

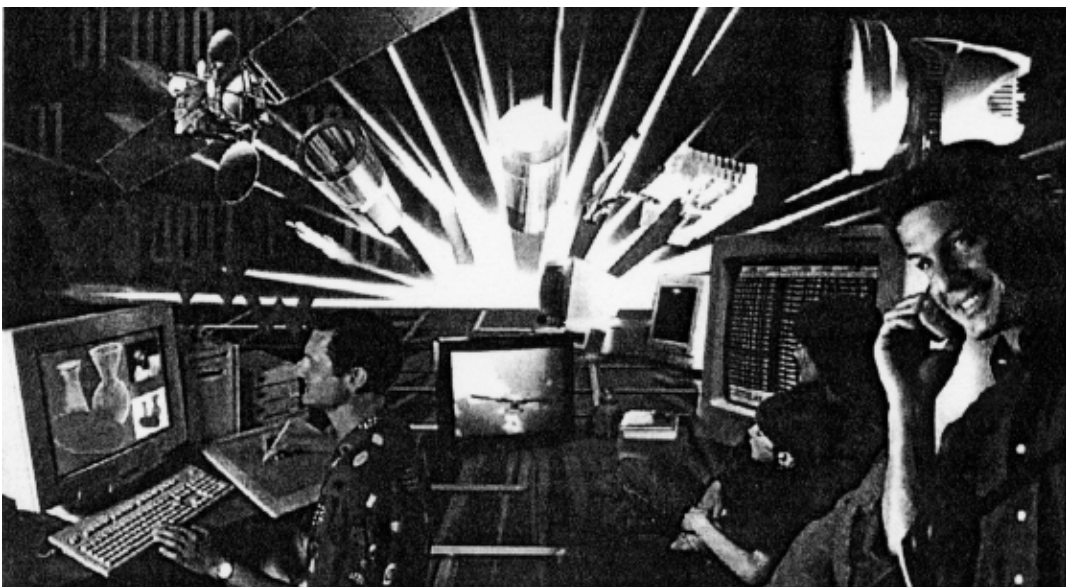
Elektor 10/99 Seite 28 bis 34, Autor: Dipl.-Ing. Gregor Kleine

ADSL

High- Speed-Internetzugang Bis zu 8 Mbit/s über die vorhandene Telefonleitung

Eine neue Technik erlaubt die Nutzung der normalen Kupferdoppelader zur hochratigen Datenübertragung:

Mit ADSL, der Asymmetric Digital Subscriber Line, erhalten Telekom-Kunden die Möglichkeit zur Geschwindigkeitsvervielfachung ihres Internetzugangs. Wir beschreiben hier die ADSL-Technik und die ADSL-Angebote, die heute schon zu haben sind.



Praktisch in jedem Haushalt gibt es einen Telefonanschluß in Form einer verdrehten Kupferdoppelader. Auf der Suche nach Möglichkeiten, höhere Datenraten zu den Endkunden zu bringen, ohne neue Leitungen oder Glasfasern verlegen zu müssen, wurden Untersuchungen durchgeführt, die die Eignung der vorhandenen Infrastruktur für Hochgeschwindigkeitsdatenübertragung aufzeigen sollten. Bereits vor über 10 Jahren begann man damit, die Grundlagen für die heutigen xDSL-Verfahren zu entwickeln, den Digital Subscriber Lines. Die DSL-Verfahren nutzen alle die vorhandene Kupferdoppelader, um mit einem breiteren Frequenzspektrum die Datenrate auf der Leitung zu vervielfachen. Heute ist ADSL, die Asymmetric Digital Subscriber Line, zur Marktreife entwickelt und wird in Amerika und hier in Europa bereits von den Telekoms und Netzbetreibern angeboten. Als Modulationsverfahren bei ADSL wurden CAP, die Carrierless Amplitude and Phase Modulation, und DMT (Discrete Multitone) diskutiert und untersucht. Ende 1997 wurde schließlich der ADSL-Standard T1.413 beim ANSI, dem American National Standards Institute, verabschiedet und die gegenüber CAP effizientere DMT-Modulation darin vorgesehen. Eine Erläuterung dieses Modulationsverfahrens folgt weiter unten.

ADSL in Kürze

ADSL steht für *Asymmetric Digital Subscriber Line*. Dabei meint 'Asymmetric' die Asymmetrie der Datenraten: Von der Vermittlungsstelle zum Endkunden spricht man von Downstream. ADSL erlaubt im Downstream bis zu 8 Mbit/s in Richtung zum Endkunden. Vom Nutzer zur Vermittlungsstelle können via ADSL maximal 1 Mbit/s übertragen werden. Das ist die Upstream-Richtung, da die Daten des Kunden praktisch gegen den Strom zum Vermittlungsknoten laufen müssen. Die genannten maximalen Datenraten werden in der Praxis jedoch nicht ganz erreicht, da auf der zu nutzenden Kupferdoppelleitung stets Störgrößen auftreten, die den Datendurchsatz teils erheblich vermindern. Man spricht von einem adaptiven Übertragungsverfahren, da sich die Datenrate an die Leitungsverhältnisse anpaßt. Und das geht bei ADSL sogar innerhalb einer laufenden Verbindung, wenn sich die Störgrößen (z.B. Übersprechen von einer anderen Telefonleitung im Bündel) verändern.

Die maximal nutzbaren Downstream- und Upstream-Datenraten hängen wie gesagt stark von den individuellen Gegebenheiten einer Anschlußleitung ab: Vor allem die Leitungslänge zur Vermittlungsstelle spielt eine entscheidende Rolle. Die durchschnittliche Entfernung zwischen Amt und Teilnehmer beträgt in Deutschland etwa 2km. Nur wenige Leitungen sind länger als 4km. Mit ADSL lassen sich bei bis zu 3 km Leitungslänge ohne weitere gravierende Störungen normalerweise 6 Mbit/s bis 8 Mbit/s übertragen. Ein weiteres Qualitätsmerkmal einer Teilnehmeranschlußleitung ist deren Leitungsquerschnitt. Zusammen mit der Verdrillung der Leitung ergibt sich eine konstante Leitungsimpedanz, die allerdings durch Spleiße, Übergänge auf andere Leitungsarten, Dosen und angeschlossene Endgeräte stark gestört werden kann. Dann vermindert sich die maximale Datenrate mehr oder weniger stark durch die nun auftretenden Signalreflexionen an den Stoßstellen. Nicht zuletzt die Qualität der Hausverkabelung entscheidet über die Geschwindigkeit, mit der eine Downstream Datenübertragung erfolgen kann. Auch spielt die Nutzung der im Bündel benachbarten Leitungen eine Rolle. Laufen dort ebenfalls ADSL-Übertragungen, so muß auf das Übersprechen zwischen den beiden Leitungspaaren geachtet werden. Bei nicht zu intensiver ADSL-Nutzung helfen hier gegebenenfalls Leitungsumschaltungen, um die Entkopplung der beiden ADSL-Trassen zu verbessern.

Anwendungsgebiete für die ADSL-Technik sind sämtliche Multimediadienste, heute vornehmlich selbstverständlich ein schneller Internetzugang. In den Pilotversuchen zu ADSL gab es Akzeptanzuntersuchungen aber auch zu Teleshopping, Tele-Learning, Video-On-Demand, Music-On-Demand und dergleichen mehr.

Das ADSL - Spektrum

Ein ADSL-DMT-Signal besteht prinzipiell aus einer großen Anzahl von modulierten Einzelträgern, die oberhalb des normalen Sprachbandes auf die Kupferdoppelleitung gebracht werden. Wie dieses Signal die Frequenzen belegt, zeigt Bild 1

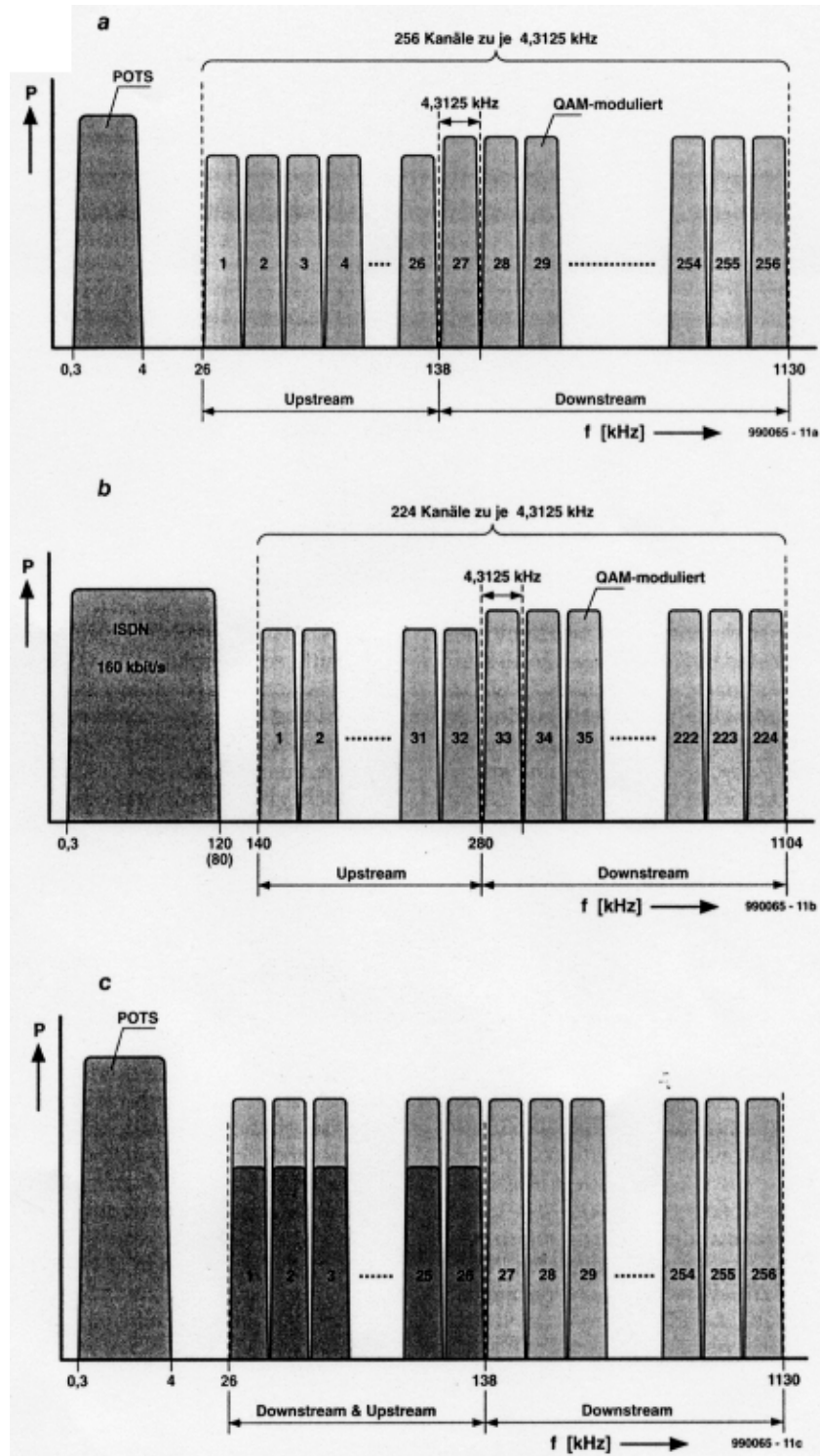


Bild 1 Spektrum von ADSL bei:

- a) Analogtelefonie (FDM-Betrieb)
- b) ISDN (FDM-Betrieb)
- c) Analogtelefonie (Betriebsart mit Echokompensation)

Die originale ADSL-Norm sieht vor, den Frequenzbereich zwischen 0 und 26 kHz für das bisherige Analogtelefon (POTS - Plain Ordinary Telephone Service) frei zu lassen. Neben dem Sprachband (300 Hz bis 4,3 kHz) finden sich hier auch solche Dinge wie der (deutsche) 16-kHz-Gebührenimpuls. Zwischen 26 kHz und 1,130 MHz liegen 256 Kanäle mit je 4,3125-kHz-Bandbreite. Auch die Mittenfrequenzen der Einzelkanäle liegen um 4,3125 kHz auseinander. Die Einzelträger des Up- und Downstreambereiches sind QAM-moduliert und tragen zwi-

schen 2 Bit/s pro Hz und maximal 15 Bit/s pro Hz. Die Zuteilung dieser Informationsrate ist adaptiv, d.h. während der Initialisierungsphase werden den Einzelträgern je nach im Übertragungskanal herrschenden Störabstand verschiedene QAM-Konstellationen (...‘ 64QAM, 32QAM, 16QAM, 8QAM, QPSK) zugeordnet. Je größer der Störabstand ist, um so höher die QAM-Konstellationsstufe und damit die Bit/s und Hz. Ein Einzelträger aus dem DMT-Signal kann also maximal knapp 64,7 kbit/s übertragen, was theoretisch eine Maximalkapazität von über 16 Mbit/s bei 256 Trägern ergibt. Man sieht, daß selbst bei optimalen Leitungsverhältnissen nur knapp die Hälfte dieser Kapazität nutzbar ist.

Wie gesagt, bei schlechten Leitungsverhältnissen oder relativ großer Anschlußleitungslänge wird die Bitbelegung eines Trägers, also die QAM-Modulationsstufe, beim Verbindungsaufbau soweit vermindert, daß eine sichere Übertragung mit diesem Träger noch zustandekommt. Es können sogar ganze Trägerbereiche im DMT-Signal fehlen, weil die entsprechenden Frequenzen z.B. wegen zu hoher Dämpfung oder lokalen Störern unbrauchbar sind. Die 8 Mbit/s werden in diesen Fällen natürlich nicht mehr erreicht.

Für die Zuordnung der Einzelträger zu Down- und Upstream gibt es nach der Norm zwei Möglichkeiten: Einerseits kann der relativ einfache FDM-Betrieb (Frequency Division Multiplexing, Bild 1a und Bild 1b) durchgeführt werden, bei der die Frequenzbereiche für Down- und Upstream getrennt sind. Die ersten 26 Träger bilden dann den Upstreamkanal. Träger 27 bis 256 tragen die Downstreamkanal. Als zweite Möglichkeit sieht die ADSL-Norm den Betrieb mit Echokompensation vor. Dabei teilen sich Downstream und Upstream einen gemeinsamen Frequenzbereich (Träger 1 bis 26). Durch die Gabelschaltung können dann Down- und Upstream aufgrund ihrer Senderichtung getrennt werden (Bild 1c). Dies führt natürlich zu einer höheren Kapazität des Downstream-Datenstromes, da die untersten 112 kHz des ADSL-Bandes die gut zu übertragenden Träger enthalten. Höhere Frequenzen werden stärker gedämpft. Damit dieses Verfahren gut funktioniert, ist ein Echoentzerrer notwendig, der Reste des jeweils anderen Datenstromes entfernt. Die ADSL-Norm nennt das letztgenannte Frequenzzuteilungsverfahren übrigens *Category 2 ADSL*.

Zwischen den niedrigen Trägern und den höheren können durch Dämpfungsverzerrungen Pegelunterschiede bis zu 50 dB auftreten, die die hochgezüchteten Kanalequalizer im ADSL-Modem noch auffangen müssen. Stärker gedämpfte Träger sind für die Datenübertragung unbrauchbar. Durch wechselnde Leitungscodierung (abhängig vom ausgemessenen Signal/Störverhältnis) und durch den Kanalequalizer können solch schwierige Verhältnisse doch noch zur Datenübertragung genutzt werden. Bild 2 zeigt schematisch einen möglichen Verlauf des S/N beziehungsweise der zugeteilten Bitrate über der Trägernummer (1...256).

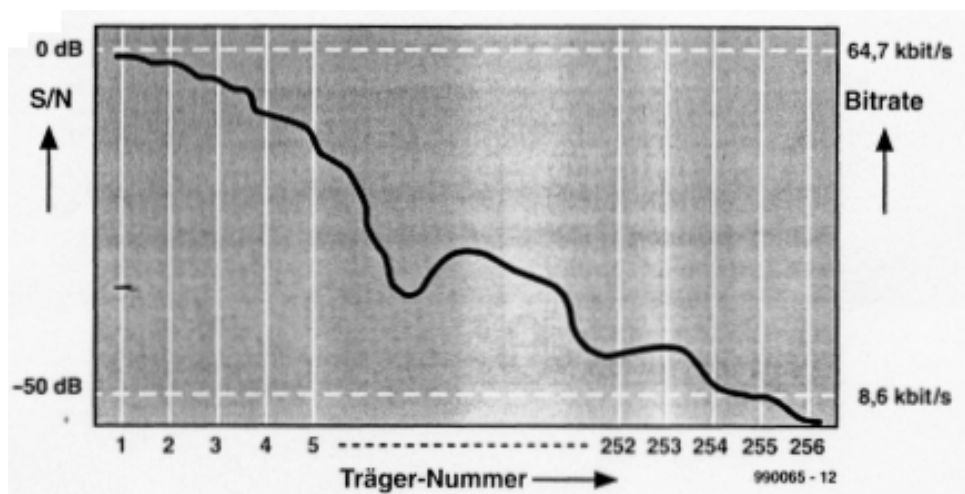


Bild 2 Bildverteilung abhängig vom Signal/Rauschverhältnis

ADSL und ISDN

Bild 1b zeigt die Verhältnisse bei Teilnehmern, die einen digitalen Telefonanschluß mittels ISDN betreiben. Das ISDN-Signal mit 2 x 64 kbit/s (128 kbit/s) reicht normalerweise bis 80kHz. In Deutschland belegt es sogar den Frequenzbereich bis 120 kHz. Um nun bei ISDN-Anschlüssen ebenfalls ADSL als Hochgeschwindigkeits-Erweiterung anbieten zu können, mußte ein Weg gefunden werden, ADSL-Signale mit ISDN kombinieren zu können. Eine Möglichkeit wäre es gewesen, ISDN und ADSL wechselweise je nach Bedarf zu nutzen. Dies hätte aber bedeutet, daß ISDN und ADSL nicht unabhängig voneinander wären und nicht gleichzeitig genutzt werden könnten. Deshalb entschloß man sich entgegen der Norm, das DMT-Signal erst bei 140 kHz beginnen zu lassen. Bei gleichen Trägerabständen und Modulationsbandbreiten (je 4,3125 kHz) hat man nur noch 224 Träger zur Verfügung. Diese Lösung wurde später als Annex B der ADSL-Norm festgeschrieben und so empfohlen.

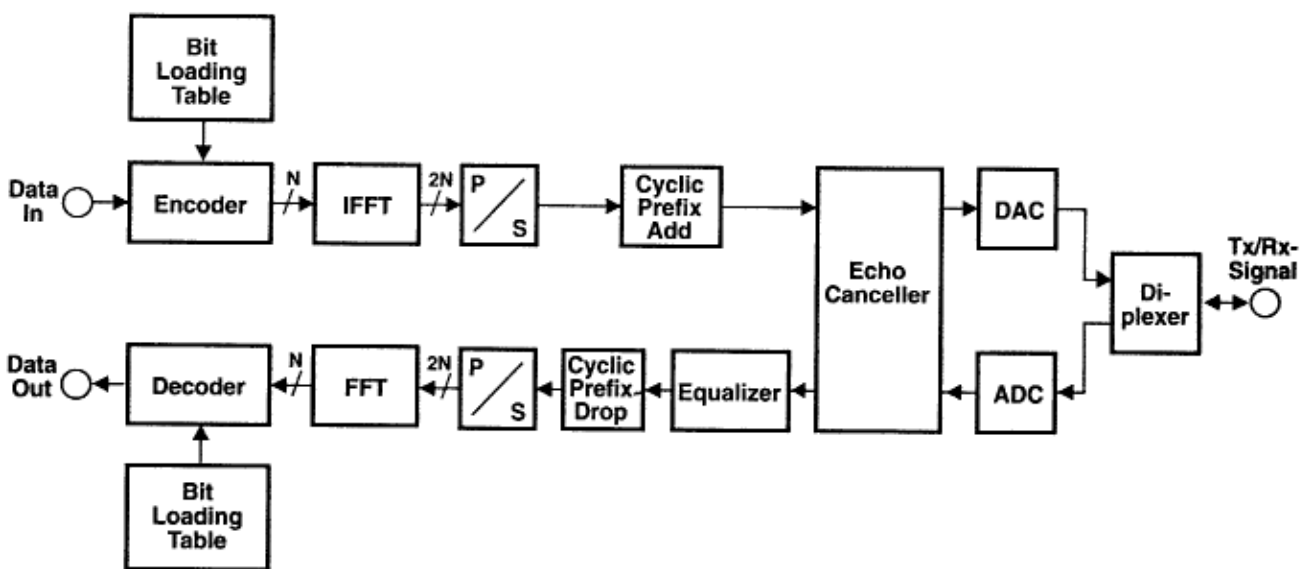


Bild 3 Blockschaltbild eines ADSL-DTM-Modems

Das Problem dieses Vorgehens im Falle ISDN war, daß die untersten Träger gemäß ADSL-Norm eigentlich beim Verbindungsaufbau zum Austesten der Leitung mittels Trainingssequenzen und zur Festlegung der Bitraten jedes einzelnen DMT-Trägers benutzt werden müssen. Da sie bei der gefundenen Lösung im Falle ISDN nicht mehr zur Verfügung stehen, hat man für diesen Fall abweichend vom ADSL-Standard die Verbindungsaufnahme auf neue Träger im Upstreambereich verlegt. Im Annex B ist dieses Verfahren ausführlich beschrieben.

Die niedrigen Träger benutzt man deshalb beim Verbindungsaufbau, weil sie am weitesten in der Teilnehmeranschlußleitung übertragen werden können, so daß mit ihnen eine sichere erste Verbindung zum ADSL-Modem eines möglicherweise weit entfernten Teilnehmers (3...4 km) möglich sein muß.

Aufbau der ADSL - Modems

Die bei ADSL zum Einsatz kommenden Modems haben eine Struktur, die in Bild 3 schematisch und vereinfacht gezeigt ist. Prinzipiell ist diese Schaltung auf der Seite der Vermittlungsstelle in gleicher Form vorhanden. Nur trifft man dort auf eine Ausführung, die mehrere Teilnehmer (z.B. vier) mit ADSL versorgt. Man spricht daher auch von einem DSLM, einem Digital Subscriber Line Multiplexer.

Die einlaufenden Daten (auf der Teilnehmerseite die Upstreamdaten, in der Vermittlungsstelle die Downstreamdaten) gelangen auf einen Encoder, der sie den N Trägern des DMT-Signals zuordnet. Dies geschieht aufgrund der beim Verbindungsaufbau festgelegten Bit Loading Tabelle, die aufführt, welcher Träger wieviel Bit/s zu transportieren in der Lage ist. Der Encoder nimmt auch noch eine Reed-Solomon-FEC (Forward Error Correction) vor. Die parallel vorliegenden Bits werden danach von einem IFFT-Baustein mittels inverser Fast Fourier Transformation bearbeitet. Damit erhält man aus dem N Bit breiten digitalen Frequenzabbild der einzelnen Träger das zugehörige komplexe Zeitsignal mit $2N$ Bit (realer + imaginärer Anteil). Nach der Parallel/Seriell-Wandlung wird noch zyklisch ein Präfix zur Synchronisation eingefügt. Der Echo-Canceller verzerrt die Sende- und Empfangssignale so vor, daß die Echos auf der Leitung kompensiert werden. Er stellt sich zum Beginn der Verbindung mit Hilfe der Trainingssequenz ein. Schließlich kann das Sendesignal (Tx) D/A-gewandelt werden und mit Hilfe eines Duplexers, der Sende- und Empfangsweg trennt, gelangt es auf die Leitung. Das ankommende Empfangssignal (Rx) wird vom Duplexer an einen A/D-Umsetzer geführt, der die digitalisierten Eingangssignale wiederum dem Echo-Canceller übergibt. Wie auf der Sendeseite, repariert der Echo-Canceller den Schaden, den Leitungsechos im Empfangsdatenstrom angerichtet haben. Ein Equalizer, der beim Verbindungsaufbau, aber auch in der laufenden Verbindung durch Trainingssequenzen stets korrekt eingestellt wird, sorgt für Frequenzgangverzerrung. Danach wird der Präfix aus dem Datenstrom herausgenommen. Nach dem Seriell/Parallel-Umsetzer liegt ein genau festgelegter Abschnitt des digitalisierten Zeitsignals als paralleles Datenwort mit $2N$ Bits am FFT-Baustein (Fast Fourier Transform) an. Mittels Fast Fourier Transformation gelangt man von den $2N$ Bits aus dem Zeitbereich zurück in den Frequenzbereich und hat so die Phasenzustände der QAM-modulierten Träger in paralleler Form mit N Bit vorliegen. Der Dekoder schließlich muß die Bits der einzelnen DMT-Träger wieder in der richtigen Reihenfolge zusammensetzen, wobei er eine entsprechend geladene Bit Loading Table verwendet. Vorher macht er noch die Reed-Solomon-Codierung rückgängig, wobei mit diesem leistungsfähigen Verfahren viele Bitfehler korrigiert werden können.

Zahlreiche Halbleiterhersteller bieten inzwischen Chipsätze und Bauteile speziell für ADSL-Modems an. Zu ihnen gehören u.a. Motorola (Copper Gold Chipsatz), STMicroelectronics, Alcatel (DynaMite Chipsatz), Broadcom, GlobeSpan und Texas Instruments. Die WWW-Adressen dieser Firmen finden sich in Tabelle 1 am Ende des Artikels.

Für Analogdesigner bieten ADSL-Modems ebenfalls Herausforderungen. Das DMT-Signal erfordert sehr hohe Verstärker- und Leitungstreiberlinearitäten. Der Crest-Faktor (Verhältnis Spitzenleistung zu effektiver Leistung) ist sehr hoch, so daß Treiberschaltungen mit hohen Reserven eingesetzt werden müssen. Deshalb bieten Hersteller wie Burr Brown und Analog Devices spezielle ICs hierzu an. Schwierigkeiten gibt es jedoch bei der Ausrüstung von Vermittlungsstellen, da bis zu 12 W pro ADSL-Anschluß im Teilnehmergestell der Vermittlung aufgebracht werden müssen. Bei hoher Packungsdichte ist die Wärmeabfuhr das zentrale Problem.

ADSL - LEITUNGS AUSTRÜSTUNG

Wie sieht nun ein Telefonanschluß bei ADSL auf der Teilnehmerseite und bei der Vermittlungsstelle aus? Bild 4 zeigt das im Detail. Direkt an der Anschlußleitung wird vermittlungsstellenseitig und teilnehmerseitig je ein ADSL-Splitter eingefügt, der hochwertige, sprich steilflankige Hochpaßfilter für das ADSL-Spektrum enthält. Über Tiefpaßfilter wird das bisherige Analog-Telefonsignal bzw. das ISDN-Signal auf und von der Anschlußleitung gefiltert. Teilnehmerseitig muß an den Splitter natürlich ein ADSL-Modem angeschlossen sein, um ADSL nutzen zu können.

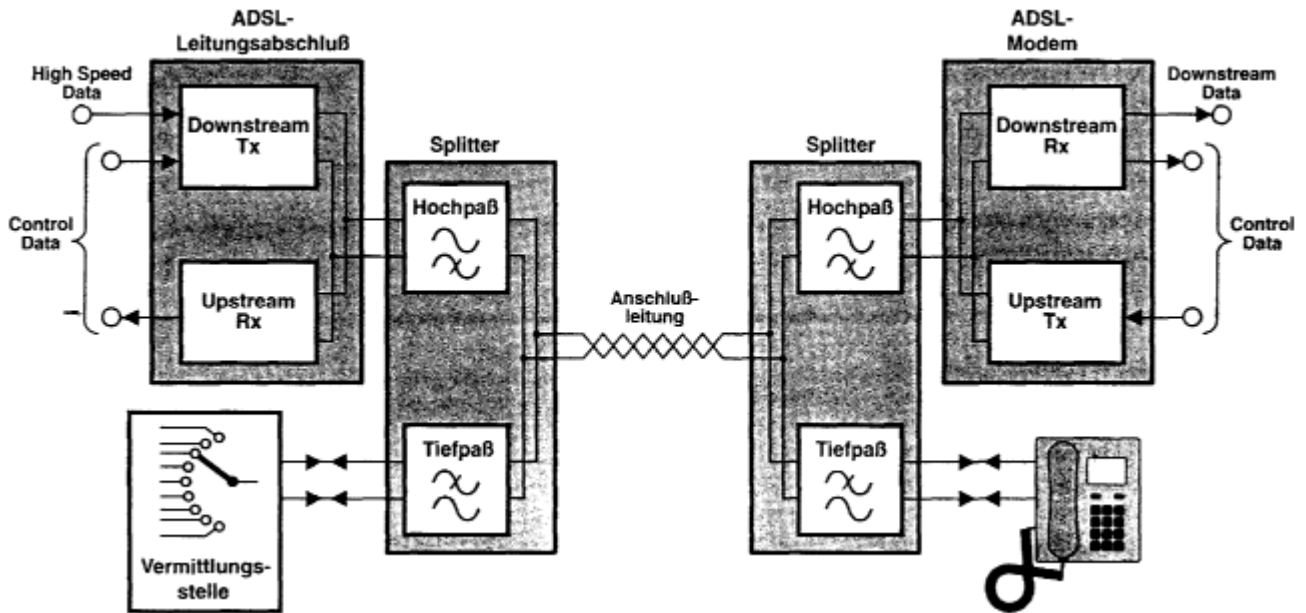


Bild 4 Prinzipschaltbild der ADSL-Leitungsausrüstung

Es enthält einen Empfänger (RX) für das hochrati-ge Downstreamsignal und einen Sender (TX) für das eigene Upstreamsignal. Die Upstream- und Downstreamdaten enthalten neben Nutzdaten auch Management- und Steuerungsdaten. In der Vermittlungsstelle müssen allen Teilnehmern, die ADSL wünschen, ADSL-Leitungsabschlüsse zugeschaltet werden. Diese bilden das Gegenstück zum ADSL-Modem: Ein Downstream-Sender (TX) gibt die hochrati-ge Datenströme über den Splitter auf die Anschlußleitung. Der Upstream-Empfänger (RX) muß nur mäßige Datenraten verarbeiten. Ein DSLM (Digital Subscriber Line Multiplexer) stellt ADSL-Kanäle für mehrere Teilnehmer zur Verfügung

ADSL - Systemstruktur

Wie geht es denn nun außerhalb der ADSL-Leitungsausrüstung bzw. des ADSL-Modems weiter? Bild 5 gibt die Antwort. Zu sehen sind wieder die vermittlungs- und teilnehmerseitigen Splitter. Daran hängt in der Vermittlungsstelle die ADSL-Line-Termination. Sie steht mit dem ATM-Backbone über einen ATM-Switch mit 155 Mbit/s in Verbindung.

Auf der Teilnehmerseite steht ein ADSL-Modem, welches eine ATM-F25,6-Schnittstelle (25,6 Mbit/s) oder eine (langsamere) LAN-Schnittstelle 10BaseT enthält. Der nachfolgende PC muß nun über eine entsprechende ATM- oder Netzwerkkarte verfügen, um die Schnittstelle des ADSL-Modems einwandfrei bedienen zu können. Bild 5 zeigt für den Fall ISDN auch, daß der NTBA (Network Termination, Netzwerkabschluß des Basisanschlusses) dem Splitter nachzuschalten ist.

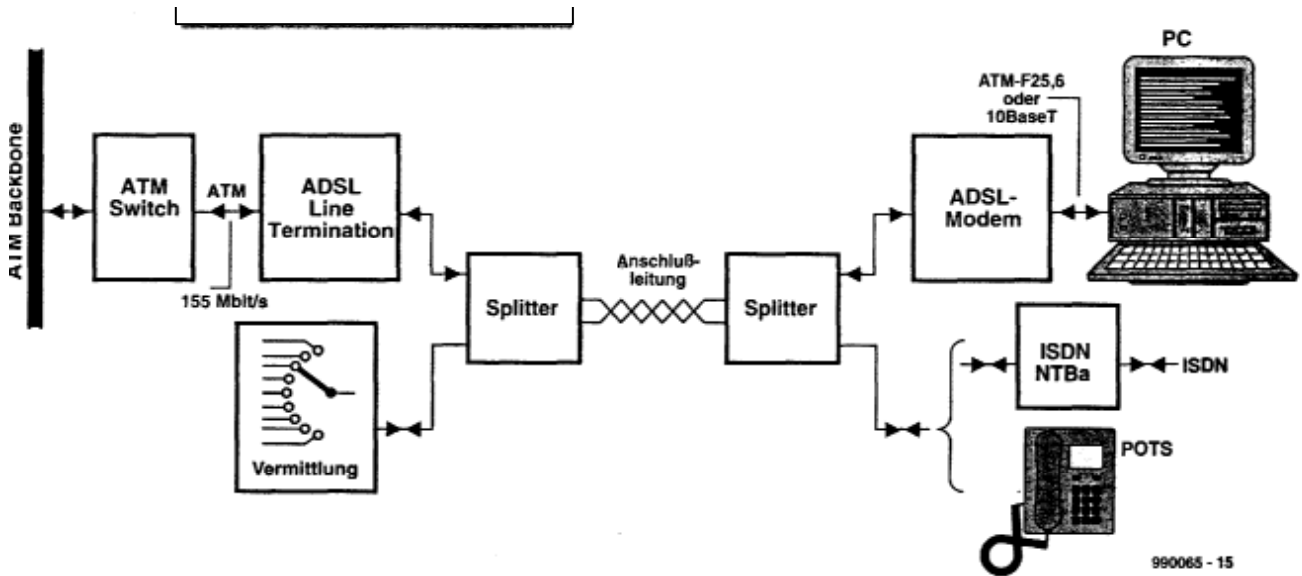


Bild 5 Systemstruktur bei Anwendung von ADSL

Die Verbindungsaufnahme

Die vielfältigen Möglichkeiten der Einstellung eines ADSL-Übertragungssystemes bedingen während des Verbindungsaufbaus den Austausch eines komplexen Protokolls, in welchem sich Vermittlungsstelle und ADSL-Modem gegenseitig ihre Konfiguration mitteilen. Die Frequenzgänge in beiden Übertragungsrichtungen werden ausgemessen, indem die beiden beteiligten Modems einzelne Töne (Träger) senden und das jeweils andere deren Pegel registriert. Danach werden Bitraten des Down- und Upstreamkanals sowie das einzusetzende Verfahren zu Richtungstrennung (FDM oder Echokompensation) mit Hilfe einer Trainingssequenz bestimmt. Hier entscheidet sich die maximal mögliche Bitrate der individuellen Anschlussleitung. Auch mit sich ändernden Störverhältnissen kann ADSL fertig werden. Durch Bit Swapping kann die Zuordnung der Bits auf die Träger noch während des Betriebs geändert werden.

Diese recht aufwendige Startphase dauert bei ADSL mehr als 20 Sekunden, teilweise bis zu über einer Minute. Dafür werden aber dabei die maximal möglichen Datenraten für jeden Einzelträger optimal festgelegt.

Im Falle einer bestehenden ADSL-Verbindung kann es vorkommen, daß durch plötzliche Änderung der Leitungsparameter die sorgfältig eingestellten Equalizer so weit falsch eingestellt sind, daß die Datenratenkapazität schlagartig zusammenbricht. Nun darf es natürlich nicht wieder 20 Sekunden bis 60 Sekunden dauern, bis die Verbindung mit korrigiertem Equalizer vollständig aufgenommen werden kann. Deshalb gibt es auch die Möglichkeit, eine verkürzte Einstellprozedur zu durchlaufen, die aus den beim Verbindungsaufbau ermittelten Leitungsparametern schnell zu den neuen Equalizer-Einstellungen kommt. Die ADSL-Verbindung kann damit in der Regel innerhalb von 1 bis 2 Sekunden wiederhergestellt werden. Dazu muß das ADSL-Modem aber ständig die Übertragungsqualität auf jedem einzelnen Träger überwachen.

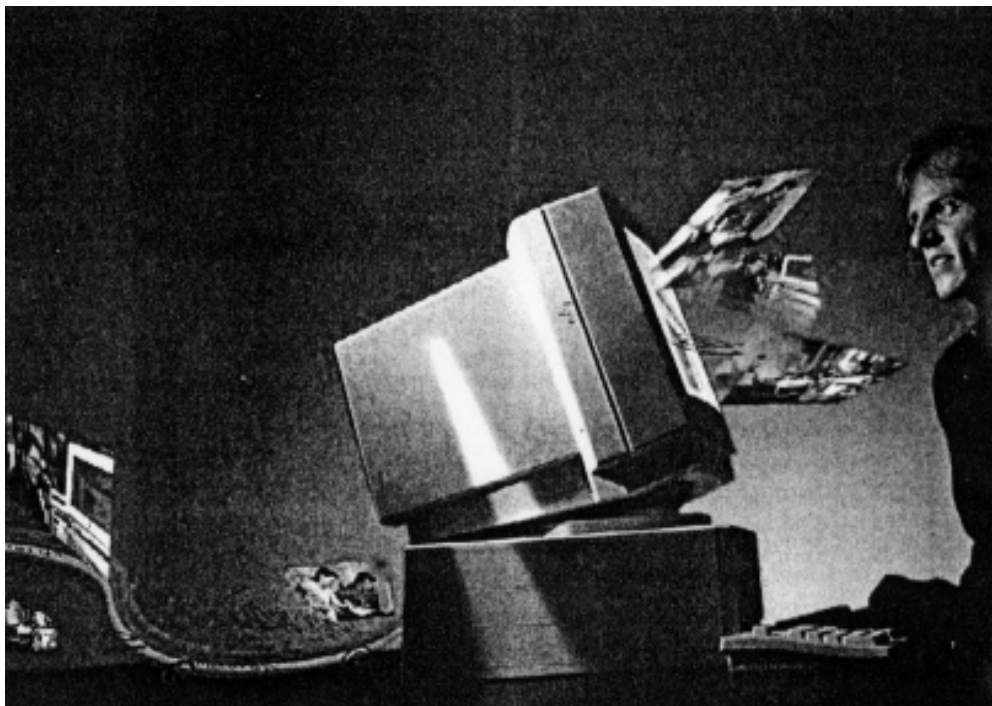
ADSL - Lite

Nach Festlegung der ADSL-Norm taten sich eine Reihe von Herstellern (u.a. Microsoft, Intel und Compaq) in der UAWG (Universal ADSL Working Group) zusammen. Ihr Ziel war es, den bisher als notwendig dargestellten teilnehmerseitigen Splitter einzusparen. Damit würde sich die Einrichtung eines ADSL-Kanals auf die vermittlungsseitige Aufrüstung des Leitungs-

abschlusses (SLIC = Subscriber Line Interface) und beim Teilnehmer auf die Anschaffung eines ADSL-Modems und einer ATM/Ethernet-Netzwerkkarte beschränken. Der nicht gerade billige teilnehmerseitige Splitter könnte entfallen (Bild 6). Dieses auch 'G.Lite' oder 'Universal ADSL' genannte Verfahren wurde von der ITU als *ITU-Standard G992.2 . Splitterless ADSL* standardisiert. Neben dem Wegfall des Splitters wurde bei G.Lite auch noch die Anzahl der Träger halbiert (128 statt 256). Die Zahl der Bit pro Sekunde und Herz wurde von 15 auf 8 reduziert, die verwendeten QAM-Konstellationen werden dadurch einfacher. Damit reduziert sich die Downstream-Datenrate auf ca. 1,5 Mbit/s, während Upstream immerhin noch 500 kbit/s gesendet werden können. Ferner kann jetzt der Ausgangspegel so weit reduziert werden, daß die Leistungsaufnahme und die Anforderung an die Linearität der analogen Treiberstufen deutlich entschärft sind. Dies garantiert auch den störungsfreien Analog-Telefonbetrieb (POTS) ohne Splitter. Schließlich strebt man bei ADSL-Lite den Category-2-Betriebsfall an, bei dem sich Up- und Downstream den unteren ADSL-Frequenzbereich mittels Echokompensation teilen. Dies garantierte gute Übertragungsverhältnisse für die Einzelträger. Motivation für diese Form des ADSL war die einfachere Anwendung beim Kunden. Neben den Kosten für den Splitter entfällt noch die Notwendigkeit einer an der Teilnehmerdose vorhandenen Stromversorgung (Steckdose). Ferner entfallen die Kosten für einen Monteur, der den ADSL-Splitter zu Hause installieren und prüfen muß. Allerdings schätzen Fachleute, daß nur in etwa der Hälfte aller Haushalte ADSL-Lite auf Anhieb funktionieren wird. Bei den übrigen wird die Hausverkabelung zu korrigieren sein, um ADSL-Betrieb aufnehmen zu können. Während in Amerika starke Bestrebungen in Richtung ADSL-Lite zu verzeichnen sind, verhält man sich in Europa eher skeptisch. Hier werden wohl zunächst überwiegend ADSL-Systeme mit teilnehmerseitigem Splitter installiert werden.

Wer ist ADSL - tauglich?

Geht man für den ADSL-Betrieb von einer maximal brauchbaren Anschlußlänge von etwa 3 km aus, so lassen sich 85% aller Telefonteilnehmer via ADSL mit schnellen Datendiensten versorgen.



Generell nicht via ADSL angeschlossen werden können die Telefonteilnehmer, die keine eigene Leitung in die Vermittlungsstelle haben, sondern deren Anschlußleitungen schon vorher mit Hilfe von Multiplexern (PCM2-, PCM4- und AsIMx-Systeme) zusammengefaßt werden. Dies betrifft etwa 10% der deutschen Telefonanschlüsse.

Fazit

Mit ADSL gibt es eine neue Technologie zur besseren Ausnutzung der vorhandenen Telefonschlußleitungen. Selbst wenn für private ADSL-Anschlüsse zunächst nur 1,5 Mbit/s downstream zur Verfügung stehen, bedeutet das eine 27fache Geschwindigkeitssteigerung gegenüber herkömmlichen 56K-Modems.

Den Einstieg in die ADSL-Technik wird es über sogenannte Hybrid-Modems geben, die sowohl den V90-Analog-Standard als auch ADSL verarbeiten können. Eine Anpassung an eventuelle Standardänderungen ist bei diesen Modems durch downloadbare Firmwaremodule auch später noch möglich.

Ausblick

Und was kommt nach ADSL? Die Antwort lautet: VDSL, Very high bitrate Digital Subscriber Line. In den Industrielabors forscht man an der Ausdehnung des Frequenzbereiches nach oben, also in der Erhöhung der Trägeranzahl. Bis zu 2000 Träger erlauben eine Datenrate von bis zu 52 Mbit/s downstream bei zusätzlich 3,2 Mbit/s Upstream-Kapazität. Damit sollen MPEG-2-Videodatenströme übertragbar werden. Nachteil: VDSL funktioniert gegenüber ADSL nur auf kürzeren Anschlußleitungen von maximal 1,5 km. Die Lösung hierzu wäre es, Glasfaserstrecken von der Vermittlungsstelle bis zu den Verteilerschränken am Straßenrand voranzutreiben. Doch bis dahin werden wohl noch fünf bis 10 Jahre ins Land gehen.

*Literatur:**ANSI-Standard T1.413**ITU-Standard G992.1 (Annex B: ISDN + ADSL)**ITU-Standard G992.2 - Splitterless ADSL**Infos im WWW:**www.dtag.de**www.adsl.com**www.uawg.org***Tabelle 1. Webadressen von ADSL-Chipset-Herstellern**

Hersteller	Internet-Homepage
Motorola	www.mot-sps.com
ST Microelectronics	www.st.com
Alcatel	www.usa.alcatel.com
Broadcom	www.broadcom.com
GlobeSpan	www.globespan.net
Texas Instruments	www.ti.com/sc

Abkürzungen

ADC	Analog to Digital Converter
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ATM	Asynchronous Transfer Mode
DAC	Digital to Analog Converter
DSL	Digital Subscriber Line
DSLMM	Digital Subscriber Line Multiplexer
FFT	Fast Fourier Transformation
IFFT	Inverse Fast Fourier Transformation
ISDN	Integrated Services Digital Network
NTBA	Network Termination Basisanschluß
PC	Personal Computer
POTS	Plain Ordinary Telephone Service, Analog-Telefondienst
QAM	Quadrature Amplitude Modulation, Quadratur-Amplitudenmodulation
RX	Receiver, Empfänger
TX	Transmitter, Sender

ADSL - Pilotprojekte und Angebote

Die ADSL-Technik wurde seit Mitte 1998 in Nordrhein-Westfalen in einem Pilotprojekt erfolgreich erprobt. Etwa 350 Privathaushalte und 100 Geschäftsleute waren daran beteiligt. Zusätzlich gab es noch bei 100 Studenten und Mitarbeitern der Universität Münster sowie bei 50 Angehörigen der RWTH Aachen einen ADSL-Anschluß. Zweck der Pilotprojekte sollte sowohl der technische Machbarkeitsnachweis als auch ein Akzeptanztest durch die Verbraucher sein. Des weiteren gab es diverse neuartige Multimediaangebote nur im Pilotprojekt, die ebenfalls auf die Nutzung durch die Kunden untersucht wurden.

Privathaushalte im Pilotprojekt wurden mit einem schnellen Internetzugang ausgerüstet, der 1,5 Mbit/s downstream und 128 kbit/s upstream leistete. Die Teilnehmer bekamen ein ADSL-Modem mit Splitter sowie eine passende Netzwerkkarte für ihren heimischen PC.

Die Geschäftskunden im Pilotprojekt konnten zwischen 128 kbit/s und 8 Mbit/s über T-Net-ATM wählen. Der Upstream hat dabei bis zu 768 kbit/s. Wer niedrige Datenraten einsetzte, bekam eine variable und dynamisch veränderliche IP-Adresse. Teilnehmer mit den höchsten Datenraten wurden dagegen mit fester IP-Adresse ans Datennetz angeschlossen.

Die Deutsche Telekom bietet bereits seit Mitte 1999 ADSL für Geschäfts- und Privatkunden regulär an. Allerdings muß das Angebot aus infrastrukturellen Gründen zunächst auf bestimmte Regionen begrenzt bleiben. Unter der Produktbezeichnung T-DSL gibt es den Hochgeschwindigkeits-Internetzugang mittlerweile in über 40 Städten. Neben dem Internet-Zugang stellt sich die Telekom die LAN-to-LAN-Verbindung, Teleworking, Teleshopping, Home-Banking, Videokonferenzen und Onilne-Spiele als Anwendungsmöglichkeiten vor. Um Bedarfsschwerpunkte feststellen und damit die Reihenfolge beim ADSL-Ausbau feststellen zu können, bietet die Telekom unter ihrer Internetadresse (www.telekom.de) die Möglichkeit, sich für ADSL-Anschlüsse unverbindlich registrieren zu lassen.

Durch die Art der von der Telekom eingesetzten ADSL-Modems, deren Arbeitsweise im Artikeltext bei den ISDN-Signalen bereits beschrieben wurde, ist es möglich, auch vorhandene ISDN-Anschlüsse zu nutzen. Wer T-ISDN und T-DSL als Standardpaket abonniert, zahlt DM 98,- / Monat.

Den Zugang zum T-Net ATM, dem ATM-Netz der Deutschen Telekom, gibt es in Berlin, Hamburg, Bonn, Köln, Düsseldorf, Frankfurt, Stuttgart und München über einen T-DSL-Anschluß. Die Schnittstelle zwischen ADSL-Modem und PC erfolgt über eine 10Base-T oder die schnellere ATM 25,6 Mbit/s LAN-Schnittstelle.

Unter der Bezeichnung T-InterConnect Classic hat die Deutsche Telekom vier Geschwindigkeitsstufen im Programm:

Downstream	Upstream	Monatsgebühr	Bereitstellung
1,5 Mbit/s	160 kbit/s	DM 98	DM 149
2 Mbit/s	192 kbit/s	DM 390	DM 500
4 Mbit/s	384 kbit/s	DM 680	DM 500
6 Mbit/s	576 kbit/s	DM 960	DM 500

Der Standardbetrieb bietet 1,5 Mbit/s downstream bei einem Upstream von max. 160 kbit/s. In dieser Klasse gibt es folgende Angebote:

Bezeichnung	Monatsgebühr	Freistunden je Monat
T-DSL+ T-ISDN	DM 98	0
T-Online Speed 50	DM 99	50
T-Online Speed 100	DM 149	100

Die Standarddatenrate von nur 1,5 Mbit/s ist festgelegt worden, da es noch nicht genügend Backbone-Kapazität gibt, um die Datenraten vieler Teilnehmer transportieren zu können. Vorteil ist ferner, daß längere Anschlußleitungen (> 3km) und mäßig gestörte Leitungen immer noch einwandfrei mit dieser Datenrate bedient werden können.