

Führungsposition verteidigt

Für hohe Bandbreiten sind neue xDSL-Generationen erste Wahl

Andreas Bluschke,
Michael Matthews,
Philipp Rietzsch

Die bisherige xDSL-Entwicklung wurde durch den stetig wachsenden Bandbreitenbedarf der Teilnehmer geprägt und wird auch zukünftig davon getrieben werden. Nun schon seit vielen Jahren wächst der Vorsprung der xDSL-Technik bei der Zahl der Teilnehmer gegenüber dem Kabelmodem. Auch wenn es weltweit große regionale Unterschiede bei den xDSL-Teilnehmeranschlüßleitungen gibt, hält dieser Trend ungebrochen an.



Den Beitrag in der ausführlichen Originalfassung einschließlich Literaturverzeichnis finden Sie unter www.NET-im-web.de/pdf/Bluschke-xDSL.pdf

Dr. Andreas Bluschke ist einer der Geschäftsführer der Teleconnect GmbH in Dresden; Michael Matthews ist als Entwickler bei der Teleconnect GmbH tätig; Philipp Rietzsch (HTW Dresden) schreibt gegenwärtig seine Masterarbeit bei der Teleconnect GmbH

Die Erfolgsgeschichte von DSL (Digital Subscriber Line) wird allein schon daran deutlich, daß in den zwölf Monaten bis zum 30. September 2006 hierzulande 3,1 Mio. neue xDSL-Teilnehmer dazukamen.

Inzwischen sind bereits mehrere Generationen von xDSL-Techniken im Einsatz. Im Beitrag wird der Schwerpunkt auf die dritte Generation der asymmetrischen Techniken gelegt, d.h. auf ADSL2+ und VDSL2 (Asymmetric DSL bzw. Very High Bitrate DSL). Die dritte Generation der symmetrischen Techniken – Enhanced Single Pair High Bitrate DSL (ESHDSL) – hat bisher nur eine relativ geringe Marktdurchdringung erreicht, was daran liegt, daß symmetrische xDSL-Techniken hauptsächlich auf die Bedürfnisse der (zahlungskräftigen) Geschäftskunden zugeschnitten sind. Deren Zahl ist im Verhältnis zu den Privatkunden, die hauptsächlich asymmetrische xDSL-Techniken anwenden, sehr niedrig. Wenn man die in der Literatur verfügbaren Angaben zum weltweiten Marktanteil von symmetrischen xDSL-Techniken auswertet, stellt man fest, daß ihr Anteil im einstelligen Prozentbereich liegt. Fast alle Entwicklungstendenzen für die sym-

metrischen xDSL-Techniken, die in NET 10/2003, S. 28, vorhergesagt wurden, haben sich in den letzten Jahren bestätigt. Doch verspüren ESHDSL und SHDSL derzeit einen Aufwind, was insbesondere der Fähigkeit zum Überbrücken großer Entfernungen durch den Einsatz von standardisierten Zwischenregeneratoren zuzuschreiben ist.

ADSL2+

ADSL der dritten Generation – also ADSL2+ – befindet sich seit 2005 in der Markteinführungsphase. Mittlerweile werden auf dieser Technik basierende Dienste von vielen Anbietern zur Verfügung gestellt.

Die Kanäle für den Datentransport vom und zum Teilnehmer sind bei den asymmetrischen Techniken in verschiedene Frequenzbänder aufgeteilt. Der Kanal vom Teilnehmer zur Vermittlungsstelle wird Upstream (US) genannt, der Kanal von der Vermittlungsstelle zum Kunden Downstream (DS). Frequenzgetrenntlage bedeutet in diesem Zusammenhang, daß US und DS mittels Filter voneinander getrennt und somit separat bearbeitet werden können (Echokompensation ist zwar auch möglich, wird aber kaum genutzt). Eine (spektrale) Vermischung der beiden Teilbänder ist somit ausgeschlossen. Der Sender (von seiten des Teilnehmers betrachtet) kann nur im US senden, der DS wird davon unabhängig in einem eigenen Frequenzband empfangen. Für die Amtsseite gilt dies entsprechend umgekehrt.

Die Frequenzbänder für US und DS sind in Unterträger zu je 4,3125 kHz eingeteilt, deren Anordnung vom jeweiligen Einsatzland bzw. Netzbetreiber abhängig ist. Man spricht in diesem Fall von Band- oder Frequenzplänen. Sie werden gemeinhin Annexes genannt, da sie im jeweiligen Stan-

Das Thema in Kürze

Die vor vielen Jahren mit Vorschublorbeeren gestartete xDSL-Technik hat die in sie gesetzten Erwartungen inzwischen mehr als erfüllt. Sie hat sich weltweit zur erfolgreichsten leitungsgebundenen Technik für den Teilnehmeranschluß entwickelt. Ist nun ein Ende der Erfolgsgeschichte durch Konkurrenztechniken abzusehen? Der Beitrag erläutert die neuesten Generationen von DSL, die aller Voraussicht nach den Markterfolg auch weiter sichern werden.

dard in den Anhängen (engl. Annex) definiert sind (einen Überblick zeigt *Bild 1*). In Deutschland wird z.B. der von der ITU-T im Standard G.992.1 definierte Annex-B-Typ von ADSL verwendet. Bei Annex B wird ISDN BRA zugrundegelegt. Der US-Kanal reicht von Träger 32 bis 64 (die Träger werden von Trägernummer 1 mit 4,3125 kHz fortlaufend hochgezählt) und überdeckt somit einen Frequenzbereich von 138 bis 276 kHz. Der DS-Kanal schließt sich diesem an, für Annex B von Träger 65 bis 255 (ca. 0,280 bis 1,104 MHz) für ADSL und ADSL2 und von 65 bis 512 (ca. 0,280 bis 2,208 MHz) für ADSL2+. Alternativ dazu kommt in anderen Regionen der sogenannte Annex-A-Typ von ADSL zum Einsatz, u.a. in den USA. Hier werden Kanal 6 bis 31 für den US und Kanal 32 bis 255 (bis 512 für ADSL2+) für den DS belegt. Annex A legt die analoge Telefonie (POTS – Plain Old Telephone Service) im Basisband (unterer Frequenzbereich) zugrunde. Des weiteren sind Annex L und Annex M zu erwähnen. Als Annex L wird der sogenannte Reach Extended Mode bezeichnet. Im Prinzip handelt es sich dabei um Annex A, es wird jedoch durch gezieltes Ausblenden von benachbarten Trägern eine Maximierung der Reichweite bei Verringerung der möglichen Bitrate erreicht.

xDSL-Simulator

Um die bei xDSL geltenden Zusammenhänge zu verstehen und deuten zu können, bedarf es umfassender mathematischer Modelle und leistungsfähiger Simulationswerkzeuge. Dem an xDSL-Simulationen interessierten Leser sei der *xDSL-Simulator* des Telekommunikationstechniklehrstuhls der Fakultät für Elektrotechnik der Böhmisches Technischen Universität (CVUT) in Prag empfohlen, der unter der URL <http://matlab.feld.cvut.cz/en/> frei zugänglich ist. Neben SHDSL und ADSL ist er auch für ADSL2+ und VDSL2 verwendbar. Mit wenigen Mausklicks können die erreichbaren Bitraten unter Berücksichtigung verschiedenster Rauschmodelle ermittelt werden.

Annex M ist eine Erweiterung von Annex A mit dem Ziel, höhere US-Bitraten zu Lasten der DS-Bitrate bereitzustellen zu können. Dies wird erreicht, in-

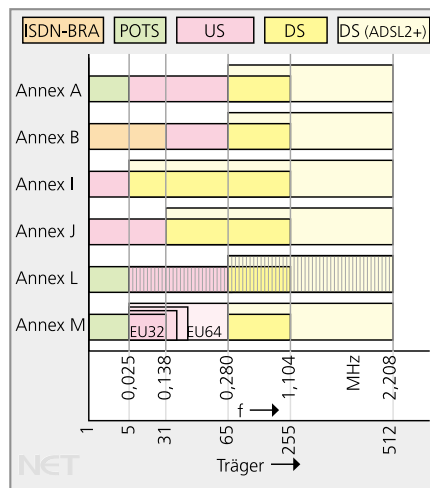


Bild 1: Übersicht der Annexes der DSL-Varianten ADSL, ADSL2 und ADSL2+ im Betriebsmodus Frequenzgetrenntlage

dem für den US beispielsweise Träger 6 bis 64 und für den DS Träger 65 bis 255 (bis 512 für ADSL2/2+) benutzt werden.

Annex I und Annex J sind All-Digital-Modes, das bedeutet, daß keine Telefonfunktionen im Basisband zugrundeliegen. Das komplette Frequenzband kann für ADSL benutzt werden. Annex I orientiert sich bezüglich der Lage der Unterträger an Annex A. Der DS beginnt ab Träger 32. Bei Annex J liegt Annex B zugrunde, der DS beginnt hier ab Träger 65. Dadurch läßt sich zum Beispiel mit dem Erhöhen der US-Bitraten ein symmetrischer Betrieb von ADSL mit gleicher US- und DS-Bitrate in der Größenordnung von 1 Mbit/s realisieren (quasi „SADSL“). Wie erwähnt, befindet sich ADSL2+ in der Markteinführungsphase, wobei in Deutschland die alternativen Anbieter eine Vorreiterrolle spielen. Die T-Com stieg mit ADSL2+ erst im Mai 2006 mit dem Angebot T-DSL 16.000 ein.

VDSL2

VDSL2 ist der neueste xDSL-Standard für die Breitbandkommunikation auf Basis von Kupferdoppeladern. Er kann als „Kombination“ von VDSL (bzw. VDSL1) und ADSL2+ betrachtet werden und wurde u.a. entwickelt, um sogenannte Triple-Play-Dienste, also

Sprache, Daten und Video (z.B. in Form von hochauflösendem Fernsehen – HDTV), simultan über eine TAL übertragen zu können. VDSL2 soll es den Netzbetreibern mittels Fall-Back-Modus für den Betrieb mit ADSL/ADSL2/ADSL2+ ermöglichen, flexibel und kostenoptimiert die bestehende Infrastruktur zu aktualisieren. Mit kurzen TAL können den Teilnehmern Bitraten von bis zu 100 Mbit/s sowohl in US- als auch in DS-Richtung angeboten werden. Das bedeutet im Vergleich zu ADSL (max. 8 Mbit/s DS) und ADSL2+ (max. 24 Mbit/s DS) eine erheblich höhere Bitrate; bei längeren TAL nähern sich die Bitraten von VDSL2 allerdings denen von ADSL2+ an. Somit kann aus Sicht der Netzbetreiber und der Teilnehmer eine Aufrüstung bestehender Infrastruktur mit der VDSL2-Technik nur eine Verbesserung der Versorgungssituation darstellen.

Bei der Datenkommunikation mit VDSL2 erfolgt die Übertragung der Nutzdaten ebenfalls in dedizierten Teilen des Spektrums der TAL. Das gesamte zur Übertragung nutzbare Spektrum wird in Teilbereiche für den US und den DS aufgeteilt, die getrennt voneinander behandelt werden. Die eigentliche Modulation der Nutzdaten erfolgt, wie auch bei ADSL und deren Nachfolgern, mit der Discrete Multitone Technology (DMT). Bei VDSL2 unterscheidet man zwischen Bandplänen und Profilen. Bandpläne unterteilen das gesamte zur Datenübertragung bereitstehende Frequenzspektrum in einzelne Bereiche für den US und den DS (Festlegung von Grenzfrequenzen). Ein Profil beschreibt erweiterte Einstellungen der Übertragungscharakteristik, zum Beispiel die Anzahl der zu verwendenden DMT-Träger und deren Abstand zueinander.

Es können für einen Bandplan unterschiedliche Profile zur Auswahl stehen. Eine klare und übersichtliche Unterteilung der Bandpläne, wie bei ADSL mit den Annexes, ist bei VDSL2 nur schwer möglich, weil es sehr viele Varianten gibt.

Der Standard ITU-T G.993.2 wurde im Februar 2006 verabschiedet. Ein Amendment 1 soll vermutlich Anfang

dieses Jahres veröffentlicht werden. Für die regionalen Besonderheiten (Nordamerika, Europa, Japan) sind entsprechende Annexes zum Standard G.993.2 vorgesehen, die die zu verwendenden Bandpläne bzw. Profile definieren; auch von der T-Com sind neu vorgesehene Bandpläne bekannt. Neben der Anzahl der DMT-Träger und deren Abstand wird in einem VDSL2-Profil

auch die maximale Sendeleistung des DSLAM für den DS vorgegeben. Die maximal mögliche Bitrate wird als Summe von US und DS angegeben. Man unterscheidet acht Profile; sie wurden bereits in NET 4/06, S. 45, gemeinsam mit den Bandplänen aufgeführt. Es soll an dieser Stelle ergänzend nur auf die im *Bild 2* zusammenfassend gezeigten Sendepiegel ver-

schiedener VDSL2-Profilen hingewiesen werden. Dargestellt ist der jeweilige maximale Sendepiegel in Abhängigkeit vom verwendeten Profil. Im unter-

Merkmale	VDSL(1)	VDSL2	Vorteil von VDSL2
Maximale spektrale Bandbreite	12 MHz	30 MHz	ermöglicht über 100 Mbit/s bidirektional auf kurzen TAL
Trellis-/Viterbi-Kodierung	nein	zwingend	höhere Bitrate/Reichweite
Echokompensation	nein	ja	höhere Reichweite
ADSL-Kompatibilität	nein	ja	Migrationspfad von ADSL
DS-Sendeleistung	14,5 dBm	max. 20 dBm	höhere Störfestigkeit
Diagnostik-Modus	nein	ja	ermöglicht SELT und DELT

Vergleich ausgewählter Merkmale von VDSL(1) und VDSL2

ren Frequenzband sind ergänzend ADSL nach ITU-T G.992.1 bis 1,1 MHz und ADSL2+ nach ITU-T G.992.5 bis 2,2 MHz dargestellt.

Deutschland gehört durch den VDSL2-Ausbau der T-Com hier gegenwärtig zu den führenden Ländern. Ursprünglich zur Fußball-WM 2006 geplant, wird nun mit der Fußball-Bundesligasaison die aktive Vermarktung

des entsprechenden Angebotes T-Home vorangetrieben. Gegenwärtig – so Pressesprecher Frank Domagala auf NET-Anfrage – habe man zehn Anschlußbereiche, entsprechend zwölf Städte, erschlossen, womit technisch rund sechs Millionen Haushalte erreicht werden könnten. Zahlen zu den Teilnehmern, die T-Home beauftragt haben, kommuniziert man derzeit jedoch noch nicht.

Das Projekt ist wegen der von den Wettbewerbern „Regulierungsferien“ genannten Entscheidung der Bundesregierung allerdings bis heute nicht aus den Schlagzeilen gekommen.

Im folgenden sei auf einige technische Herausforderungen hingewiesen, die man beachten muß, wenn man Aussagen zu Möglichkeiten des VDSL2-Netzaufbaus und zur VDSL2-Performance machen will.

Da sind zunächst die Sticheleitungen zu nennen, deren Einfluß nicht unterschätzt werden darf. Bei wachsenden Frequenzen kann sich deren Einfluß auf die Signaldämpfung erheblich erhöhen, wenn die Länge der Stichelei-

tung „ungünstig“ ist. So kann man aus *V. Friedman: VDSL Technology Issues – An Overview. Analog Dialogue 34-5 (2000)* und *F. Ramirez-Mirale: VDSL At-A-Glance. www.comsoc.org/oeb/Past_presentations/VDSL_AT_A_GLANCE.pdf* entnehmen, daß bei einzelnen Frequenzen, die im von VDSL2 genutzten Bereich liegen, zusätzliche Signaldämpfungen bis zu 20 dB möglich sind. Als Ergebnis können sich die US- und DS-Bitraten erheblich reduzieren. In *J. Wahl und Ch.Powers: How to avoid the Perils and Pitfalls of Bringing VDSL2 Home. www.aware.com/company/images/OSP0806_Perils%20Article.pdf* ist ein Beispiel aufgeführt, das sehr gut zeigt, welchen Einfluß Stichleitungen auf die erreichbaren Bitraten haben können. So beträgt in dem Beispiel bei einer Länge der TAL von 2 kft (etwa 600 m) die DS-Bitrate 57,1 Mbit/s und die US-Bitrate 23,4 Mbit/s für den Fall, daß keine Stichleitung vorhanden ist. Wenn bei der gleichen TAL-Länge eine Stichleitung von 10 ft (etwa 3 m) vorhanden ist, reduziert sich die DS-Bitrate auf 45,7 Mbit/s und die US-Bitrate auf 17 Mbit/s. Laut Aussagen der T-Com sind in ihrem Netz keine Stichleitungen vorhanden. Dies mag zutreffen, betrachtet man aber auch die Hausverkabelung, können Stichleitungen durchaus zum Problem werden, so daß sich der reale Einfluß in Deutschland erst zeigen wird.

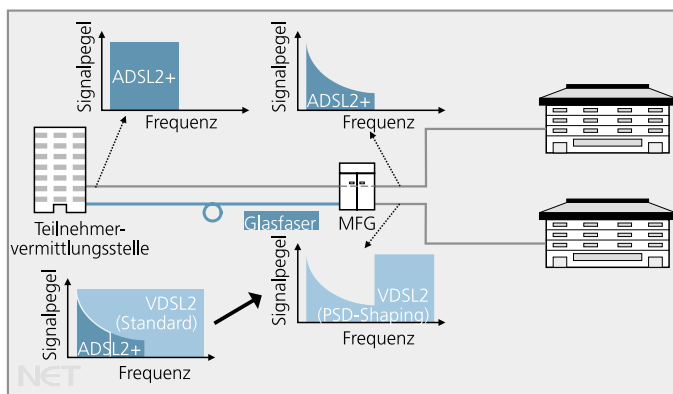


Bild 3: Darstellung von PSD-Shaping zur Gewährleistung der Koexistenz von ADSL2+ und VDSL2

Eine weitere nicht unerhebliche Herausforderung stellt generell die spektrale Verträglichkeit und im besonderen die Koexistenz von ADSL2+ und VDSL2 dar. Dazu muß man sich die Si-

tuation vor Augen führen, die mit der Unterbringung der VDSL2-DSLAMs in den sog. Multifunktionsgehäusen (MFG) entsteht. Dort, wo für den VDSL2-Netzausbau die MFG aufgestellt werden, gab es ursprünglich Kabelverzweiger (KVz), die später überbaut wurden. In den KVz gibt es keinerlei aktive Technik, und es mußten lediglich die Kupferdoppeladern des Hauptkabels mit den entsprechenden Kupferdoppeladern des Verzweigungskabels verschaltet werden.

Damit herrschen für alle TAL (egal ob die Dienste vom traditionellen oder alternativen Netzbetreiber angeboten werden) etwa die gleichen Nebensprechbedingungen. Durch die Installation der VDSL2-DSLAMs ändern sich die Nebensprechbedingungen im MFG. So stellt beispielsweise der VDSL2-Sender im MFG ein Störsignal für das ADSL2+-Signal eines alternativen Anbieters mit Sender in der Teilnehmervermittlungsstelle dar. Ohne spezielle Maßnahmen ist die ungestörte Koexistenz somit nicht zu gewährleisten, da das stärkere Signal das schwächere überlagert und eine Vermischung kaum zu vermeiden ist. Ein Lösungsansatz für dieses Problem ist das sog. PSD-Shaping, dessen Prinzip Bild 3 zeigt. Dabei wird der Sendepiegel des VDSL2-Signals im MFG entsprechend der Dämpfung des ADSL2+-Signals bzw. der Entfernung von der Teilnehmervermittlungsstelle reduziert. Eine dritte große technische Herausforderung ist nun auch aktuell gewor-

den: die Frage der Verteilung der hohen Bitraten im Haus. Mehrere alternative Übertragungsmedien stehen zur Auswahl, wie etwa POF (Polymer Optical Fiber; s. Beitrag auf S. 34 in

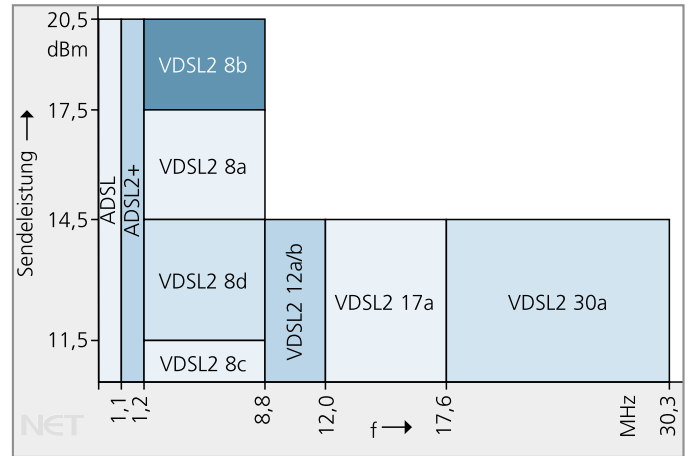


Bild 2: Sendepiegel verschiedener VDSL2-Profile

diesem Heft) mit der als FTT-TV (Fiber to the Television) vermarkteten Lösung von Infineon. Wenn man die Sachverhalte berücksichtigt, die im Zusammenhang mit dem VDSL2-Netzaufbau durch die T-Com bekanntgeworden sind – z.B. Kühlung der Einrichtungen in den MFG und damit verbundene Lärmbelastung, zu geringer Aderdurchmesser der TAL in neueren Verzweigungskabeln, Verschandelung der Stadtbilder mit „grauen Kästen“, Mitbenutzung der MFG zur Unterbringung von VDSL2-Technik alternativer Netzbetreiber –, kann davon ausgegangen werden, daß es künftig spannend sein wird zu beobachten, wie sich VDSL2 in der Praxis bewährt.

Prognosen

Ausgehend von der bisherigen Entwicklung der xDSL-Technik und den Prognosen der weltweiten xDSL-TAL-Entwicklung (2008: 240 Mio. bzw. 325 Mio.; 2010: 500 Mio.) kann man schlußfolgern, daß xDSL auch noch in den nächsten Jahren die Führungsposition unter den Zugangstechniken behaupten wird. Laut Studie „Deutschland Online 4“ beispielsweise wird die Zahl der Breitbandanschlüsse in Deutschland auf 21 Mio. im Jahr 2010 und auf über 27 Mio. im Jahr 2015 steigen. (we)