenden Kabelverzweigern kollokieren müssen, es bedarf außerdem der Sicherstellung der Verkehrsführung vom Kabelverzweiger an (Backhaul). Nicht zuletzt stellt sich hier die bislang ungeklärte Frage, wie und unter welchen Bedingungen Wettbewerber bspw. Zugang zu Leerrohren bekommen können, um darin eigene Kabel zu installieren.

Alternativ ist denkbar, die Zugangsfrage auch über ein geeignetes Bitstromprodukt zu beantworten, das Breitbandanschluss und Verkehrstransport in einem Vorleistungspro-

dukt kombiniert. Die konkrete Ausgestaltung eines solchen Produktes, z.B. mit Blick auf die Definition geeigneter Aggregationspunkte als neue Zugangspunkte im Anschlussnetz ist, hier von zentraler Bedeutung.

4.3 Kurz- und mittelfristige Aspekte

Der VDSL-Ausbau wird sich auch auf die KEL und damit auf zukünftig zu bestimmende Entgelthöhen der kupferbasierten HVt-TAL auswirken. Die Glasfaserverlegung im Hauptkabelbereich und die zu erwartende Migration der Anschlüsse hin zu VDSL führt voraussichtlich zu einem Rückgang in der Nutzung des kupferbasierten Hauptkabels, so dass die in diesem Netzsegment für die Kupfer-TAL anfallenden Investitionskosten pro Anschluss im Vergleich tendenziell höher ausfallen werden.⁴⁶ Die effiziente Anzahl der Kupferdoppeladern im Hauptkabelbereich wird damit von der Nachfrage nach am Kabelverzweiger entbündelten bzw. mit VDSL beschalteten Anschlussleitungen abhängen. In diesen Fällen wird ein Teil der Anschlussleitungen bereits am KVz dem Netz der Deutschen Telekom entnommen und die (kupferbasierte) Weiterführung bis hin zum HVt wird damit überflüssig. Dies gilt einmal mehr, wenn bei den VDSL-Anschlüssen der Parallelbetrieb von Glasfaser und Kupferleitungen im Hauptkabelsegment zukünftig wegfällt. Dieser Effekt wird auch einfließen in die Entgelthöhe für die (verbleibenden) HVt-TAL, insbesondere im Rahmen einer nach den Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung ausgestaltete Entgeltregulierung. Wann und in welcher Höhe begründete Veränderungen aufgezeigt werden, hängt maßgeblich vom Fortschritt des Netzausbaus ab.

Ein weiterer Aspekt, der nicht zuletzt für die im Teilnehmeranschlussnetz tätigen Wettbewerber von Bedeutung ist, betrifft die Qualität bestehender mit DSL beschalteter Anschlussleitungen. Hintergrund ist, dass die Beschaltung von Leitungen mit VDSL die Übertragungsqualität bspw. auf bestehenden ADSL-Leitungen beeinträchtigen kann. Der VDSL-Ausbau wirkt mit Blick auf die Qualität bestehender Anschlussstopologien also nicht nur in eine Richtung. Während im Hauptkabelbereich die DSL-Beschaltung durch die Substitution durch Glasfasertechnik sinkt und damit das Problem des Übersprechens auf den Kupferleitungen im Hauptkabelbereich tendenziell senkt, gilt für den Abschnitt zwischen Endkunde und Kabelverzweiger umgekehrt, dass die Beschaltung mit VDSL andere im gleichen Kabelstrang geführte Kupferleitungen störend beeinflussen kann. Streng genommen gilt dies nicht nur für den Abschnitt des Verzweigerkabels. Auch bei der Inhouse-Verkabelung im Gebäude der Endkunden kann dieses Problem zum Tragen kommen, insbesondere wenn es sich bspw. um ein Mehrfamilienhaus handelt, in dem neben einem VDSL-Anschluss auch andere (DSL-) Anschlüsse existie-

⁴⁶ Gegenläufige Effekte ergeben sich aus der Tatsache, dass mit zunehmender Migration auf Glasfaser die den Kupferleitungen verursachungsgerecht anrechenbaren Investitionen tendenziell sinken. Zur Bestimmung der Höhe des Nettoeffektes bedürfte es hier jedoch weitergehender (Bottom-Up basierter) Analysen.

ren.⁴⁷ Insbesondere mit Blick auf zukünftig steigende VDSL-Penetrationsraten besteht an dieser Stelle daher die Notwendigkeit, bestehende technische Möglichkeiten zur Reduktion der Qualitätsbeeinträchtigung bedarfsweise einzusetzen. Damit auch Wettbewerber geeignete Maßnahmen hierzu umsetzen können, sollte ein entsprechender Informationsaustausch zwischen der Deutschen Telekom und den Wettbewerbern effektiv und ausreichend transparent sein. Auf diese Weise wird es auch Wettbewerbern im DSL-Markt möglich, Qualitätsproblemen entweder vorzubeugen oder aber im Problemfall eine hinreichend zügige Identifikation von Fehlerquellen, die gerade unter diesem Aspekt auch außerhalb ihres Einflussbereiches liegen können, vorzunehmen.

⁴⁷ Erschwerend kommt hinzu, dass die physische Beschaffenheit der Inhouse-Leitungen von geringer Qualität sein kann. Weil dieser Abschnitt zumeist in die Obliegenheit des Endkunden fällt, hat der Netzbetreiber auf diesem Bottleneck nur begrenzten bis keinen Einfluss. Vgl. hierzu auch Baschant (2006).

5 Ergebniszusammenfassung und Fazit

VDSL stellt eine Erweiterung bereits existierender Strukturen im Teilnehmeranschlussnetz dar. So wird im Hauptkabelbereich Glasfaser als Übertragungsmedium genutzt und neue Kabelverzweiger installiert, in denen aktive DSLAM Technik betrieben wird. Verbleibende Elemente im Anschlussnetz, wie z.B. das Segment zwischen Endkunde und KVz bleibt hingegen weitgehend unverändert. Mit dem Glasfasereinsatz wird es möglich, die kupferbasierte Übertragungstrecke zwischen Endkunde und DSLAM zu verkürzen. Im Vergleich zu den gegenwärtig zumeist mit ADSL oder ADSL2+ beschalteten Leitungen werden so höhere Bandbreiten, wie sie bei VDSL möglich sind, realisierbar.

Die in diesem Beitrag durchgeführte Abschätzung der Kosten, die dem Netzbetreiber durch den VDSL-Ausbau entstehen, deutet darauf hin, dass bei einem VDSL-Anschlusspreis von 34,99 Euro eine Penetrationsrate von etwa 14 % bis 31 % realisiert werden müsste. Die konkrete Zahl hängt dabei wesentlich davon ab, welche Möglichkeiten der Glasfaserverlegung realisiert werden, denn für die Verlegung kommen unterschiedliche produktionstechnische Strategien in Frage, die zu signifikanten Unterschieden in den anzusetzenden Investitionskosten führen.

Im günstigsten Fall erfolgt die konsequente Nutzung bereits existierender Leerkapazitäten für die Installation der Glasfaserstrecken, so dass Tiefbauarbeiten im Vergleich zu den Material- und Installationskosten für Outdoor-DSLAM, Kabelverzweiger etc. kostenmäßig relativ gering ausfallen. Obwohl die Glasfaser auch Ressourcen im Bereich Tiefbau beansprucht, erfolgt in diesem Szenario 1 bewusst keine Allokation derartiger Verbundkosten. Die entsprechenden Kosten für Tiefbau, Kabelkanalanlagen u.ä. müssen deshalb zwangsläufig von anderen Diensten und Produkten getragen werden. Verbundvorteile kommen hier also vollständig und ausschließlich dem VDSL-Ausbau zugute. Die Break-Even-Penetrationsrate beläuft sich hier auf 14 %.

Am höchsten fällt die Break-Even-Penetrationsrate hingegen aus, wenn die gesamten Investitionen, die für die Glasfasererrichtung anfallen, ausschließlich dem VDSL-Anschluss zugerechnet werden. Das Szenario 3 entspricht damit tendenziell dem für einen alternativen Netzbetreiber relevanten Szenario, bei dem ein Aufbau vergleichbarer Infrastruktur erfolgt, ohne dass bspw. ein Zugang zu Leerrohren (der Telekom und/oder anderer Anbieter) erfolgt. Die Break-Even-Penetrationsrate beläuft sich hier auf 31 %.

Unseres Erachtens entspricht tendenziell das Szenario 2 dem relevanten Szenario, weil es sich hier nicht um eine Stand-Alone-Betrachtung handelt und darüber hinaus Verbundvorteile im Bereich Tiefbau adäquat berücksichtigt werden. Die Break-Even-Penetrationsrate beläuft sich hier auf 22 %.

Noch verschärft werden die Ergebnisse, wenn z.B. zukünftig die Separierung von Telefonanschluss und VDSL-Anschluss aufgehoben wird und die bislang auf dem klassischen Telefonanschluss aufsetzenden Dienste über VDSL realisiert werden. Die hiermit

verbundenen Kostenimplikationen deuten je nach Szenario auf Break-Even Penetrationsraten von 19 % bis 42 % hin. In der Tendenz zeigen sich ähnliche Entwicklung auf, wenn sich auf Ebene der Endkundenpreise ein vergleichbares Tarifniveau für den VDSL-Anschluss einstellen sollte, wie es sich bei ADSL 2+ basierten Triple Play Angeboten heute schon beobachten lässt. In diesem Fall liegen die Break-even-Penetrationsraten je nach Szenario bei 21 % bis 48 %.

Vor dem Hintergrund, dass in Deutschland die gesamte DSL-Penetration gegenwärtig etwa 38 % beträgt, kann das Erreichen dieser Break-Even-Menge als ambitioniertes Vorhaben angesehen werden. Die Menge der VDSL-Kunden wird sich zusammensetzen aus Neukunden und aus Wechslern, die ihren bestehenden DSL-Breitbandzugang durch einen VDSL-Anschluss substituieren. Die zukünftige Entwicklung der Anschlusszahlen wird zeigen müssen, ob und wie schnell die Break-Even-Menge erreicht wird.

Die hier abgeleiteten Ergebnisse werfen die Frage auf, ob der Triple Play-fähige VDSL-Anschluss nicht der neue „Regelanschluss“ wird und an die Stelle heutiger Telefon- und DSL-Anschlüsse tritt. Hinzu kommt, dass der Parallelbetrieb von Glasfaser und Kupferleitungen im Hauptkabelbereich hinsichtlich seiner Effizienz hinterfragt werden muss. Ein ausschließlich auf Glasfaser betriebenes Hauptkabelsegment dürfte zumindest im Hinblick auf Betriebskosten signifikante Kosteneinsparungen mit sich bringen. Außerdem ist heute bereits zu beobachten, dass Sprach- und Datenverkehre in signifikantem Maße dem klassischen Festnetz wegbrechen und in das Breitbandnetz migrieren.

Nicht nur das leitungsvermittelte Festnetz unterliegt in einem solchen längerfristigen Szenario gravierenden Veränderungen. Auch das Anschlussnetz wird von der Migration hin zu einem All-IP-Netz nicht unberührt bleiben. Die Funktionalität von klassischen Hauptverteilern muss in dem Sinne zu hinterfragen sein, als dass ein Großteil der heute über 7000 Hauptverteiler obsolet wird und nur ein Teil dieser Standorte als Verkehrskonzentrationspunkte weiter fungiert. Nachgelagerte Breitbandnetze treten nicht nur an die Stelle des klassischen Festnetzes, sondern werfen auch Überlegungen hinsichtlich der gegenwärtigen Definition des Teilnehmeranschlussnetzes auf. Alle Zugangsfragen stellen sich damit neu. Es wird beispielsweise zu diskutieren sein, unter welchen Bedingungen der Zugang am Hauptverteiler für Wettbewerber aufrecht erhalten werden kann und sollte, oder unter welchen Bedingungen Wettbewerbern der Zugang zum KVz, zu dark fiber und zu Leerrohren möglich sein sollte.

Ein solches Szenario ist keine Utopie, sondern bereits real existent. So plant die KPN in den Niederlanden bereits den Neubau des Access-Netzes. KPN ist im Begriff, ihr gegenwärtiges Telekommunikationsnetz in ein All-IP-Netz migrieren zu lassen. Im Zuge dessen werden nur etwa 200 von insgesamt 1361 Hauptverteilerstandorten als Breitband-Konzentrationsstufe bestehen bleiben und die Hauptkabelsegmente zu den etwa 28.000 Kabelverzweigern auf Glasfaser umgewidmet.

Literaturverzeichnis

- Alcatel, (2005a), Optical Network Design Considerations for PON, White Paper, 2005.
- Alcatel, (2005b), GPON vs. EPON: White Paper, 2005.
- Alcatel, (2005c), GPON Voice Strategies: White Paper, 2005.
- Banerjee, A. und M. Sirbu (2003), Towards Technologically and Competitively Neutral Fiber to the Home (FTTH) Infrastructure, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA, 2003. Im Internet abrufbar unter <http://100x100network.org/papers/banerjee-tprc2003.pdf#search=%22FTTH%20onu%20point%22>.
- Baschant, W. (2006), DSL-Störungen auf der Spur, in: telekom praxis, Band 83, Heft 5-6, S. 36-38, 2006.
- Bericht zum Breitbandatlas (2006), Atlas für Breitband-Internet des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Rangsdorf, 2006. Im Internet abrufbar unter http://www.zukunft-breitband.de/Breitband/Portal/Redaktion/Pdf/bericht-zum-breitbandatlas-vollstaendige-fassung-2006,property=pdf,bereich=breitband__portal,sprache=de,rwb=true.pdf.
- Bluschke, A., M. Matthews und R. Schiffel (2004): Zugangsnetze für die Telekommunikation, München, Wien, Carl Hanser Verlag, 2004.
- Broderson, B. (2005), Schnelles Surfen ohne DSL-Anschluss, 2005. Im Internet abrufbar unter <http://www.teltarif.de/arch/2005/kw16/s16885.html>.
- Büllingen, F., C.-I. Gries, K.-H. Neumann, J. Scherer, P. Stamm und U. Stumpf (2002): Förderung der Marktperspektiven und der Wettbewerbsentwicklung der Breitbandkommunikationsnetze in Deutschland, WIK Studie im Auftrag des BMWi, Bad Honnef, 2002.
- Bundesnetzagentur (2000), Analytisches Kostenmodell Anschlussnetz, Referenzdokument 2.0, 2002. Im Internet abrufbar unter <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/264.pdf>.
- Bundesnetzagentur (2004), Notifizierung der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post – Zugang zur Teilnehmeranschlussleitung , Markt 11 der so genannten Kommissionsempfehlung, 2004. Im Internet abrufbar unter <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/2027.pdf>.
- Bundesnetzagentur (2005a), Jahresbericht 2005, 2005. Im Internet abrufbar unter <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/5278.pdf#search=%22jahresbericht%22>.
- Bundesnetzagentur (2005b), Tätigkeitsbericht 2004/2005, Bonn, 2005. Im Internet abrufbar unter <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/4515.pdf>.
- Deutsche Telekom (2006), Konzern-Zwischenbericht, 1. Januar bis 30. Juni 2006, Geschäftsbericht, 2006. Im Internet abrufbar unter http://download-dtag.t-online.de/deutsch/investor-relations/4-finanzdaten/zwischenberichte/2006_h1.pdf.
- DSL Tarife (2006), Umfrage – kaum jemand weiß, was IP-TV, Triple Play oder HDTV ist, 07.09.2006. Im Internet abrufbar unter <http://www.dsltarife.net/news/druckversion-artikel-1853.html>.

- Forschungsinstitut für Telekommunikation (2005), Breitbandzugang zum Internet – überall in NRW, Dortmund, 2005. Im Internet abrufbar unter <http://www.breitband-nrw.de/download/dsl.pdf#search=%22hytas%20anschl%C3%BCsse%22>.
- Friedman, V. (2000), VDSL Technology Issues – An Overview, Analog Dialogue 34-5, 2000.
- FTTH Council (2004), Architecture and Technology Committee, Point to Multipoint Architecture for FTTH Deployments, November 2004. Im Internet abrufbar unter <http://www.ftthcouncil.org>.
- Funkschau (2005), VDSL 2, Nr. 17, 2005. Im Internet abrufbar unter http://www.funkschau.de/heftarchiv/pdf/2005/fs17/fs_0517_s43.pdf#search=%22adsl%20%2B%20bitrate%22
- Grohmann, C. (2005), Hoffnung regt sich in der Glasfaserwüste, 2005. Im Internet abrufbar unter http://www.netzwelt.de/news/69988_2-hoffnung-regt-sich-in-der.html.
- Ickenroth, B. (1998), Ein integrativer Ansatz zur Bestimmung der Kapitalkosten von Telekommunikationsunternehmen, in: WIK-Newsletter, Nr. 3, Dezember 1998.
- Light Reading (2001), Optical Networks – Optical fibers connecting locations many miles apart, and carrying information in the form of on –off flashes of laser light, 02. August 2001. Im Internet abrufbar unter http://www.lightreading.com/document.asp?doc_id=3067.
- Monopolkommission (2005), „Wettbewerbsentwicklung bei der Telekommunikation 2005: Dynamik unter neuen Rahmenbedingungen“, Sondergutachten (Nr.43) der Monopolkommission gemäß § 121 Abs. 2 Telekommunikationsgesetz, 2005. Im Internet abrufbar unter http://www.monopolkommission.de/sg_43/text_s43.pdf.
- Ranft, R.(1997): Optische Zugangsnetze der Deutschen Telekom, Unterrichtsblätter, Jg. 50, Nr. 4, S. 212-223, 1997.
- Römer, S. (2006): Triple Play – Neue Angebotspakete in der Telekommunikation, Wissen Heute, Jg. 59, Nr. 4, S.180-187, 2006.
- Skurk, H. und D. Zivadinovic (2006): In der Kürze..., in: c't, Heft 13, 2006.
- Swisscom (2006), voIPtv – Ist Swisscom bereit, sich dieser Herausforderung zu stellen?, Präsentation zum Investorenanlass der ZKB, Ueli Dietiker, CEO Swisscom Fixnet AG, 25. August 2006. Im Internet abrufbar unter http://www.swisscom.com/NR/rdonlyres/C19C279E-7E71-4CA7-B216-812C4F60710C/0/20060825_Investorenkonferenz_ZKB_VoIPtv.pdf#search=%22swisscom%20voiptv%22.
- VATM (2006), Wettbewerbsökonomische Implikationen eines Regulierungsmoratoriums beim Glasfaserausbau in den Zugangsnetzen der Deutschen Telekom, Studie von Dialog Consult im Auftrag des VATM e.V., 23. Mai 2006.
- Wissenschaftlicher Arbeitskreis für Regulierungsfragen (2005), Stellungnahme zum Projekt Glasfaserausbau des Zugangsnetzes der Deutschen Telekom AG, 2005. Im Internet abrufbar unter <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/4481.pdf>.
- Wimoesterer, S. (2005), Infineon Technologies, Future Proof Telecommunications Networks with VDSL 2, V1.1, July 2005.

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

- Nr. 199: Cara Schwarz-Schilling, Ulrich Stumpf:
Netzbetreiberportabilität im Mobilfunkmarkt – Auswirkungen auf Wettbewerb und Verbraucherinteressen, Dezember 1999
- Nr. 200: Monika Plum, Cara Schwarz-Schilling:
Marktabgrenzung im Telekommunikations- und Postsektor, Februar 2000
- Nr. 201: Peter Stamm:
Entwicklungsstand und Perspektiven von Powerline Communication, Februar 2000
- Nr. 202: Martin Distelkamp, Dieter Elixmann, Christian Lutz, Bernd Meyer, Ulrike Schimmel:
Beschäftigungswirkungen der Liberalisierung im Telekommunikationssektor in der Bundesrepublik Deutschland, März 2000
- Nr. 203: Martin Distelkamp:
Wettbewerbspotenziale der deutschen Kabel-TV-Infrastruktur, Mai 2000
- Nr. 204: Wolfgang Elsenbast, Hilke Smit:
Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen der Marktöffnung auf dem deutschen Postmarkt, Mai 2000
- Nr. 205: Hilke Smit:
Die Anwendung der GATS-Prinzipien auf dem Postsektor und Auswirkungen auf die nationale Regulierung, Juni 2000
- Nr. 206: Gabriele Kulenkampff:
Der Markt für Internet Telefonie - Rahmenbedingungen, Unternehmensstrategien und Marktentwicklung, Juni 2000
- Nr. 207: Ulrike Schimmel:
Ergebnisse und Perspektiven der Telekommunikationsliberalisierung in Australien, August 2000
- Nr. 208: Franz Büllingen, Martin Wörter:
Entwicklungsperspektiven, Unternehmensstrategien und Anwendungsfelder im Mobile Commerce, November 2000
- Nr. 209: Wolfgang Kiesewetter:
Wettbewerb auf dem britischen Mobilfunkmarkt, November 2000
- Nr. 210: Hasan Alkas:
Entwicklungen und regulierungspolitische Auswirkungen der Fix-Mobil Integration, Dezember 2000
- Nr. 211: Annette Hillebrand:
Zwischen Rundfunk und Telekommunikation: Entwicklungsperspektiven und regulatorische Implikationen von Webcasting, Dezember 2000
- Nr. 212: Hilke Smit:
Regulierung und Wettbewerbsentwicklung auf dem neuseeländischen Postmarkt, Dezember 2000
- Nr. 213: Lorenz Nett:
Das Problem unvollständiger Information für eine effiziente Regulierung, Januar 2001
- Nr. 214: Sonia Strube:
Der digitale Rundfunk - Stand der Einführung und regulatorische Problemfelder bei der Rundfunkübertragung, Januar 2001
- Nr. 215: Astrid Höckels:
Alternative Formen des entbündelten Zugangs zur Teilnehmeranschlussleitung, Januar 2001
- Nr. 216: Dieter Elixmann, Gabriele Kulenkampff, Ulrike Schimmel, Rolf Schwab:
Internationaler Vergleich der TK-Märkte in ausgewählten Ländern - ein Liberalisierungs-, Wettbewerbs- und Wachstumsindex, Februar 2001
- Nr. 217: Ingo Vogelsang:
Die räumliche Preisdifferenzierung im Sprachtelefondienst - wettbewerbs- und regulierungspolitische Implikationen, Februar 2001
- Nr. 218: Annette Hillebrand, Franz Büllingen:
Internet-Governance - Politiken und Folgen der institutionellen Neuordnung der Domainverwaltung durch ICANN, April 2001

- Nr. 219: Hasan Alkas:
Preisbündelung auf Telekommunikationsmärkten aus regulierungsökonomischer Sicht, April 2001
- Nr. 220: Dieter Elixmann, Martin Wörter:
Strategien der Internationalisierung im Telekommunikationsmarkt, Mai 2001
- Nr. 221: Dieter Elixmann, Anette Metzler:
Marktstruktur und Wettbewerb auf dem Markt für Internet-Zugangsdienste, Juni 2001
- Nr. 222: Franz Büllingen, Peter Stamm:
Mobiles Internet - Konvergenz von Mobilfunk und Multimedia, Juni 2001
- Nr. 223: Lorenz Nett:
Marktorientierte Allokationsverfahren bei Nummern, Juli 2001
- Nr. 224: Dieter Elixmann:
Der Markt für Übertragungskapazität in Nordamerika und Europa, Juli 2001
- Nr. 225: Antonia Niederprüm:
Quersubventionierung und Wettbewerb im Postmarkt, Juli 2001
- Nr. 226: Ingo Vogelsang
unter Mitarbeit von Ralph-Georg Wöhl
Ermittlung der Zusammenschaltungsentgelte auf Basis der in Anspruch genommenen Netzkapazität, August 2001
- Nr. 227: Dieter Elixmann, Ulrike Schimmel, Rolf Schwab:
Liberalisierung, Wettbewerb und Wachstum auf europäischen TK-Märkten, Oktober 2001
- Nr. 228: Astrid Höckels:
Internationaler Vergleich der Wettbewerbsentwicklung im Local Loop, Dezember 2001
- Nr. 229: Anette Metzler:
Preispolitik und Möglichkeiten der Umsatzgenerierung von Internet Service Providern, Dezember 2001
- Nr. 230: Karl-Heinz Neumann:
Volkswirtschaftliche Bedeutung von Resale, Januar 2002
- Nr. 231: Ingo Vogelsang:
Theorie und Praxis des Resale-Prinzips in der amerikanischen Telekommunikationsregulierung, Januar 2002
- Nr. 232: Ulrich Stumpf:
Prospects for Improving Competition in Mobile Roaming, März 2002
- Nr. 233: Wolfgang Kiesewetter:
Mobile Virtual Network Operators – Ökonomische Perspektiven und regulatorische Probleme, März 2002
- Nr. 234: Hasan Alkas:
Die Neue Investitionstheorie der Realoptionen und ihre Auswirkungen auf die Regulierung im Telekommunikationssektor, März 2002
- Nr. 235: Karl-Heinz Neumann:
Resale im deutschen Festnetz, Mai 2002
- Nr. 236: Wolfgang Kiesewetter, Lorenz Nett und Ulrich Stumpf:
Regulierung und Wettbewerb auf europäischen Mobilfunkmärkten, Juni 2002
- Nr. 237: Hilke Smit:
Auswirkungen des e-Commerce auf den Postmarkt, Juni 2002
- Nr. 238: Hilke Smit:
Reform des UPU-Endvergütungssystems in sich wandelnden Postmärkten, Juni 2002
- Nr. 239: Peter Stamm, Franz Büllingen:
Kabelfernsehen im Wettbewerb der Plattformen für Rundfunkübertragung - Eine Abschätzung der Substitutionspotenziale, November 2002
- Nr. 240: Dieter Elixmann, Cornelia Stappen unter Mitarbeit von Anette Metzler:
Regulierungs- und wettbewerbspolitische Aspekte von Billing- und Abrechnungsprozessen im Festnetz, Januar 2003
- Nr. 241: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf unter Mitarbeit von Ulrich Ellinghaus, Joachim Scherer, Sonia Strube Martins, Ingo Vogelsang:
Eckpunkte zur Ausgestaltung eines möglichen Handels mit Frequenzen, Februar 2003

- Nr. 242: Christin-Isabel Gries:
Die Entwicklung der Nachfrage nach breitbandigem Internet-Zugang, April 2003
- Nr. 243: Wolfgang Briglauer:
Generisches Referenzmodell für die Analyse relevanter Kommunikationsmärkte – Wettbewerbsökonomische Grundfragen, Mai 2003
- Nr. 244: Peter Stamm, Martin Wörter:
Mobile Portale – Merkmale, Marktstruktur und Unternehmensstrategien, Juli 2003
- Nr. 245: Franz Büllingen, Annette Hillebrand:
Sicherstellung der Überwachbarkeit der Telekommunikation: Ein Vergleich der Regelungen in den G7-Staaten, Juli 2003
- Nr. 246: Franz Büllingen, Annette Hillebrand:
Gesundheitliche und ökologische Aspekte mobiler Telekommunikation – Wissenschaftlicher Diskurs, Regulierung und öffentliche Debatte, Juli 2003
- Nr. 247: Anette Metzler, Cornelia Stappen unter Mitarbeit von Dieter Elixmann:
Aktuelle Marktstruktur der Anbieter von TK-Diensten im Festnetz sowie Faktoren für den Erfolg von Geschäftsmodellen, September 2003
- Nr. 248: Dieter Elixmann, Ulrike Schimmel with contributions of Anette Metzler:
"Next Generation Networks" and Challenges for Future Regulatory Policy, November 2003
- Nr. 249: Martin O. Wengler, Ralf G. Schäfer:
Substitutionsbeziehungen zwischen Festnetz und Mobilfunk: Empirische Evidenz für Deutschland und ein Survey internationaler Studien, Dezember 2003
- Nr. 250: Ralf G. Schäfer:
Das Verhalten der Nachfrager im deutschen Telekommunikationsmarkt unter wettbewerblichen Aspekten, Dezember 2003
- Nr. 251: Dieter Elixmann, Anette Metzler, Ralf G. Schäfer:
Kapitalmarktinduzierte Veränderungen von Unternehmensstrategien und Marktstrukturen im TK-Markt, März 2004
- Nr. 252: Franz Büllingen, Christin-Isabel Gries, Peter Stamm:
Der Markt für Public Wireless LAN in Deutschland, Mai 2004
- Nr. 253: Dieter Elixmann, Annette Hillebrand, Ralf G. Schäfer, Martin O. Wengler:
Zusammenwachsen von Telefonie und Internet – Marktentwicklungen und Herausforderungen der Implementierung von ENUM, Juni 2004
- Nr. 254: Andreas Hense, Daniel Schäffner:
Regulatorische Aufgaben im Energiebereich – ein europäischer Vergleich, Juni 2004
- Nr. 255: Andreas Hense:
Qualitätsregulierung und wettbewerbspolitische Implikationen auf Postmärkten, September 2004
- Nr. 256: Peter Stamm:
Hybridnetze im Mobilfunk – technische Konzepte, Pilotprojekte und regulatorische Fragestellungen, Oktober 2004
- 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 informatischen 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