

VDSL Vectoring, Bonding und Phantoming: Technisches Konzept, marktliche und regulatorische Implikationen

Autor:

Dr. Thomas Plückebaum

Bad Honnef, Januar 2013

Impressum

WIK Wissenschaftliches Institut für
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
E-Mail: info@wik.org
www.wik.org

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführerin und Direktorin	Dr. Cara Schwarz-Schilling
Direktor Abteilungsleiter Post und Logistik	Alex Kalevi Dieke
Direktor Abteilungsleiter Netze und Kosten	Dr. Thomas Plückebaum
Direktor Abteilungsleiter Regulierung und Wettbewerb	Dr. Bernd Sörries
Leiter der Verwaltung	Karl-Hubert Strüver
Vorsitzende des Aufsichtsrates	Dr. Daniela Brönstrup
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7225
Steuer-Nr.	222/5751/0722
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 123 383 795

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

Zusammenfassung	III
Summary	V
1 Einleitung	1
2 Vectoring	6
2.1 Prinzip des Vectoring	7
2.2 Bandbreitengewinn	9
2.3 Beschränkung des Bandbreitengewinns durch Aliens	13
2.3.1 Koexistenz von VDSL Vectoring mit anderen VDSL Signalen	14
2.3.2 Koexistenz von Vectoring mit anderen Übertragungsverfahren	16
2.4 Zusammenfassung	20
3 Bonding	22
3.1 Prinzip des Bonding	22
3.2 Bandbreitengewinn	22
4 Phantoming	24
4.1 Prinzip des Phantoming	24
4.2 Bandbreitengewinn	25
5 Praktische Implementierung	28
5.1 Flächendeckender Einsatz von Vectoring, Bonding und Phantoming	28
5.2 Koexistenz von FTTC und FTTB	29
5.3 Koexistenz von VDSL im Schaltverteiler und im KVz	31
5.4 Mehraufwand durch VDSL Vectoring am KVz	31
5.5 Wahrscheinlichkeit von Konflikten im Anschlussnetz bei Ausbau von VDSL Vectoring	32
5.6 Praktische Implikationen eines Node-Level Vectoring	33
6 Auswirkungen auf den Markt	35
7 Auswirkungen auf die Regulierung	38
7.1 Eigentümer Monopol	39
7.2 First Mover Monopol	40
7.3 Offen für Wettbewerb	41
7.4 Zusammenfassung	42
8 Ausblick	45
Abkürzungen	47
Literaturverzeichnis	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Prinzip eines Kupfer basierten Teilnehmeranschlussnetzes	1
Abbildung 1-2:	Streuung der Bandbreite über die Anschlussleitungslänge bei DSL	4
Abbildung 2-1:	Typischer Aufbau eines Kabels	6
Abbildung 2-2:	Nebensprechen	7
Abbildung 2-3:	Bandbreiten - Längen Relation bei ADSL2+ und VDSL2 (Labormessungen)	9
Abbildung 2-4:	Bandbreiten - Längen Relationen bei Verbesserungen in VDSL (Simulationen und existierende und geplante Angebote)	10
Abbildung 2-5:	VDSL Vectoring, Downstream Bandbreiten (Labormessungen Swisscom)	11
Abbildung 2-6:	VDSL Vectoring, Upstream Bandbreiten (Labormessungen Swisscom (s.o.))	12
Abbildung 2-7:	Reichweitenverbesserung und Vergrößerung der Flächenabdeckung durch VDSL Vectoring	13
Abbildung 2-8:	Bandbreitenverluste durch Aliens	15
Abbildung 2-9:	Frequenzbereiche typischer Signalübertragungen auf einem Teilnehmeranschlusskabel	17
Abbildung 2-10:	Kombination von Nutzungen im Anschlussnetz	18
Abbildung 2-11:	Kaskadierte VDSL Vectoring DSLAMs	19
Abbildung 2-12:	Downstream Feldtests bei ca. 600 m (P&T Luxemburg)	20
Abbildung 3-1:	Bandbreitengewinn durch Bonding (Simulation)	23
Abbildung 4-1:	Bandbreitengewinn aus Phantoming mit 4 DA Bonding und Vectoring bei 400 m Subloop (Bellabs Labordemo)	26
Abbildung 4-2:	Phantoming, Bandbreitengewinn im Feldversuch (P&T Luxemburg) bei 2 Doppeladern und über ca. 600 m	27
Abbildung 5-1:	Koexistenz von FTTC und FTTB	30
Abbildung 5-2:	Ausbau von KVz nach Gebieten und Gruppen	33

Zusammenfassung

VDSL Vectoring ist ein Verfahren, das die gegenseitigen Störungen in der Übertragung von VDSL Signalen auf parallelen Kupferdoppeladern zu kompensieren erlaubt und so nahezu die Signalkapazität wiederherstellt, die ein von anderen unbeeinflusstes Signal auf einer einzelnen Kupferdoppelader im Kabel hätte. Dies gilt sowohl für die Bandbreite wie auch die Reichweite, die auf einem Kupferkabel naturgemäß bedämpft und damit begrenzt ist. Es sind Bandbreiten bis zu 100 Mbit/s down- und 40 Mbit/s upstream zu erreichen, abhängig von der Länge der Anschlussleitung dann auch entsprechend weniger, so dass noch 50 Mbit/s downstream bei ca. 600 m erwartet werden können. Damit erlaubt VDSL Vectoring, ein Kupferkabel voll mit VDSL Signalen zu beschalten, die sich nahe der Qualität einer einzelnen unbeeinflussten Doppelader mit VDSL ohne Vectoring verhalten. Signale, die sich nicht im Frequenzbereich von VDSL befinden (POTS, ISDN, ADSL, HDSL/ SDSL), stören die VDSL Übertragung und somit die VDSL Vectoring Übertragung nicht, bzw. dieser Frequenzbereich kann ausgeblendet werden.

Das volle Ausschöpfen des Vectoring Effektes verlangt, dass alle Doppeladern eines Bündels in einem Kabel, die ein VDSL Signal (genauer, ein Signal im VDSL Frequenzbereich) übertragen, in den Entstör- oder Fehlerkorrekturprozess mit eingebunden werden müssen. Andernfalls wird der erzielbare Bandbreitengewinn deutlich geringer, so dass man sich die Frage stellen muss, inwieweit sich die Zusatzinvestitionen in die Vectoring Komponente am DSLAM und bei den CPE rechnet im Vergleich zu den Zusatzerlösen aus einem geringen Bandbreitenwachstum, dem verbliebenen Zuwachs an Reichweite und im Beschaltungsgrad des Kabels.

Dies führt zu der Forderung der Investoren in VDSL Vectoring Lösungen, die Nutzung von VDSL und VDSL Vectoring zu regulieren bzw. die bestehende Regulierung zum vollständig entbündelten Zugriff auf die KVz-Teilnehmeranschlussleitung so zu verändern, dass die Verwendung des VDSL Frequenzbandes nur einem Betreiber gestattet ist.

Weil ein Node-Level Vectoring, das die Fehlerkorrektur über verschiedene VDSL DSLAMs zu koordinieren erlaubt, erst in mittlerer Zeit marktreif werden könnte, und weil ein Sortieren der Kupferdoppeladern des Anschlussnetzes auf unterschiedlichen Betreibern zugeordnete Doppeladerbündel eines Kabels nicht praktikabel erscheint, sehen wir derzeit keine natürlichen Lösungen, mögliche Konflikte technisch oder organisatorisch regulierend zu vermeiden.

Insoweit sehen wir zur Zeit in Reaktion auf die Forderungen zu einer exklusiven Regulierung drei Handlungsoptionen für die Regulierer:

- Eigentümer-Monopol (Incumbent-Monopol)
- First Mover Monopol
- Offen für Wettbewerb.

Beim Eigentümer-Monopol wird dem marktbeherrschenden Betreiber ein exklusives Recht zur Nutzung des VDSL Frequenzbandes für alle KVz zugesprochen. Beim First Mover Monopol erhält der erste Betreiber, der einen KVz mit VDSL ausgebaut hat, das exklusive Recht, dort auch Vectoring einzuführen und kein zweiter Betreiber darf dort das VDSL Frequenzband nutzen. Die dritte Variante ist ein laissez-faire Ansatz, der auf eine Regulierung verzichtet und auf die ökonomische Rationalität der Betreiber vertraut, nicht als Zweiter zu investieren, weil dies nur beiden Parteien zum Nachteil in der anbietbaren Bandbreite gereichen würde. Alle Ansätze unterstellen, dass für die Wettbewerber alternativ zum entbündelten physischen Zugang ein entsprechend technisch und ökonomisch leistungsfähiger Bitstrom nicht diskriminierend zur Verfügung gestellt wird.

Dieser Diskussionsbeitrag beschreibt die technischen und ökonomischen Zusammenhänge des VDSL Vectoring, des Vectoring nutzenden Bonding und des auf beidem aufsetzenden Phantomring. Zudem beschreibt und diskutiert er die vorgenannten Optionen regulatorischen Handelns und versucht damit, einen Beitrag zur aktuell stattfindenden Diskussion zu leisten.

Summary

VDSL Vectoring is a method compensating the mutual cross talks of parallel copper pairs and thus nearly reestablishing the original signal capacity of a native VDSL signal on a single copper pair, being not impacted by other pairs in the cable. The effect covers bandwidth and reach, which is naturally attenuated on a copper pair and thus is limited. A bandwidth of up to 100 Mbit/s down- and up to 40 Mbit/s upstream is achievable, depending on the length of the access line it will become lower, thus one can expect 50 Mbit/s downstream at 600 m loop length. By compensating the cross talks VDSL Vectoring allows to fully exploit a copper access cable with VDSL signals, each of the signals having a quality close to a single copper pair transmitting a VDSL signal without any disturbers from neighboring copper pairs. Signals out of the frequency spectrum of VDSL (POTS, ISDN, ADSL, HDSL/ SDSL) do not impact the VDSL transmission at all or may be excluded from impacting it with a minor downgrade.

The full exploitation of the Vectoring Effect requires all copper pairs of a bundle in a cable, which carry a VDSL signal, to be included in the cross talk compensation process. Otherwise the achievable bandwidth gain will be significantly reduced, so that one may wonder if the additional investment in the vectoring components of the DSLAM and the CPE are worth the additional income of a now lower bandwidth gain, the remaining gain in reach and the better exploitation of the cable by VDSL users.

This leads the investors in VDSL Vectoring solutions to claim for regulation of VDSL and VDSL Vectoring or to change the existing regulation of a complete unbundled access to the local loop respectively in order to allow the use of the VDSL frequency band for one operator only.

Since node-level vectoring, which allows a cross talk compensation across the DSALMs of several operators will not be available to the market in the nearer future, and since sorting the copper pairs of the access networks into per operator bundles, so that the access lines of different operators will no longer be mixed within one bundle, is not practically feasible, we do not see a natural solution in the near future term to prevent conflicts on the access lines by technical or organizational regulatory means.

In order to react on the operator's demand of an exclusive access regulation we so far see three options for regulators:

- Owner monopoly (Incumbent monopoly)
- First Mover monopoly
- Open for competition

With the owner Monopoly the incumbent receives the exclusive right to use the VDSL frequency spectrum for all street cabinets (on all sub-loops). With the first Mover monopoly the first operator deploying a street cabinet with VDSL receives the exclusive right to also apply VDSL Vectoring and no other operator at this street cabinet is al-

lowed to use the VDSL frequency spectrum on the access lines. The third approach is a laissez-faire model, which abstains from regulation of exclusive rights but trusts in the economic rationality of the operators to not invest as a second mover due to the disadvantages the parties would experience in only having a reduced bandwidth available. All three approaches assume that the competitors to the one operator deploying VDSL Vectoring will be offered an alternative to the physically unbundled access by a technically and economically equivalent nondiscriminatory bitstream access.

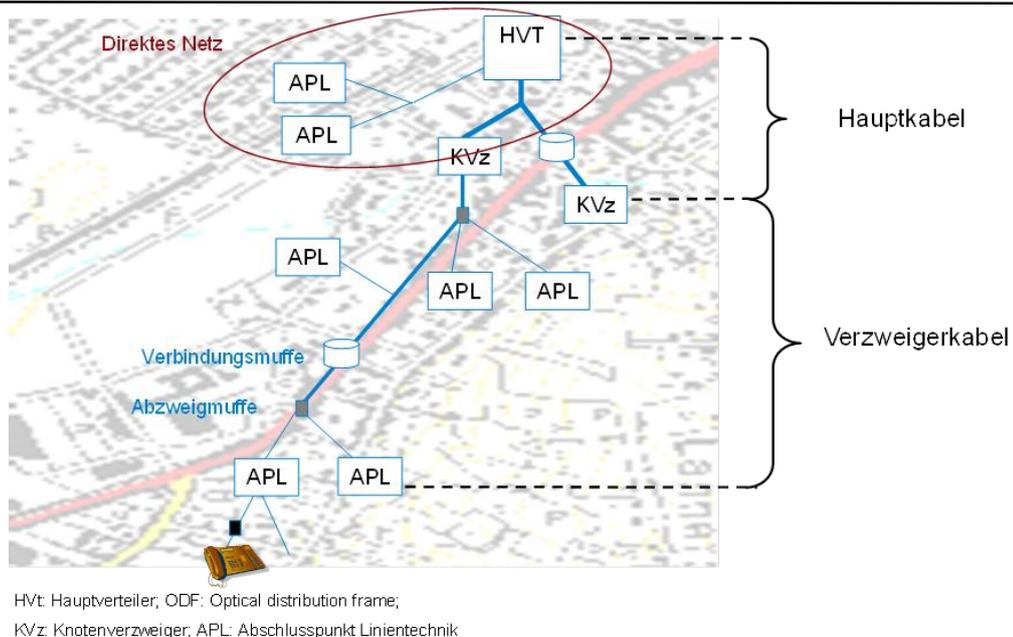
This study describes the technical and economic background of VDSL Vectoring, of Bonding using vectoring and of Phantoming, relying on both. It describes and discusses the regulatory options mentioned above and by this intends to contribute to the actual discussion.

1 Einleitung

In nahezu allen entwickelten Ländern existiert seit geraumer Zeit für die Telekommunikation ein nahezu flächendeckendes Teilnehmeranschlussnetz auf der Basis von Kupferdoppeladern (DA), das von den Endkunden zu zentralen Kopplungspunkten, den Hauptverteilern, sternförmig zusammenläuft. Zwischen den Hauptverteilern und den Endkunden besteht eine Punkt-zu-Punkt Verbindung aus einer Kupferdoppelader, zuweilen auch aus mehreren Doppeladern. Einzig einige sehr abgelegene Standorte sind mit diesem Netz nicht erschlossen (z.B. Gebirgshütten). In weniger entwickelten Ländern, z.B. in Ländern des ehemaligen Ostblocks oder im Balkan, in vielen Regionen Süd und Mittelamerikas, in Asien etc. kann dagegen von einer flächendeckenden Verfügbarkeit eines Kupferanschlussnetzes für die Telekommunikation nicht gesprochen werden. Wir setzen bei den nachfolgenden Untersuchungen ein flächendeckendes Kupferanschlussnetz voraus, wie es in Westeuropa üblich ist.

Das klassische Teilnehmeranschlussnetz verzweigt sich über Hauptkabel, die viele Doppeladern zusammenfassen (typisch bis zu 2000 DA je Kabel), zu Knotenverzweigern - typischerweise ein grauer Schrank am Straßenrand -, an denen mehrere Verzweigerkabel zusammenlaufen und die es über Patchfelder (Verteilerfelder) erlauben, flexibel jede Endkundenleitung mit jeder Doppelader im Hauptkabel zu verbinden, und reicht von dort über die Verzweigerkabel und weitere (unterirdische) Abzweigstellen (Muffen) bis zu den Gebäudeanschlusspunkten, APL (Abschlusspunkt Linientechnik) genannt. Dort wechseln die Kabel von Außenkabeln auf Innenkabel mit anderen Brandschutzwerten und verteilen weiter auf die Haushalte.

Abbildung 1-1: Prinzip eines Kupfer basierten Teilnehmeranschlussnetzes



Die Anschlussleitungen sind entweder als Erdkabel verlegt, oder sie wurden in Leerrohre eingezogen, die später Reparatur und Austausch erleichtern, oder sie wurden - in Deutschland inzwischen eher selten - als Luftkabel über Maste gespannt.

Das Teilnehmeranschlussnetz diente ursprünglich der Versorgung eines Landes (einer Region) mit Telefonie in analoger Übertragung und einem Frequenzbereich bis 3,4 kHz¹. Dieses Netz wurde später ergänzend genutzt für die digitale Telefonie und Datenübertragung im Integrierten Dienstenetz (ISDN) mit Bandbreiten bis ca. 200 Kbit/s im Frequenzbereich bis 120 kHz. Mit wachsender Nachfrage nach Bandbreite nicht nur im Internet, sondern auch auf den Zugangsleitungen dorthin, wurden neue Übertragungsverfahren für die Kupferdoppeladern eingeführt, die einerseits ein breiteres Frequenzband auf den Kupferdoppeladern nutzen, andererseits aber auch komplexere Kodierungen für ein zu übertragendes Signal verwenden, so dass die übertragbare Bandbreite deutlich angestiegen ist und derzeit über 100 Mbit/s auf einer Kupferdoppelader des althergebrachten Telefonnetzes zu übertragen erlaubt. Dabei wird typischerweise das Frequenzband der analogen Telefonie bzw. des ISDN nicht berührt, sondern die ergänzende Datenübertragung beginnt mit seinem Frequenzband oberhalb davon, so dass beide Anwendungen parallel auf derselben Kupferdoppelader übertragen werden können. (Man spricht dann auch von Frequenzmultiplex. Die Nutzung einer Anschlussleitung durch zwei Nutzer (einer für Telefonie, einer für Daten) wird auch Line Sharing genannt.) Im Kontext der Sprachübertragung über das Datennetz (VoIP) muss die separate Bandbreite für Telefonie nicht mehr zwingend freigehalten werden. Sie könnte für die Datenübertragung mit belegt werden. Dies geschieht heute nur bei wenigen speziellen Übertragungsverfahren für den Geschäftskundenmarkt. Wir konzentrieren uns bei der vorliegenden Untersuchung auf DSL-basierte Übertragungsverfahren (DSL: Digital Subscriber Line), die neben der normalen Telefonie ergänzende breitbandige Datenübertragung im Massenmarkt erlauben und daher den Sprachkanal unberührt lassen.

Bei den DSL-Übertragungsverfahren ist es grundsätzlich möglich, die Nutzung des Frequenzbandes auf dem Kabel symmetrisch für beide Übertragungsrichtungen gleich oder aber asymmetrisch aufzuteilen. Die asymmetrischen Verfahren begünstigen Anwendungen, bei denen ein Endnutzer wenig Verkehr in das Netz einspeist (Upstream), aber umfangreiche Antworten erhält (Downstream)². Für derzeit typische Internetanwendungen sind asymmetrische Verfahren häufig besser geeignet, die Bandbreitenausnutzung einer insgesamt begrenzten Anschlussleitung effizienter zu gestalten, als dies symmetrische Verfahren könnten. Dies hängt jedoch für die Zukunft von der weiteren Entwicklung der Anwendungsnachfrage ab. Die vorliegende Untersuchung vertieft die Aspekte möglicher breitbandiger Symmetrie zukünftiger Nachfrage nicht sondern

¹ Häufig wird die analoge Telefonie auch als POTS (Plain Old Telephone Service) oder als PSTN (Public Switched Telephone Network) abgekürzt.

² Typische symmetrische Verfahren sind HDSL und SDSL, während ADSL typisch für die asymmetrischen Verfahren ist.

unterstellt, wo relevant, zunächst weiterhin eine gewisse Asymmetrie der Bandbreiten-nachfrage je Richtung (Up/ Down).

Die Übertragung von Telekommunikationssignalen auf Kupferdoppeladern in einem Kabel ist von vielen physikalischen Parametern beeinflusst³. Wesentlich bestimmend ist die Länge der Übertragungsstrecke. Sie wurde historisch festgelegt aus den Anforderungen der analogen Telefonie und bestimmt die heutigen Strukturen des Teilnehmeranschlussnetzes ganz wesentlich. Die Länge einerseits und die maximale Größe eines Vermittlungssystems andererseits bestimmten die Sternpunkte, d.h. die Lage der Hauptverteiler-Standorte (HVt). Von dort werden zwischen ca. 800 bis ca. 50.000 Teilnehmer mit Anschlussleitungslängen bis zu maximal ca. 7 km erschlossen⁴. Derartige Längen sind für die breitbandige Übertragung von Informationen jedoch zu groß. Je höherfrequenter die Signale, desto mehr werden die Signale über die Länge bedämpft.

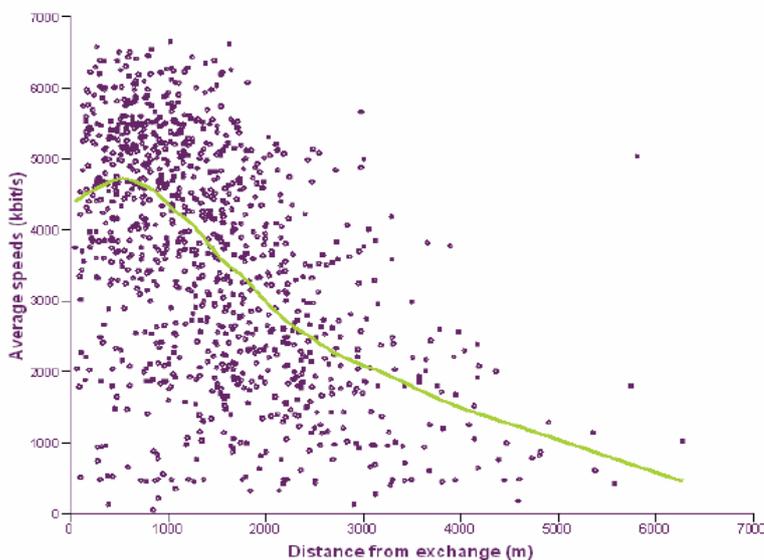
Diese Sachverhalte beschreiben bereits das Grunddilemma der bestehenden Kupferanschlussnetze in der Telekommunikation. Hohe Bandbreiten können nur übertragen werden, wenn die Anschlussleitung zwischen dem letzten aktiven, elektronisch die Signale formenden Netzelement und den Abschlussystemen beim Endkunden (CPE, Customer Premise Equipment) hinreichend kurz ist. Bei den typischen, hier vertiefend betrachteten DSL Übertragungsverfahren ist der DSLAM (DSL Access Multiplexer) das elektronische System, das einerseits die Signale zur Teilnehmeranschlussleitung hin überträgt und andererseits die Verkehre in die Gegenrichtung vorkonzentriert über eine Glasfaser hin zum Kernnetz leitet. Die DSLAMs sind typischerweise in den HVt Standorten aufgebaut. Um die übertragbaren Bandbreiten zu erweitern, können die DSLAMs in den KVz Standorten aufgebaut werden, so dass die Kupfer-Anschlussleitung deutlich verkürzt wird. Hierzu müssen die Hauptkabel durch Glasfaserkabel ersetzt und die KVz-Gehäuse zur Aufnahme der DSLAMs vergrößert und um Stromanschlüsse/ USV und Abluftanlagen/ Klimatisierung ergänzt werden.

Ein weiteres typisches Problem der breitbandigen Übertragung auf Kupferdoppeladern ist die breite Streuung der erzielbaren Bandbreiten nicht nur bedingt durch die unterschiedliche Länge, sondern durch die unterschiedlichen Bedingungen für die einzelnen Doppeladern im selben Kabel (Abbildung 1-2)⁵.

³ Länge des Kabels, Art des Kabels: Isolierung, Leiterquerschnitte, Wechsel der Querschnitte über verschiedene Kabelsegmente der Anschlussleitung, Feuchtigkeit im Kabel, Verdrillung der Doppeladern, Anzahl der Muffen, Art der Schirmung, Art der Erdung etc.. Elektromagnetische Einflüsse: aus anderen Doppeladern, verschiedene Übertragungsverfahren, aus Quellen von außerhalb (Verkehr, Energieversorgung, Funk, Powerline, etc).

⁴ Diese Werte sind als Minimal- bzw. Maximalwerte zu verstehen. Die durchschnittliche Anschlussleitungslänge liegt bei ca. 2 km (vgl. Mertz 2000), die durchschnittliche Größe eines HVt Standortes bei ca. 3.500 Teilnehmern

⁵ Die Streuung der Bandbreiten verursacht ein vertrieblisches Problem, denn es können keine festen Bandbreiten zugesagt werden. Verkauft wird eine Bandbreite „bis zu“, die realen Werte können selbst bei benachbarten Anschlüssen variieren. Die obere Grenze wird auch nicht immer seriös angegeben und sinkt in Abhängigkeit von der Entfernung zum DSLAM. Dies u.a. begründete die Qualitätsinitiative der Bundesnetzagentur 2012.

Abbildung 1-2: Streuung der Bandbreite über die Anschlussleitungslänge bei DSL⁶**Figure 7.6 Distance from exchange and average download speeds achieved by panellists on packages of 'up to' 8Mbit/s**

Source: SamKnows measurement data for all panel members with a connection in the 30 days from 23rd October 2008

Quelle: WIK-Consult

Für die Umgebungen mit verhältnismäßig kurzen Anschlussleitungen ist VDSL das Übertragungsverfahren, das die höchsten Bandbreiten zu übertragen erlaubt. Allerdings können nur Bandbreiten bis ca. 25 Mbit/s relativ zuverlässig in den relevanten Entfernungen vom KVz erzielt werden. 50 Mbit/s sind nur bei kurzen Leitungslängen und nicht für alle Kunden im Einzugsbereich eines KVz möglich. Daher wurde bisher VDSL als technische Lösung zur Erreichung der Breitbandziele der Bundesregierung⁷ (50 Mbit/s) von den meisten Netzplanern ausgeklammert. Neuere technische Entwicklungen (VDSL Vectoring) scheinen jedoch nun diese Bandbreitenziele auch mit VDSL über die Kupferdoppelader erreichbar werden zu lassen, so dass die Lösung mit VDSL als seriöser Ansatz einer Übergangs- und Ausbaustrategie auf dem Weg zu noch breitbandigeren Zielen (100 Mbit/s - 1 Gbit/s) ins Auge gefasst werden könnte, oder gar bei solch hohen Zielen noch ein relevanter Lösungsansatz wäre.

Alternativ könnte auch das gesamte Kupferanschlussnetz durch Glasfaserkabel ersetzt werden und so deutlich höhere Anschlussgeschwindigkeiten ermöglichen. Dann wäre auch 1 Gbit/s Anschlussgeschwindigkeit je Teilnehmer kein technisches Problem mehr.

⁶ vgl.: Allen 2009

⁷ „Bis 2014 sollen für 75 Prozent der Haushalte Anschlüsse mit Übertragungsraten von mindestens 50 Megabit pro Sekunde zur Verfügung stehen mit dem Ziel, solche Hochleistungsnetze möglichst bald auch flächendeckend verfügbar zu haben.“, Breitbandstrategie des Bundes, <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Digitale-Welt/Digitale-Infrastrukturen/breitband.html>

Dies würde allerdings deutlich höhere Investitionen erfordern⁸, als nur das Hauptkabel zu erneuern. Eine derartige Lösung ist in Anbetracht des derzeitigen Ausbaustandes und der dazu erforderlichen Ausbauezeiten nicht im Zeitrahmen (2014) zu schaffen, sondern eher ein ferneres Ziel.

In dieser Studie konzentrieren wir uns daher auf das Potenzial von VDSL mit seinen technischen Neuerungen VDSL Vectoring, Bonding und Phantomring, die wir in den folgenden Abschnitten erläutern und ihr Leistungsvermögen, ihre Umsetzungsfähigkeit und ihre praktische Relevanz im Kontext bestehender Netze auszuloten versuchen. Hierzu gehören insbesondere auch mögliche Wechselwirkungen und Einschränkungen in der bisher in Deutschland üblichen Bewirtschaftung des Teilnehmeranschlussnetzes, auch im Hinblick auf Vorleistungen des marktbeherrschenden Anbieters (Telekom Deutschland) für die Wettbewerber im Markt.

In einem separaten Kapitel beschäftigen wir uns mit möglichen Auswirkungen von VDSL Vectoring und den ergänzenden Ansätzen auf den Telekommunikationsmarkt.

Den Abschluss der Studie bilden Überlegungen zu Optionen der Regulierung von Vectoring mit dem Versuch einer Abschätzung der Konsequenzen für den Markt und die Betreiber.

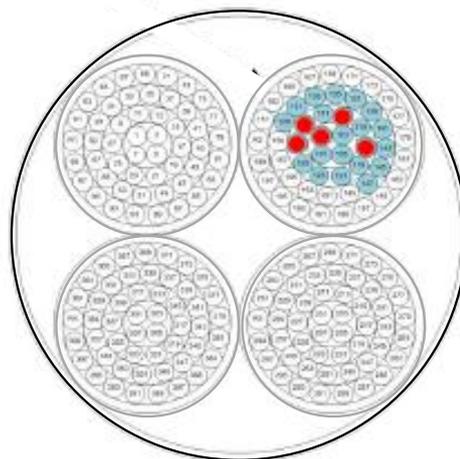
⁸ Der Anteil eines Hauptkabelnetzes an den Gesamtinvestitionen eines Zugangsnetzes beträgt weniger als 10%, vgl. Hoernig 2010, pp. 115 am Beispiel eines Punkt-zu-Punkt Glasfasernetzes

2 Vectoring

Einer der wesentlichen Faktoren, die die Leistung des Kupferanschlusskabels begrenzenden, sind die Störungen, die die Signale einer Kupferdoppelader erfahren. Das fängt bereits mit den Signalen aus den benachbarten Kupferdoppeladern an, geht weiter über Signale aus anderen Kabeln, aber auch aus Energienetzen, aus Funknetzen usw. Maßgeblich sind Feldstärke des Signals und Abstand voneinander. Die Wirkung nimmt mit dem Quadrat des Abstandes ab.

Das Kupferanschlussnetz ist verlegt. Wollte man die Kabel nun erneuern, weil sie am Ende ihrer Lebensdauer angelangt sind, kann man gleich Glasfaser verlegen. Vectoring ist nun eine Technik, die unmittelbar die nächstgelegenen Störungen aus den Kupferdoppeladern desselben Kabels zu eliminieren versucht.

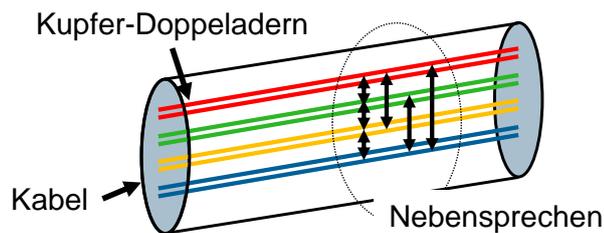
Abbildung 2-1: Typischer Aufbau eines Kabels



2.1 Prinzip des Vectoring

Vectoring adressiert die Störungen, die aus den benachbarten Kupferdoppeladern auf das zu übertragende Signal einwirken. Dieser (unerwünschte) Effekt wird Nebensprechen genannt. Es wirken alle Doppeladern eines Kabels aufeinander ein (Abbildung 2-2).

Abbildung 2-2: Nebensprechen



Quelle: WIK Consult

wik

Unterstellt, dass die Originalsignale auf den anderen Kupferdoppeladern bekannt sind, kann man auch die Störsignale daraus auf einer Kupferdoppelader abschätzen. Relevant ist hierbei im Wesentlichen das sogenannte Fernnebensprechen an dem vom DSLAM aus gesehen anderen Ende der Leitung, an den CPEs. Das Abschätzen des Nebensprechens setzt voraus, dass der DSLAM und die CPEs der anderen Kunden miteinander interagieren⁹. Im Grundsatz korrigiert nun ein schneller Prozessrechner die empfangenen Signale um das Nebensprechen aller anderen Kupferdoppeladern und gibt ein entstörtes Signal weiter. Gleiches passiert auf der anderen Seite im CPE. Vectoring stellt also die ungestörte Kapazität einer Doppelader wieder her.

Die Rechenkomplexität für den Prozessrechner an zentraler Stelle im DSLAM wächst exponentiell mit der Zahl der Doppeladern, die in das Vectoring mit einbezogen werden, so dass heute in der Leistungsfähigkeit dieser Prozessrechner eine praktische Begrenzung der Menge der Doppeladern je Kabel liegt, die so entstört werden können. Nach Angaben der Herstellerindustrie liegt die praktische Grenze derzeit bei ca. 192 Doppeladern; weitere Kapazitätssteigerungen sind angekündigt. Die durchschnittliche Beschaltung eines Verzweigerkabels liegt deutlich darunter, so dass die Kapazitätsgrenze für die Anwendung auf einem Verzweigerkabelstrang derzeit selten greifen dürfte. Zudem wird sich die Grenze der in das Vectoring einbeziehbaren Doppeladern im technologischen Fortschritt nach oben verändern.

Das Vectoring Verfahren ist bereits seit April 2010 als ITU-T G.993.5 standardisiert. Die Standardisierungsarbeiten begannen bereits im Jahr 2006, als auch die ersten Veröffentlichungen dazu von der Universität Melbourne, Australien, in der Fachpresse er-

⁹ Sie kommunizieren über einen separaten Ethernet Backchannel.

schienen sind¹⁰. Auch die Anforderungen an die CPE sind seit 2010 festgelegt. Die CPEs müssen „G.vector - fähig“ sein. Das ist natürlich heute bei den älteren CPEs noch nicht der Fall. So müssen für die Verwendung von VDSL Vectoring nicht nur geeignete DSLAM eingesetzt werden, sondern es müssen auch die bestehenden VDSL CPEs je nach Umständen mit Software Upgrades nachgerüstet oder gar ausgetauscht werden.

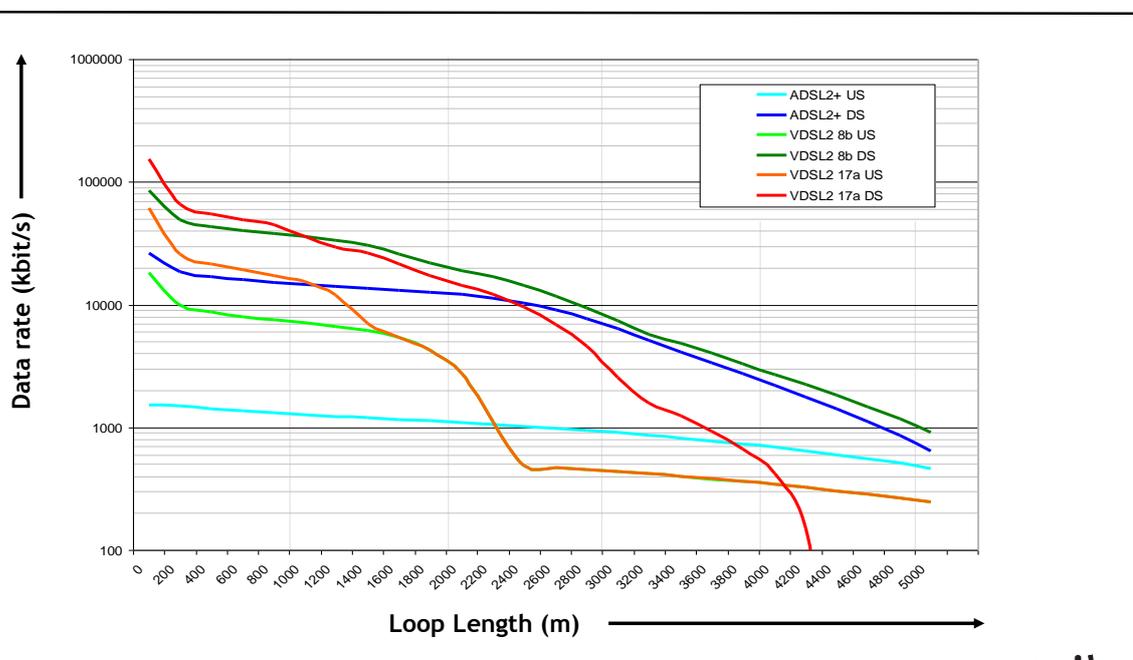
Im Grundsatz kann der Prozessrechner auf der Ebene einer einzelnen Portkarte mit beispielsweise 48 Ports eingesetzt werden. Man spricht dann von **Board-Level Vectoring**. Auch kann er auf der Ebene des gesamten DSLAM eingesetzt werden, was auch als **System-Level Vectoring** bezeichnet wird. Darüber hinaus gibt es auch die Option, den Prozessrechner über mehrere DSLAMs hinweg arbeiten zu lassen. Das wird auch als **Node-Level Vectoring** bezeichnet. Dies könnte zum einen zwischen mehreren DSLAMs desselben Herstellers erfolgen, oder aber zwischen Systemen verschiedener Hersteller. Zum letzten Schritt fehlt es derzeit an der Standardisierung - es ist aber auch kein Interesse der Systemhersteller dazu erkennbar, diese Standardisierung zu beginnen. Sie liegt naturgemäß nicht in ihrem Interesse. Bereits das Node-Level-Vectoring zwischen DSLAMs desselben Herstellers überschreitet derzeit die verfügbaren Rechenkapazitäten aufgrund der dann großen Anzahl zu korrelierender Doppeladern bei weitem.

¹⁰ Die Arbeiten fußen auf der Promotionsarbeit von John Papandriopoulos 2006 in der Abteilung für Elektrotechnik der Universität Melbourne, Australien. s. auch: Papandriopoulos 2006a und 2006b.

2.2 Bandbreitengewinn

Grundsätzlich haben alle xDSL Übertragungsverfahren eine Beschränkung in der Bandbreite, die mit zunehmender Länge der Anschlussleitungen immer mehr abnimmt. Dabei zeigt sich für die heute typischen eingesetzten Übertragungsverfahren das in Abbildung 2-3 dargestellte typische Verhalten. ADSL 2+ kann bei einer Anschlussleitungslänge von 2 km ca. 12 Mbit/s Downstream übertragen, VDSL2 (8a) 20 Mbit/s. Werden VDSL DSLAMs in den KVz aufgebaut, ist das VDSL2 Profil¹¹ 17a besser geeignet und überträgt auf einer Subloop-Länge von 1000 m noch ca. 40 Mbit/s. Diese Laborwerte verringern sich beim praktischen Einsatz im Feld noch und zeigen zudem die bereits in Abbildung 1-2 dargestellten typischen Streuungen.

Abbildung 2-3: Bandbreiten - Längen Relation bei ADSL2+ und VDSL2 (Labormessungen¹²)

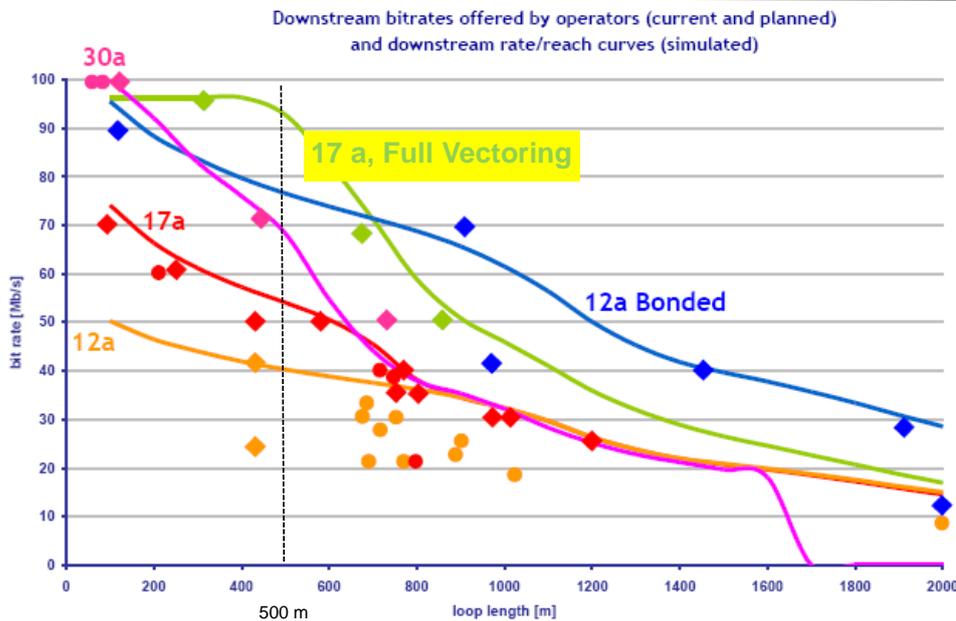


Quelle: Wulf 2007

¹¹ Das Übertragungsprofil eines Dienstes ist beschrieben über den Frequenzbereich, innerhalb dessen das Signal auf einem Leiter übertragen wird, und die Sendeleistung, mit der dies erfolgt, vgl. auch Abbildung 2-9.

¹² Laborwerte mit Störern: Cable 0,5 mm Loop, 12 self Xtalk; Disturbers: 2x SDSL 1024 Kb/s, 4x SDSL 2304 Kb/s, 1x 2-pair HDSL 2B1Q, 10x ADSL2+, Annex B, 41x ISDN 4B3T

Abbildung 2-4: Bandbreiten - Längen Relationen bei Verbesserungen in VDSL (Simulationen und existierende und geplante Angebote¹³)



Quelle: Putten 2011

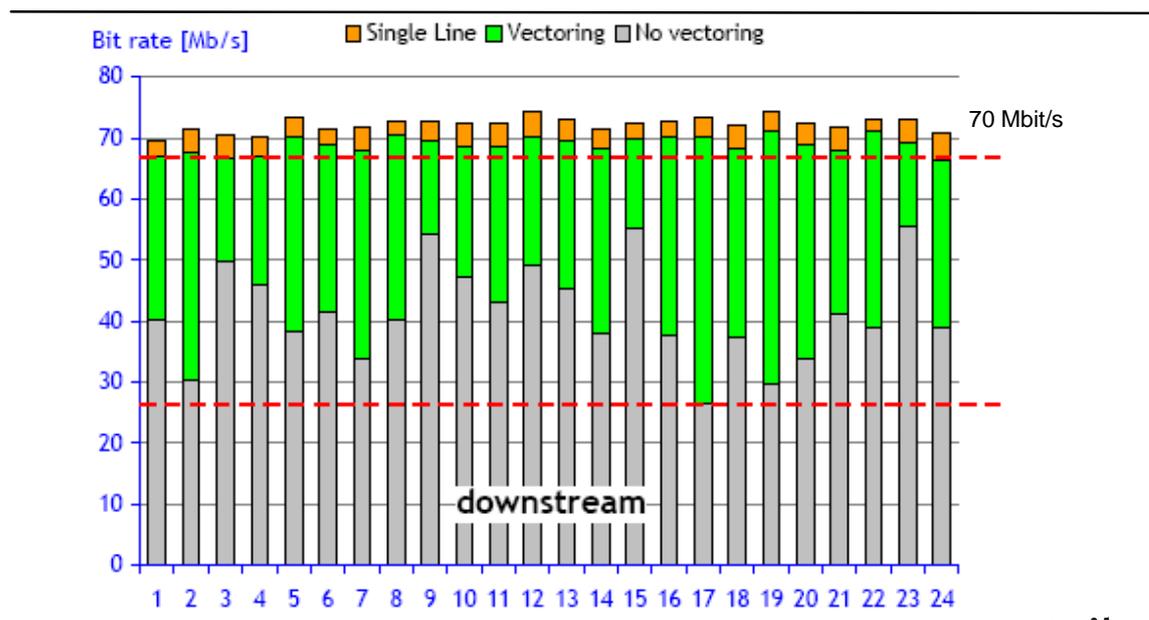
Abbildung 2-4 zeigt die generell etwas unter den zuvor beschriebenen Laborwerten liegenden Werte für Downstream Bandbreiten über die Anschlussleitungslänge für die VDSL Profile 8a/12a, 17 a und 30a. Das Profil 30 a ist besser noch als das Profil 17 a für den Einsatz ab KVz geeignet. Es nutzt ein breiteres Frequenzband auf der Anschlussleitung (Obergrenze bei 30 anstelle 17 MHz). Das verursacht allerdings auch den abrupten Abbruch ab 1.600 m. Nach dieser Darstellung sind Bandbreiten von 50 Mbit/s ab Subloop-Längen von ca. 600 m nicht mehr erreichbar. Damit wäre technologiebedingt ein bestimmter Prozentsatz der Bevölkerung nicht mehr mit 50 Mbit/s über VDSL ab KVz versorgbar.

Diese Abbildung zeigt zudem jedoch auch die durch den Einsatz von Vectoring im VDSL2 Profil 17a eintretenden Verbesserungen, wenn Vectoring auf allen Doppeladern eines Kabels eingesetzt werden kann (grüne Kurve mit 17 a, Full Vectoring). Die erzielbare Bandbreite liegt bei ca. 95 Mbit/s und wird durch die Eliminierung der gegenseitigen Störungen auf den ersten 400 m kaum beeinträchtigt. Dann wirken sich dämpfende Effekte aus, dennoch bleibt die Bandbreite deutlich über den Werten des normalen 17 a Profils.

¹³ Mit den Punkten sind heute bestehende Angebote im Markt gekennzeichnet, mit den Rauten geplante Angebote.

Ein wesentlicher Vorteil des Vectoring gegenüber dem „normalen“ VDSL (ohne Vectoring) ergibt sich aus der Tatsache, dass nun alle Doppeladern eines Kabels mit VDSL beschaltet werden können, während zuvor die gegenseitigen Störungen eine 100%-ige Beschaltung eines Kabels mit VDSL in der Praxis verhinderte. Es lassen sich also mehr Kunden eines Gebietes mit Breitband versorgen, wobei zudem die Bandbreite deutlich gesteigert werden kann.

Abbildung 2-5: VDSL Vectoring, Downstream Bandbreiten (Labormessungen Swisscom¹⁴)



Quelle: Putten 2011

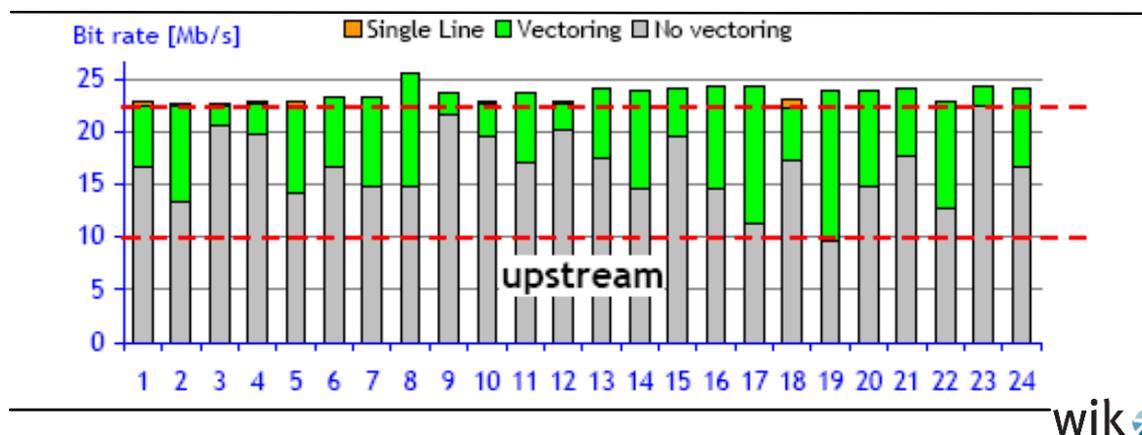
Labormessungen bei der Swisscom zeigen realistischere Bandbreitenwerte von etwas unter 70 Mbit/s bei einer Leitungslänge von 500 m (Abbildung 2-5). Dargestellt werden die Ergebnisse einzelner Doppeladern (1 - 24) in einem gemeinsamen Bündel. Die Säule bis einschließlich zum orangenen Balken zeigt die erreichte Bandbreite, wenn nur jeweils diese eine Doppelader mit VDSL2 beschaltet ist. Das ist damit der erzielbare Höchstwert. Die grauen Balken beschreiben die erzielbaren Bandbreitenwerte je Doppelader, wenn sich diese denn gegenseitig stören (Nebensprechen). Man sieht deutlich die Unterschiede in den Bandbreiten für die einzelnen Doppeladern, dargestellt durch die unterschiedlichen Höhen der grauen Säulen, und damit die bereits zuvor beschriebenen Bandbreitenstreuungen. Die Verwendung von Vectoring bringt nun eine deutliche Verbesserung der Bandbreite für jede einzelne Doppelader bis nahe an den Bestwert der Einzelbelegung. Zugleich eliminiert Vectoring dabei die Streuung zwischen den Doppeladern und ermöglicht dadurch verlässlichere Prognosen über die bei einem

¹⁴ Gemessen wurde in einem 400-paarigen Kabel, bestehend aus 4 Kabelbündeln á 100 Paaren, Papier isoliert, Leiterquerschnitt 0,4 mm, Länge 500 m, auf 24 mit VDSL2 beschalteten Doppeladern im selben Bündel, keine weiteren Beschaltungen. Für das Kabel vgl. Abbildung 2-1

Kunden erzielbaren Bandbreiten. Man kann auch korrekter sagen, Vectoring stellt die Kapazität einer von benachbarten Doppeladern ungestörten VDSL-Kapazität einer einzigen Doppelader für das gesamte Bündel Doppeladern (nahezu) wieder her.

Die gleichen Effekte, nämlich eine deutliche Verbesserung der Bandbreite bei gleichzeitiger Harmonisierung der Werte (geringere Streuung) wurde im o.a. Laborversuch der Swisscom auch für die Upstream Richtung erzielt (Abbildung 2-6). Ein ganz ähnliches Verhaltensmuster, allerdings mit einer einheitlich erzielbaren minimalen Downstream-Bandbreite von 58 Mbit/s, wurde in einem Feldversuch mit VDSL Vectoring bei der P&T Luxemburg erreicht¹⁵.

Abbildung 2-6: VDSL Vectoring, Upstream Bandbreiten (Labormessungen Swisscom (s.o.))

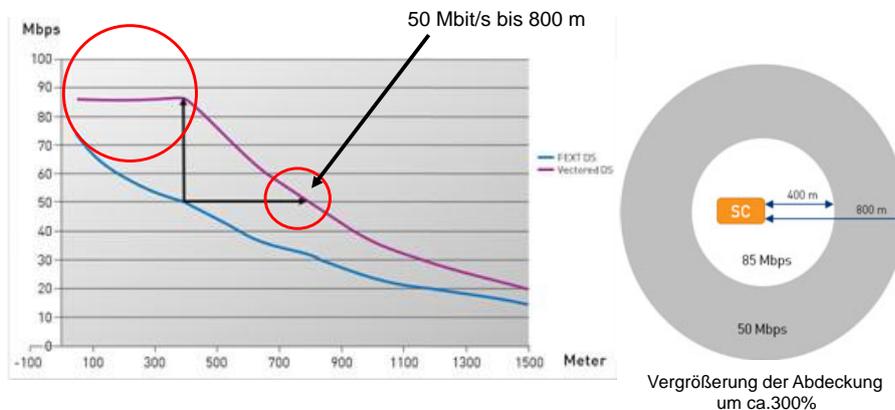


Quelle: Putten 2011

Bedingt durch den horizontalen Verlauf der Bandbreitenkurve über die Leitungslänge bis ca. 400 m (vgl. auch Abbildung 2-4) ergibt sich eine Rechtsverschiebung der Dämpfungskurven insgesamt, was nicht nur in höheren Bandbreiten für die Kunden sondern gleichzeitig auch in einer höheren Reichweite eines definierten festen Bandbreitenwertes führt. Für die Bandbreite von 50 Mbit/s ergibt sich somit eine um ca. 300% erhöhte Flächenabdeckung (Abbildung 2-7), was i.d.R. auch mit einer erhöhten Kundenabdeckung einhergeht, deren Ausmaß aber von der lokalen Besiedlungsstruktur abhängt.

¹⁵ Patel, Next Generation Access: 10G PON & Phantom Mode... The Evolution Towards Ultra-Broadband, CeBit 2011, Alcatel Lucent, gemessen wurden 16 VDSL2 Doppeladern mit einer Länge zwischen 529 und 613 m.

Abbildung 2-7: Reichweitenverbesserung und Vergrößerung der Flächenabdeckung durch VDSL Vectoring



Quelle: ECI 2011

Zusammenfassend lassen sich folgende Eigenschaften von VDSL Vectoring festhalten:

- Die mit VDSL Vectoring erreichbare Bandbreite steigt bei Up- und Downstream deutlich.
- Sie steigt in einem relevanten Bereich über die Zielmarke von 50 MBit/s Downstream hinaus.
- Die Flächenabdeckung für 50 Mbit/s steigt um ca. 300%
- Es können nun alle Doppeladern eines Anschlusskabels mit VDSL (Vectoring) beschaltet werden, d.h. der Beschaltungsgrad mit VDSL nimmt deutlich zu.
- Die Streuung der Bandbreiten im selben Kabel bei gleicher Länge wird drastisch reduziert.

2.3 Beschränkung des Bandbreitengewinns durch Aliens

Der Bandbreitengewinn durch Vectoring kann in vollem Umfang nur erreicht werden, wenn alle Doppeladern eines Bündels in einem Kabel Informationen über die von ihren Nutzsignalen ausgehenden Störungen auf die anderen Doppeladern in den Korrekturprozess einfließen lassen und ihre Nutzsignale selbst auch entsprechend korrigiert werden. Hierfür wird im Prinzip ein schneller Prozessrechner benötigt, in dem diese Informationen zusammenfließen und der damit Zugriff auf alle Doppeladern eines Kabels benötigt.

Signale, die sich in den Korrekturprozess nicht einbinden lassen, werden in der Standardisierung als Aliens bezeichnet. Aus den Aliens stammt nun eine besondere Problematik in den Telekommunikationsnetzen, die den europäischen Regulierungsvor-

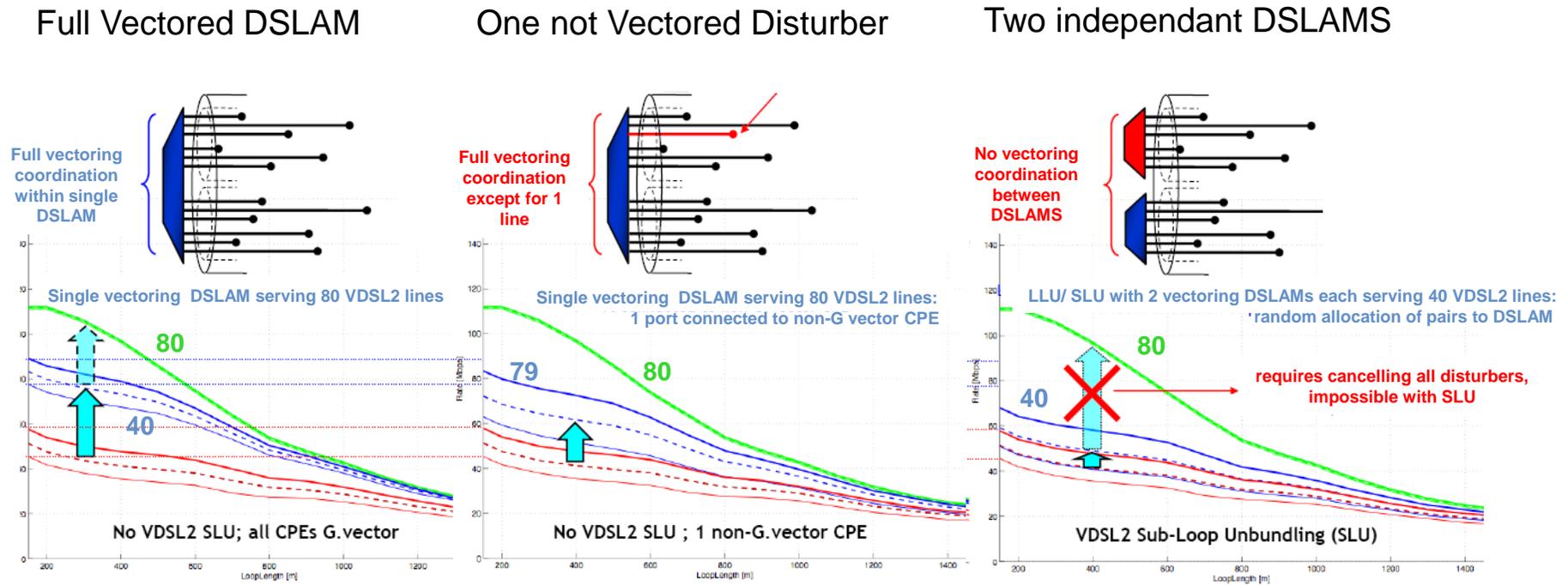
schriften zur physikalischen Entbündelung der Teilnehmeranschlussnetze unterliegen, weil nicht ein Netzbetreiber alleine die Verfügungsgewalt über die Beschaltung der Kupferdoppeladern des Teilnehmeranschlussnetzes hat, sondern auch andere Mitbewerber entbündelte Kupferdoppeladern ab HVt (local loop), Schaltverteiler oder KVz (subloop) einkaufen und nutzen können. Diese sind mit den CPE und DSLAMs der anderen Netzbetreiber beschaltet, stammen in der Regel auch nicht vom selben Hersteller und sind somit nicht einfach in einen Vectoring Korrekturrechenprozess einbindbar.

Im Folgenden soll daher untersucht werden, inwieweit sich dieser Sachverhalt auf die Möglichkeiten des Vectoring bzgl. seiner Bandbreitensteigerung auswirkt. Dazu unterscheiden wir zum einen den Fall, in dem beide Netzbetreiber Vectoring bzw. breitbandige Übertragung mit VDSL2 im selben Segment der Teilnehmeranschlussleitung vornehmen wollen, und zum anderen die Fälle, bei denen andere Signale über die parallelen Doppeladern übertragen werden.

2.3.1 Koexistenz von VDSL Vectoring mit anderen VDSL Signalen

In Laborversuchen wurde nachgestellt, wie sich der Bandbreitengewinn von Vectoring verhält, wenn die Umgebung nicht ideal ist, sondern die Nutzer von Doppeladern aus demselben Doppeladerbündel zwar auch VDSL übertragen, jedoch nicht in die Korrekturrechnungen einbezogen werden können.

Abbildung 2-8: Bandbreitenverluste durch Aliens



Source of Figures: Frank van der Putten, Alcatel Lucent, answer to BIPT 18.02.2011

Abbildung 2-8 zeigt den Bandbreitengewinn, der durch Vectoring erreicht werden kann, wenn 80 Doppeladern (DA) aus einem 300 DA Bündel mit VDSL Vectoring im selben DSLAM verbunden sind (linke grüne Linie), und in dem auf allen 80 DA Vectoring angewendet wird. Die roten Linien zeigen den unteren Wert, den Mittelwert und den oberen Wert der auf den einzelnen DA erzielbaren Bandbreiten ohne Vectoring. Die mittlere Grafik zeigt den Einbruch, den ein einzelner großer Störer verursachen kann, dessen CPE nicht in das Vectoring eingebunden ist (blaue Linien für 79 DA). Dies könnte dadurch verursacht sein, dass das CPE die Rückkopplung der Störsignale nicht unterstützt (nicht G.vector freundlich, -fähig ist) oder von einem anderen Hersteller stammt, der nicht ausreichend kompatibel ist. Es ist anzunehmen, dass das Signal auf der „roten“ DA auch im Frequenzbereich des VDSL überträgt (vgl. Abschnitt 2.3.2). Die rechte Darstellung zeigt den noch erzielbaren Bandbreitengewinn für 40 DA eines Vectoring DSLAM (blaue Linien für 40 DA), bei dem im selben Kabel (insgesamt 300 DA) noch weitere 40 DA für einen anderen Vectoring DSLAM (z.B. eines anderen Netzbetreibers) beschaltet sind, die nicht miteinander kooperieren. Dies ist der typische Fall, bei dem zwei gleich erfolgreiche Netzbetreiber sich an einem KVz kollozieren und beide mit VDSL ihre Kunden erreichen. Der obere Bandbreitengewinn (grüne Linie mit 80 DA aus der linken Konstellation) ist auf diese Weise nicht erzielbar. Vielmehr ist der Bandbreitengewinn gegenüber einer Beschaltung mit VDSL ohne Vectoring so gering, dass sich der Mehraufwand für die teureren Vectoring DSLAMs und CPE voraussichtlich nicht rechnen würde¹⁶. Aus diesem Sachverhalt rührt die Forderung einiger (marktbeherrschender) Netzbetreiber zur exklusiven Nutzung der sub-loops für den Fall des Einsatzes von VDSL Vectoring. Ein Node-Level-Vectoring könnte hier ggf. Abhilfe schaffen (vgl. Abschnitt 2.1, aber auch 5.7).

2.3.2 Koexistenz von Vectoring mit anderen Übertragungsverfahren

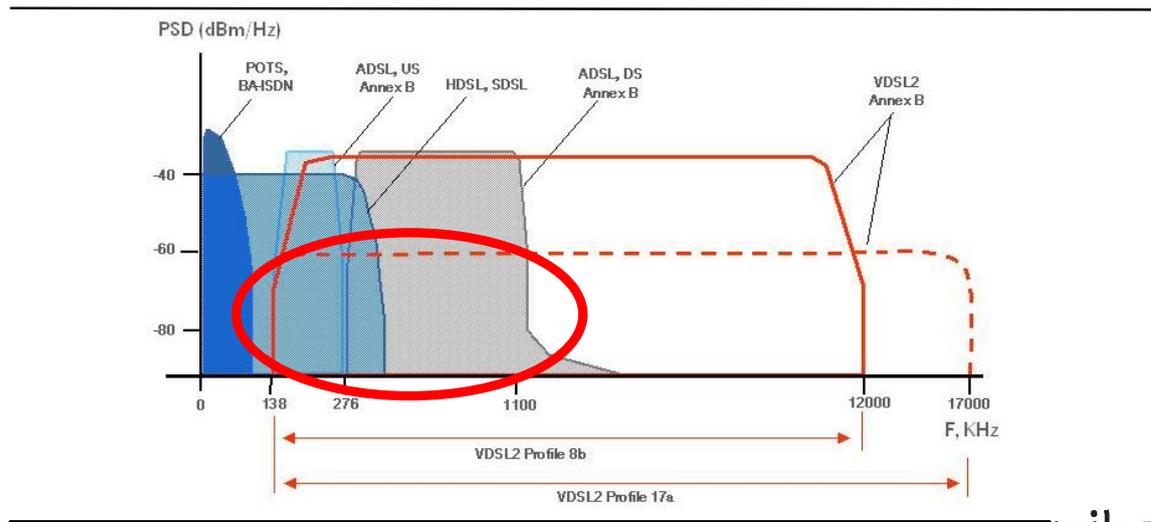
Die durch Vectoring eliminierbaren Störsignale auf den anderen Leitern sind auch wiederum durch die VDSL Vectoring Übertragung hervorgerufen. Nur diese Signale werden durch die CPE zurückgekoppelt (G.vector fähige CPE). Andere Signale sind darin (bisher) nicht eingebunden. Es bleibt die Frage, inwieweit diese Signale in die VDSL Übertragung einstören und inwieweit umgekehrt VDSL (Vectoring) in diese anderen Signale einstört und dessen Nutzungsmöglichkeiten verringert.

Grundsätzlich stören die Signale auf einem Leiter die Signale eines anderen Leiters in dem Frequenzbereich, in dem sie ausgesendet werden, am stärksten. Ggf. gibt es auch noch Oberwellen, also Vielfache dieser Frequenz, in denen sich Störungen auswirken

¹⁶ Hier darf dann nur der Mehrerlös aus dem verbleibenden Bandbreitengewinn zwischen VDSL und VDSL Vectoring, dem verbliebenen Reichweitengewinn und dem Zuwachs an Beschaltungsgrad im Kabel mit den Kosten eines Upgrade von VDSL am KVz um das Vectoring verglichen werden. Der grundsätzliche Ausbau eines KVz zu FTTC (Austausch/ Erweiterung der Schränke, Spannungsversorgung etc., Einbau eines DSLAMs incl. Portkarten) kann nicht einbezogen werden. Die Mehrkosten der Aufrüstung auf Vectoring von DSLAM und CPE hängt von der im Weltmarkt nachgefragten Menge, d.h. vom Erfolg des Vectoring ab. Wir schätzen die Mehrkosten mit weniger als 30% der einschlägigen Systeme (DSLAM, CPE) ab.

können. Allerdings sind diese Oberwellen typischerweise erheblich leistungsschwächer, und insofern werden auch die Störungen daraus schnell vernachlässigbar gering. In den anderen Frequenzbereichen ergeben sich daher aus der Signalübertragung keine signifikanten Störungen. Abbildung 2-9 zeigt die gängigen Frequenzbereiche und typische Leistungspegel der Signalübertragung auf Teilnehmeranschlusskabeln.

Abbildung 2-9: Frequenzbereiche typischer Signalübertragungen auf einem Teilnehmeranschlusskabel



Quelle: Wulf 2007

Der Frequenzbereich für die VDSL-Übertragung beginnt bei 138 KHz und reicht je nach Profil bis 12, 17 oder gar 30 MHz (Profil 30a, in Abbildung 2-9 nicht mehr dargestellt). Bis ca. 2.200 KHz gibt es alternative Nutzungen in einem Teilnehmeranschlussnetz, die die VDSL Übertragung stören können (der Downstream-Kanal von ADSL Annex B und ADSL2+ - im Bild gleichfalls nicht dargestellt). Diese Nutzung kann nicht nur von einem Netzbetreiber stammen, sondern von allen, die neben dem marktbeherrschenden Anbieter entbündelte Teilnehmeranschlussleitungen einkaufen und mit ADSL nutzen. Unterbinden kann man nur Frequenznutzungen, die nicht zugelassen sind. Eine beidseitige Störung kann dann ausgeschlossen werden, wenn VDSL bei derartigen Konstellationen in dem unteren Frequenzbereich nicht überträgt, d.h. ausgetastet wird. Dies führt durch den Verzicht auf den unteren Frequenzbereich bei VDSL je nach Profil nur zu einer geringen Verkleinerung der übertragbaren Bandbreite¹⁷.

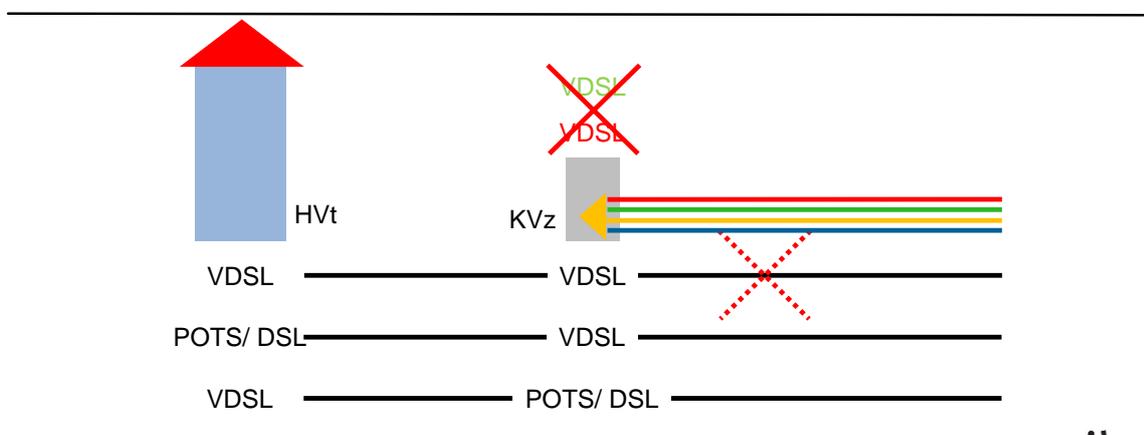
Abbildung 2-9 kann man auch sofort entnehmen, dass sich Telefonie (POTS und ISDN) und VDSL überhaupt nicht stören, also auch entbündelte Lösungen mit diesen Anwendungen durch VDSL nicht gestört werden und diese VDSL Anwendungen typischerweise nicht stören. HDSL und SDSL berühren dagegen einerseits den POTS/ ISDN

¹⁷ Das Frequenzband wird bei Profil 17a dann um ca. 6% reduziert mit prinzipiell gleichgroßer Reduktion an Bandbreite.

Frequenzbereich, andererseits aber auch den VDSL Frequenzbereich. Für HDSL und SDSL ist kein Line Sharing mit der Telefonie möglich (nicht beide Nutzungen auf derselben Doppelader). Gegenseitige Störungen von HDSL/ SDSL mit POTS/ ISDN zwischen verschiedenen Leitern können auftreten, allerdings wird die Sprache mit einem höheren Signalpegel eingespeist und daher tendenziell weniger gestört. Telefoniestörungen auf den Anschlusskabeln im HDSL/ SDSL Anwendungsfall können durch Datensicherungsprotokolle aufgefangen werden. Potenzielle Störungen zwischen HDSL/ SDSL und VDSL werden typischerweise durch das Austasten der überlappenden Frequenzbereiche behoben.

Erwähnt werden soll zudem, dass auch der Einspeiseort der Signale (HVt oder KVz) und die Signalstärke dort eine Rolle spielen. So werden POTS/ ISDN und ADSL Signale typischerweise am HVt eingespeist, VDSL Signale i.d.R. am KVz. Die am HVt eingespeisten Signale sind daher i.d.R. am KVz bereits erheblich schwächer als die dort eingespeisten Signale. Dasselbe gilt für deren schon ursprünglich schwachen Oberwellen im VDSL Frequenzspektrum. Die althergebrachten Nutzungen ab HVt stören die neuen VDSL-Nutzungen ab KVz auch schon aufgrund der niedrigeren Sendepiegel daher i.d.R. nicht, die neuen VDSL Nutzungen liegen in ihrem Frequenzspektrum oberhalb der alten Nutzungen und beeinträchtigen diese unter den o.a. Randbedingungen (Austasten) nicht.

Abbildung 2-10: Kombination von Nutzungen im Anschlussnetz



Quelle: WIK Consult

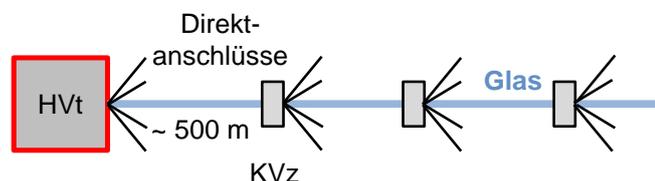
Erwähnt werden soll zudem, dass auch der Einspeiseort der Signale (HVt oder KVz) und die Signalstärke dort eine Rolle spielen. So werden POTS/ ISDN und ADSL Signale typischerweise am HVt eingespeist, VDSL Signale i.d.R. am KVz. Die am HVt eingespeisten Signale sind daher i.d.R. am KVz bereits erheblich schwächer als die dort eingespeisten Signale. Dasselbe gilt für deren schon ursprünglich schwachen Oberwellen im VDSL Frequenzspektrum. Die althergebrachten Nutzungen ab HVt stören die neuen VDSL-Nutzungen ab KVz auch schon aufgrund der niedrigeren Sendepiegel daher

i.d.R. nicht, die neuen VDSL Nutzungen liegen in ihrem Frequenzspektrum oberhalb der alten Nutzungen und beeinträchtigen diese unter den o.a. Randbedingungen (Auslasten) nicht.

Abbildung 2-10 soll die Kombinationen von Anwendungen im Anschlussnetz zusammenfassen. Zwei VDSL Anwendungen verschiedener Netzbetreiber ab KVz stören sich gegenseitig, ohne dass eine Korrektur durch Vectoring möglich wäre (oberste Darstellung). POTS/ ISDN und DSL ab HVt und VDSL ab KVz stören sich unter den o.a. Randbedingungen nicht (dritte Darstellung von oben). Dies ist der in der Praxis übliche Anwendungsfall. Aber auch die theoretisch mögliche Umkehrung von VDSL ab HVt und POTS/ ISDN und DSL ab KVz würde störungsunkritisch sein.

Auch für den Fall einer VDSL-Anwendung im HVt in Kombination mit einer VDSL-Anwendung ab KVz muss man grundsätzlich von Störungen ausgehen (zweite Darstellung von oben, gepunktet). Hier würde vermutlich die KVz Anwendung aufgrund der höheren Signalpegel dominieren, aber aufgrund der durch Vectoring nicht korrigierbaren Störungen dennoch nicht den vollen Bandbreitengewinn einfahren können. Grundsätzlich macht die Anwendung von VDSL Vectoring ab HVt jedoch nur dort Sinn, wo die Anschlussleitungslängen gering sind. Dies ist z.B. im direkten Netz aus Abbildung 1-1 der Fall, d.h. bei den Kunden, die nicht über zwischenliegende KVz direkt auf dem HVt aufgeschaltet sind¹⁸. Insofern würde sich für die beiden Kundengruppen eine gegenseitige Störung auf den Doppeladern des Anschlussnetzes bereits räumlich ausschließen. Die Doppeladern liegen nicht parallel zueinander. Die Doppeladern zu den Kunden mit VDSL ab KVz werden im KVz über den DSLAM auf eine Glasfaser verdichtet, die ggf. parallele Kupferdoppeladern aus dem direkten Netz in derselben Trasse nicht stören kann. Grundsätzlich stören sich kaskadierte DSLAMs, die ja zum Netz hin auf eine Glasfaser verdichten, in einem Anschlussnetz gegenseitig nicht (vgl. auch Abbildung 2-11).

Abbildung 2-11: Kaskadierte VDSL Vectoring DSLAMs



Quelle: WIK Consult

In Abbildung 2-10 nicht explizit dargestellt ist der Fall, bei dem zwei Netzbetreiber VDSL auf den Kundenanschlüssen des direkten Netzes anwenden. Dies führt zu denselben

¹⁸ Dieser Bereich wird im Antrag der Deutschen Telekom AG zur Änderung der Nutzung der Teilnehmeranschlussleitung (TAL) [DT AG 2012] Nahbereich genannt.

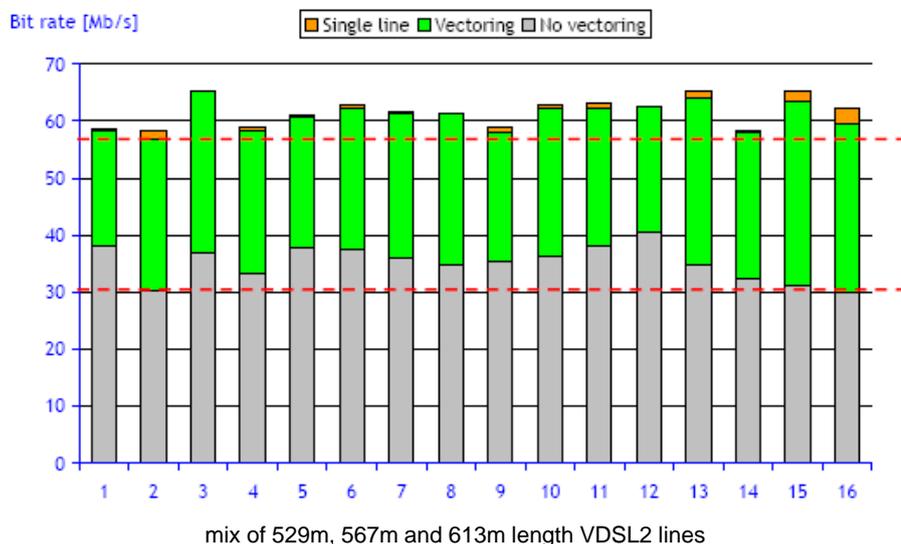
Wechselwirkungen, wie sie für den Fall von VDSL ab KVz oben bereits beschrieben wurden (Abbildung 2-10, oberste Darstellung), d.h. zu gegenseitigen Störungen ohne Korrekturmöglichkeit. Eine Korrekturmöglichkeit ergäbe sich allenfalls mit Node-Level Vectoring, bei dem die Korrekturrechnungen über mehrere DSLAMs hinweg durchgeführt werden müssten (vgl. Abschnitt 2.1 und 5.7).

Diese theoretisch abgeleiteten und in Laborversuchen bestätigten Störverhalten sollen durch verschiedene Feldtests der Netzbetreiber (Incumbent und Wettbewerber alleine und miteinander) in naher Zukunft untersucht und bestätigt - oder ggf. widerlegt - werden¹⁹.

2.4 Zusammenfassung

Eine kurze Zwischenbilanz ergibt zum einen große Chancen für VDSL Vectoring ab dem KVz, die Bandbreiten für den Endkunden über 50 Mbit/s in einem relevanten Umkreis um die KVz zu erhöhen. Den Radius dieses Umkreises werden erst die betrieblichen Erfahrungen genau bestimmen lassen. Die bisher bekannten Feldtest legen ihn auf ca. 600 m (vgl. Abbildung 2-12).

Abbildung 2-12: Downstream Feldtests bei ca. 600 m (P&T Luxemburg)



Quelle: Sanjay S. Patel, Next Generation Access: 10 GPON & Phantom Mode ...
The Evolution Towards Ultra Broadband, Alcatel Lucent, Cebit 2011

¹⁹ Huawei berichtet von einer Bandbreiteneinbuße von weniger als 1% für VDSL Vectoring bei Einspeisung von 8 ADSL2+ Signalen ab HVT bei 24 VDSL Signalen (Doppeladern) ab KVZ und von ca. 4% Einbuße bei Einspeisung der ADSL2+ Signale ab KVZ, Huawei 2011, S. 12

VDSL Vectoring und die damit zusammenhängenden höheren Beschaltungsgrade der Kabel mit VDSL werden voraussichtlich ohne signifikante technische Störungen für die bisher üblichen Übertragungsverfahren (ohne VDSL) im Teilnehmeranschlussnetz bei allen Marktteilnehmern erfolgen können. Auch werden die althergebrachten Übertragungsverfahren keine signifikanten störenden Einflüsse auf die Bandbreitensteigerungen des VDSL Vectoring ausüben.

Anders sieht dies bei dem VDSL Übertragungsverfahren aus. Insbesondere sind signifikante Bandbreitengewinne durch Vectoring nur dann zu erzielen, wenn alle VDSL-Übertragungen innerhalb eines Doppeladerbündels in einen Vectoring Korrekturrechenprozess eingebunden werden können. Dies ruft potentielle Konflikte mit der derzeit geltenden Pflicht zur physischen Entbündelung der Teilnehmeranschlussleitungen hervor, die allenfalls mit einem heute und auf absehbare Zeit nicht verfügbaren Node-Level Vectoring über die Systeme verschiedener Hersteller hinweg gelöst werden könnten.

Genauere und verlässlichere Aussagen über das Verhalten von VDSL Vectoring im deutschen Anschlussnetz werden erst Feldtests im Netz ergeben, bei denen nicht nur die Bandbreitengewinne, sondern auch hohe Beschaltungsgrade und Reichweiten sowie die Wechselwirkungen mit anderen Übertragungssignalen getestet werden. Wenn diese Tests Grundlage einer anstehenden regulatorischen Entscheidung werden sollen, so müssen sie öffentlich nachvollziehbar durchgeführt und alle Ergebnisse veröffentlicht werden²⁰.

²⁰ Nach unserem Kenntnisstand stehen derartige Tests bisher noch aus. Bekannt sind die zitierten Testergebnisse der zwei Hersteller Alcatel-Lucent und Huawei bei marktbeherrschenden Netzbetreibern.

3 Bonding

Bonding ist die in der betrieblichen Praxis schon lange geübte Methode²¹, zur Erhöhung der Bandbreite auf der Teilnehmeranschlussleitung über die konkreten Möglichkeiten einer bestehenden Kupferdoppelader hinaus eine zweite (oder ggf. noch mehr) Doppelader(n) einzusetzen, um derart die Kapazität zu vervielfachen. Ein typischer Anwendungsbereich sind lange Teilnehmeranschlussleitungen, bei denen z.B. eine Bandbreite von 2 Mbit/s für einen Primärmultiplexanschluss oder eine E1 Mietleitung mit HDSL/ SDSL wegen der Länge auf einer Doppelader alleine nicht zu realisieren ist. Schon aufgrund der sich entwickelnden Störungen zwischen zwei parallelen Doppeladern wird sich dieses Vielfache der Bandbreite einer Doppelader auf einen Wert kleiner 2 einstellen.

3.1 Prinzip des Bonding

Beim Bonding wird das Übertragungssignal durch einen Inversen Multiplexer auf zwei oder mehr Leitungen (Doppeladern) verteilt und am anderen Ende wieder zu dem ursprünglichen Signal zusammengesetzt. Da die einzelnen Doppeladern durchaus unterschiedliche Bandbreite aufweisen können, ist eine der Herausforderungen das inverse Multiplexen dergestalt, dass keine Rückstaus für Teilinformationen entstehen und am anderen Ende ein nur minimal verzögerter kontinuierlicher Datenstrom entsteht. Bei der Kombination von Bonding und Vectoring hat das Vectoring die positive Eigenschaft, die Bandbreitenunterschiede der verschiedenen Doppeladern anzugleichen und dadurch die zusätzlichen Bonding bedingten Laufzeiten der Gesamtübertragung zu verringern.

Bonding verlangt, mehrere Ports eines DSLAMs für die Doppeladern und das inverse Multiplexen zu kombinieren. Dies setzt ein spezifisches Layout der Portkarten des VDSL DSLAM voraus. Wir erwarten, dass hierfür (zumindest zunächst) spezifische Portkarten für Zwei- und Vier-Port Bondings entwickelt werden, die fest vordefinierte Ports miteinander zu kombinieren erlauben, bis bei hinreichend hoher Nachfrage ggf. Chipsets für Ports entwickelt werden, die sich diesbzgl. flexibel kombinieren lassen. Die gleichen Anforderungen für das inverse Multiplexen richten sich auch an die CPEs

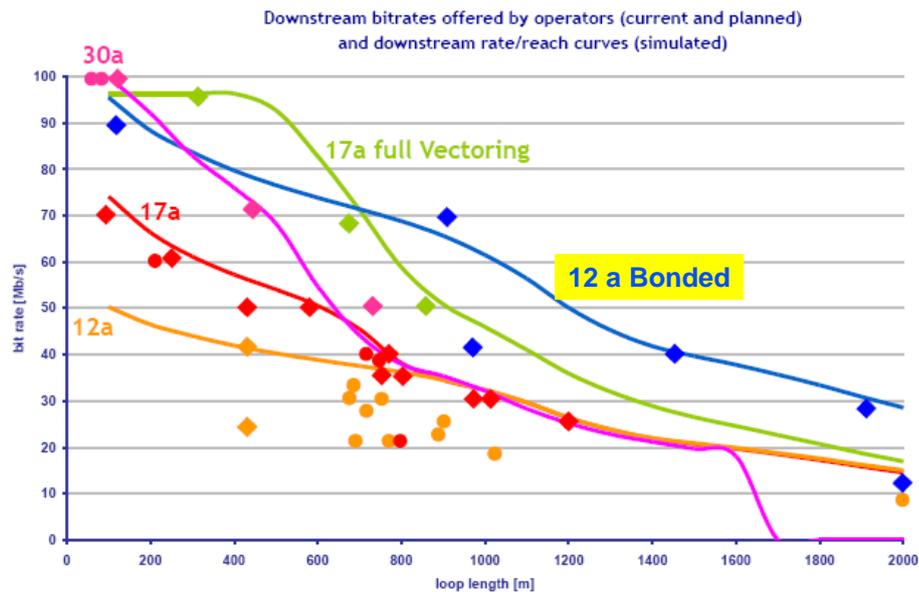
3.2 Bandbreitengewinn

Prinzipiell kann die übertragbare Bandbreite durch den Einsatz des störungskompensierenden Vectoring um einen Faktor nahe 2 aufge bessert werden. Das Ergebnis an Bandbreitengewinn und/ oder Reichweite für das VDSL Profil 12 a kann Abbildung 3-1 entnommen werden. Die Dämpfungslinie verschiebt sich durch Bonding um nahezu den Faktor 2 nach oben. Während das Profil 12 a für die Erreichung des Bandbreitenzieles

²¹ Die entbündelte 4-Draht TAL gibt es in Deutschland seit Beginn der Entbündelung der Teilnehmeranschlussleitung seit deutlich mehr als 10 Jahren.

von 50 Mbit/s ohne zusätzliche Maßnahmen eher ungeeignet ist, erlaubt die Verwendung von Bonding mit einer zweiten Doppelader eine Versorgung von Standorten mit 50 Mbit/s theoretisch über eine Subloop Länge von 1.200 m, es verlängert damit die Reichweite um diesen Wert.

Abbildung 3-1: Bandbreitengewinn durch Bonding (Simulation)



- 30a VDSL Profil
- 17a VDSL Profil
- 8x/12a VDSL Profil
- Punkte: bestehende Angebote
- Rauten: geplante Angebote

Quelle: Putten 2011

Bonding kann allerdings nur dort eingesetzt werden, wo eine zweite Doppelader vom DSLAM bis zum Endkundenstandort zur Verfügung steht. Das ist natürlich in den Anschlussnetzen nicht für alle Endkundenstandorte der Fall. Bonding ist daher eine Technik, die nur punktuell und bei ausreichender Verfügbarkeit von Doppeladern Verwendung finden kann. So könnte man annehmen, dass Bonding insbesondere für bandbreitenintensivere Geschäftskunden interessant ist, aber man muss davon ausgehen, dass nicht für alle Kunden eines Gewerbegebietes ausreichend Doppeladern zur Verfügung stünden. Auch eignet sich Bonding für weiter entfernt liegende Standorte, aber auch hier muss davon ausgegangen werden, dass nicht für alle weiter entfernt liegenden Standorte Doppeladern in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen. Bonding ist daher für eine flächendeckende Versorgung bei gegebener Kupferanschlussnetzstruktur eher ungeeignet.

4 Phantoming

Phantoming, bei Huawei auch SuperMIMO genannt²², ist eine Kombination der zuvor bereits beschriebenen Verfahren des Bonding und des (fehlerkorrigierenden) Vectoring, erweitert um zusätzliche virtuelle Übertragungskanäle, die sich zwischen den verwendeten parallelen Doppeladerpaaren aufspannen können. Phantoming setzt also in jedem Fall Bonding voraus. Um die gegenseitigen Störungen zu eliminieren wird zudem Vectoring benötigt. Phantoming wird bereits im VDSL Vectoring Standard ITU-T G.993.5 (ITU-T 2010) im Anhang als Crosstalk Channel beschrieben²³.

4.1 Prinzip des Phantoming

Die Mindestvoraussetzung für die Anwendung des Phantoming sind zwei parallele Doppeladern, DA 1 und DA 2. Wenn man beide Adern eines Paares (z.B. DA 1) mit demselben zusätzlichen Signal beaufschlagt, ergibt sich für den Informationsgehalt in der Doppelader keine Änderung, denn der Spannungsunterschied zwischen den beiden Leitern beinhaltet nur die originäre Information. Macht man dies ebenfalls mit einer zweiten Doppelader (DA 2), allerdings mit einem anderen zusätzlichen Signal, dann kann man über die Differenz der beiden verschiedenen zusätzlichen Signale gleichfalls Informationen übertragen. Man hat neben den beiden physikalischen Kanälen, jeder bestehend aus einer Doppelader, noch einen zusätzlichen (virtuellen) Kanal geschaffen. Man kann auch sagen, DA 1 ist der Hin- und DA 2 der Rückleiter des virtuellen Kanals. Verallgemeinert kann man aus N Doppeladern N-1 zusätzliche virtuelle Kanäle, oder insgesamt 2N-1 Kanäle schaffen. Dies setzt voraus, dass man auch zwischen zwei virtuellen Kanälen wiederum einen zusätzlichen virtuellen Kanal schaffen kann (vgl. auch Abschnitt 4.2).

Gerade die Kombination der physikalischen Kanäle zu virtuellen Kanälen beinhaltet eine hohe Störempfindlichkeit, weil sich die Störungen beider physikalischer Kanäle auf den zwischen ihnen aufgespannten virtuellen Kanal auswirken. Daher ist für dieses Verfahren die Verwendung des Vectoring nahezu unverzichtbar.

Solange die beteiligten parallelen Doppeladern sich im selben Doppeladerbündel eines Kabels befinden, scheint der Ansatz auch in der Praxis physikalisch umsetzbar zu sein. Bedenken ergeben sich, wenn bei etwas längeren Anschlussleitungen an dazwischenliegenden Muffen ein Wechsel einer oder mehrerer der beteiligten DA in ein anderes DA-Bündel erfolgt. Hier ist schon das Vectoring für das Bonding nicht sichergestellt, umso weniger aber das für die virtuellen Kanäle. Auch können hier Signalverfälschungen für die virtuellen Kanäle entstehen, weil sich die Signallaufzeiten und Dämpfungen auf den einzelnen DA unterscheiden (unterschiedliche Leiterquerschnitte, andere Ka-

²² Huawei 2011, S. 13; MIMO steht für Multiple Input Multiple Output und ist eigentlich eine Antennentechnologie mit mehreren Antennen, die parallel Informationen übertragen. Das Prinzip ist mit dem hier verwendeten vergleichbar.

²³ Dort wird auch der Begriff MIMO verwendet.

belegenschaften, längere Wege, ...), die sich grundsätzlich nicht durch Vectoring korrigieren lassen, weil sie nicht aus den anderen DA stammen.

Das Phantoming als Technologie folgt der Entwicklung des Vectoring und auch des Bonding nach und wird, sofern hinreichende Nachfrage besteht, zu einem späteren Zeitpunkt im Vergleich mit den vorgenannten Techniken marktreif werden.

Bereits Bonding verlangt, mehrere Ports für die Doppeladern und das inverse Multiplexen zu kombinieren. Für Phantoming kommt nun die Beschaltung für die virtuellen Kanäle hinzu. Dies setzt wiederum ein spezifisches Layout der Portkarten des VDSL DSLAM und der CPE voraus, das über das für das Bonding hinausgeht. Letztlich müssen für die physikalischen Ports zusätzliche Informationsflüsse für die virtuellen Kanäle vorgesehen werden. Wir erwarten, dass hierfür (zumindest zunächst) spezifische Portkarten für Zwei- und Vier-Port Bondings entwickelt werden, die fest vordefinierte Ports miteinander zu kombinieren erlauben, bis bei hinreichend hoher Nachfrage ggf. Chipsets für Ports entwickelt werden, die sich auch diesbzgl. flexibel kombinieren lassen.

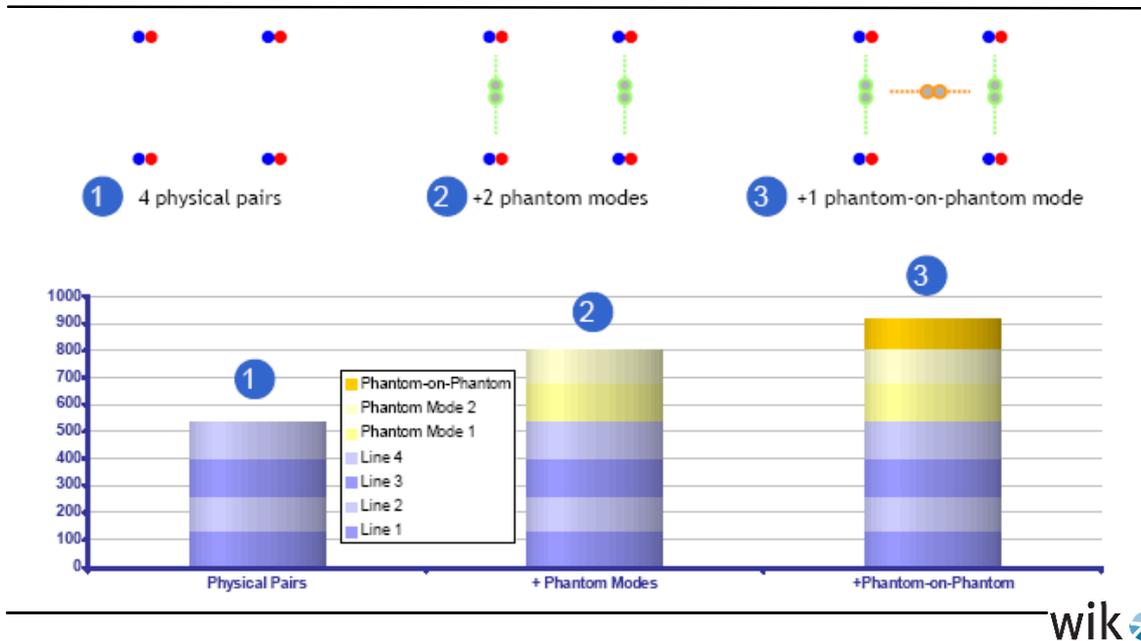
4.2 Bandbreitengewinn

Der Bandbreitengewinn aus dem Phantoming setzt sich zusammen aus dem Gewinn durch das Bonding und beträgt dort theoretisch das Vielfache der N physikalischen Kanäle und aus den zusätzlichen Kapazitäten der (N-1) virtuellen Kanäle.

Abbildung 4-1 zeigt das Ergebnis eines Laborversuches der Bellabs mit Bonding von 4 DA unter Verwendung von Vectoring und dem Phantoming auf 2 bzw. 3 zusätzlichen virtuellen Kanälen mit dem Ergebnis einer Bandbreite des kombinierten Kanales von 910 Mbit/s²⁴.

²⁴ Huawei 2011, S. 21, schätzt eine Summenbandbreite von in der Praxis ca. 700 Mbit/s.

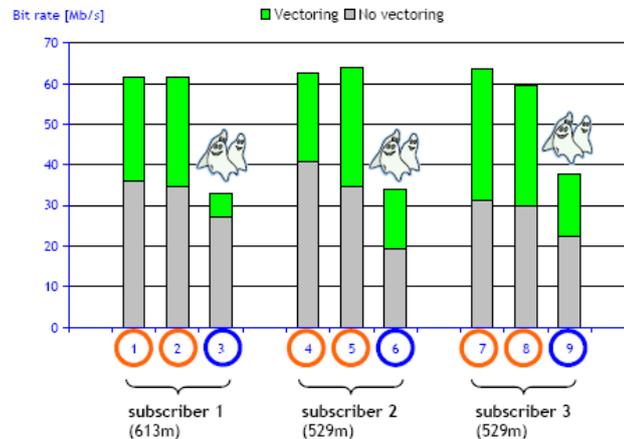
Abbildung 4-1: Bandbreitengewinn aus Phantoming mit 4 DA Bonding und Vectoring bei 400 m Subloop (Bellabs Labordemo)



Quelle: Patel 2011

Die Ergebnisse eines Phantoming Feldversuches bei der P& T Luxemburg zeigen insbesondere für den virtuellen Kanal deutliche Bandbreiteneinbrüche im Vergleich mit den hier verwendeten 2 physikalischen Kanälen. Dennoch bleibt insgesamt ein beträchtlicher Bandbreitengewinn gegenüber der Kapazität der beiden physikalischen Kanäle durch den virtuellen Kanal und durch das Vectoring (Abbildung 4-2).

Abbildung 4-2: Phantoming, Bandbreitengewinn im Feldversuch (P&T Luxemburg) bei 2 Doppeladern und über ca. 600 m



Die blau umringten Kanäle sind virtuell.

Quelle: Patel 2011

Grundsätzlich ist ein Bandbreitengewinn bereits durch Bonding oder auch durch Phantoming ohne Vectoring erzielbar, aber erst mit dem Einsatz von Vectoring gibt es einen signifikanten Zuwachs, der allerdings mit den bereits für Vectoring in Abschnitt 2.3.1 genannten Rahmenbedingungen einhergeht. Prinzipiell müssen alle Kanäle (die physikalischen wie die virtuellen) in den Korrekturrechenprozess einbezogen werden. Die Rechenkomplexität dazu steigt beim Phantoming noch einmal durch die zusätzlichen virtuellen Kanäle neben der bereits größeren Zahl physikalischer Kanäle des Bonding gegenüber einer Lösung mit nur einem physikalischen Kanal (einer DA) je Endkundenstandort.

Je mehr Doppeladern in das Phantoming einbezogen werden, desto höher ist der relative Bandbreitengewinn. Allerdings wird die Wahrscheinlichkeit, entsprechend viele freie Doppeladern zu einem Endkundenstandort zu finden, umso geringer (vgl. auch die Ausführungen zu Bonding in Abschnitt 3.2).

5 Praktische Implementierung

5.1 Flächendeckender Einsatz von Vectoring, Bonding und Phantoming

Grundsätzlich eignet sich VDSL Vectoring wegen seiner störungskompensierenden Eigenschaften gut für einen flächendeckenden Einsatz in einem Gebiet. Solange keine Aliens stören, können alle Kupferdoppeladern eines Kabels zur breitbandigen Übertragung herangezogen werden. Dies unterscheidet VDSL Vectoring von der normalen VDSL Übertragung, bei der wegen der zunehmenden Störungen der Doppeladern untereinander typischerweise nur ein Teil der Doppeladern mit dem breitbandigen Signal beschaltet werden kann. Insofern hilft VDSL Vectoring auch im Vertrieb bzw. bei der Marktkommunikation, weil zuverlässig bereits bei der Anpreisung gesagt werden kann, dass alle Kunden eines Gebietes mit dem breitbandigen Anschluss versorgt werden können. Dies gilt bei VDSL (ohne Vectoring) nicht. Wie bereits zu Vectoring ausgeführt (Abschnitt 2.2) verringert sich zudem die Streuung der übertragbaren Bandbreiten zwischen den benachbarten Doppeladern derselben Länge (d.h. zwischen benachbarten Endkunden) und erhöht so die Zuverlässigkeit von Bandbreitenvorhersagen und die Kundenzufriedenheit.

Lösungsansätze wie Bonding und Phantoming sind wegen der benötigten Zahl zusätzlicher Doppeladern und der höheren Rechenleistung für die Korrekturrechnung nur für relativ wenige Kunden mit hohem Bandbreitenbedarf geeignet. Für einen flächendeckenden Einsatz stehen voraussichtlich weder genügend freie Doppeladern noch ausreichend Rechenleistung zur Verfügung. Spätestens, wenn der Kupfer-DA Haushalt zu gering für den wachsenden Bandbreitenbedarf werden sollte, würde mit Glasfasern anstelle Kupfer nachinstalliert werden (müssen).

Verschiedene Untersuchungen²⁵ haben gezeigt, dass FTTC (Fibre to the Curb) im Grundsatz weiter profitabel in die Fläche hinein ausgerollt werden kann als die vermehrt auf Glasfaser aufbauenden Anschlussnetzarchitekturen FTTB und FTTH. Dies gilt auch für VDSL-Vectoring, wenngleich bei den Untersuchungen in 2007 und 2008 noch andere DSLAMs (ADSL2+) den Kostenrechnungen zugrunde lagen. Preisverfall der digitalen Technik einerseits und im Vergleich mit den Tiefbaukosten deutlich geringere zusätzliche Hardware Investitionen bzw. Kosten (nach Abschreibungen) lassen die Aussagen auch mit VDSL Vectoring gültig sein. Dies liegt vor allem daran, dass bei FTTC nur der geringe Anteil der Feeder-Verkabelung zwischen HVt und KVz auf Glasfaser aufgerüstet werden muss, nicht jedoch das sogenannte Distribution Netz, das den Löwenanteil der Investitionen trägt (ca. 80% des Tiefbaus). Andererseits scheinen die früheren Defizite von xDSL (zu geringe Bandbreite, Bandbreite zu inhomogen in der Fläche, nur Teile der Kunden versorgbar (Beschaltungsgrad < 100%)) mit VDSL Vectoring ganz oder zumindest soweit überwunden, dass diese Lösung wieder ins Spiel kommt, zumindest als eine verhältnismäßig schnell zu implementierende und zunächst ausreichend Band-

²⁵ Elixmann 2008, Analysys 2007

breite bietende Übergangslösung mit hoher Flächendeckung, die die versunkenen Investitionen (KVz Aufrüstung und Multiplexer) ausreichend zu amortisieren erlaubt, d.h. lange genug leben wird. Eine Ablösung durch FTTB/H kommt dann anschließend in Betracht, wenn sich die Nachfrage nach hoher Bandbreite ausreichend manifestiert.

5.2 G.vector CPEs

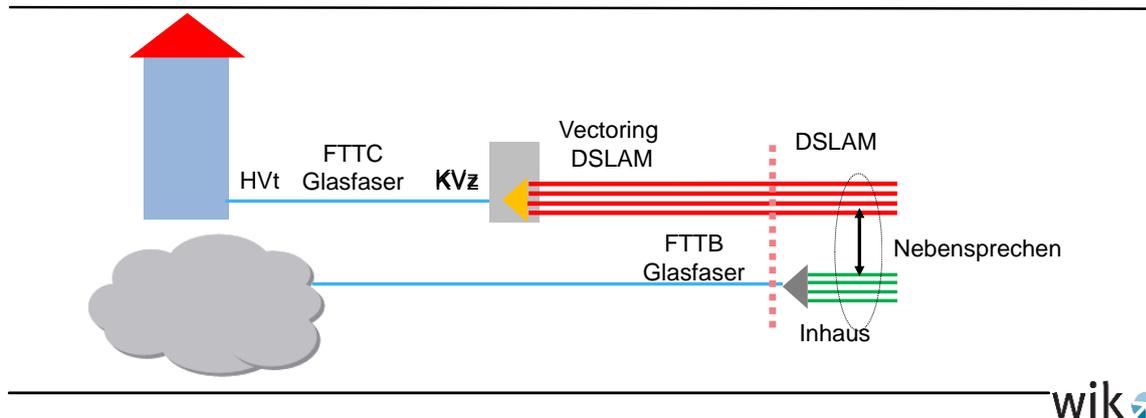
Bereits in Abschnitt 2.1 haben wir darauf hingewiesen, dass beide Leitungsabschlüsse, sowohl der DSLAM im KVz (oder HVt) als auch das Customer Premise Equipment (CPE) VDSL Vectoring unterstützen müssen. Betroffen sind alle CPE, die über VDSL kommunizieren. Etwa vorhandene ältere CPE müssen ausgetauscht werden. Nun ist die Lebensdauer der CPE nicht besonders hoch (3 - 5 Jahre) und sie werden häufig zusammen mit dem Wechsel des Telekommunikationsanbieters erneuert, dennoch ist diese Randbedingung zu beachten, zumal sie sich in Deutschland in aller Regel im Eigentum der Kunden befinden.

Für Bonding und Phantomring müssen jeweils CPE mit unterstützenden Leistungsmerkmalen über das Vectoring hinaus eingesetzt werden.

5.3 Koexistenz von FTTC und FTTB

Typischerweise wird bei den heute eingesetzten FTTB Architekturen im Keller des Kundengebäudes ein VDSL DSLAM eingesetzt und von dort die existierende Telefonverkabelung aus Kupferdoppeladern für den breitbandigen Zugang zu jeder Endkundenwohnung mit ca. 100 Mbit/s genutzt. Auch hier kann es zu einem Störungspotenzial von zwei (oder mehr) VDSL Betreibern auf parallelen Doppeladern im Anschlusskabel kommen, allerdings nur im Inhaus Bereich. Dennoch, wenn nicht alle Doppeladern in die VDSL Entstörung einbezogen werden, kann das dort zweifelsohne stattfindende Nebensprechen den Effekt des Vectoring deutlich verringern, weil eine Entstörung bzgl. der im Inhaus Bereich durch einen anderen Betreiber genutzten Doppeladern und das Einbinden der dort verwendeten CPE nicht möglich wird (vgl. Abbildung 5-1).

Abbildung 5-1: Koexistenz von FTTC und FTTB



Quelle: WIK Consult

Das Ausmaß der Störungen richtet sich ganz wesentlich nach der Verkabelungsstruktur im Inhaus Bereich. Handelt es sich beispielsweise um ein hohes Gebäude, bei dem alle Wohnungen vom Keller aus durch ein einziges, vieladriges Kabel im Steigebereich versorgt werden, die je Etage in die Wohnungen abzweigen, ist die Gefahr des Nebensprechens hoch. Sind jedoch die Wohnungen individuell mit einem separaten wenig adrigen Kabel sternförmig zum zentralen Übergabepunkt im Keller verbunden, ist die Gefahr schon deutlich geringer. Sie verschwindet nahezu, wenn die Verkabelung zusätzlich in geschirmten Kabeln z.B. der Kategorien 5 - 7 ausgeführt wurde. Zudem gilt: eine Verkabelung lässt sich einfach erneuern, wenn sie in Leerrohren verlegt wurde. Allerdings wäre bei einem Austausch der Verkabelung eigentlich die Installation von Glasfasern (oder hybriden Kabeln) naheliegender.

Grundsätzlich dürfte das Signal aus dem DSLAM im Keller das des weiter vor dem Gebäude liegenden DSLAMs im KVz vom Signalpegel her dominieren, also durch das FTTC VDSL kaum gestört werden, so dass sich ein FTTB Betreiber kaum beeinträchtigt sehen wird.

Anders sieht dies für den FTTC Betreiber aus. Sein Signal wird durch Nebensprechen beeinträchtigt, und zudem kann er den möglichen Bandbreitengewinn aus dem Einsatz von Vectoring nicht realisieren. Ein nachträglicher Ausbau würde sich also kaum empfehlen. Es wäre zudem ein Ausbau auf einer im Vergleich mit FTTB niedrigeren Wertschöpfungsebene, den die Regulierungsstrategie der EU vom Ansatz her eher nicht begünstigt. Es wäre dies ein Rückschritt in der Evolution der Breitbandnetze. Anders sieht dies beim nachträglichen Ausbau eines Gebietes, in dem zuvor bereits FTTC mit VDSL Vectoring installiert war, mit FTTB und VDSL DLAMS im Keller der Kundengebäude aus. Hier wird die Investitionsleiter weiter empor geklommen. Die VDSL-DSLAMs im Keller können nun aber den Bandbreitengewinn der VDSL Vectoring Leitungen ab KVz einbrechen lassen. Die darüber angeschlossenen Endkunden würden eine deutliche Einbuße in der zuvor nutzbaren Bandbreite erfahren, es sei denn, sie

wechseln zum höherwertigen Anbieter. Ein FTTB Anbieter muss sich fragen, inwieweit er in einer solchen Konstellation den Unmut der anderen Kunden und Betreiber provozieren will, oder sich diesen Unmut leisten kann, oder ob er, in Absprache mit dem Gebäudeeigentümer, z.B. die Inhaus Verkabelung aufrüsten will. Die Inhaus Verkabelung ist typischerweise in Deutschland Bestandteil des Gebäudes und unterliegt dann nicht der einschlägigen Regulierung zur Teilnehmeranschlussleitung.

5.4 Koexistenz von VDSL im Schaltverteiler und im KVz

Schaltverteiler werden an besonderen Stellen im Anschlusskabelbereich auf die Hauptkabel gesetzt, um Wettbewerbern der Telekom Deutschland eine Gelegenheit zum Aufbau von DSLAMs im Feld zu geben, die den Subloop verkürzen, ohne dass sich der Wettbewerber an jedem (noch so kleinen) KVz kollozieren muss. Angaben der Telekom Deutschland zufolge²⁶ wird in ca. 1/3 der Schaltverteiler derzeit kein VDSL eingesetzt, sondern nur DSL. Dort, wo VDSL derzeit bereits in Schaltverteilern eingesetzt wird oder in Zukunft eingesetzt werden soll, wird ein Konflikt bzgl. des Bandbreitengewinns durch Vectoring eintreten, wenn ein weiterer Anbieter VDSL Vectoring in diesem Bereich einsetzen will, sei es ab (nachgelagertem) KVz oder ab demselben Schaltverteiler. Ein diesen Konflikt u.U. behebendes Node-Level Vectoring würde voraussichtlich voraussetzen, dass die DSLAM am selben Standort aufgebaut werden (z.B. alle im Schaltverteiler).

5.5 Mehraufwand durch VDSL Vectoring am KVz

Im Vergleich zu Lösungen mit DSLAMs im HVT benötigt VDSL im KVz bereits größere Gehäuse als die alten KVz Schränke mit den Kupferverteilern, die auch den DSLAMs Platz bieten. Während in Deutschland die Gehäuse durch neue, größere ausgetauscht wurden, werden in anderen Ländern ggf. zusätzliche oder Aufsatzgehäuse verwendet. Die DSLAMs benötigen zudem eine Stromversorgung, ggf. mit Batteriepufferung (USV: Unterbrechungsfreie Stromversorgung) und eine Abluftanlage/ Klimatisierung. Ggf. wird der Zugang zum Gehäuse elektronisch überwacht und eine Brandüberwachung eingerichtet. Für Vectoring kommen ggf. etwas größere Geräte und damit ggf. Schränke in Betracht (Fehlerkorrektur Board, ineffizientere Portkarten wg. Bonding/ Phantomring). Typischerweise ist die Leistungsaufnahme eines Vectoring DSLAMs leicht höher, was sich auf den Stromanschluss, die USV und die Raumlufanlage auswirken kann. Wir schätzen dies jedoch als geringfügig ein²⁷.

²⁶ DT AG 2012

²⁷ Huawei 2011, S. 17

5.6 Wahrscheinlichkeit von Konflikten im Anschlussnetz bei Ausbau von VDSL Vectoring

VDSL Vectoring wird bzgl. seines möglichen maximalen Bandbreitengewinns beeinträchtigt, wo ein weiterer Anbieter VDSL (oder andere Anwendungen im selben Frequenzbereich) auf parallelen Kupferdoppeladern überträgt. Dies ist zum einen bei gleichzeitiger Kollokation zweier Anbieter am KVz der Fall. Es ist anzunehmen, dass dies grundsätzlich eher in den sehr dicht besiedelten Gebieten geschehen wird, weil nur dort sub-loop Unbundling (SLU) profitabel für mehrere Wettbewerber sein wird. Dies beschränkt jedoch das Konfliktpotenzial. Grundsätzlich würden wir dabei die Zahl möglicher gleichzeitiger Wettbewerber als ≤ 3 abschätzen. Dort wo in weniger dicht besiedelten Gebieten (z.B. in sogenannten weißen Flecken) KVz mit FTTC ausgebaut werden, sehen wir dies eher als ein Alleinstellungsmerkmal, dass kein weiterer Anbieter wiederholen würde. Hier würden wir auch die Schaltverteiler ansiedeln. Der BREKO schätzt die KVz Standorte, an denen mehr als ein Anbieter gleichzeitig ausgebaut hat, mit $< 0,2\%$ der von allen Betreibern ausgebauten KVz als sehr gering ab²⁸. Abbildung 5-2 zeigt die Verteilung der KVz Ausbauten durch Telekom Deutschland und Wettbewerbern nach Besiedlungsgebieten. Angaben der Deutschen Telekom zufolge²⁹ verringert sich das Konfliktpotenzial durch die Tatsache, dass von den 140.000 durch Wettbewerber betriebenen sub-loops aktuell nur ca. 100.000 mit VDSL2 betrieben werden (Stand Oktober 2012), also etwas weniger als 1/3 von ihnen kein Konfliktpotenzial bietet (wir unterstellen, dass hier die sub-loops aus Schaltverteilern eingeschlossen sind).

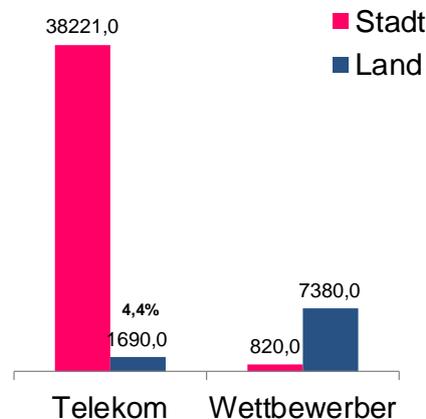
Besonders interessant ist der Ausbau von Vectoring am HVt für die Teilnehmer mit kurzen Anschlussleitungslängen, die ohne dazwischen liegende KVz direkt auf den HVt aufgeschaltet sind (Direktanschluss, „Nahbereich“). Denn die Zahl der HVt Standorte, bis zu denen dann eigene Infrastrukturen durch Wettbewerber ausgebaut werden bzw. worden sind, ist deutlich geringer als die Zahl der KVz. Der Business Case für die entbündelte Teilnehmeranschlussleitung (TAL) ist deutlich attraktiver als für den sub-loop. Am HVt sind daher häufig mehr als 3 Betreiber kolloziert (≤ 10). Das Konfliktpotenzial steigt. Dieses Konfliktpotenzial (am HVt) ist bisher durch die Netzbetreiber noch nicht quantifiziert³⁰.

²⁸ BREKO 2012b Folie Vectoring: Herausforderung und Chance, BREKO Jahrestagung Berlin, 11/ 2012

²⁹ DT AG 2012

³⁰ Unterstellt, es gibt an ca. 3.500 HVt von den ca. 8000 HVt eine Kollokation zum Zugriff auf entbündelte Teilnehmeranschlussleitung, und an allen Standorten gibt es direkte Anschlüsse, die mit VDSL beschaltet sind, dann gäbe es potenziell an ca. 43% der Standorte Konflikte.

Abbildung 5-2: Ausbau von KVz nach Gebieten und Gruppen



Quelle: BREKO 2012a

5.7 Praktische Implikationen eines Node-Level Vectoring

Node-Level Vectoring erlaubt die Fehlerkorrekturberechnungen der Störungen zwischen den verschiedenen mit VDSL beschalteten Doppeladern auf der Ebene mehrerer DSLAMs am selben Knotenstandort. Seine Realisierung würde die Beschränkungen in der Entbündelung der Teilnehmeranschlussleitung und damit eine wesentliche Beschränkung beim Erklimmen der Investitionsleiter hin zu einem Infrastruktur basierten Wettbewerb erheblich reduzieren. Die Wahrscheinlichkeit, dass diesbzgl. zeitnah eine marktgetriebene Standardisierung erfolgt, schätzen wir als gering ein. Insbesondere, wenn dies die Kooperation von DSLAMs verschiedener Hersteller einschließt. Nur dies aber würde den vollen unabhängigen Infrastrukturwettbewerb erlauben.

Auf einem Workshop zum Thema Vectoring³¹ wurde von alternativen Wettbewerbern vorgetragen, dass sie sich das Node-Level Vectoring zwischen DSLAMs desselben Herstellers (herstellerspezifisches Node Level Vectoring), das wesentlich wahrscheinlicher in einer Realisierung sei, für sich in der Anwendung vorstellen könnten. Demzufolge würde der erste Betreiber, der einen Standort (HVt, KVz) mit Vectoring ausbaut, den Hersteller/ Lieferanten bestimmen, den in der Folge dann auch alle anderen Netzbetreiber, die am selben Standort für VDSL Vectoring kollozieren, wählen müssen (symmetrische Regulierung).

Der wesentliche Vorteil für die Betreiber besteht in der Unabhängigkeit, die der Betrieb eigener DSLAMs in der Bereitstellung des Dienstes, seiner Änderung und in der Fehlersuche und Entstörung gegenüber einer Bitstrom-Alternative bringt. Dies würde in der Folge bedeuten, dass die Netzbetreiber je nach Umständen und Zeitpunkt des Netz-

³¹ VDSL Vectoring: Strategic and regulatory implications, IDATE/ WIK Digital Executive Club, Brüssel, 16.3.2012

ausbaus in den verschiedenen Regionen unterschiedliche DSLAM-Hersteller im Netz einsetzen würden, mit jeweils herstellerspezifischen Management Systemen. Sie müssten Netzbetriebspersonal und Service Techniker für den Einsatz im Feld entsprechend vielfältig qualifizieren oder zusätzliches Personal einsetzen und schulen. Auch müssten entsprechende Ersatzteile vorgehalten und Reparaturprozesse bedient werden. Diese Vielfalt und Heterogenität würde über die Zeit noch dadurch erweitert, dass die eingesetzten Systeme weiterentwickelt werden und neue Release Stände für Hard- und Software auf den Markt kommen. Das Nachrüsten und Modernisieren des Netzes an einem Standort müsste nun jedoch in einer konzertierten Aktion aller am Vectoring beteiligten Netzbetreiber eines Standortes erfolgen, weil andernfalls nicht sichergestellt ist, dass das Vectoring weiterhin funktioniert. Dies erscheint in der betrieblichen Praxis über lange Sicht nicht handhabbar. Ein Netzbetreiber würde in der Fehlerbehebung (z.B. durch Software Patches) und Produktinnovation durch die anderen Netzbetreiber und deren beschränkende Rahmenbedingungen - im ungünstigsten Fall Standort für Standort unterschiedlich - beeinträchtigt. Dies würde einen Großteil der gewonnen Vorteile wieder aufheben und würde über kurz oder lang zu einem Deadlock führen, der nur durch die dann anstehende Migration zu FTTB/ FTTH aufgelöst werden kann.

Node-Level Vectoring erscheint uns daher in der herstellerspezifischen Form allenfalls als Übergangstechnologie in Frage zu kommen, müsste aber von mehreren Herstellern angeboten werden. Ein herstellerunabhängiges Node Level Vectoring wäre die Lösung der Konflikte im Zugriff auf die KVz-TAL, aber eine Standardisierung ist derzeit noch nicht begonnen, benötigt zum Erfolg zudem ein treibendes Interesse der herstellenden Industrie und für die Entwicklung bis zur Marktreife Zeit, bis zu der sich die Nachfrage nach breitbandigen Diensten soweit entwickelt haben könnte, dass die durch Vectoring gebotene Bandbreite nicht mehr ausreicht und nächste Schritte zu einer Nachfolgetechnologie (G.fast³², FTTB/ FTTH) gegangen werden.

32 vgl. Abschnitt 8

6 Auswirkungen auf den Markt

Grundsätzlich ist aus technischer Sicht eine Glasfaserarchitektur am besten geeignet, zukünftige und derzeit noch unbekannte Breitbandbedarfe für die Endkunden im Anschlussnetz zu transportieren. Die Glasfaseranschlüsse sind in ihrer Leistungsfähigkeit in weitem Rahmen entfernungsunabhängig. So können heute ohne besondere Restriktionen oder Aufwände Anschlussleitungslängen von 40 km überbrückt werden. Zudem können die Glasfaserkabel auch bei hohen Bandbreiten voll beschaltet werden, weil sie keine störenden nebensprechenden Signale aus einer Faser auf die anderen benachbarten Fasern induzieren. Punkt-zu-Punkt Glasfasertopologien erlauben zudem, sehr hohe Bandbreiten (Tbit/s) je Endkunde und je Endkunde dediziert und individuell verschieden zu übertragen. Grundsätzlich sind Glasfasern für eine symmetrische Kommunikation geeignet, wie sie z.B. für Geschäftskundenanschlüsse typisch ist.

VDSL Vectoring verlängert die Reichweite von Kupferkabeln mit höherer Bandbreite, erhöht also das abgedeckte Gebiet deutlich und erlaubt zudem, die Kabel hoch auszulasten. Beides erhöht die Zahl der mit höherer Bandbreite anschließbaren Kunden signifikant. Gegenüber VDSL wird zudem die Bandbreite benachbarter Anschlüsse weniger stark streuen. All diese Effekte erhöhen die Leistungsfähigkeit des Kupferanschlussnetzes und dessen Wirtschaftlichkeit bei breitbandiger Nutzung erheblich. Die asymmetrische Kommunikationsstruktur des VDSL (Bandbreite Upstream \ll Bandbreite Downstream bleibt jedoch erhalten, wenngleich sich der relative Abstand der Bandbreiten durch Vectoring etwas verringert).

Bonding und ggf. auch Phantomring können die Bandbreite für ausgewählte Endkunden punktuell und fallweise noch einmal signifikant erhöhen, sind allerdings keine massenmarktauglichen Technologien.

Abhängig von der Länge des sub-loops kann VDSL Vectoring einen Glasfaseranschluss anfänglich substituieren. Die relativ schnelle Implementierung verglichen mit einem FTTH Netz erlaubt einem Netzbetreiber, schnell mit CA-TV Angeboten und Netzen in Wettbewerb zu treten.

In Gebieten, in denen bereits FTTB/ FTTH Anschlüsse ausgebaut sind erwarten wir keinen signifikanten Wettbewerb durch VDSL Vectoring, weil ein FTTB/ FTTH Wettbewerber immer die aus technisch physikalischer Sicht überlegenen Produkte anbieten können. Ein Hinterherbauen mit einer geringerwertigen Technologie scheint daher wenig wahrscheinlich. Dennoch bedeutet die Verfügbarkeit von FTTB/ FTTH nicht, dass deren Vorhandensein alleine bereits das Wettbewerbspotenzial durch VDSL Vectoring verhindert. Es müssen FTTB/ FTTH Anschlüsse zu einem angemessenen Preis und auch mit entsprechend attraktiven Produkten angeboten werden. Anders herum ist ein VDSL Vectoring Anschluss langfristig immer durch ein Glasfaseranschlussnetz als höherwertige Weiterentwicklung in seinem Bestand bedroht.

In Gebieten, die bereits heute oder in naher Zukunft mit CA-TV Netzen auf der Basis Dosis 3.0 oder vergleichbar ausgerüstet sind, erlaubt VDSL Vectoring mehr als VDSL alleine, in einen technisch gleichrangigen Wettbewerb einzutreten, weil die vermarktbareren und dann tatsächlich eintretenden Bandbreiten in vergleichbarer Größenordnung liegen³³.

Dennoch und insbesondere bedingt durch die relativ geringen Zusatzinvestitionen für VDSL Vectoring im Vergleich mit FTTH sowie den Zeitvorteil des schnelleren Ausbaus wird das Auftreten von VDSL Vectoring, Bonding und Phantoming generell den stringenten Ausbau von Glasfasernetzen verzögern und sich als Übergangstechnologie in manchen Gebieten etablieren. Das erlaubt im Grundsatz den stufenweisen Ausbau mit FTTH zu späteren Zeitpunkten.

VDSL Vectoring ermöglicht den Netzbetreibern, bereits früh höheren Cash Flow aus Breitbandprodukten zu generieren und diesen dann bereits wieder für den weiteren breitbandigen Ausbau zu investieren. Das Zwischenfinanzierungsproblem der TK-Industrie für den Infrastrukturausbau und das damit aus Sicht der Banken verbundene Risiko verringern sich auf diese Weise. Dies gilt selbst dann, wenn mit dem Zwischenschritt verlorene Investitionen für KVz Aufrüstung und VDSL DSLAMs verbunden sind, denn diese schreiben sich gegenüber Glasfaserinfrastrukturen relativ schnell wieder ab.

Bedingt durch diese Eigenschaften können die Endkunden durch die schneller im Markt platzierten Angebote mit höheren Bandbreiten profitieren. Zudem erwarten wir, dass die kritische Masse potenzieller Breitbandnachfrage schneller erreicht werden kann, die die Inhalteanbieter wiederum zu neuen Produkten und Diensten animiert, was wiederum die Nachfrage triggert. Es kann also der Nachfragekreislauf schneller in Schwung kommen.

Bedingt dadurch, dass der profitable Ausbau in den weniger dicht besiedelten Gebieten bei VDSL Vectoring weiter reicht als bei FTTB/ FTTH können dort mehr Endkunden von breitbandigen Anschlüssen profitieren; Zuschüsse und erhöhte Tarife oder Einmalzahlungen können geringer ausfallen. Hiervon profitiert der ländliche Raum durch eine Verringerung des finanziellen Drucks bzgl. einer möglichen digitalen Spaltung. Grundsätzlich wird aber die Problematik nur herausgeschoben, denn bei weiter wachsender Nachfrage nach Bandbreite wird ein Glasfaserausbau auch dort aus heutiger Sicht nicht zu umgehen sein. Fatal wäre es, wenn durch wiederholte Verzögerungen im Ausbau des ländlichen Raumes dort keine Geschäftskundenansiedlungen mit hohem Bandbreitenbedarf mehr stattfinden bzw. die dort ansässigen Kunden aus diesem Grund an infrastrukturell bessere Standorte abwandern.

33 Technisch verhalten sich CA-TV und VDSL Vectoring unterschiedlich: Bei Docsis 3.0 ist bereits die Anschlussleitung ein mit den anderen Kunden geteiltes (geshartes) Medium mit bis zu 300 Mbit/s, die dem Kunden im Peak theoretisch angeboten werden können, bei VDSL Vectoring bekommt jeder Kunde eine individuelle Bandbreite in der Höhe dessen, was die Anschlussleitung mit ihrer Länge zu übertragen erlaubt. Diese Bandbreite muss er sich mit den anderen Kunden nicht teilen. Erst ab dem DSLAM im KVz kann dann eine Überbuchung stattfinden, wie bei CA-TV Netzen im CMTS auch.

Bemerkenswert ist, dass insbesondere der KVz Ausbau durch die Wettbewerber vornehmlich in den ländlichen Bereichen stattfindet, der hiervon wesentlich profitiert. Bedenkenswert ist jedoch auch, dass davon ca. 1/3 nicht für VDSL oder gar VDSL Vectoring genutzt wird. Wichtig für den Markt gerade in diesen Regionen ist jedoch, dass diese Investitionen weitergehen und nicht durch politisch oder regulatorisch steuernde Maßnahmen ausgebremst werden.

Natürlich profitiert von diesem technischen Potenzial auch die Politik, die Breitbandausbauziele gesetzt hat, die mit VDSL Vectoring zeitgerechter als mit FTTB/ FTTH erfüllt zu werden scheinen.

Bedingt durch die Tatsache, dass VDSL Vectoring dem Grundsatz nach nur von einem Betreiber je KVz ökonomisch sinnvoll und mit deutlichem Bandbreitengewinn ausgebaut werden kann, werden sich zumindest gebietsweise Monopole entwickeln. Dies kommt den ausbauenden Netzbetreibern entgegen, die dadurch eine hohe Auslastung ihrer ausgebauten Infrastruktur erreichen, und dies umso mehr, indem sie den Mitbewerbern den Zugang zum Endkunden als Bitstrom anbieten werden.

Grundsätzlich können dann alle Anbieter im Markt von einem leistungsfähigen breitbandigen Bitstromangebot profitieren, das diskriminierungsfrei und zu fairen Preisen angeboten wird. Für manche Anbieter mag es jedoch auch ein Rückschritt auf der Investitionsleiter sein, weg von physikalisch entbundelter Infrastruktur hin zu einer höheren Abhängigkeit vom Vorlieferanten bzgl. der Produkteigenschaften und der Service-Qualität, allerdings „versüßt“ durch die höheren Bandbreiten.

Prinzipiell kann ein „Vectoring Monopolist“ seine Marktstellung missbrauchen und z.B. überhöhte Entgelte fordern, sei es für die Endkundenprodukte, sei es für die Wholesale Angebote, oder für beide. Natürlich bewegt sich ein Anbieter hier im Spannungsfeld mit Alternativangeboten, sofern vorhanden aus CA-TV Netzen und LTE Mobilnetzen. U.U. kann durch überhöhte Preise auch der vorzeitige wettbewerbliche Ausbau mit FTTB/ FTTH Infrastrukturen induziert werden. Grundsätzlich jedoch stellt sich die Frage nach einem entgeltregulierenden Eingriff symmetrischer Art, um Missbrauch zu begegnen.

Im Grundsatz kann ein destruktiv agierender Anbieter im Markt den positiven Effekt der breitbandigeren Nutzung des bestehenden Kupferanschlussnetzes durch VDSL Vectoring dadurch torpedieren, dass er selbst in einzelnen KVz (oder HVt) VDSL DSLAMs in Betrieb nimmt³⁴ - oder indem er dort, wo er als erster VDSL ausgebaut hat, nicht auf Vectoring (und dem damit verbundenen Bandbreitengewinn) nachrüstet. Insofern stellt sich die Frage, inwieweit für den Einsatz von VDSL Vectoring gegenüber der bestehenden Situation Änderungen im regulatorischen Rahmen vorgenommen werden sollten, damit sich Vectoring in einem im Grundsatz wettbewerbsorientierten Rahmen zum Wohle der Marktteilnehmer weiter entwickeln kann.

³⁴ Investitionen für VDSL Vectoring sind dazu nicht erforderlich.

7 Auswirkungen auf die Regulierung

Im Rahmen der Evolution der DSL Netze ist derzeit VDSL Vectoring die Technologie der Wahl, um die Bandbreiten auf den Kupferdoppeladern des letzten Abschnittes vom KVz zum Endteilnehmer deutlich zu erhöhen, indem die wechselseitigen Störungen der VDSL Signale auf den parallel zueinander im selben Bündel liegenden Doppeladern eliminiert werden. Dadurch können sich neben dem Gewinn an Bandbreite auch ein Zuwachs an Reichweite mit signifikanter Bandbreite und eine deutlich höhere Beschaltung der Anschlusskabel mit VDSL ergeben. An der grundsätzlichen Abhängigkeit der Bandbreite von der Länge der Übertragungsstrecke ändert sich nichts, allerdings vergrößert sich der Bereich, der mit einer Bandbreite > 50 Mbit/s downstream abgedeckt werden kann, voraussichtlich erheblich³⁵. Voraussetzung für das nutzbringende Ausschöpfen der Vorteile der Vectoring Technik ist jedoch, dass alle Kupferdoppeladern, die mit einem VDSL Signal beschaltet sind, in den Fehlerkorrekturprozess einbezogen werden können.

Unter Beibehaltung des derzeit gültigen Regulierungsregimes eines vollständig entbündelten Zugangs zum Teilnehmeranschluss am Hauptverteiler oder Knotenverzweiger (auch: Schaltverteiler) sehen wir derzeit nur zwei (theoretische) Optionen, Vectoring im Wettbewerb von mehreren Anbietern am selben Standort einsetzen zu können. Dies sind zum einen der Einsatz von Node-Level Vectoring für Systeme verschiedener Hersteller und zum anderen eine Entflechtung der Kabelbelegung im Anschlusskabel dergestalt, dass in jedem Doppeladerbündel jeweils nur die VDSL-Anschlüsse eines Anbieters vorkommen, auf die dann dieser Anbieter Vectoring anwenden kann.

Node-Level Vectoring ist ein möglicher weiterer Evolutionsschritt, der von einigen Herstellern angekündigt, aber noch nicht einmal standardisiert ist, so dass Produkte für die absehbare Zukunft (< 5 Jahre) bei allen dann relevanten Lieferanten im Markt nicht zu erwarten sind. Es stellt sich auch die Frage, inwieweit sich danach nicht auch VDSL Vectoring als Übergangstechnologie bereits wieder überholt hat, weil sie die dann herrschende Bandbreitennachfrage nicht mehr befriedigen kann. Ein Node-Level Vectoring zwischen verschiedenen DSLAMs desselben Herstellers mag früher kommen, bietet aber viele operativ praktische Probleme, die regulatorisch sehr schwer zu fassen sind und das daher aus unserer Sicht nur begrenzt (z.B. für eine Übergangszeit) praktikabel ist (vgl. Abschnitt 5.7).

Auch die **Bewirtschaftung von Doppeladerbündeln** des Anschlussnetzes erscheint wenig praktikabel. Auch wenn es prinzipiell nur wenige Betreiber geben wird, die sich an einem KVz kollozieren, müssten dennoch die historisch gewachsenen Teilnehmeranschlüsse mit VDSL je nach Betreiber sortiert und in die dann zugewiesenen Bündel umrangiert werden. Dabei steht zu vermuten, dass bisher die VDSL Kunden möglichst

³⁵ Die Ungewissheit beruht zum einen auf fehlenden flächendeckenden Kenntnisse über den Praxiseinsatz von VDSL Vectoring und zum anderen auf fehlendem Wissen über die Längenverteilung der sub-loops in Deutschland. Bekannt ist allerdings, dass sub-loops auch über 1000 m Länge haben können.

gleichmäßig auf alle Bündel verteilt wurden, um die gegenseitigen Störungen (das Nebensprechen) möglichst gering zu halten. Dies geht nicht ohne Betriebsunterbrechung für die betroffenen Endkunden. Auch wenn ein Kunde dann von seinem Betreiber einen Upgrade von ADSL zu VDSL erwartet, muss ggf. das Bündel gewechselt werden. Gleiches gilt bei einem Betreiberwechsel des Kunden, der vom VDSL-Produkt des einen auf ein VDSL Produkt des anderen Anbieters wechselt. Komplexer wird die Situation noch im Fall kaskadierter KVz und bei Verwendung von Schaltverteilern, bei denen die Verzweigerkabel auf weiterführende Kabel konzentriert werden. Die Bemessung und Zuteilung der Bündel zu den Betreibern muss ggf. im Streitfall geschlichtet werden. Problematisch wird es dann, wenn ein Wohngebiet/ Mehrfamilienhaus durch nur ein Bündel versorgt wird, aber die Bewohner bei verschiedenen Betreibern einkaufen. Die reale Beschaltung des Anschlussnetzes lässt gar nicht alle Problemfälle, die dabei auftreten können, im Vorhinein absehen. Ggf. könnte hier eine vertiefende Untersuchung ansetzen. Wir halten diesen Ansatz jedoch für insgesamt wenig praktikabel (und teuer bzgl. des Umschaltens der Kunden/ Bereinigen des Anschlussnetzes).

Es bleiben dann im Prinzip drei Ansätze, mit den konfligierenden Interessen der Nutzung von VDSL und VDSL Vectoring im Anschlussnetz aus regulatorischer Sicht umzugehen:

- Eigentümer-Monopol (Incumbent-Monopol)
- First Mover Monopol
- Offen für Wettbewerb

Die exklusive Nutzung eines Kupferdoppelader Bündels im Anschlussnetz, um höchst mögliche Bandbreitengewinne zu erzielen, sollte dabei bei einem Betreiber liegen, nicht jedoch zwingend beim marktbeherrschenden Betreiber. Die drei Ansätze werden im Folgenden diskutiert.

7.1 Eigentümer Monopol

Der Eigentümer der Kupferdoppeladern des Teilnehmeranschlussnetzes, typischerweise der marktbeherrschende Anbieter, der gerade wegen dieser Rolle diesbzgl. reguliert wird, erhält das Monopol, auf den Anschlussleitungen VDSL Vectoring einzusetzen. Damit die Mitbewerber nicht aus diesem breitbandigeren Markt ausgeschlossen werden, muss ihnen rechtzeitig ein Bitstrom Angebot über VDSL Vectoring angeboten werden, typischerweise VULA genannt, das eine ursprungsnahe Übergabe³⁶ (z.B. im HVt) des Kundenanschlusses auf Layer 2 anbietet (eine Analogie findet sich in Deutschland bei OPAL Endkundenanschlüssen). Ein derartiges Layer 2 Bitstrom Angebot wurde im NGA-Forum für Deutschland einvernehmlich zwischen den Marktparteien entwickelt, in

³⁶ Eine Übergabe etwa an wenigen Standorten des Kernnetzes könnte regionale Anbieter insbesondere im ländlichen Raum ggü. der derzeit gegebenen Situation wirtschaftlich benachteiligen.

der finalen Abstimmung³⁷ jedoch von der Telekom Deutschland nicht mitgetragen, was derzeit weitere Abstimmungsrunden erfordert.

Ein derartiges generelles Monopol garantiert jedoch nicht, dass der Incumbent den Breitbandausbau wirklich vorantreibt, weil die motivierende Kraft des Infrastrukturwettbewerbs ausgeschlossen würde. In den Regionen mit CA-TV Netzen würde er noch durch den intermodalen Wettbewerb motiviert, in den übrigen jedoch weniger und es stünde zu erwarten, dass er diese niederprior bedient, weil ihm hier der Wettbewerb fehlt. Dies gilt insbesondere für die weniger dicht besiedelten Gebiete.

Ein solcher Regulierungsansatz wurde von der belgischen Regulierungsbehörde BIPT gewählt, nachdem eine Marktbefragung ergeben hatte, dass die Wettbewerber kein Interesse an sub-loop unbundling und Kollokation am KVz hatten. Die Exklusivität für Belgacom ist jedoch zunächst auf 3 Jahre beschränkt, was zum schnellen Ausbau motivieren soll.

7.2 First Mover Monopol

Eine Variante von Exklusivität ist, dem Netzbetreiber, der zuerst einen KVz mit VDSL erschließt, dann zu garantieren, dass nur er die Doppeladern des KVz mit VDSL und VDSL-Vectoring beschalten darf. Dies schützt die Investitionen aller Investoren und Wettbewerber gleichermaßen und behält ein hohes Maß an Infrastrukturwettbewerb bei. Dieser Regulierungsansatz kann vollständig symmetrisch aufgebaut werden³⁸.

Auch hier bleibt zu überlegen, wie die Betreiber des bereits existierende VDSL Bestandes möglichst zeitnah durch den Einsatz von Vectoring zum Aufrüsten auf höhere Bandbreiten motiviert werden können oder wie ein Ausbau ohne Vectoring vermieden werden kann, um keine Bremsen in den schnellen Breitbandausbau einzubauen. Dies kann z.B. durch Fristsetzung geschehen, nach deren Ablauf das Recht auf VDSL Nutzung im KVz verwirkt ist.

Bisher überlappt sich der Bestand an KVz, in denen mehr als ein Betreiber VDSL nutzt, nur geringfügig (< 0,2% der KVz, die mit VDSL ausgebaut wurden). Dennoch könnte eine ordnende Hand den weiteren Ausbau der KVz mit VDSL zum Zweck des effizienten Einsatzes von VDSL Vectoring koordinieren, indem beispielsweise gebietsweise Ausschreibungen durchgeführt werden oder in dem die zuerst eingegangene Ausbauanzeige demjenigen Exklusivität für VDSL verspricht, wenn der Ausbau dann innerhalb einer angemessenen Frist abgeschlossen ist. Auch ist eine Kombination von Anzeige innerhalb eines Zeitraumes vorstellbar, bei der dann Konflikte mittels einer Ausschreibung gelöst werden. Indem die Anzeige sich immer nur auf Gebiete bezieht, die inner-

³⁷ am 10.12.2012

³⁸ Die Symmetrie kann sich auch darauf beziehen, dass alle Eigentümer einer Kupferkabel Infrastruktur im Anschlussnetz gleich behandelt werden. Allerdings ist faktisch die Telekom Deutschland nach unserer Kenntnis weit überwiegend der alleinige Eigentümer derartiger Infrastrukturen.

halb eines definierten Zeitraumes (z.B. 1 Jahr) anschließend ausgebaut sein müssen, kann das Verfahren im Zeitablauf mehrfach wiederholt werden.

Im Gegenzug für die Exklusivität muss der Betreiber seinen interessierten Mitbewerbern den VDSL und VDSL Vectoring Zugang zu den Kunden über ein geeignetes Bitstromangebot (VULA) eröffnen (symmetrische Regulierung).

Diese Vorgehensweise nimmt dem Eigentümer des Netzes nicht die bestehenden Nutzungen des Netzes, beschränkt ihn allerdings in den Gebieten auf die bestehenden Nutzungen einschließlich zusätzlicher Wholesale Erträge, in denen er sich nicht zeitgerecht für einen Ausbau mit VDSL Vectoring entschließen mag, und in denen dann Mitbewerber investieren. Auch ihm steht daneben natürlich der breitbandige Zugang zu seinen Kunden über Bitstrom offen.

Der Vorteil eines solchen Regulierungsansatzes liegt in der Investitionssicherheit für jeden Investor, dass ihm wegen der Exklusivität der VDSL Nutzung kein Mitbewerber den Bandbreitenzuwachs, den ihm seine Investition in VDSL Vectoring bieten soll, durch eine parallele VDSL Installation entwerten kann. Es entsteht aber eben auch ein Wettbewerb zwischen Investoren und ein Wettlauf im Ausbau der Gebiete, wie sie für einen Wettbewerbsmarkt typisch sind.

7.3 Offen für Wettbewerb

Bei diesem Ansatz wird die Exklusivität der Nutzung von VDSL Vectoring auf den Teilnehmeranschlussleitungen nicht gewährt, sondern das bestehende Regulierungsregime bleibt weitestgehend erhalten³⁹. Der First Mover, d.h. der erste Betreiber, der einen KVz mit VDSL ausbaut, hat im Prinzip ein faktisch ökonomisches Monopol. Der Ansatz baut darauf, dass sich ein zweiter Investor den Anschluss eines bereits mit VDSL erschlossenen KVz nicht noch leisten will, weil nur ein Betreiber den vollen Bandbreitenvorteil des VDSL Vectoring produzieren kann. Beim weiteren breitbandigen Netzausbau walten nun die Kräfte des Wettbewerbs unbeschränkt. Dieser Ansatz eines Laissez-faire Modells wird von manchen Betreibern auch als „Windhund Rennen“ bezeichnet.

Bisher hat sich erwiesen, dass es schon jetzt kaum Überlappungen im KVz Ausbau gegeben hat, weil die Wettbewerber dort am KVz aktiv geworden sind, wo die Telekom Deutschland bisher nicht ausgebaut hatte (Überlappung < 0,2%). Dies beruht auf rationalem ökonomischem Handeln und der Tatsache, dass der Ausbau eines KVz relativ hohe Marktanteile braucht, die ein Second Mover nur schwer erringen können. Dieses Motiv wird mit VDSL Vectoring nur verstärkt, weil nur einer den vollen Bandbreitengewinn erreichen kann und ein zweiter an diesen hohen Bandbreiten nur über Bitstrom partizipieren können. Einen Grund für den zweiten Ausbau eines KVz mit

³⁹ Bzgl. der Nutzung des VDSL Profils und etwaiger regulatorischer Eingriffe sowie einer Pflicht zur Bereitstellung eines adäquaten diskriminierungsfreien Bitstroms kann dieser Ansatz als symmetrische Regulierung ausgelegt werden.

VDSL könnten wir allenfalls bei der Telekom Deutschland erkennen, wenn sie in Marktverdrängungsabsicht handelt. Hier müsste dann u.U. durch die Marktaufsicht regulierend eingegriffen werden. Dennoch, in derartigen Fällen wäre u.U. eine Steigerung des Infrastrukturwettbewerbes durch Ausbau eines Glasfaseranschlussnetzes ökonomisch sinnvoller, als mit einer Übergangstechnologie Marktverdrängung zu versuchen.

Zu überlegen bleibt, wie mit den Fällen umgegangen werden soll, in denen bereits heute eine Überlappung besteht, oder in Zukunft entstehen wird, wenn zwei Unternehmen gleichzeitig einen KVz erschließen wollen und sich dort zum Ausbau treffen. In den wenigen Fällen bestehender Überlappung kann auf bilaterale Verhandlungen gesetzt werden, oder es wird danach entschieden, welcher Betreiber mehr Endkunden angeschlossen hat. Bei paralleler Ausbauabsicht walten entweder die Kräfte des Marktes und wer als erster den KVz aufrüsten will, kommt zum Zuge, oder es wird bei Konflikten das verbindlich zugesagte frühere Datum der Inbetriebnahme mit VDSL Vectoring den Ausschlag geben, dessen Nichteinhaltung ggf. pönalisiert werden muss, um die Verbindlichkeit zu stärken.

Sollten Situationen im Markt entstehen, in denen ein Betreiber im Ausbau bei VDSL stehen bleibt und kein Vectoring einführt, weil er auf das faktische Monopol vertraut, könnte man im Hinblick auf die Verbraucherinteressen und die Breitbandausbauziele u.U. eine Ausbaupflicht dergestalt einführen, dass ein Vectoring Bitstrom-Nachfrager eine Frist setzen kann, bis zu der eine Nachrüstung erfolgt sein muss, andernfalls der Betreiber mit VDSL am KVz sein Recht zur Nutzung des VDSL Profils am betreffenden KVz verliert und ein anderer dort ausbauen kann, ohne in ein Wettbewerbs- und damit Investitionsrisiko zu laufen.

Soweit der Ausbau von VDSL Vectoring bei diesem Ansatz auch im Wettbewerb erfolgt entstehen doch faktische Monopole auf den Anschluss der Kunden mit VDSL Vectoring entsprechenden Bandbreiten, die durch ein symmetrisches, verpflichtendes Angebot zum Bitstrom (z.B. VULA mit VDSL Vectoring) abgemildert werden können. So behalten auch die Wettbewerber, die beim Ausbau nicht zum Zuge gekommen sind, die Option, am Markt teilzuhaben.

7.4 Zusammenfassung

VDSL Vectoring ist eine Übergangstechnologie, die es erlaubt, für ein bestimmtes Zeitfenster den wachsenden Bandbreitenbedarf auf der Anschlussleitung auf der Basis des bestehenden Kupferanschlussnetzes ab KVz (oder HVt für das direkte Netz (kurze Loops)) zu befriedigen. Dabei kann der Schritt in höhere Bandbreiten schneller und mit deutlich geringeren Investitionen realisiert werden, als von vorneherein eine zukunftssichere Glasfaser im Anschlussnetz auszubauen. Es stellt sich die Frage, ob für diese Übergangstechnologie eine spezifische Regulierung für den vollständig entbündelten Zugang zum Teilnehmeranschluss vorgenommen werden soll, die in jedem Fall sicher-

stellt, dass nur ein Betreiber das VDSL2 Übertragungsprofil auf den Kupferdoppeladern eines KVz nutzen darf zu dem Zweck, dort mit Vectoring einen deutlichen Bandbreitengewinn zu erzielen. Für dieses exklusive Recht muss er den Wettbewerbern eine entsprechende Bitstrom-Vorleistung (z.B. VULA) anbieten. In einem nächsten Schritt wird dann die Glasfaser vom KVz näher zum Endteilnehmer ausgebaut werden müssen.

Dem Eigentümer und marktbeherrschenden Anbieter auf dieses (VDSL) Übertragungsprofil ein nationales Monopol einzuräumen ist gegebenenfalls in den Fällen gerechtfertigt, in denen die anderen Mitbewerber am Markt für dieses Geschäftsfeld (VDSL ab KVz) kein Interesse bekunden, wie dies beispielsweise in Belgien der Fall war. Aber auch dort hat die Vorsicht geboten, das Monopol zunächst zeitlich zu befristen, um ein Einfrieren des Status quo zu verhindern und eine Verbindlichkeit zum Ausbau der breitbandigeren Technik zu induzieren. In einem Land wie Deutschland (oder auch Italien), in dem Wettbewerber den Ausbau von KVz bereits vollzogen haben und fortzusetzen gedenken, würde dieser Ansatz die bereits getätigten Investitionen für die Kollokation am KVz oder den Aufbau von Schaltverteilern wieder entwerten und alle zukünftigen Investitionen in dieses Segment verhindern. Den Wettbewerbern bliebe nur der Ausbau von FTTB/ FTTH als zunächst teurere Alternative im Infrastrukturwettbewerb oder der Rückfall auf den Bitstrom.

Das First Mover Monopol behält den Infrastrukturwettbewerb bei, schafft Investitionssicherheit für alle Investoren und führt im Resultat zu gebietsweisen Monopolen für VDSL und VDSL Vectoring. Es bedarf vermutlich jedoch des höchsten regulatorischen Aufwandes, wenn eine ordnende Hand die Ausbaugebiete administriert. Aber mit diesem Verfahren ergeben sich keine Fragen zum Bestandsschutz für die bereits getätigten Investitionen. Allenfalls für die KVz, die zwar bereits ausgebaut, aber noch nicht mit VDSL und Vectoring versehen sind, müssen Übergangslösungen festgelegt werden. Wesentlich scheint hier, dass sich im Rahmen administrativen Handelns niemand große Gebiete a priori reserviert, die später nicht oder nur sehr verzögert ausgebaut werden. Wenn administriert wird, muss der Ausbau auch kurzfristig verbindlich gemacht werden. Für Deutschland sind die attraktivsten Gebiete, die größten und am dichtesten besiedelten Städte, durch den bereits getätigten VDSL Ausbau bereits vergeben.

Der Verzicht auf das Monopol für das VDSL Übertragungsprofil (Fall: Offen für Wettbewerb) gleicht der First Mover Lösung mit der Ausnahme, dass es einen noch höheren Druck auf das Investitionsgeschehen und den Infrastrukturwettbewerb macht, andererseits jedoch auch zu faktischen Gebietsmonopolen bei der VDSL Übertragung führt. Es macht die Investitionen in der Regel nicht unsicherer, weil sich die beteiligten Parteien dadurch nur Nachteile einhandeln (Verlust von Bandbreite zum Endkunden für beide Parteien). Ggf. sollte einer Marktverdrängungsabsicht a priori Einhalt signalisiert werden. Ein administrativer oder regulatorischer Aufwand entsteht hier eher nicht.

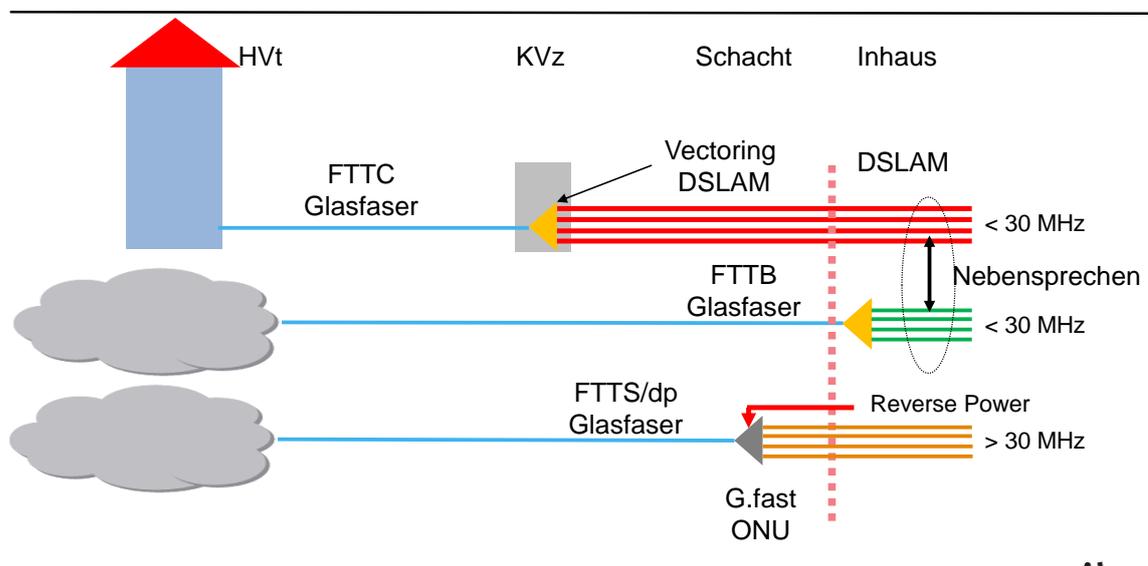
Die in diesem Abschnitt (7) angestellten Überlegungen gelten für die ergänzenden kapazitätserweiternden Übertragungsverfahren Bonding und Phantomring gleichermaßen,

weil auch diese beiden Verfahren ganz wesentlich auf dem VDSL Vectoring aufsetzen, ohne das sie die beschriebenen Bandbreitenzuwächse nicht erzielen könnten. Hinzu kommt, dass die Doppeladern für diese Verfahren, insbesondere für Phantoming, bewirtschaftet werden müssen (dasselbe Bündel) und im Streitfall eine Schlichtung vorzusehen ist.

8 Ausblick

Um die Bandbreite in kombinierten Glasfaser-Kupfer-Anschlussnetzen weiter zu steigern wurde mit der Standardisierung eines neuen Übertragungsverfahrens G.fast begonnen, das auch als FTTS (Fibre to the Street) oder FTTP (Fibre to the Distribution Point) bezeichnet wird, d.h. die Kupferanschlussleitung wird weiter verkürzt bis auf maximal 200 m zwischen Endteilnehmer (CPE) und einer ONU (Optical Network Unit) an einem Verteilpunkt nahe der Gebäude (vgl. Abbildung 8-1). Diese ONU soll ca. 20 Teilnehmer zusammenfassen und wird aus den Kundengebäuden heraus mit Strom versorgt (60 V Gleichspannung), auch Reverse Powering genannt. Um die VDSL 2 Frequenzbereiche nicht zu beeinträchtigen soll zwischen 30 und bis zu 280 MHz übertragen werden, auf einer oder 2 Doppeladern.

Abbildung 8-1: G.fast, FTTB und VDSL Vectoring, Infrastrukturvergleich



Quelle: WIK Consult

Angestrebt wird eine Übertragungsbandbreite von bis zu 1 Gbit/s, die beliebig zwischen den Übertragungsrichtungen aufgeteilt werden kann (z.B. symmetrisch mit 500 Mbit/s in beide Richtungen, up und down). Erste Systeme sollen nicht vor 2014 verfügbar sein, d.h. die Marktreife folgt dem erst noch nach. Auch hier liegt auf der Hand, dass gegenseitige Störungen auf den letzten Metern zum Kunden vermieden werden sollten, entweder durch Verwendung geeigneter geschirmter Kabel oder eine entsprechende sternförmige Verkabelung. Andernfalls müsste auch hier wieder ein das Nebensprechen eliminierende Vectoring Verfahren zum Einsatz kommen.

Grundsätzlich stellt sich für uns allerdings die Frage, inwieweit es bei einem FTTS/dp Glasfaserausbau nicht auch den dann kurzen Schritt zu FTTB mit den dann höheren Freiheitsgraden für Bandbreite und CPE kommen kann, so dass diese Technologie eine zu kurze Marktverweilzeit hätte, um umgesetzt zu werden. Letztlich stehen die Nachfol-

getechnologien (FTTB/ FTTH, mit VDSL 2 oder Ethernet und mit G.hn für 1 Gbit/s auf 4 Kupferdoppeladern im Inhaus Bereich) bereits mit technisch ausgereiftem Equipment zur Verfügung und werden nur deshalb nicht flächendeckend eingesetzt, weil die Glasfaserinfrastruktur bis zum Gebäude noch fehlt und ihr Ausbau noch einige Zeit benötigt bzw. auch erst finanziert werden muss.

Die Standardisierung und Entwicklung von G.fast zeigen, dass VDSL Vectoring in einer Folge von Technologien einen evolutionären Schritt darstellt, aber auch nur eine Übergangstechnologie ist bis zum finalen Aufbau von FTTH Netzen.

Abkürzungen

ADSL	Asynchronous Digital Subscriber Line
CA-TV	Kabel-TV
CMTS	Cable Modem Termination System
CPE	Customer Premise Equipment
CuDA	Kupferdoppelader
DA	Doppelader
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	DSL Access Multiplexer
FTTB	Fibre to the Building
FTTdp	Fibre to the Distribution Point
FTTH	Fibre to the Home
FTTS	Fibre to the Street
HDSL	High Speed Digital Subscriber Line
HVt	Hauptverteiler
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
KVz	Knotenverzweiger
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
ONU	Optical Network Unit
OPAL	Optische Anschlussleitung
POTS	Plain Old Telephone Service
SDSL	Symmetrical Digital Subscriber Line
USV	unterbrechungsfreie Stromversorgung
VDSL	Very high Speed Digital Subscriber Line
VULA	Virtually Unbundled Local Access
VoIP	Voice over IP (Internet Protocol)

Literaturverzeichnis

Allen 2009

Allen; The NGA Business Case, International WIK Conference "Challenges for FTTB/ H in Europe, Berlin, 23.- 24.3.2009

Analysys 2007

Analysys Mason: The business case for sub-loop unbundling in Dublin, Final Report for ComReg, 2007, URL: http://www.comreg.ie/_fileupload/publications/ConReg0810a.pdf

BREKO 2012a

BREKO: Vectoring darf Telekommunikationsmärkte nicht Remonopolisieren, Positionspapier des Bundesverbandes Breitbandkommunikation, November 2012

BREKO 2012b

BREKO; Folie Vectoring: Herausforderung und Chance, BREKO Jahrestagung Berlin, November 2012

Brink 2011

van den Brink, Rob F.M.; Enabling 4 GBB via the last copper drop of a hybrid FttH deployment, TNO White Paper on DSL, The Netherlands, April 2011

DT AG AG 2012

Deutsche Telekom AG; Auferlegung von Verpflichtungen auf dem Markt 4 "Vorleistungsmarkt für den (physischen) Zugang zu Netzinfrastrukturen (einschließlich des gemeinsamen oder vollständigen entbündelten Zugangs) an festen Standorten; hier: Änderung der Regulierungsverfügung BK 3g.09/085 vom 21.03.2011, Bonn, 19.12.2012, Geschwärzte Fassung, www.BNetzA.de

ECI 2011

ECI, ECI's V²DSL2TM - Vectored VDSL2 - Getting More out of Your Copper Plant, White Paper November 2011

Elixmann 2008

Elixmann, Dieter; Ilic, Dragan; Neumann, Karlheinz; Plückerbaum, Thomas; The economics of NGA, Final Report for ECTA 2008, URL: www.wik.org

Huawei 2010

Huawei; Offering fibre-like speeds over copper - Huawei Solution for VDSL2 Vectoring to leverage existing copper infrastructure, August 2011

Hoernig 2010

Hoernig; Jay; Neumann; Peitz; Plückerbaum; Vogelsang; Architectures and competitive models in fibre networks, Bad Honnef, December 2010

IUT-T 2010

ITU-T G.993.5; Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers, April 2010

IUT-T 2011a

ITU-T G.993.5; Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers, Corrigendum 1, Juni 2011

IUT-T 2011b

ITU-T G.993.5; Self-FEXT cancellation (vectoring) für use with VDSL2 transceivers, Amendment 1, Dezember 2011

IUT-T 2011c

ITU-T G.993.2, VDSL 2, Dezember 2011

IUT-T 2012a

ITU-T G.993.5; Self-FEXT cancellation (vectoring) für use with VDSL2 transceivers, Corrigendum 2, Juni 2012

IUT-T 2012b

ITU-T G.993.2, VDSL2, Corrigendum 1, Juni 2012

Maes 2012

Maes, Jochen; G.fast - Shifting the limits of copper, Bell Labs, Alcatel Lucent, 19 January 2012

Mertz 2000

Mertz, A; Pollakowski, M; xDSL & Access Networks, Prentice Hall, 2000

Patel 2011

Patel, Sanjay S.; Next Generation Access: 10 GPON & Phantom Mode ... The Evolution Towards Ultra Broadband, Alcatel Lucent, Cebit 2011

Papandriopoulos 2006a

Papandriopoulos; Evans; Low-Complexity Distributed Algorithms for Spectrum Balancing in Multi-User DSL Networks, Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, Istanbul, Juni 2006

Papandriopoulos 2006b

Papandriopoulos; Dey; Evans; Optimal and Distributed Protocols for Cross-Layer Design of Physical & Transport Layers in MANETs, Submitted to IEEE/ACM Transactions on Networking, 2006

Putten 2011

van der Putten, Frank, Alcatel Lucent, Answer to BIPT, 18.02.2011

Rhee 2011

Rhee, Wongjong; DSL Roadmap to 1~2Gbps and DSL Management (DSM), ASSIA Inc., IEEE ComSoC SCV Town Hall Meeting, 9 March 2011

Schmidtke 2011

Schmidtke, Uwe; Neue technologische Entwicklungen im DSL: Vectoring & Phantom DSL, 5. ITG Konferenz Breitbandversorgung in Deutschland, Berlin, 29. - 30- März 2011

Spahn 2012

Spahn, Wolfgang; Evolution of Broadband Networks, Keymile, BREKO Jahrestagung 2012, Berlin, 22. November 2012

Verlinden 2011

Verlinden, Jan; Advice regarding SLU in context of VDSL2 Vectoring, Alcatel Lucent, 22. August 2011

Wilson 2011

Wilson, Stephen; G.Fast; business rationale remains unclear for copper 2.0, Informa, Telecoms & Media, 16 December 2011, <http://blogs.informatandm.com/3597/g-fast-business-rationale-remains-unclear-for-copper-2-0/>

Wulf 2007

Wulf, Alf Hendrik; VDSL Access Options, Alcatel Lucent, WIK VDSL Conference, Königswinter, March 2007

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

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

- Nr. 317: Nicole Angenendt, Christian Growitsch, Rabindra Nepal, Christine Müller:
Effizienz und Stabilität des Stromgroßhandelsmarktes in Deutschland – Analyse und wirtschaftspolitische Implikationen, Dezember 2008
- Nr. 318: Gernot Müller:
Produktivitäts- und Effizienzmessung im Eisenbahninfrastruktursektor – Methodische Grundlagen und Schätzung des Produktivitätsfortschritts für den deutschen Markt, Januar 2009
- Nr. 319: Sonja Schölermann:
Kundenschutz und Betreiberauflagen im liberalisierten Briefmarkt, März 2009
- Nr. 320: Matthias Wissner:
IKT, Wachstum und Produktivität in der Energiewirtschaft - Auf dem Weg zum Smart Grid, Mai 2009
- Nr. 321: Matthias Wissner:
Smart Metering, Juli 2009
- Nr. 322: Christian Wernick unter Mitarbeit von Dieter Elixmann:
Unternehmensperformance führender TK-Anbieter in Europa, August 2009
- Nr. 323: Werner Neu, Gabriele Kulenkampff:
Long-Run Incremental Cost und Preissetzung im TK-Bereich - unter besonderer Berücksichtigung des technischen Wandels, August 2009
- Nr. 324: Gabriele Kulenkampff:
IP-Interconnection – Vorleistungsdefinition im Spannungsfeld zwischen PSTN, Internet und NGN, November 2009
- Nr. 325: Juan Rendon, Thomas Plückebaum, Stephan Jay:
LRIC cost approaches for differentiated QoS in broadband networks, November 2009
- Nr. 326: Kenneth R. Carter with contributions of Christian Wernick, Ralf Schäfer, J. Scott Marcus:
Next Generation Spectrum Regulation for Europe: Price-Guided Radio Policy, November 2009
- Nr. 327: Gernot Müller:
Ableitung eines Inputpreisindex für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor, November 2009
- Nr. 328: Anne Stetter, Sonia Strube Martins:
Der Markt für IPTV: Dienstverfügbarkeit, Marktstruktur, Zugangsfragen, Dezember 2009
- Nr. 329: J. Scott Marcus, Lorenz Nett, Ulrich Stumpf, Christian Wernick:
Wettbewerbliche Implikationen der On-net/Off-net Preisdifferenzierung, Dezember 2009
- Nr. 330: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann, Stephan Jay:
"Breitband/Bandbreite für alle": Kosten und Finanzierung einer nationalen Infrastruktur, Dezember 2009
- Nr. 331: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Antonia Niederprüm, Martin Zauner:
Preisstrategien von Incumbents und Wettbewerbern im Briefmarkt, Dezember 2009
- Nr. 332: Stephan Jay, Dragan Ilic, Thomas Plückebaum:
Optionen des Netzzugangs bei Next Generation Access, Dezember 2009
- Nr. 333: Christian Growitsch, Marcus Stronzik, Rabindra Nepal:
Integration des deutschen Gasgroßhandelsmarktes, Februar 2010
- Nr. 334: Ulrich Stumpf:
Die Abgrenzung subnationaler Märkte als regulatorischer Ansatz, März 2010
- Nr. 335: Stephan Jay, Thomas Plückebaum, Dragan Ilic:
Der Einfluss von Next Generation Access auf die Kosten der Sprachterminierung, März 2010
- Nr. 336: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Martin Zauner:
Netzzugang und Zustellwettbewerb im Briefmarkt, März 2010
- Nr. 337: Christian Growitsch, Felix Höffler, Matthias Wissner:
Marktmachtanalyse für den deutschen Regelenergiemarkt, April 2010

- Nr. 338: Ralf G. Schäfer unter Mitarbeit von Volker Köllmann:
Regulierung von Auskunft- und Mehrwertdiensten im internationalen Vergleich, April 2010
- Nr. 339: Christian Growitsch, Christine Müller, Marcus Stronzik
Anreizregulierung und Netzinvestitionen, April 2010
- Nr. 340: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann, Rolf Schwab:
Das VNB-Geschäftsmodell in einer sich wandelnden Marktumgebung: Herausforderungen und Chancen, April 2010
- Nr. 341: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Schölermann:
Die Entwicklung von Hybridpost: Marktentwicklungen, Geschäftsmodelle und regulatorische Fragestellungen, August 2010
- Nr. 342: Karl-Heinz Neumann:
Structural models for NBN deployment, September 2010
- Nr. 343: Christine Müller:
Versorgungsqualität in der leitungsgebundenen Gasversorgung, September 2010
- Nr. 344: Roman Inderst, Jürgen Kühling, Karl-Heinz Neumann, Martin Peitz:
Investitionen, Wettbewerb und Netzzugang bei NGA, September 2010
- Nr. 345: Christian Growitsch, J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Auswirkungen niedrigerer Mobilterminierungsentgelte auf Endkundenpreise und Nachfrage, September 2010
- Nr. 346: Antonia Niederprüm, Veronika Söntgerath, Sonja Thiele, Martin Zauner:
Post-Filialnetze im Branchenvergleich, September 2010
- Nr. 347: Peter Stamm:
Aktuelle Entwicklungen und Strategien der Kabelbranche, September 2010
- Nr. 348: Gernot Müller:
Abgrenzung von Eisenbahnverkehrsmärkten – Ökonomische Grundlagen und Umsetzung in die Regulierungspraxis, November 2010
- Nr. 349: Christine Müller, Christian Growitsch, Matthias Wissner:
Regulierung und Investitionsanreize in der ökonomischen Theorie, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Dezember 2010
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 351: Peter Stamm, Anne Stetter unter Mitarbeit von Mario Erwig:
Bedeutung und Beitrag alternativer Funklösungen für die Versorgung ländlicher Regionen mit Breitbandanschlüssen, Februar 2011
- Nr. 352: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann:
Nationale Breitbandstrategien und Implikationen für Wettbewerbspolitik und Regulierung, März 2011
- Nr. 353: Christine Müller:
New regulatory approaches towards investments: a revision of international experiences, IRIN working paper for working package: Advancing incentive regulation with respect to smart grids, April 2011
- Nr. 354: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele:
Elektronische Zustellung: Produkte, Geschäftsmodelle und Rückwirkungen auf den Briefmarkt, Juni 2011
- Nr. 355: Christin Gries, J. Scott Marcus:
Die Bedeutung von Bitstrom auf dem deutschen TK-Markt, Juni 2011

- Nr. 356: Kenneth R. Carter, Dieter Elixmann, J. Scott Marcus:
Unternehmensstrategische und regulatorische Aspekte von Kooperationen beim NGA-Breitbandausbau, Juni 2011
- Nr. 357: Marcus Stronzik:
Zusammenhang zwischen Anreizregulierung und Eigenkapitalverzinsung, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Juli 2011
- Nr. 358: Anna Maria Doose, Alessandro Monti, Ralf G. Schäfer:
Mittelfristige Marktpotenziale im Kontext der Nachfrage nach hochbitratigen Breitbandanschlüssen in Deutschland, September 2011
- Nr. 359: Stephan Jay, Karl-Heinz Neumann, Thomas Plückebaum unter Mitarbeit von Konrad Zoz:
Implikationen eines flächendeckenden Glasfaserausbaus und sein Subventionsbedarf, Oktober 2011
- Nr. 360: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Neue Verfahren für Frequenzauktionen: Konzeptionelle Ansätze und internationale Erfahrungen, November 2011
- Nr. 361: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Martin Zauner:
Qualitätsfaktoren in der Post-Entgeltregulierung, November 2011
- Nr. 362: Gernot Müller:
Die Bedeutung von Liberalisierungs- und Regulierungsstrategien für die Entwicklung des Eisenbahnpersonenfernverkehrs in Deutschland, Großbritannien und Schweden, Dezember 2011
- Nr. 363: Wolfgang Kieseewetter:
Die Empfehlungspraxis der EU-Kommission im Lichte einer zunehmenden Differenzierung nationaler Besonderheiten in den Wettbewerbsbedingungen unter besonderer Berücksichtigung der Relevante-Märkte-Empfehlung, Dezember 2011
- Nr. 364: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:
Vom Smart Grid zum Smart Market – Chancen einer plattformbasierten Interaktion, Januar 2012
- Nr. 365: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm, Anne Stetter:
Analyse der Kabelbranche und ihrer Migrationsstrategien auf dem Weg in die NGA-Welt, Februar 2012
- Nr. 366: Dieter Elixmann, Christin-Isabel Gries, J. Scott Marcus:
Netzneutralität im Mobilfunk, März 2012
- Nr. 367: Nicole Angenendt, Christine Müller, Marcus Stronzik:
Elektromobilität in Europa: Ökonomische, rechtliche und regulatorische Behandlung von zu errichtender Infrastruktur im internationalen Vergleich, Juni 2012
- Nr. 368: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele, Martin Zauner:
Kostenstandards in der Ex-Post-Preiskontrolle im Postmarkt, Juni 2012
- Nr. 369: Ulrich Stumpf, Stefano Lucidi:
Regulatorische Ansätze zur Vermeidung wettbewerbswidriger Wirkungen von Triple-Play-Produkten, Juni 2012
- Nr. 370: Matthias Wissner:
Marktmacht auf dem Primär- und Sekundär-Regelenergiemarkt, Juli 2012
- Nr. 371: Antonia Niederprüm, Sonja Thiele:
Prognosemodelle zur Nachfrage von Briefdienstleistungen, Dezember 2012
- Nr. 372: Thomas Plückebaum, Matthias Wissner:
Bandbreitenbedarf für Intelligente Stromnetze, 2013
- Nr. 373: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:
Der Netzbetreiber an der Schnittstelle von Markt und Regulierung, 2013
- Nr. 374: Thomas Plückebaum:
VDSL Vectoring, Bonding und Phantomring: Technisches Konzept, marktliche und regulatorische Implikationen, Januar 2013

ISSN 1865-8997