

Zukunftsfähiges Breitband

SHDSL – angemessene Datenrate bei großer Reichweite

Dennis Zoppke

Ausfallsicherheit, große Reichweite und einen hohen Datendurchsatz – das erwarten Unternehmen von einer zukunftsfähigen Breitbandtechnik.

SHDSL ist eine Lösung, die diesen Anforderungen gerecht wird. Der symmetrische Aufbau erlaubt eine gleichmäßige Verteilung von Down- und Uplink. Eine besondere Modulationstechnik sorgt bei SHDSL für Stabilität. Und mit ESHDSL ist über vier Adernpaare eine Bandbreite von bis zu 6 Mbit/s über eine Distanz von bis zu 8 km machbar.

Flächendeckende Breitbandanschlüsse zählen heute zur unverzichtbaren Infrastruktur, insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen. Deshalb müssen auch Gewerbe- und Industriegebiete außerhalb größerer Städte schnellstmöglich mit ausfallsicheren, stabilen Breitbandanschlüssen ausgestattet werden, die – abhängig vom Adernquerschnitt – Entfernungen von 6 bis 8 km überbrücken und Datenraten im Mbit/s-Bereich ermöglichen. Im Interesse einer schnellen Erschließung können diese Anschlüsse auf der vorhandenen CuDA-Infrastruktur (Kupferdoppelader) aufsetzen. Anders als Privatkunden versenden Unternehmen häufig große E-Mail-Anhänge, laden umfangreiche Datenmengen auf Server hoch oder führen mehrere Telefonate gleichzeitig. Deshalb müssen Down- und Uplink symmetrisch aufgeteilt sein. Zudem sollen die bisherigen E1-Anschlüsse in absehbarer Zeit abgeschaltet werden. Der Umstieg auf eine neue Lösung wird daher für viele Unternehmen in naher Zukunft unumgänglich. SHDSL bietet einen guten Weg, dem Symmetrieanspruch gerecht zu werden.

SHDSL – ADSL – VDSL

SHDSL erfüllt all diese Anforderungen (nach ITU-T G.991.2). Anders als ADSL und VDSL liefert diese DSL-Variante selbst in Entfernungen von einigen Kilometern noch adäquate Datenraten. SHDSL ermöglicht mehrere parallele Telefonverbindungen und ist sogar geeignet, mit Hilfe verschiedener Mechanismen (z.B. VPN-Tunnel) gesicherte Fernwirk-, Alarm- und Meldefunktionen zu übernehmen und über das öffentliche Datennetz auszuführen. Der wesentliche Unterschied zwischen SHDSL sowie ADSL und VDSL liegt im Aufbau: SHDSL ist symmetrisch, ADSL und VDSL sind asymmetrisch aufgebaut (Tabelle). Die Verteilung von

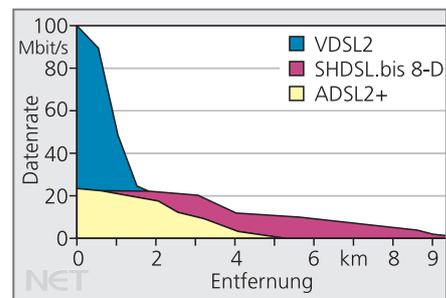


Bild 1: xDSL-Datenrate in Abhängigkeit von der Entfernung

Down- und Uplink erfolgt bei SHDSL zu gleichen Teilen. Diese Symmetrie ist wichtig für Anwendungsfälle, in denen viele parallele Sprachverbindungen aufgebaut werden müssen. Der Grund dafür: Telefongespräche fordern den gleichen Bandbreitenbedarf im Down- und Uplink. Dies ist z.B. der Fall bei Mobilfunkmasten und anderen abgelegenen Netzkomponenten eines Netzbetreibers sowie bei E1-Verbindungen.

Ausgezeichnete Leitungseigenschaften und minimale Entfernungen vorausgesetzt, ermöglicht der Standard ADSL2+ (nach ITU-T G.992.5) im Downlink eine Datenrate von bis zu 24 Mbit/s und im Uplink bis zu 1 Mbit/s. Mit seinen höheren Downlink-Raten eignet sich ADSL in erster Linie für den Privatkundenbereich. Denn der Download von Videos, Bildern und Website-Inhalten benötigt eine erheblich größere Bandbreite als einzelne Telefonverbindungen über VoIP oder der private E-Mail-Verkehr. VDSL2 (nach ITU-T G.993.2) kann vom Netzbetreiber theoretisch sowohl symmetrisch als auch asymmetrisch betrieben werden. Anders als bei ADSL kommen dabei mehrere einander abwechselnde Up- und Downlink-Bänder zum Einsatz. In welchen Frequenzbändern ein Down- und ein Uplink zu liegen haben, schreibt der Bandplan vor. Symmetrisch sind Bandbreiten von bis zu 100 Mbit/s (Profil 30 a) in jede Richtung denkbar. In der



NET-Abonnenten steht ergänzend zum Beitrag das umfangreiche Glossar im Heftarchiv 11/09 unter www.NET-im-web.de zur Verfügung.

Dennis Zoppke ist Product Manager bei Intec in Lüdenscheid

Praxis allerdings werden mit 25 Mbit/s im Down- und 5 Mbit/s im Uplink (Profil 8b) sowie 50 Mbit/s im Down-

	G.SHDSL bis	ADSL2+	VDSL2
Standard	ITU-T G.991.2	ITU-T G.992.5	ITU-T G.993.2
Vorläufer	IDSL, HDSL, HDSL2	ADSL, ADSL2	VDSL1
Aufteilung Down- und Uplink	symmetrisch	asymmetrisch	asymmetrisch
Synchronizität	asynchron	asynchron	asynchron
Übertragungstechnik	ATM, EFM	ATM	EFM
max. Datenrate (1 CuDA)	5,696 Mbit/s	25 Mbit/s	200 Mbit/s (30a)
sinnvolle Reichweite	7,6 km (2 CuDA)	4 km	1,5 km
Bonding	bis zu 4 CuDA	nein	nein
Bandbreite/Frequenz	bis 400 kHz	bis 2,2 MHz	bis 30 MHz
Modulationsart	16-/32-TC-PAM	DMT-QAM	DMT-QAM
Repeater-Einsatz (ZWR/SRU)	ja	nein	nein
Splittertechnik	nein	ja	ja
FEC	nein (TC)	ja	ja
EOC	ja	nein	nein

DSL-Varianten im Vergleich

und 10 Mbit/s im Uplink (Profil 17a) überwiegend asymmetrische Anschlussvarianten angeboten.

Bandbreiten und Frequenzspektrum

Dank seiner besonderen Modulationstechnik ist SHDSL deutlich stabiler und ausfallsicherer als ADSL und VDSL. Bei ADSL und VDSL lässt die verfügbare Bandbreite bereits ab einer Entfernung von einigen 300 m mit jedem Meter erheblich nach. Ab einer Distanz von 4 bis 5 km kann man daher nicht mehr von einem Breitbandanschluss sprechen. Auch die Gefahr von Verbindungsabbrüchen und Paketverlusten nimmt so stark zu, dass eine zuverlässige Nutzung nicht mehr gewährleistet ist. Die Abnahme der verfügbaren Bandbreite ist darin begründet, dass die Dämpfung der genutzten Töne nicht nur mit zunehmender Leitungslänge steigt, sondern auch von der Höhe der genutzten Frequenzen abhängt. Je höher die Frequenz, desto höher die Dämpfung. Bei ADSL2+ liegt die Grenzfrequenz bei 2,2 MHz. SHDSL dagegen kommt aufgrund seiner Modulationsart mit einer Grenzfrequenz von 400 kHz aus – weniger als einem Fünftel. Bei VDSL2 verkürzt sich die max. mögliche Leitungslänge noch eher. Das Profil 8b verwendet eine Grenzfrequenz von 8 MHz, das Profil 17a nutzt analog dazu 17 MHz und das Profil 30a 30 MHz. Weitere Unterscheidungsmerkmale: Anders als bei ADSL und VDSL han-

delt es sich bei SHDSL nicht um eine Splittertechnik. Da SHDSL das gesamte Frequenzspektrum beansprucht, kann das untere Frequenzband, das bei ADSL und VDSL für analoge oder ISDN-Telefonie reserviert wird, nicht für die Abkopplung von Sprach- und Datendiensten genutzt werden. Auch wurde bei der Spezifikation des SHDSL-Frequenzspektrums

darauf geachtet, dass es – wenn überhaupt – nur zu einem sehr geringen Übersprechen (Crosstalk) auf andere Verbindungen kommen kann. Es ist also möglich, in einem Kanalbündel SHDSL und andere DSL-Varianten ohne gegenseitige Beeinflussung zu führen.

Anwendbarkeit von SHDSL-Varianten

SHDSL lässt sich in drei unterschiedlichen Anwendungen betreiben. Für den Fall, dass nur eine digitale Standardfestverbindung (SFV), etwa ein E1-Anschluss, ersetzt wird, bietet sich das TDM-Verfahren an. Dieses Zeitmultiplexverfahren ermöglicht es, die verfügbare Bandbreite in 64-kbit-Zeitschlitze aufzuteilen und so simultan bis zu 36 B-Kanäle für die Telefonie zur Verfügung zu stellen. Dies ergibt sich aus der maximalen Bandbreite von 2,304 Mbit/s, die SHDSL zur Verfügung stellen kann. Es bietet somit vier B-Kanäle mehr als ein klassischer E1-Anschluss und verzichtet dabei auf eine komplette CuDA. Die Qualität der Telefonie über die B-Kanäle entspricht der von ISDN. SHDSL-TDM ist zwar nicht mehr ganz zeitgemäß, aber immer noch sehr verbreitet. Ein zweites wichtiges Verfahren ist ATM, dem – wie bei ADSL – ein asynchrones Zeitmultiplexing zugrundeliegt. Sender und Empfänger können also mit unterschiedlichen Taktraten laufen. Durch den forcierten ADSL-Ausbau verwenden bereits weite Teile

des Backbone eine ATM-Schicht, um den zum einen Teil paketvermittelten (IP) und zum anderen Teil leitungsvermittelten (z.B. ISDN) Datenverkehr optimal mit nur einer Übertragungstechnik zu transportieren. Dies ermöglicht die ATM-Technik, indem eine Zwischenschicht mit Zellen fester Größe (exakt 53 byte) zwischen der Bitübertragungs- und der Sicherungsschicht eingeführt wurde. Diese Zellen werden dann mit den ankommenden Daten beladen und mit Hilfe des AAL, einer speziellen Anpassungsschicht, priorisiert. Daten, etwa IP-Pakete, werden in AAL5 und Sprache in AAL1 oder 2 transportiert. So ist sichergestellt, dass die Sprachinformationen nicht zugunsten der IP-Pakete warten müssen. Art, Dauer und weitere Übertragungsinformationen werden in dem 5 byte großen Header hinterlegt, so dass sich der Nutzwert der Zelle auf 48 byte reduziert. Das Verfahren bietet durch seine verschiedenen Managementfunktionen (OAM) und Anpassungsfähigkeiten (AAL) viele Vorteile. Allerdings entsteht durch die großen Datenmengen ein erheblicher Overhead. Dennoch ist das SHDSL-ATM-Verfahren, das über eine CuDA eine Bandbreite von bis 2,304 Mbit/s ermöglicht, immer noch das am weitesten verbreitete. Das aktuelle EFM-Verfahren hilft, den Overhead zu reduzieren und führt zu einer größeren Nettodatenrate. EFM gestattet es, Ethernet-Rahmen direkt zu übertragen, ohne sie in ATM-Zellen zu verpacken und ist in der IEEE 802.3ah spezifiziert. Das Verfahren macht sich die Tatsache zunutze, dass die aus dem Backbone kommendem IP-Pakete auf der letzten Meile einfach durchgereicht und beim Teilnehmer via Ethernet an die Endgeräte verteilt werden. EFM leitet die Ethernet-Rahmen direkt vom DSLAM zum Kundenmodem weiter und packt sie nicht in die kleineren ATM-Zellen. Das reduziert den Overhead, der durch zusätzliches Führen von Headern und das Ein- und Auspacken der Rahmen in ATM-Zellen bei jedem Datenaustausch anfällt. Derzeit sind noch alle drei Verfahren im Einsatz; viele Netzbetreiber migrieren aber bereits TDM und ATM zu EFM.

Bandbreiten-Tuning mit SHDSL.bis

Betrachtet man ATM und EFM, die bereits auf die symmetrische Übertragung von großen Datenmengen ausgelegt sind, entsteht der Eindruck, dass die Bandbreite von 2,304 Mbit/s im Vergleich zu den anderen DSL-Varianten verhältnismäßig gering ausfällt. Dieses Bild revidiert sich jedoch, wenn man berücksichtigt, dass die Datenrate durch Hinzunahme weiterer CuDA gesteigert werden kann.

Bei dieser Bündelung kommt ein „Byte Interleaving“ zum Einsatz, das dafür sorgt, dass die einzelnen Bits eines Datenpaketes über verschiedene Adernpaare übertragen werden. Das führt zu einer größeren Sicherheit gegenüber Burst-Fehlern. Schließlich stehen dort, wo bislang E1-Leitungen im Einsatz waren, mindestens zwei CuDA zur Verfügung, teilweise sogar vier. Betreibt man also vier Paare parallel, ergibt sich bereits eine beachtli-

che Datenrate von bis zu 9,216 Mbit/s.

Diese Bandbreite lässt sich sogar noch weiter steigern: Eine Erweiterung des bestehenden ITU-Standards G.991.2, auch ESHDSL genannt, erlaubt beispielsweise mit Hilfe Trellis-codierter Pulsamplitudenmodulation (wie z.B. 32-TC-PAM) eine Erhöhung der maximalen Bandbreite auf einer CuDA bis 5,696 Mbit/s. Bei acht Adern – also vier Paaren – ergeben sich so insgesamt 22,784 Mbit/s. Dieses Verfahren, das unter dem Arbeitstitel G.SHDSL.bis als sog. bis-Standard bezeichnet wird, wurde in den Anhängen Annex F und Annex G in der G.991.2 von der ITU normiert. Mit ESHDSL ist es bei idealen Leitungsbedingungen möglich, eine Bandbreite von bis zu 6 Mbit/s in einer Entfernung von 8 km sicherzustellen. Gerade diese Leistungssteigerung macht SHDSL im Gegensatz zu ADSL und VDSL so attraktiv für die Anforderungen von Geschäftskunden.

Ursprung von SHDSL und Überblick der Modulationsarten

Das in der ITU-T G.991.2 definierte G.SHDSL, das dem durch die ETSI in der TS 101524 normierten SDSL gleicht, beerbt das auch bereits symmetrische HDSL2. HDSL2 war zwar bereits darauf ausgelegt, nur noch ein Adernpaar zu benutzen, konnte jedoch ohne Repeater nur eine maximale Datenrate von 1,544 Mbit/s über eine Strecke von ca. 3,5 km zur Verfügung stellen. Dies entspricht der Leistung eines T1-Anschlusses, dem US-amerikanischen Pendant zum europäischen E1-Anschluss. Ermöglicht wurde diese Datenrate des einpaarigen HDSL2 durch die hier zum ersten Mal bei DSL angewandte Trellis-codierte Pulsamplitudenmodulation (TC- oder UC-PAM), wie z.B. die 16-TC-PAM, bei der einem Symbol gleich mehrere Bits zugeordnet werden.

Im Gegensatz zu dieser 16-wertigen Pulsamplitudenmodulation steht die Pulsmodulation (PCM), die noch bei den Vorläufern des HDSL2 – HDSL und IDSL (ISDN DSL) – mit einer auch von ISDN bekannten 2B1Q-

(4 PAM) bzw. 4B3T-Line-Codierung eingesetzt wurde. Die Modulationstechnik der TC-PAM, die heute noch bei SHDSL zum Einsatz kommt, verzichtet, z.B. in Form der 16- bzw. 32-TC-PAM, zwar auf eine vorwärtsgerichtete Fehlerkorrektur (FEC), setzt aber dafür auf die Trellis-Codierung, die durch Hinzugabe von Redundanz auch eine Fehlererkennung ermöglicht und so für eine kontinuierlich stabilere, weniger fehleranfällige Leistungssteigerung sorgt, auch bei schwankender Leitungsbeschaffenheit. Das ist ein großer Vorteil, der SHDSL deutlich stabiler und somit ausfallsicherer macht als seine Vorgänger und die asymmetrischen ADSL- und VDSL-Varianten. Bei ADSL und VDSL kommt im Gegensatz zum oben erwähnten SHDSL-Modulationsverfahren das DMT (Diskrete-Multitone-Multiträgerverfahren) zum Einsatz. Es unterteilt das zugewiesene Frequenzband in einzelne Kanäle und moduliert mittels QAM (Quadraturamplitudenmodulation) die Bitinformationen.

Leistungssteigerung mit Repeatern und Bonding

SHDSL bietet aber noch weitere Vorteile. Der Einsatz von zwei Repeatern (SRU oder ZWR), die das Signal regenerieren und weiterleiten, ermöglicht

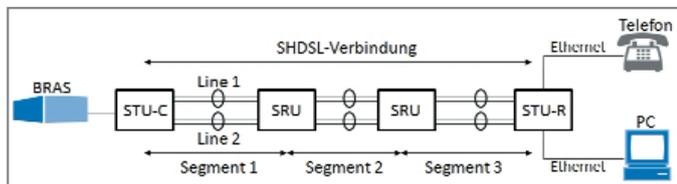


Bild 2: SHDSL-Anschluss-Schema



Bild 3: xDSL-Kombitester Argus 145 plus (Bilderquelle: Intec)

Leitungslängen von bis zu 24 km. Theoretisch sind sogar bis zu acht Repeater einsetzbar. Die Repeater werden in die Leitung eingebaut und unterteilen die Gesamtstrecke in bis zu neun einzelne Segmente, die jeweils für sich eine Art Einzelverbindung darstellen.

Die oben erwähnte gebündelte Nutzung von mehreren Adernpaaren macht sich im Allgemeinen das sog. Bonding mit Byte-Interleaving zunutze. Darüber hinaus kann bei SHDSL-ATM-Verbindungen das spezielle IMA-Verfahren und das bei EFM-Verbindungen nach IEEE 802.3ah definierte Bonding gewählt werden. Der Vorteil dieser Bündelungen liegt in einem erheblichen Stabilitätsgewinn. Fällt eine CuDA aus, erhalten die übrigen die Verbindung aufrecht. Durch diese beiden speziellen Verfahren stehen also, wenn ein Link ausfällt, immer noch bis zu drei weitere zur Verfügung. Ein nicht zu unterschätzender Vorteil – insbesondere bei sicherheitsrelevanten Fernwirk- und Alarmierungsverbindungen.

Test-Equipment für alle SHDSL-Varianten

Die Variantenvielfalt von SHDSL bringt viele Vorteile, führt aber auch zu einer höheren Komplexität, vor allem bei der Inbetriebnahme und Wartung von

Mehrpaarsystemen. Bei der Prüfung einer 2-, 4-, 8- oder in seltenen Fällen einer 6-Draht-Schnittstelle geraten einfache Messgeräte und Testhilfsmittel schnell an ihre Grenzen.

Geeignetes Test-Equipment unterstützt die Variantenvielfalt und simuliert dank umfangreicher Einstellungsmöglichkeiten die benötigten Netzkomponenten. Dies erfordert – anders als bei ADSL oder VDSL – gerade beim Repeater-Einsatz auf SHDSL-Strecken die Möglichkeit zum STU-R- und STU-C-Betrieb (Bild 2). Das Prüfgerät sollte in der Lage sein, auch die CO-Seite (Central Office), also den DSLAM, nachzubilden, um das auf der Remote-Seite installierte Modem oder einen Repeater zu überprüfen. Dabei sollte es in beiden Betriebsarten mit der Gegenseite synchronisieren können und das Ergebnis des Abgleichs zwischen STU-R und STU-C in einem Ergebnisprotokoll anzeigen können. In der Handshake-Phase (ITU-T G.994.1, G.hs) tauschen beide Seiten Capability-Listen aus und übermitteln darüber wichtige Verbindungsinformationen. Daneben sind auch Informationen über die Datenrate relevant, über die eventuell vorhandene Gleichspannung sowie über die bei der Verbindung auftretende Dämpfung und den Signal-Rausch-Abstand. Auch der Zugriff auf Fehlerzähler kann bei der Störungssuche förderlich sein. Idealerweise wertet das Messgerät außerdem Informationen aus dem EOC aus – einem speziellen Kanal zum Austausch von Verbindungsinformationen während der Verbindung zwischen CO- und Remote-Seite. Mittels Stationszählung sind so Rückschlüsse auf die Anzahl der auf der Strecke ein-

gesetzten Repeater möglich. Steht die SHDSL-Leitung, lassen sich letzte Zweifel an der Funktionstüchtigkeit der Verbindung über den Breitbandzugangsserver (BRAS) mittels PPPoE-Login ausräumen. Auf diese Weise können Datendienste einem Down- oder Upload-Test unterzogen werden. Sprachdienste können so z.B. durch Aufbau einer VoIP-Verbindung hinsichtlich ihrer Funktion und Quality of Service (QoS) untersucht werden.

Bislang gibt es am Markt nur einige wenige mobile Testgeräte, die die wichtigsten Informationen zur Verfügung stellen und so dem Techniker eine Menge Zeit sparen. Ein sehr umfangreiches SHDSL-Testspektrum bietet etwa der xDSL-Kombitester Argus 145 plus von Intec, der auch auf Dienstetests ausgelegt ist (Bild 3). Neben SHDSL verfügt er über Schnittstellen für ADSL und VDSL sowie ISDN und analog. Wieder andere Handheld-Testgeräte des Unternehmens unterstützen E1-Verbindungen, Qualitätsbeurteilungen von IPTV und sogar protokoll- und schnittstellenübergreifende Sprachqualitätstests.

Zukunftsfähige Lösung

Mit Hochdruck wird daran gearbeitet, SHDSL noch leistungsstärker, stabiler und sicherer zu machen. Seit kurzem wird eine neue EFM-Variante angeboten, die weiterentwickelte Analysemechanismen, Rauschunterdrückungstechniken und Fehlerkorrekturfunktionen mitbringt, um so für eine weitere Performance-Steigerung zu sorgen. Auch eine 128-TC-PAM für SHDSL, die „der alten Kupferdoppelader“ noch höhere Datenraten abtrotzen soll, ist schon in Sicht.

In SHDSL wird also massiv investiert – aus gutem Grund. Der Standard ermöglicht ausfallsichere, stabile Breitbandanschlüsse für Datenraten im Mbit-Bereich. Damit ist SHDSL die Lösung der Wahl, wenn es um eine zukunftsfähige Gestaltung des Breitbandnetzes für Unternehmen geht. Viele Netzbetreiber haben diesen Trend erkannt und bieten zu günstigen Konditionen unterschiedliche, auf die Kunden zugeschnittene SHDSL-Lösungen an. (bk)