

Breitbandzugang über Cu-Doppelader - Welche Zukunft hat DSL?

Erik Oswald, Günter Hildebrandt, Rudi Knorr
Fraunhofer-Einrichtung für Systeme der Kommunikationstechnik ESK
Hansastraße 32, 80686 München
[erik.oswald, guenter.hildebrandt, rudi.knorr]@esk.fraunhofer.de

Zusammenfassung: Im Rahmen der von der Bundesregierung beschlossenen Breitbandstrategie wird das Ziel verfolgt, dass bis 2014 mindestens 75 Prozent der Haushalte über Breitbandanschlüsse mit Übertragungsraten von mindestens 50 Mbit/s verfügen. Dieses Vorhaben kann nur durch eine Verkürzung der kupferbasierten Übertragungswege hin zu einem rein optischen Anschlussnetz gelingen.

Der Beitrag zeigt, welchen wichtigen Beitrag die DSL-Technologie und deren Weiterentwicklung für den Ausbau der letzten Meile hin zu einem volloptischen Anschlussnetz liefern kann. Es wird begründet, warum in einigen Bereichen auch zukünftig die DSL-Technologie fortbestehen wird. Gleichzeitig werden Verfahren beschrieben, die in den letzten Jahren an der Fraunhofer ESK erforscht wurden und die Performance der Kupferdoppelader unter gleichzeitiger Kosteneinsparung für die Netzbetreiber verbessern.

Summary: The "National Broadband Strategy" announced by the German Federal Government aims that by 2014 at least 75 percent of German households will have access to a broadband connection of at least 50 Mbit/s. Fulfilling this target will require a shortening of the copper loop by the deployment of fiber. This article explains how the DSL technology and its further development will contribute to the development of the last mile towards an all-optical access network. Also, it will be shown why the DSL technology will persist in some areas in the future. Furthermore, procedures for improving the performance of copper wires and facilitating cost savings for operators which have been investigated at the Fraunhofer ESK in the recent years are described.

1. Einführung

Bedingt durch die stetig zunehmende Internet-Nutzung sowie die Einführung leistungsfähiger Prozessoren hat die DSL-Technologie seit Anfang der 90er Jahre eine rasante Entwicklung vollzogen. Die große Anzahl von Privatkunden sowie deren Nutzerverhalten führten dazu, dass sich asymmetrische DSL-Verfahren als häufigste Anschlusstechnik durchsetzten. Im Zuge dieser Entwicklung wurde das ADSL-Verfahren durch ADSL2+ abgelöst. Datenraten von mindestens 6 Mbit/s sind in städtischen Gebieten heute der Normalfall. Gegenwärtig wird bereits die VDSL2-Technik eingeführt, die symmetrische Datenraten von bis zu 200 Mbit/s ermöglicht [1]. Die enorme Steigerung gegenüber ADSL2+ wird dabei vornehmlich durch die Verkürzung der kupferbasierten Übertragungswege erreicht, wobei gleichzeitig das optische Übertragungsmedium an den Teilnehmer (TLN) herangeführt wird.

Die in Abbildung 1 dargestellten Anschluss-szenarien FTTCab, FTTB und FTTH verdeutlichen

diese Situation. Es ist bereits heute abzusehen, dass zukünftige Netzzugänge vollständig auf die Kupferdoppelader (CuDA) verzichten. Hierdurch werden dem Nutzer extrem hohe Datenraten geboten, die problemlos alle gegenwärtig bekannten Anwendungen (z. B. IPTV) ermöglichen.

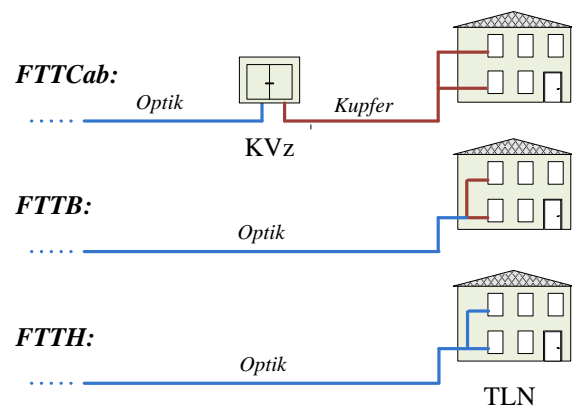


Abbildung 1: Anschluss-szenarien

Auch in der Breitbandstrategie der Bundesregierung wird der Glasfaserausbau forciert. Hier verfolgt man das ehrgeizige Ziel, dass bis 2014 für mindestens 75 Prozent der Haushalte Breitbandanschlüsse mit Übertragungsraten von 50 Mbit/s und mehr zur Verfügung stehen [2].

Der mit dieser Entwicklung verbundene Ausbau wirft jedoch Fragen auf, die von vielen Experten kontrovers diskutiert werden. Wie kann beispielsweise der anvisierte Ausbau unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgen? Die extrem hohen Kosten der Glasfaserverlegung, die Installation von neuem Equipment sowie die anzustrebende Flächendeckung lassen die Umsetzung in absehbarer Zeit unmöglich erscheinen.

Vor diesem Hintergrund sollen nachfolgend Bereiche aufgezeigt werden, in denen der Einsatz der DSL-Technologie auch zukünftig nützlich erscheint. In Abschnitt 2 werden diese Refugien der DSL-Technologie näher beleuchtet. Auch wenn DSL zunehmend an Bedeutung verlieren wird, gibt es dennoch vielversprechende Optimierungsansätze. In Abschnitt 3 werden diese vorgestellt. Ein Fazit in Abschnitt 4 fasst wesentliche Punkte der Situation zusammen.

2. Zukünftige DSL-Einsatzgebiete

Trotz des voranschreitenden Ausbaus des rein optischen Zugangsnetzes, wird es in den nächsten 10-20 Jahren Bereiche geben, in denen die CuDA bzw. DSL vor allem aus wirtschaftlichen Gründen fortbestehen wird.

2.1 FTTCab – Die letzte Viertelmeile

FTTCab sieht vor, die kupferbasierte Übertragungsstrecke auf den Abschnitt zwischen Kabelverzweiger (KVz) und TLN zu verkürzen. Dazu wird am KVz ein sogenannter Überbau mit einem Outdoor-DSLAM vorgenommen, der eine optische Anbindung an die Vermittlungsstelle (VSt) aufweist. Auf der verbleibenden kupferbasierten Übertragungsstrecke zwischen KVz und TLN (max. 500 m) wird VDSL2 mit einer oberen Grenzfrequenz von 17,664 MHz eingesetzt. Auf diese Weise können in Up- und Downstream-Richtung (US und DS) Datenraten von bis zu 100 Mbit/s erreicht werden. Aktuelle Angebote deutscher Netzbetreiber sehen derzeit jedoch überwiegend Datenraten von bis zu 50 bzw. 10 Mbit/s in DS- und US-Richtung vor.

Das Ausnutzen der kupferbasierten Übertragungswege zwischen KVz und TLN ermöglicht mit moderaten Kosten eine große Anzahl Nutzer mit einer für die nächsten Jahre ausreichenden Datenrate zu versorgen. Insbesondere dieser Kostenvorteil aber auch die hochwertige Kupferinfrastruktur ist dafür verantwortlich, dass in Deutschland in naher Zukunft der Übergang zu volloptischen Netzzugängen gegenüber FTTCab vergleichsweise langsam vollzogen wird.

Dennoch ist das Weiterverwenden der CuDA mit Nachteilen verbunden. So ist beispielsweise das Nebensprechen – die stärkste Beeinträchtigung bei der DSL-Übertragung – vorwiegend auf kurzen Leitungen und bei hohen Frequenzen kritisch. Auch zeigt sich, dass VDSL2 einen ca. um den Faktor 2-3 höheren netzseitigen Energieverbrauch als ADSL aufweist. Diese Nachteile lassen sich jedoch durch den Einsatz der im Abschnitt 3 beschriebenen Optimierungsansätze verringern.

2.2 FTTB – Die letzten 100 Meter

Deutlich länger als zwischen KVz und TLN wird es die kupferbasierte Übertragung und somit DSL im Inhouse-Bereich geben. Die Gründe hierfür ergeben sich aus der Situation, dass die Verantwortung für die Gebäudeverkabelung bei den Hauseigentümern liegt. Aus diesem Grund werden die Netzbetreiber die ca. 20 Prozent höheren Anschlusskosten, die im Vergleich zu FTTB bei einer durchgehenden optischen Anbindung (FTTH) der TLN anfallen [3], gegenwärtig und auch in Zukunft nicht übernehmen.

Die Netzanbindung der Haushalte findet in diesem Fall mit Hilfe der VDSL2-Technologie für den Inhouse-Bereich statt. Aufgrund der im Mittel wenigen TLN pro Gebäude werden hierfür sogenannte Mini-DSLAMs mit 8-24 Ports installiert. Die kurzen Übertragungsstrecken (< 100 m) im Inhouse-Bereich erlauben den Einsatz des VDSL2-Profiles 30a, das eine Übertragungsbandbreite von 30 MHz vorsieht und Datenraten von bis zu 200 Mbit/s in US- und DS-Richtung ermöglicht.

Aktuell tun sich speziell die regionalen Netzbetreiber in Kooperation mit Stadtwerken beim FTTB-Ausbau und der Installation von Mini-DSLAMs hervor. Dieser Trend wird sich aufgrund der Kostenvorteile, welche den regionalen Netzbetreibern durch den Wegfall der TAL-Miete entstehen, noch beschleunigen.

Wie beim FTTCab ist auch hier der Anschluss der TLN über Kupfer mit Nachteilen verbunden.

Neben dem Nebensprechen und dem höheren Energieverbrauch ist dabei besonders durch die Nutzung von Frequenzen bis zu 30 MHz das hochfrequente Verhalten der Gebäudeverkabelung von Bedeutung. Problematisch erweist sich hierbei, dass Kabel und Leitungen unterschiedlicher Art und Qualität verlegt sind und Installationen und Erweiterungen sowohl durch Fachleute wie auch Laien durchgeführt wurden. Bei Messungen im Fraunhofer ESK eigenen DSL & Access Test Lab zeigte sich beispielsweise, dass eine nicht abgeschlossene Stichleitung einen Datenrateneinbruch von bis zu 10 Mbit/s verursachen kann [4].

2.3 Ländliche Regionen

Besonders in ländlichen Regionen wird noch für lange Zeit der Breitbandzugang mit Hilfe der CuDA realisiert werden. Grund hierfür und für die aktuell noch vielen mit Breitband unterversorgten Gemeinden in ländlichen Regionen sind die aus der geringen Einwohnerdichte resultierenden unwirtschaftlich hohen Installationskosten für Breitbandlösungen. Aus diesem Grund wird seit den letzten Jahren verstärkt mit Fördergeldern versucht, in diesen Regionen eine bedarfsgerechte Breitbandversorgung zu erreichen.

Dabei zeigt sich, dass häufig auf Teile der bereits vorhandenen Kupferinfrastruktur zurückgegriffen wird, so beispielsweise bei der Realisierung eines FTTCab-Konzeptes oder bei der Anbindung neu errichteter Outdoor-DSLAMs über Richtfunk. Eine weitere Möglichkeit ist die Aufrüstung der Vermittlungsstellen mit SHDSL, da hiermit Entfernungen von bis zu 8 km überbrückt werden können. Im Gegensatz dazu sind mit ADSL nur ca. 4,5 km bei einer garantierten Datenrate von mindestens 1 Mbit/s möglich.

Rein funkbasierte Zugangstechnologien stoßen hingegen sowohl auf Kunden- wie auch Gemeinde-seite häufig auf Ablehnung. Die Gründe hierfür sind vielfältig und reichen von Elektrosmogängsten über die Beeinträchtigung des Ortsbildes bis hin zu den höheren vom TLN zu entrichtenden Anschluss- und Installationskosten für Antennen und Modems.

Um eine sowohl für die TLN und Netzbetreiber kostengünstige und zukunftsfähige Breitbandlösung in ländlichen Gebieten zu gewährleisten, sollte eine hybride Breitbandinfrastruktur aufgebaut werden. Die glasfaser- oder richtfunkbasierte Anbindung von Verteilstandorten garantiert Leistungs- und Zukunftsfähigkeit. Für die Verteilung der Daten auf die TLN ist aus wirtschaftlichen und

technischen Gründen die Weiterverwendung der CuDA vorzuziehen.

3. Weiterentwicklung von DSL

Die Investitionen in die Kupferzugangnetze werden durch die hohen Kosten für den Ausbau des optischen Zugangnetzes in Zukunft weiter sinken. Dennoch lässt sich aus den verlegten CuDA aufgrund einiger noch nicht umgesetzter Techniken einiges herausholen.

3.1 Performance-Steigerung durch DSM

Eine der stärksten Performance-Beeinträchtigungen bei der DSL-Übertragung stellt das Nebensprechen dar. Hierbei wird durch die elektromagnetische Kopplung benachbarter CuDA ein geringer Teil des Nutzsignals in Form von Störungen / Interferenzen auf weitere Systeme im Bündel übertragen. Der Nebensprecheffekt nimmt mit steigender Frequenz und sinkender Kabellänge zu, wodurch besonders die VDSL2-Anschlüsse beeinträchtigt sind.

Abhilfe schafft das Dynamic Spectrum Management (DSM). Hiermit kann durch die koordinierte und gezielte Beeinflussung der DSL-Übertragung das Nebensprechen verringert bzw. vollständig kompensiert werden. DSM wird in vier verschiedene Koordinierungslevels unterteilt. Die verschiedenen Levels unterscheiden sich im notwendigen Aufwand und im erzielbaren Nutzen und sind in Tabelle 1 beschrieben.

DSM	Beschreibung
Level 0	Autonome Performance-Optimierung
Level 1	Autonome Performance-Optimierung bei gleichzeitiger Vermeidung von Nebensprechen durch Leistungsreduktion
Level 2	Koordinierte Performance-Optimierung durch adaptive Einstellung der Sendespektren unter Berücksichtigung aller Leitungen
Level 3	Koordinierte Performance-Optimierung durch Kompensation des Nebensprechens unter Berücksichtigung aller Leitungen

Tabelle 1 Eigenschaften der DSM Level 0-3

Als vielversprechend erweist sich hierbei das als Vectoring bekannte DSM Level 3 Verfahren (Draft ITU-T G.993.5). Mehrere Chiphersteller

präsentierten 2009 erste Umsetzungen dieses Verfahrens und zeigten, dass sich damit fast alle durch Nebensprechen verursachte Störungen / Interferenzen beseitigen lassen. Mit DSM Level 3 lassen sich nach konservativen bzw. optimistischen Schätzungen Verbesserungen der Datenrate von ca. 25-100 % erzielen [5]. Notwendig hierfür ist aber, dass ein Großteil aller Verbindungen im Kabelbündel koordiniert wird. Die Möglichkeiten, welche sich aus dieser Entwicklung ergeben, beleuchtet eindrucksvoll das CuPON-Beispiel in [6]. Es wird gezeigt, wie TLN durch den Einsatz von Vectoring und Bonding in einem Radius von 1 km über die bestehenden CuDA mit 1000 Mbit/s versorgt werden können.

Für eine einfache und kostengünstige Implementierung von DSM in bereits bestehende Systeme eignen sich besonders die Levels 1 und 2. Mit Hilfe eines Demonstrators der Fraunhofer ESK konnte nachgewiesen werden, dass sich mit DSM Level 2 je nach Optimierungsansatz die Dienstqualität, Datenrate bzw. Reichweite verbessern lassen. Beispielsweise ließ sich die Datenrate einzelner Systeme in einem Bündel durch den Einsatz von DSM Level 2 um über 50 % steigern.

Grundsätzlich lassen sich mit DSM einige der momentanen DSL-Versorgungsprobleme lösen:

- DSM erweitert die Reichweite von DSL, so dass auch in unterversorgten Regionen ein Breitbandanschluss angeboten werden kann.
- DSM steigert die Datenrate, womit unterversorgte Anschlüsse aufgewertet sowie der weiter steigende Breitbandbedarf zufrieden gestellt werden kann.

3.2 SHDSL & Bonding

Eine auf den ersten Blick einfache Methode die Datenrate und Reichweite zu steigern, besteht darin, vorhandene Übertragungskanäle zu bündeln. Beim sogenannten Bonding werden mehrere CuDA zu einem Übertragungskanal zusammengefasst. Zusätzlich zur Vervielfachung der Datenrate und der Erhöhung der Reichweite wird dadurch die Ausfallsicherheit der Verbindung erhöht. Im Gegenzug ist auf der Netz- und Teilnehmerseite zusätzlicher Management-Aufwand notwendig, um den Datenstrom so aufzuteilen und zusammenzusetzen, dass nur minimale Delays auftreten und eine sinnvolle Auslastung aller CuDA erreicht wird.

Besonders die SHDSL-Technologie bietet sich für den Bonding-Betrieb an. Durch die Verwendung von TC-PAM-32 auf einer CuDA werden heute gemäß der G.SHDSL.bis-Spezifikation schon 5,7 Mbit/s bei einer durchschnittlichen Reichweite von ca. 2,5 km erreicht. Gleichzeitig wird an noch höherwertigen Varianten gearbeitet. In Kürze werden beispielsweise TC-PAM-64/128-Lösungen mit bis zu 15,3 Mbit/s über kurze Entfernungen verfügbar sein. Doch dem symmetrischen DSL sind Grenzen gesetzt. Zwar wird für die Übertragung ein relativ niedriger Frequenzbereich (< 400 kHz) verwendet, was generell eine geringere Dämpfung der Leitungssignale beinhaltet und zu höheren Reichweiten führen sollte, doch werden signifikante Steigerungen der Datenrate durch vorstehend genannte höherwertige PAM-Verfahren nur auf kurzen Strecken wirksam.

Der Einsatz des Bonding-Betriebs schafft hier Abhilfe. So werden beispielsweise bei einer gleichzeitigen Verwendung von 4 CuDA symmetrische Datenraten von bis zu 22,8 Mbit/s möglich.

Bonding kann somit zur Steigerung der Datenrate und Reichweite beitragen, setzt jedoch voraus, dass auf Netzwerk- und Teilnehmerseite geeignetes Equipment zum Einsatz kommt und ausreichend freie CuDA zur Verfügung stehen. Besonders die Anbindung von Geschäftskunden stellt ein Marktpotenzial dar, wobei für hohe Datenraten erhebliche Kosten pro Monat anfallen (> 10 Mbit/s ab 600 € [7]).

3.3 Einsatz von Phantom-Kreisen

Der Bedarf an zusätzlichen Sprachkanälen im Fernsprechnetz führte Anfang des 20. Jahrhunderts dazu, dass nach Wegen für eine Mehrfachausnutzung vorhandener CuDA gesucht wurde. Eine Möglichkeit, die Anzahl der Sprachkanäle mit minimal technischem Aufwand zu steigern, bestand im Einsatz sogenannter Phantom-Kreise.

Das Prinzip von Phantom-Kreisen beruht darauf, dass zwei vorhandene Sprachkanäle (Side Channels) zusätzlich als Hin- bzw. Rückleiter für einen dritten Übertragungskanal genutzt werden (Abbildung 2).

Im Kabelbündel mit N Kupferdoppeladern kann diese Mehrfachausnutzung so eingesetzt werden, dass sich zusätzlich N-1 neue Sprachkanäle generieren lassen, was fast einer Verdoppelung der Kapazität entspricht.

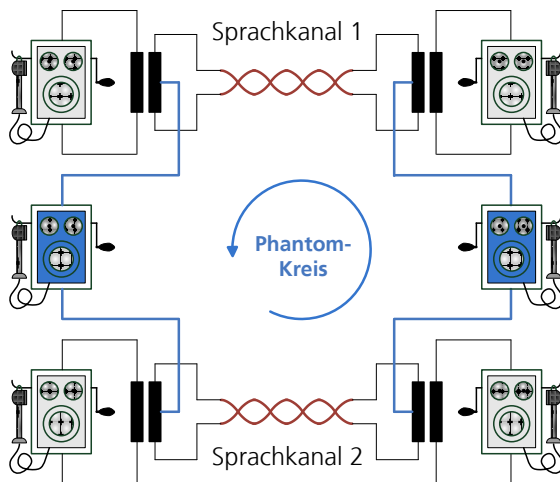


Abbildung 2: Prinzip des Phantom-Kreis

In den letzten Jahrzehnten führten der Aufbau einer modernen Infrastruktur sowie der Einsatz neuer Übertragungstechniken dazu, dass der Phantom-Kreis zunehmend an Bedeutung verlor. Bis heute ist das zugrunde liegende Prinzip nahezu in Vergessenheit geraten.

Ähnlich wie vor fast einem Jahrhundert müssen heute wieder Wege gefunden werden, die Übertragungs-Performance in nicht glasfaserversorgten Gebieten ohne aufwendige und teure Infrastrukturmaßnahmen zu steigern. Da sich das damals genutzte Teilnehmeranschlussnetz nicht grundlegend verändert hat, ist die Frage interessant: Können Phantom-Kreise auch für die DSL-Übertragung genutzt werden, und führt deren Einsatz zu einer Erhöhung der heute erreichbaren Datenrate und Reichweite?

Auch wenn der Phantom-Kreis keine „eigenen“ Leitungen nutzt, wird doch mit Hilfe von bereits verwendeten Doppeladern ein reales Signal übertragen. Auf den ersten Blick scheint diese Vorgehensweise aufgrund zu erwartender gegenseitiger Störungen abwegig zu sein. Beschäftigt man sich jedoch genauer mit den zugrunde liegenden Übertragungswegen im Phantom-Kreis wird deutlich, dass gegenseitige Störungen aller drei Systeme im Idealfall ausgeschlossen sind. Eine wichtige Rolle spielt hierbei der Übertrager, der im normalen DSL-Betrieb Sende- und Empfangssignale trennt. Wird nun das über den Phantom-Kreis zu übertragende DSL-Signal an der Mittelanzapfung der Sekundärseite des Übertragers eines Side Channels eingespeist, löschen sich generierte Störanteile auf der Primärseite aufgrund entgegengesetzter Richtungen vollständig aus. Dieses

Auslöschen von Störanteilen findet sowohl auf der Sende- als auch auf der Empfangsseite statt, und lässt damit das Signal des Phantom-Kreis für beide Side Channels gänzlich unsichtbar erscheinen.

Das Verhalten von Phantom-Kreisen bei der Nutzung für die DSL-Übertragung wurde durch die Fraunhofer ESK ausführlich analysiert. Hierfür wurde ein Modell entwickelt, das das Verhalten von Phantom-Kreisen im Kabelbündel mit Hilfe mathematischer Funktionen beschreibt. Simulationen ermöglichten Aussagen zum Dämpfungs- und Nebensprechverhalten sowie zu erreichbaren Datenraten des Phantom-Kreis aber auch benachbarter DSL-Systeme. Im DSL & Access Test Lab der Fraunhofer ESK wurde anschließend ein Demonstrator aufgebaut, der den Betrieb von Phantom-Kreisen im realen Kabelbündel ermöglicht. Unter Einsatz der DSL-Verfahren VDSL2 und ADSL2+ wurde anschließend das Übertragungsverhalten des Phantom-Kreis mess-technisch untersucht. Simulationen und Messungen zeigten, dass der Einsatz von Phantom-Kreisen für die DSL-Übertragung sehr gut möglich ist. Messungen an realen Kabeln sowie mit aktuell eingesetztem Equipment zeigten darüber hinaus, dass erhebliche Performance-Steigerungen möglich sind. So konnten mit Hilfe der ADSL2+- bzw. VDSL2-Technologie Daten mit einer Geschwindigkeit von bis zu 75 % der jeweilig normalen DSL-Geschwindigkeit über einen Phantom-Kreis übertragen werden [8].

Da der Phantom-Kreis zwei Side Channels benötigt, bietet die Anwendung in Verbindung mit Bonding ein sehr gutes Einsatzgebiet. Ferner erscheint der Einsatz in Verbindung mit DSM vielversprechend und bietet Forschungspotenzial.

3.4 Steigerung der Energieeffizienz

Damit DSL auch in Zukunft wettbewerbsfähig bleibt, ist neben einer stetigen Performancesteigerung auch eine Senkung des Energieverbrauchs und somit der Betriebskosten notwendig.

Dabei könnte der netzseitige Verbrauch bereits jetzt durch den Einsatz des L2-Modus längst um nahezu ein Drittel gesenkt werden. Bei diesem mit dem ADSL2- und ADSL2+-Standard zusätzlich zum Normalbetrieb (L0-Modus) eingeführtem Power-Management-Modus wird im Gegensatz zu den stets auf voller Leistung laufenden aktuellen DSL-Zugängen die Sendeleistung des Systems bei

ruhender Kommunikation reduziert und damit auch dessen Stromverbrauch.

Trotz des hohen Einsparpotenzials, der bereits erfolgten Standardisierung und Implementierung sowie dessen Forderung im „Code of Conduct on Energy Consumption of Broadband Communication Equipment“ [9] wird der L2-Modus von keinem Netzbetreiber eingesetzt. Diese Ablehnung ist nicht unberechtigt, verursacht der L2-Modus doch nachweislich Verbindungsabbrüche bei benachbarten DSL-Systemen. Der Grund hierfür sind die von Leistungsschwankung herrührenden nichtstationären Nebensprechstörungen mit Unterschieden von über 25 dB.

Bei eigenen Messungen konnte nachgewiesen werden, dass sich durch den Einsatz der bereits bekannten Verfahren des künstlichen oder virtuellen Rauschens die Störschwankungen abmildern und somit die Verbindungsabbrüche komplett vermeiden lassen [10]. So könnten Netzanbieter jährlich mehrere Gigawattstunden an Strom und damit allein in Deutschland pro Jahr 15 Millionen Euro Betriebskosten einsparen.

4. Fazit

Heute ist klar, dass der kupferbasierte Netzzugang (DSL-Technologie) langfristig durch deutlich leistungsfähigere Glasfaseranbindungen ersetzt wird. Für Wirtschaft und Gesellschaft ist diese Entwicklung von essentieller Bedeutung, so dass eine schnellstmögliche Umsetzung anzustreben ist.

Aufgrund der mit dem Ausbau verbundenen Kosten wird dieser schrittweise durch die Annäherung der optischen Übertragungsstrecke an die TLN vollzogen. Der flächendeckende Ausbau wird sich so über eine lange Zeitspanne erstrecken. Experten sprechen von bis zu 20 Jahren, in denen unterschiedliche FTTx-Lösungen eingesetzt werden.

Während dieser Zeit wird sich der Bedarf an Datenrate und Reichweite stetig vergrößern, so dass für die verbleibenden kupferbasierten Übertragungswege eine hochbitratige Lösung benötigt wird. Dieser Bedarf kann kostengünstig nur mit Hilfe der DSL-Technologie abgedeckt werden. Die ständige Verbesserung der DSL-Technologie (z. B. DSM) bietet schon heute Datenraten, die jede bekannte Anwendung ermöglichen. Auch Reichweitenverbesserungen werden heute bereits mit unterschiedlichen Lösungen (z. B. Bonding,

Repeater, Steckmodul zur Störunterdrückung [11]) erzielt.

Vor diesem Hintergrund scheint klar, dass die DSL-Technologie sowie auch deren Weiterentwicklung in den nächsten 20 Jahren von enormer Wichtigkeit sein werden.

5. Literatur

- [1] ITU-T (Hrsg.): *Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2): ITU-T Recommendation G.993.2*, 2006.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (Hrsg.): *Breitbandstrategie der Bundesregierung*. Berlin, Februar 2009.
- [3] Neumann, K.-H.: *Warum gibt es in Deutschland kein FTTx?* Wik Newsletter 67, Juni 2007.
- [4] Oswald, E.; Leibiger, M.: *Messungen zur Netzverträglichkeit in typischen VDSL2-Szenarien*. In: ITG-Fachbericht 204. Berlin: VDE-Verlag, 2007, S. 61-64.
- [5] Spruyt, P.: *Decreasing the OPEX of Remote xDSL Architectures: Line stability is key*. Broadband World Forum Europe 2007, Berlin, 08. Oktober 2007.
- [6] Cioffi, J. M. ; Jagannathan, S.; Mohseni, M. ; Ginis, G.: *CuPON: the Copper alternative to PON 100 Gb/s DSL networks*. In: IEEE Communications Magazine 45 (2007), Nr. 6, S. 132-139.
- [7] Minnerup, W.: *SDSL für Geschäftskunden*. In: funkschau (2009), Nr. 19, S. 28-30.
- [8] Oswald, E.: *Application of a phantom circuit for xDSL communications*. In: 13th International OFDM-Workshop, InOWo'08, Hamburg, 27.-28. August 2008.
- [9] Europäische Kommission (Hrsg.): *Code of Conduct on Energy Consumption of Broadband Equipment : Version 3*. Ispra, 18. November 2008.
- [10] Hildebrandt, G.: *Energieeinsparung bei DSL-Systemen verbessern*. In: ntz (2009), Nr. 5, S. 30-32.
- [11] Tzschoppe, R. ; Huber, J. ; Herrmann, G.: *Aktive Kompensation des Nebensprechens bei der DSL-Übertragung*. In: ITG-Fachbericht 197. Köln: VDE-Verlag, 2006, S. 49-55.