

ADSL

KURZFASSUNG

25 Seiten

INHALT

1	Übersicht.....	2
2	Allgemeines	3
2.1	Digital Subscriber Line	3
2.2	ADSL Kanalstruktur	4
2.3	ADSL Systemstruktur.....	4
2.4	ADSL und ISDN	5
3	ADSL Übertragungstechnik	6
3.1	Richtungstrennung.....	6
3.2	Modulationsverfahren	8
3.3	Verbindungsaufnahme.....	11
3.4	Fehlerkorrektur.....	12
3.5	Rahmenstruktur	13
4	Schnittstellen und Protokolle.....	15
4.1	Teilnehmerseitige Systemschnittstellen	16
4.2	Protokolle für den Datentransport über ADSL.....	18
5	Einsatzgebiete	19
5.1	Netzwerk- bzw. Vermittlungsstellenseite.....	19
5.2	Teilnehmerseite	21
6	Kontrollfragen	23
7	Bilder	23
8	Abkürzungen	24
8	Abkürzungen	24
9	Literatur	25

1 Übersicht

Die Teilnehmeranschlussnetze aller öffentlichen Netzbetreiber bestehen überwiegend aus Kupferdoppeladern. Diese Technologie zur Versorgung von Teilnehmereinrichtungen stammt aus dem vorigen Jahrhundert und wurde lange Zeit ausschließlich für die Übertragung analoger Sprache und langsamer Daten – 50 Baud beim Fernschreiben – verwendet.

Seit der Einführung des ISDN Anfang der 90er Jahre in Europa und der rasanten Verbreitung des World Wide Web steigt der Bedarf an immer schnellerer Datenübertragung ständig an. Neue Kommunikationsbereiche wie Video-on-demand, Videoconferencing oder auch Telearbeit erfordern höchste Transferraten und somit neue Übertragungstechniken. Dabei ist die analoge Modemtechnologie mit Einführung von V.90 weitgehend ausgereizt und auch ISDN stößt zunehmend an Grenzen. Während Glasfaser als die künftige Technologie für den Transport von B-ISDN gesehen wird, besteht heute aus Kostengründen dennoch der dringende Bedarf das bestehende Kupfernetz durch Einsatz neuer Technologien besser auszunützen.

Bereits seit Anfang der neunziger Jahre gibt es technische Lösungen, die weitaus höhere Transferraten über das herkömmliche Telefonnetz (POTS, Plain Old Telephone Service) ermöglicht. Die sog. xDSL (**D**igital **S**ubscriber **L**oop) Technologien erlauben durch den Einsatz digitaler Signalprozessoren, zusätzlich zur analogen Telefonie hohe Bitraten über die Kupferinfrastruktur zu transportieren. Stand der Technik sind einige Mbit/s über einige Kilometer bei einer BER von 10^{-7} oder besser. Das „x“ in DSL steht für verschiedene Arten von Teilnehmerleitungs-Technologien, einschließlich ADSL, R-ADSL, HDSL,SDSL und VDSL.. Um die Bedeutung dieser Technologien vollständig zu verstehen und die Anwendung für die sie bestens geeignet sind, ist es wichtig zu verstehen wodurch sie sich unterscheiden. Die Hauptpunkte welche zu beachten sind, sind die Zusammenhänge zwischen Signalabstand und Geschwindigkeit und die Unterschiede in der Symmetrie zwischen Upstream- und Downstream-Verkehr.

xDSL Dienste sind öffentliche Punkt – zu – Punkt Netzzugangstechnologien, welche es in vielfacher Form erlauben Daten, Sprache und Video über die symmetrische Kupferdoppelader des lokalen Teilnehmeranschlusses zwischen der Vermittlungsstelle des Netzbetreibers bzw. Diensteanbieters und der Teilnehmereinrichtung zu übertragen.

Es wird erwartet, dass xDSL in steigendem Umfang eingesetzt werden wird bei:

- Hochgeschwindigkeitszugängen für Internet/Intranet,
- Online-Dienste,
- video on demand,
- TV Signalverteilung,
- interaktiver Unterhaltung,
- Sprachübertragung zu Unternehmen, kleinen Betrieben und Wohnungen und zu
- consumer markets.

Schlüsselwörter

Analog Subscriber Line, Digital Subscriber Line, Frequency Division Multiplexing, Echo Compensation, Discrete Multi-Tone Modulation, Fehlerkorrektur, Interleaving, Bit-Swapping, Nebensprechen, ADSL über ISDN, ADSL-NT, ADSL-Modem

2 Allgemeines

2.1 Digital Subscriber Line

Die zahlreichsten und damit teuersten Elemente in Nachrichtennetzen sind die Anschlussleitungen zwischen den Endgeräten und den Netzknoten, welche zum überwiegenden Teil aus Kupferdoppeladern bestehen die einen Frequenzbereich von mehr als 1,1 MHz abdecken, aber mit dem Nachteil behaftet sind, dass in hohen Frequenzbereichen enorme Verluste auftreten. Zur Übertragung von Sprache werden bei POTS Frequenzen von bis zu 4 kHz benötigt - bei ISDN 80 kHz - der Frequenzbereich der Kupferkabel bietet also 250mal mehr Kapazität als für die Übertragung analoger Sprache benötigt wird.

(1) Man kann daher für die Teilnehmer-Anschlussleitung aus symmetrischen Kupferleitungen, die sog. Wired Local Loop, zwei Einsatzmöglichkeiten unterscheiden:

- Analog Subscriber Line (ASL) zur Sprachübertragung und Datenübertragung im Sprachfrequenzband
- Digital Subscriber Line (DSL) zu digitalen Sprach- und Datenübertragung mit Geschwindigkeiten bis zu mehreren Mbit/s.

Die Bezeichnung DSL steht als Überbegriff für eine Produktfamilie. DSL beschreibt das Konzept für die bessere Nutzung der verdrehten Kupferaderdoppelleitungen (=Teilnehmer-Anschlussleitung), da diese einen Frequenzbereich bis zu 1,1 MHz abdecken aber bei POTS nur mit 4 kHz genutzt werden. Für die Anpassung der DSL-Technik an bestimmte Anforderungen, wie z.B.: hoher Downstream, hoher Upstream, Adernanzahl, usw., wurden verschiedene Varianten entwickelt.

Akronym	Upstream (KBit/s)	Downstream (KBit/s)
ADSL	64 - 1500	1500 - 8000
HDSL (Europa)	2048	2048
SDSL	192-2320	192-2320
VDSL (asymmetrisch)	1600	bis 13800 bei 1500 Metern, bis 27600 bei 1000 Metern, bis 55200 bei 300 Metern
VDSL (symmetrisch)	2300-34000	2300-34000

Tabelle 1 Die wichtigsten DSL-Varianten:

ADSL ist die bekannteste Variante der DSL-Technologien und ermöglicht Daten- und Telefonverkehr gleichzeitig. In Europa wird eine Integration von ISDN¹ in ADSL angestrebt, obwohl die ISDN-Bandbreite in den ursprünglich vorgesehenen ADSL-Upstream-Kanal hineinreicht.

HDSL arbeitet über 2 Kupfer-Doppeladern. Die Anwendungen zielen vor allem auf Datendienste und den Bereich Campus²-LAN, zumal eine Integration der analogen Telefonie nicht vorgesehen ist.

SDSL ist die auf eine Kupferleitung beschränkte Version von HDSL, die auch gleichzeitigen analogen Telefonverkehr ermöglicht.

VDSL ist eine Weiterentwicklung von ADSL und soll auf kurzen Kabeldistanzen mit hohen Übertragungsraten arbeiten. Probleme gibt es derzeit bei der Definition der maximalen Entfernung, mit der VDSL zuverlässig realisiert werden kann. Eine Integration der analogen Telefonie ist vorgesehen.

¹ Im Gegensatz zu den USA spielt ISDN in Europa eine wichtige Rolle.

² Campus....Firmengelände, Firmenareal

2.2 ADSL Kanalstruktur

Bei ADSL wird als Übertragungsmedium zwischen dem Teilnehmer und der Vermittlungsstelle die zweiadrige verdrehte Kupferleitung des analogen bzw. des ISDN-Telefonanschlusses verwendet. Die Informationsübertragung auf dieser Leitung erfolgt simultan und duplex d.h. gleichzeitig in beide Richtungen, wobei der ADSL-Ansatz auf nicht ausgelastete Bandbreiten innerhalb des Kupferkabelnetzes setzt.

(2) Zu diesem Zweck wird der Frequenzbereich einer Kupferanschlussleitung von ADSL-Modems in drei Kanäle aufgeteilt:

- ein Kanal steht wie bisher den Telefondiensten zur Verfügung (POTS-Kanal),
- ein zweiter wird für die Verbindung vom Anwender zum Provider verwendet (Upstream-Kanal) und
- der dritte dient der Datenübertragung vom Anbieter zurück zum Anwender (Downstream-Kanal).

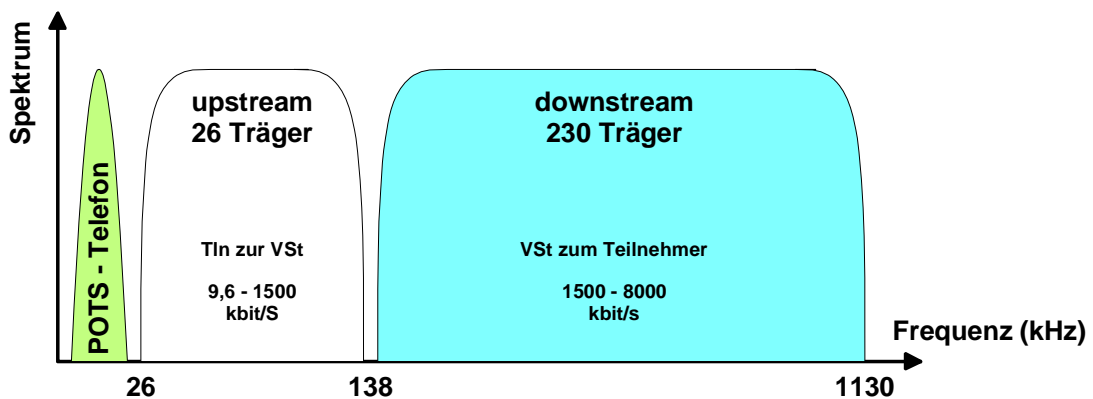


Bild 1 ADSL – Kanalstruktur bei POTS

2.3 ADSL Systemstruktur

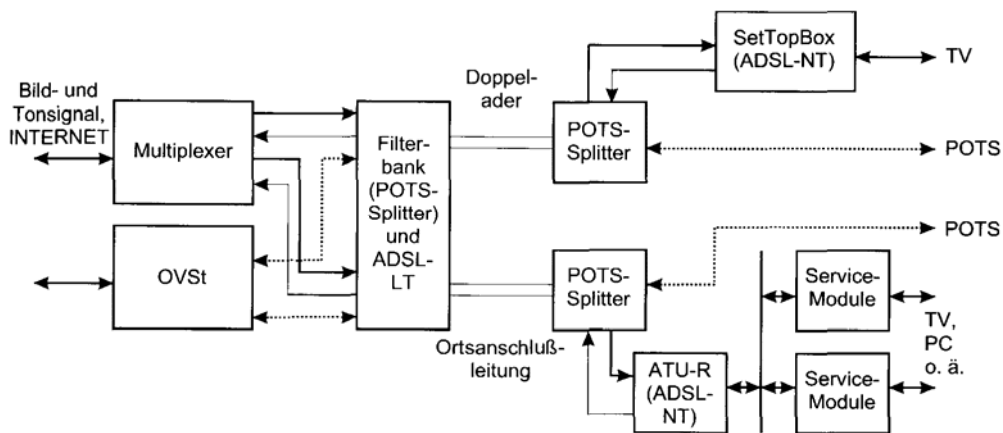


Bild 2 ADSL-Übertragungssystem

Eine ADSL Verbindung besteht aus einer Leitung, an deren Enden jeweils ein ADSL-Transceiver installiert ist. Die Verbindung besteht aus drei Informationskanälen - einem Hochgeschwindigkeitskanal in Richtung des Teilnehmers, einem Kanal mittlerer Geschwindigkeit zum Netz und einem konventionellen Telefonkanal. Durch den Einsatz hochmoderner

Modulations- und Signalverarbeitungstechniken ist ADSL in der Lage, zwischen 1,5 Mbit/s und max. 6,144 Mbit/s über sog. simplex Downstream-Hochgeschwindigkeitskanäle in Richtung des Kunden zu übertragen. Die Duplexkanäle erreichen Übertragungsraten zwischen 16 und 640 kbit/s. Je höher die verwendete Übertragungsrate ist, umso geringer ist die Übertragungsreichweite des Systems.

Der Telefonkanal wird durch Filter von den anderen Kanälen getrennt, um einen einwandfreien Telefondienst zu ermöglichen, selbst dann, wenn die ADSL-Modems ausfallen.

Die Übertragungsrate des Downstream-Kanals hängt von mehreren Faktoren ab. Die Leiterlänge und der Leiterdurchmesser sind ebenso ausschlaggebend wie die Präsenz von sog. bridged taps oder Streuinterferenzen

Viele Anwendungen für die der Einsatz von ADSL denkbar wäre, beinhalten komprimierte digitale Videos. Ebenso wie für Echtzeitsignale kann man für digitale Videos keine Standardfehlerkontrollprozeduren - wie sie in Datenkommunikationssystemen u.a. zu finden sind - verwenden. ADSL-Modems verwenden daher forward error correction, wodurch die Fehler, die durch Impulsstörungen verursacht werden, signifikant reduziert werden.

Video-on-demand ist ein sehr interessantes Einsatzgebiet für ADSL. Dieser Dienst ermöglicht es dem Kunden seinen Wunschfilm über ein zugrunde liegendes Netzwerk abzurufen und den Film dabei beliebig zu stoppen, zurück- oder vorzuspulen. Video-on-demand beinhaltet also die Funktionalität eines handelsüblichen Videorecorders in Verbindung mit einer digitalen Videothek.

2.4 ADSL und ISDN

(3) Die bei ISDN- Basisanschlüssen vorhandene Datenrate von insgesamt 160 kbit/s wird zwar mittels eines speziellen Leitungscodes auf eine Schrittgeschwindigkeit von 80 kbaud reduziert, überschreitet aber trotzdem die in der ADSL-Norm für den analogen Anschluss vorgesehene Bandbreite von 26 kHz wesentlich. Um bei ISDN-Anschlüssen ebenfalls ADSL als Hochgeschwindigkeitserweiterung anbieten zu können, 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 statt 256 zur Verfügung.

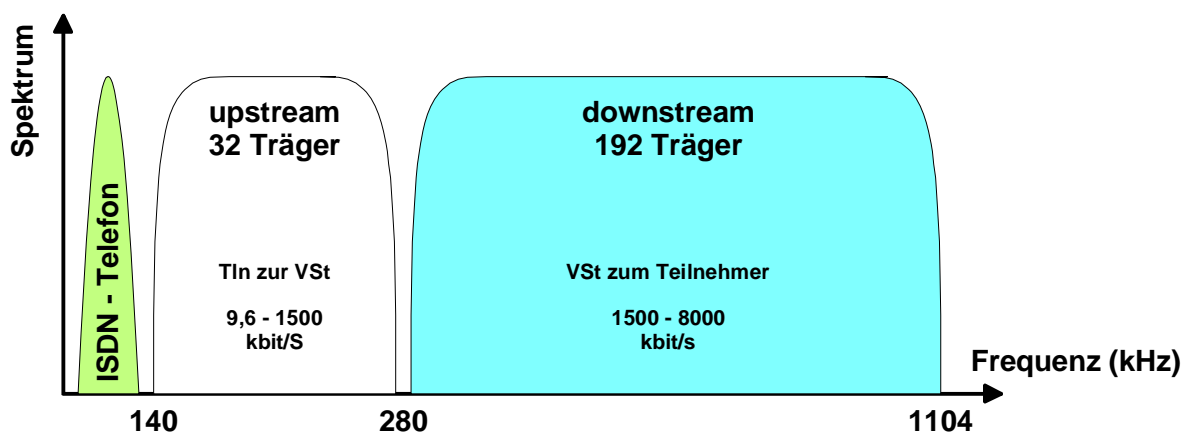


Bild 3 ADSL – Kanalstruktur bei ISDN

3 ADSL Übertragungstechnik

ADSL ermöglicht durch die Kanalteilung unterschiedliche Datenübertragungsraten. Während der analoge Telefonkanal wie bisher auf 26 kbit/s begrenzt bleibt³, können die neuen Datenkanäle mit wesentlich höheren Bitraten betrieben werden. Durch das asymmetrische Verfahren kann für den Zugang vom Benutzer zum Dienstleister eine geringere Übertragungsgeschwindigkeit eingestellt werden als für das Downloaden⁴ von Daten.

In der Praxis werden über die Downstream- Leitungen vom Provider zum Anwender Übertragungswerte zwischen 1,5 und 6,1 (max. 8) Mbit/s erzielt, was bereits bei der schlechtesten Transferrate gegenüber ISDN eine um den Faktor 24 bessere Performance bietet. Bei Upstream-Verbindungen liegen die Werte bei 16 bis 640 (max. 1000) kbit/s auf den Leitungen zum Zugangsknoten.

Allerdings ist das Erreichen der maximalen Übertragungsgeschwindigkeit von verschiedenen Faktoren abhängig: Insbesondere die Länge und der Querschnitt des Kupferkabels sowie die Dämpfung begrenzen die theoretisch möglichen Transferraten. In der Praxis bedeutet das für Anwender, deren Hausanschluss weit von der nächsten Vermittlungsstelle entfernt liegt, Transferraten im unteren Bereich.

3.1 Richtungstrennung

(4a) Bei ADSL wird als Übertragungsmedium zwischen dem Teilnehmer und der Vermittlungsstelle die zweiadrige verdrehte Kupferleitung des analogen bzw. ISDN-Telefonanschlusses verwendet. Die Informationsübertragung auf dieser Leitung simultan und duplex d.h. gleichzeitig in beide Richtungen über ein Medium erfolgen. Zur Richtungstrennung können folgende Verfahren eingesetzt werden:

- Frequency Division Multiplexing (FDM) oder
- Echo Compensation (EC)

Frequency Division Multiplexing

(4b) Beim Frequency Division Multiplexing werden die Frequenzbereiche für Up- und Downstream getrennt. Die ersten 26 Träger bilden den Upstream-Kanal, die Träger 27 bis 256 den Downstream-Kanal.

Der schmalbandige Kontrollkanal verwendet den Frequenzbereich direkt oberhalb der Sprachfrequenzen für Telefonie. Der breitbandige Downstream-Kanal schließt an und belegt die höheren Frequenzen. Der für die Übertragung eingesetzte Frequenzbereich wird auf 1 MHz beschränkt, indem man mehrere Bits durch ein Symbol kodiert.

³ Neben dem Sprachband von 300 – 4300 Hz finden sich hier auch solche Dinge wie der österr. 12 kHz-Gebührenimpuls

⁴ Untersuchungen belegen, dass die Upload-Datenmengen im Verhältnis zu Downloads unterhalb von zehn Prozent liegen

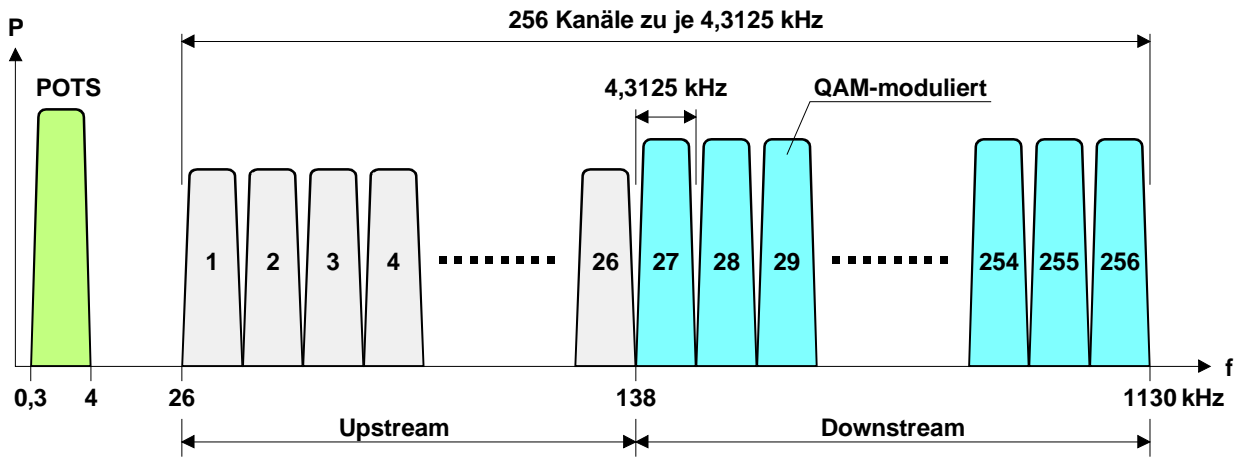


Bild 4 POTS mit FDM-Betrieb

Echokompensation

(4c) Da Kupfer im unteren Frequenzbereich bessere Übertragungseigenschaften als im oberen aufweist, wird der Kontrollkanal mit dem Downstream-Kanal überlappt. Dies wird z.B. durch asymmetrische Echokompensation erreicht, bei welcher sich Downstream und Upstream einen gemeinsamen Frequenzbereich (Träger 1 bis 26) teilen. Durch den Echokompensator können Down- und Upstream aufgrund ihrer Senderichtung getrennt werden, wodurch eine höhere Kapazität des Downstream-Datenstromes erzielt wird da die untersten 112 kHz des ADSL-Bandes die gut zu übertragenden Träger enthalten und die höheren Frequenzen stärker gedämpft werden.

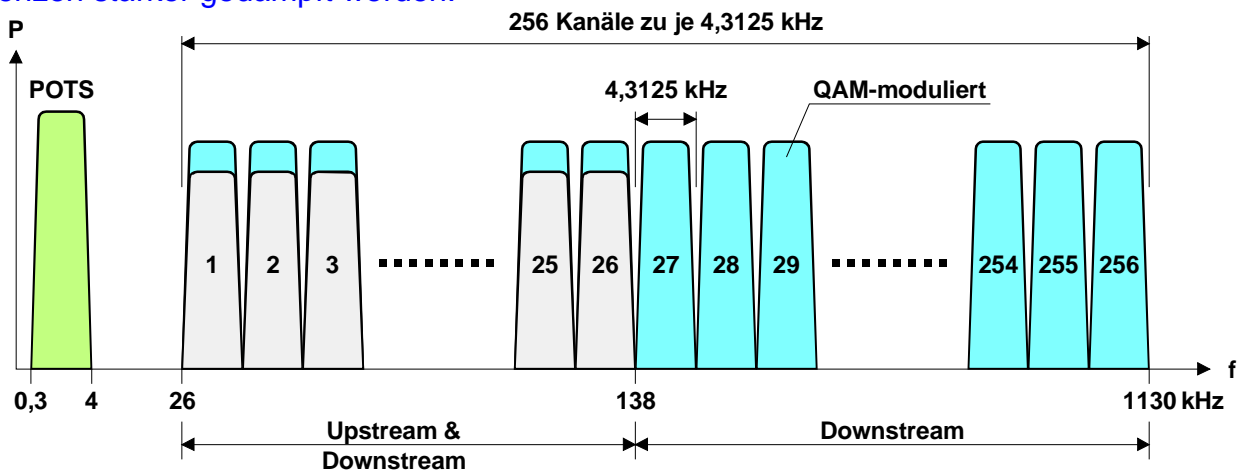


Bild 5 POTS mit Echokompensation

Welches System zum Einsatz kommt, liegt bislang noch in Händen der Gerätehersteller. Vorgaben von Seiten der ADSL-Spezifikation gibt es nicht.

Es zeichnet sich allerdings ab, dass EC eine untergeordnete Rolle spielt. Grund dafür ist, dass im Gegensatz zu FDM die Kanäle für Up- und Downstream nicht komplett getrennt, sondern überlagert werden. Dies erhöht den technischen Aufwand zur Signaltrennung wesentlich und verteuert die Endgeräte.

FDM hingegen erzeugt einen schmalbandigen Frequenzbereich, der direkt oberhalb der Sprachfrequenzen angesiedelt ist. Der breitbandige Downstream-Bereich schließt direkt an den Upstream-Bereich an.

3.2 Modulationsverfahren

(5) Frequency Division Multiplexing beziehungsweise Echo Cancellation sorgen lediglich für die Trennung des Frequenzspektrums in entsprechende Kanäle, schaffen also nur die Grundlage für den eigentlichen Datentransfer der durch verschiedene Übertragungsmethoden realisiert werden kann wie z.B.:

- QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Hier werden die Signale einfach in einen höheren Frequenzbereich versetzt. Dies wird durch Modulation eines Basisbandsignals mit einem Trägersignal erreicht, wobei die Amplitude moduliert wird.
- CAP (Carrierless Amplitude/Phase Modulation): Grundlage von CAP ist eine trägerlose Amplituden-/Phasenmodulation. Ein einziges Trägersignal dient als Transportmittel, das selbst weder übertragen wird noch eigene Informationen beinhaltet.
- DMT (Discrete Multi-Tone Modulation) beschreibt ein Verfahren, bei dem mehrere Trägersignale für die Übermittlung eingesetzt werden. Die übermittelten Daten verteilen sich also auf eine Vielzahl von Trägern, die alle eine Form der Quadrature Amplitude Modulation (QAM) einsetzen. DMT basiert auf der Discrete-Fast-Fourier-Transformation, die aus der digitalen Technik stammt.

Als potenzielle Modulationsverfahren für ADSL kamen ursprünglich CAP⁵ (Carrierless Amplitude Phase Modulation) und DMT (Discrete Multi-Tone) in Frage, wobei sich DMT Anfang 1995 als Modulationsstandard für ADSL gegen CAP durchgesetzt hat.

DMT liegt die QAM (Quadrature Amplitude Modulation) zugrunde, die auf einer Kombination von Amplituden- und Phasenmodulation beruht. Die DMT zählt zu den Mehrträgerübertragungsverfahren. Das nutzbare Frequenzband wurde anfänglich in 256 Subkanäle aufgeteilt. Dadurch ist eine bessere Anpassung an den Übertragungskanal möglich, was größere Reichweiten bzw. eine höhere Störsicherheit im Vergleich zu CAP ermöglicht. Nachteilig ist der große schaltungstechnische Aufwand (256 Modulatoren sind erst durch moderne digitale Signalverarbeitung möglich) und die höheren Signallaufzeiten gegenüber CAP (durch Subkanal-Multiplexen).

Discrete Multi-Tone Modulation (DMT)

DMT wurde um 1987 als Ergebnis der Forschungsarbeit von Professor John M. Cioffi an der Stanford-Universität in Kalifornien entwickelt. Bei DMT handelt es sich genau genommen um ein Frequenzmultiplexverfahren. Ein Frequenzband wird in n Teilbänder gleicher Bandbreite aufgeteilt.

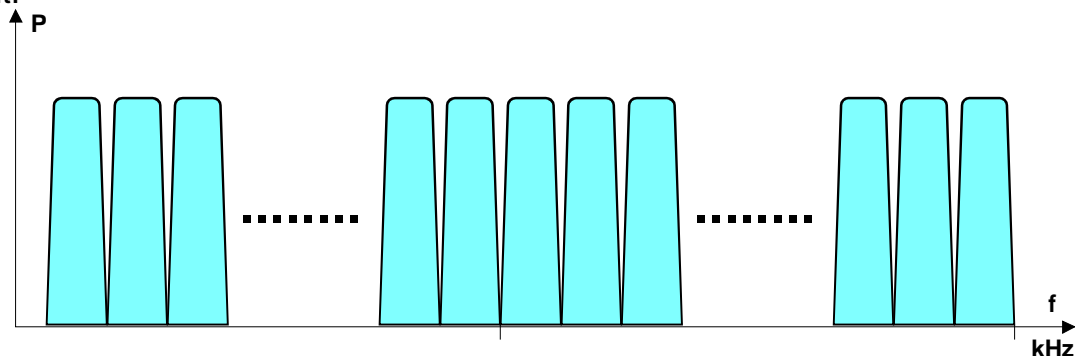


Bild 6 Prinzip des DMT-Verfahrens

⁵ CAP ist relativ einfach zu realisieren und kostengünstig. Zur Übertragung wird je Richtung ein Träger moduliert, wobei der Träger selbst nicht mitgesendet wird.

Alle Teilbänder können ohne Berücksichtigung der Leitungseigenschaften als voneinander unabhängige Übertragungskanäle behandelt werden, d.h. jeder Kanal kann in beliebiger Weise moduliert und codiert werden. Hierdurch wird eine große Bandbreite bei gleichzeitig hoher Unempfindlichkeit gegenüber Schmalband-Störsignalen erreicht.

Im einfachsten Fall wird jedem dieser Teilkanäle das gleiche Modulationsschema - und damit die gleiche Übertragungsbitrate - zugeordnet. Allerdings hat dies einen entscheidenden Nachteil gegenüber den zuvor beschriebenen Modulationsmethoden: Liegen Teilkanäle in hohen Frequenzbereichen, schlagen sich die schlechten Übertragungseigenschaften von Kupfer auf den Datentransfer nieder. Diese Vorgehensweise ist daher nicht immer sehr geschickt, da man hier die schlechten Übertragungseigenschaften von Kupfer in höheren Frequenzlagen außer Acht lässt. Deshalb legt man in der Praxis die Bitrate des jeweiligen Teilkanals entsprechend seines Störelages fest. Dadurch ist eine optimale Nutzung des Übertragungsmediums Kupfer möglich.

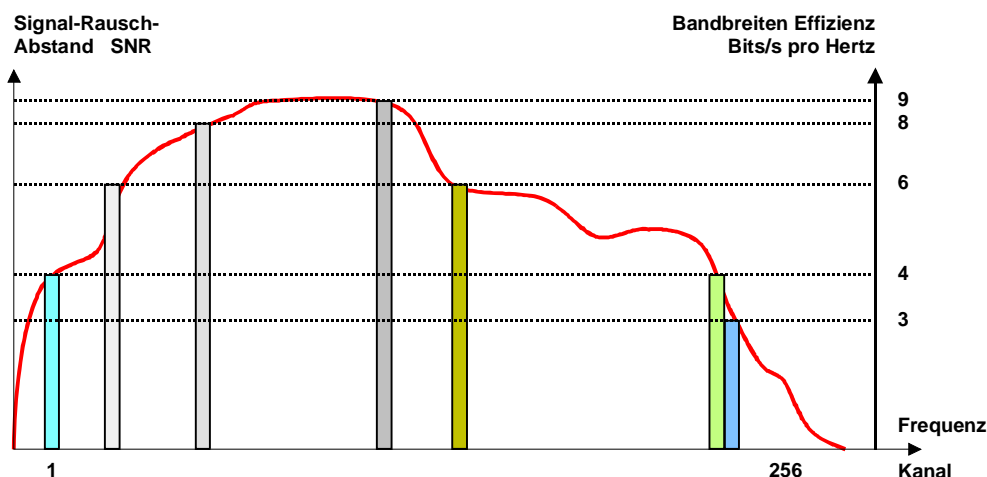
(6) DMT lässt sich im Prinzip als eine Reihe von parallel arbeitenden QAM-Systemen verstehen. Dabei verwendet jedes QAM-System die zu einem DMT-Teilkanal korrespondierende Trägerfrequenz. Der Transmitter moduliert Daten, indem er Töne bestimmter Frequenzen erzeugt, diese zusammenfasst und schließlich über die Leitung schickt.

Bei ausreichend kleiner Teilkanalbandbreite ist die Dämpfung über einem einzelnen Teilkanal als konstant anzusehen. Außerdem müssen bei der Verwendung von DMT im Empfänger keine Entzerrer eingesetzt werden, sondern nur einfache Kanalverstärker, da der Einfluss der nichtlinearen Phase des Kabels auf das übertragene Signal in einem Teilkanal vernachlässigbar ist.

Das Mehrträger Modulationsverfahren setzt Orthogonalität zwischen den verschiedenen Teilkanälen voraus. Dies kann man z.B. durch die Verwendung von Fast Fourier Transformation (FFT) Methoden erreichen.

Bei DMT kann die Anzahl der Bits, die über einen Teilkanal gesendet werden variieren. Diese adaptive Fähigkeit erhöht die Performance, da bestimmte störanfällige Frequenzen bestimmter Übertragungsmedien einfach ausgespart werden können.

Das folgende Bild zeigt die Verteilung der Bits auf die verschiedenen Kanäle bzw. Frequenzen⁶.



als Beispiel angenommener Verlauf des Signal-Rausch-Abstandes eines Übertragungskanals in Abhängigkeit von der Frequenz

Bild 7 Verteilung der Bits auf die verschiedenen Teilkanäle bzw. Frequenzen

⁶ Diese Kanäle werden häufig auch als Teilbänder, Subkanäle oder Töne bezeichnet

Quadratur-Amplitudenmodulation QAM

(7a) Die Quadratur-Amplituden-Modulation ist ein sog. Einträger- Bandpassübertragungsverfahren, das ein Trägersignal mit einem Symbolstrom moduliert. Bei diesem Verfahren wird der Datenstrom in zwei einzelne Ströme halber Übertragungsrates aufgespalten und anschließend mit einem Trägerpaar aufmoduliert. Bei den orthogonalen Trägern handelt es sich um eine Sinus- und eine Kosinusfunktion deren Verwendung auch die Bezeichnung Quadratur-Amplituden-Modulation erklärt.

Der Sender beinhaltet einen Scrambler (Chiffrierer), einen Leitungskodierer, einen Sendefilter, einen Modulator und einen D/A-Wandler. Das zu übertragende Signal wird nach dem Verwürfeln in einem Demultiplexer in zwei Teilsignale aufgeteilt. Diese Teilsignale durchlaufen anschließend Leitungskodierer, die eine Bit-nach-Symbol-Kodierung vornehmen. Anschließend werden sie im Modulator mit der Frequenz f_0 multipliziert. Der eine Pfad wird mit einem Cosinus, der andere mit einem Sinus moduliert. Anschließend erfolgt die Addition sowie eine D/A-Wandlung. Ein Sendefilter bringt schließlich das Signal auf die Zweidrahtleitung.

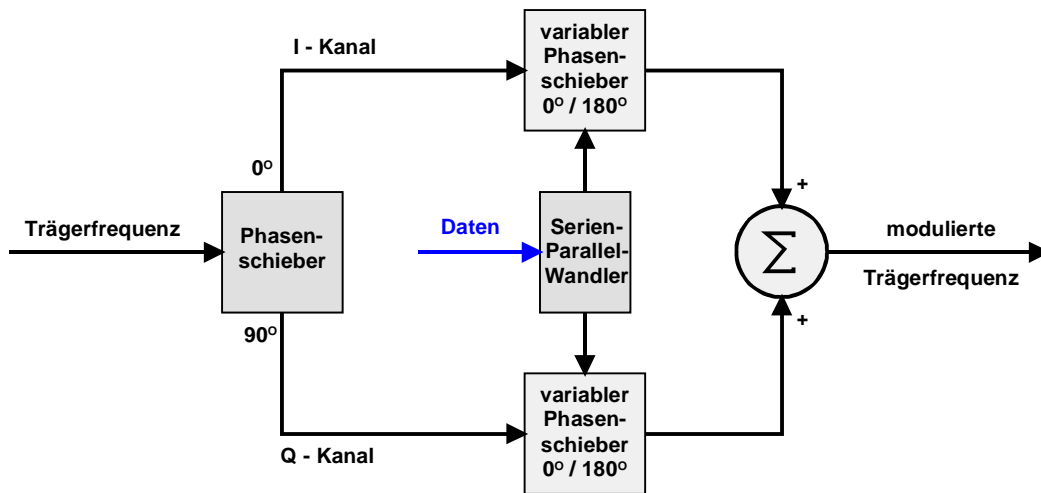


Bild 8 Prinzip eines QAM-Modulators

(7b) Auf der Empfängerseite passiert ähnliches: Das Signal wird zunächst in einem Empfangsfilter bandbegrenzt und nach einer A/D-Wandlung mit einem Cosinus- bzw. Sinusträger gleicher Frequenz wie beim Sender multipliziert.

Für jeden der beiden Pfade ergeben sich nun jeweils ein Basisbandanteil, ein Term mit der Frequenz f_0 und einer mit der Trägerfrequenz $2f_0$. Der nachfolgende Entzerrer macht die Verzerrung des Leiterpaares rückgängig und filtert die Frequenzanteile f_0 und $2f_0$ heraus, so dass wieder das ursprüngliche Basisbandsignal vorliegt. Dieses wird für den jeweiligen Pfad getrennt detektiert und decodiert. Zuletzt werden die beiden Teilsignale im Multiplexer wieder zu einem Signal zusammengefasst.

3.3 Verbindungsaufnahme

(8) Die vielfältigen Möglichkeiten der Einstellung eines ADSL-Übertragungssystems bedingen während des Verbindungsaufbaus den Austausch eines komplexen Protokolls, in welchem sich Vermittlungsstelle und ADSL-Modem gegenseitig ihre Konfiguration mitteilen. Dieser Protokollablauf ist erforderlich zum

- Auffinden nicht benutzbarer Kanäle (Signal/Rausch-Abstand zu gering) und zum
- Bestimmen der kanalindividuellen Bitrate (bits/Symbol)

Die Frequenzgänge werden in beiden Übertragungsrichtungen gemessen, indem die beiden beteiligten Modems einzelne Töne (Träger) senden und das jeweils andere deren Pegel registriert. Anschließend werden Bitraten des Down- und Upstream-Kanals sowie das einzusetzende Verfahren zu Richtungstrennung (FDM oder Echokompensation) mit Hilfe einer Trainingssequenz bestimmt. Hier entscheidet sich die maximal mögliche Bitrate der individuellen Anschlussleitung.

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.

Auch mit sich ändernden Störverhältnissen kann ADSL fertig werden da die Zuordnung der Bits auf die Träger durch Bit Swapping auch während des Betriebs geändert werden kann. 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 Equalizereinstellungen 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.

Bit-Tausch (Bit Swapping)

(9) Die Größe der QAM-Konstellation jedes Unterträgers ist abhängig von den Übertragungseigenschaften des betreffenden Kanals. Während der Initialisierung werden erstmals die Signal-Rauschabstände aller Unterträger ermittelt. Den nicht bzw. wenig gestörten Unterträgern wird eine größere QAM-Konstellation, d.h. eine größere Anzahl von bits/Symbol zugeordnet, den stärker gestörten Unterträgern eine kleinere Zahl. Der Bereich liegt dabei zwischen 2 und 15 bits/Symbol. Sollten bestimmte Kanäle ganz ausfallen, etwa durch starke Störeinstrahlungen von Mittelwellensendern, so bleiben die entsprechenden Unterträger ungenutzt.

Leitungsparameter und Störeinflüsse können sich selbstverständlich auch während einer bestehenden Datenübertragung verändern. Aus diesem Grund werden die Signal-Rauschabstände aller Unterträger alle in regelmäßigen Zeitabständen neu ermittelt. Sollten sich Änderungen ergeben, so wird die Anzahl der bits/Symbol in schwächer gewordenen Unterträgern verringert und in besseren entsprechend erhöht. Dieser Vorgang wird mit Bit-Tausch (englisch "*Bit Swapping*") bezeichnet.

3.4 Fehlerkorrektur

(10) Zur Verbesserung der Störfestigkeit werden die Nutzdaten einer Reihe von Fehlerkorrekturmaßnahmen unterworfen.

- Parity Check
- Cyclic Redundancy Check
Im ersten Schritt kommt neben einer einfachen Paritätskontrolle ein CRC-Verfahren zum Einsatz. Ein Datenwort wird durch ein vorher festgelegtes Polynom geteilt, wodurch sich ein Quotient und ein Rest ergeben. Der Rest wird an das Datenwort angehängt und übertragen. Der Empfänger führt die gleiche Operation durch und vergleicht den von ihm ermittelten Rest mit dem empfangenen. Sollten die Ergebnisse nicht übereinstimmen, wird eine Fehlermeldung erzeugt. Das Endgerät kann dann den empfangenen Block verwerfen und eine erneute Übertragung anfordern (ARQ = Automatic Repeat reQuest). Die vom CRC-Codierer gelieferten Daten werden anschließend mit einem Verwürfelungsalgorithmus bearbeitet.
- Forward Error Correction FEC
Im nächsten Schritt schließt sich die vorwärtsgerichtete Fehlerkorrektur⁷ an. Diese Funktion ist für ADSL unverzichtbar, um unter den im Telefon-Ortsnetz herrschenden Bedingungen die Einhaltung der Spezifikation sicherstellen zu können. Nicht nur Impulsstörungen, sondern auch Hintergrundrauschen und Nebensprechen können durch die FEC kompensiert werden, wobei durch das Einfügen von Redundanzen ein erhöhter Bandbreitenbedarf entsteht. Da ADSL nicht streng bandbreitenlimitiert ist, stellt dies kein wesentliches Problem dar.
- Verschachtelung (Interleaving)
Der Teil der Daten, für den ein zusätzlicher Schutz vor Übertragungsfehlern vorgesehen ist, wird nun der sog. Verschachtelung unterzogen. Dieses Verfahren, welches in ähnlicher Form auch in der Mobilkommunikation verwendet wird, ermöglicht die Wiederherstellung von Daten, die während der Übertragung durch länger anhaltende Störungen vernichtet wurden (englisch: *Burst Errors*). Aufeinanderfolgende Bits eines Rahmens werden mit Bits aus zeitlich weiter entfernten Rahmen nach einem bestimmten Algorithmus vertauscht. Im Empfänger werden die Bits wieder in die richtige Reihenfolge gebracht. Sollten durch eine Störung auf der Übertragungsstrecke nun einige aufeinander folgende Bits zerstört worden sein, so verteilen sich diese zerstörten Bits nach der Wiederherstellung der ursprünglichen Ordnung auf unterschiedliche Rahmen, wo sie als Einzelfehler durch die bereits beschriebenen Algorithmen korrigiert werden können.

⁷ Reed-Solomon-Code

3.5 Rahmenstruktur

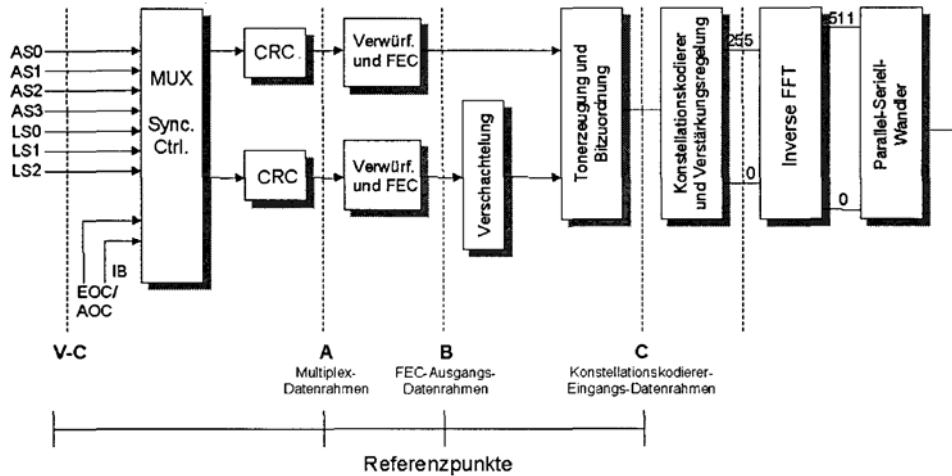


Bild 9 ADSL-Referenzsystem

Die Teilnehmer-Anschlussleitung ist beiderseitig mit einem Modem abgeschlossen. Die Daten werden über die Systemschnittstelle V-C, eingelesen und in einem FIFO zwischengespeichert. Der aus dem FIFO ausgelesene Datenstrom erhält zur Synchronisation mit dem ADSL-Übertragungssystem eine Rahmenstruktur. Eine solche Struktur, die gewisse, eindeutig identifizierbare Muster enthält, ist für synchrone Übertragungssysteme unabdingbar. Rahmenstrukturen werden für die Synchronisierung der Übertragung benutzt und als Basis für das Multiplexen verschiedener Datenkanäle. Rahmenstrukturen können auf verschiedenen Ebenen implementiert werden.

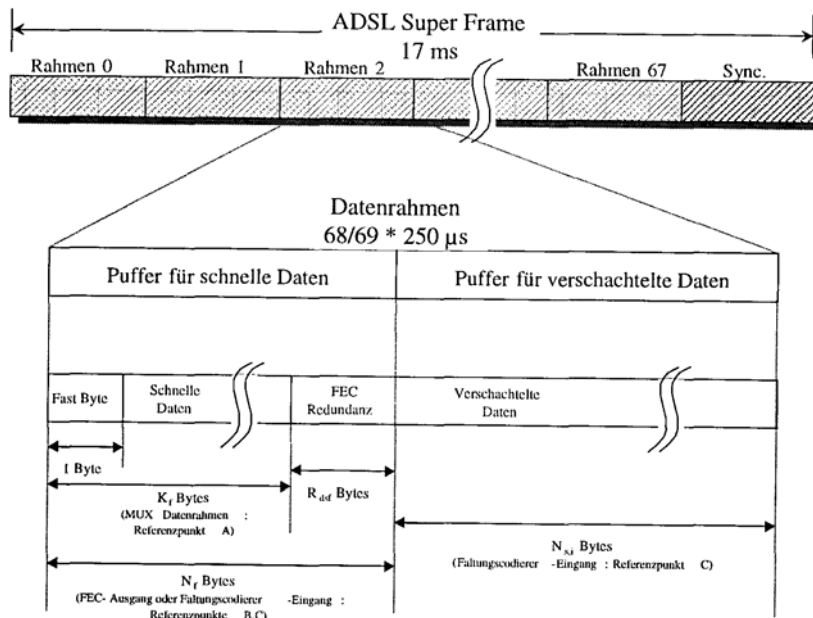


Bild 10 ADSL-Rahmenstruktur

(11) Ein Rahmen besteht üblicherweise aus einem Kopf für die Synchronisierung, einem Hauptteil, der die Nutzdaten enthält, und einem Endabschnitt für Fehlererkennungsfunktionen. Oftmals werden auch Steuer- und Überwachungskkanäle in den Kopf- oder Endabschnitt eingebettet. Um die Übertragungsrates nicht zu stark zu beeinflussen, sollten Kopf- und Endabschnitt relativ klein gehalten werden. Andererseits kann ein zu langer Hauptteil andere

Probleme verursachen, so z.B. lange Synchronisierungszeiten bei der Initialisierung und bei der Neusynchronisierung nach Übertragungsproblemen.

Der ADSL-Standard definiert die Dauer einer *Fouriertransformation* (IFFT/FFT) als Maß für die Rahmenstruktur. Auf 68 Datenrahmen (entsprechend 68 IFFT- bzw. FFT-Operationen) kommt ein Synchronisierungsrahmen. Diese Gruppe von 69 Rahmen heißt Überrahmen (englisch: *Superframe*). Diese Superframes werden nur von den DMT-Empfängern für Synchronisierung und Kanalmultiplex genutzt.

Für ADSL sind bis zu vier logische Simplexkanäle, AS0 bis AS3, sowie drei Duplexkanäle, der Steuerkanal LS0, LS1 und LS2, definiert⁸. In Abhängigkeit von der Betriebsart können diese Kanäle während des Initialisierungsprozesses aktiviert werden.

- In Betriebsart 1 beträgt die maximale Übertragungsgeschwindigkeit 6,144 Mbit/s für bis zu vier Simplexkanäle (AS0, AS1, AS2, AS3), 640 kbit/s für bis zu zwei Duplexkanäle (LS1, LS2) und 64 kbit/s für den Steuerkanal (LS0).
- In Betriebsart 2 beträgt die maximale Übertragungsgeschwindigkeit 4,608 Mbit/s für bis zu drei Simplexkanäle (AS0, AS1, AS2), 608 kbit/s für bis zu zwei Duplexkanäle (LS1 oder LS2) und 64 kbit/s für den Steuerkanal (LS0).
- In Betriebsart 3 beträgt die maximale Übertragungsgeschwindigkeit 3,072 Mbit/s für bis zu zwei Simplexkanäle (AS0, AS1), 608 kbit/s für bis zu zwei Duplexkanäle (LS1 oder LS2) und 64 kbit/s für den Steuerkanal (LS0).
- In Betriebsart 4 beträgt die maximale Übertragungsgeschwindigkeit 1,536 Mbit/s für einen Simplexkanal (AS0), 640 kbit/s für einen Duplexkanal (LS1) und 16 kbit/s für den Steuerkanal. Die Steuerungsinformationen werden in diesem Fall nicht über den Kanal LS0, sondern innerhalb der Synchronisierungsdaten übertragen.

Jeder ADSL-Datenrahmen besteht aus je einem Bereich für sog. schnelle und verschachtelte Daten. Letztere sind Daten, für die in einem späteren Schritt ein zusätzlicher Fehlerschutz in Form einer Verschachtelung der Daten (*Interleaving*) vorgenommen wird. Simplex- und Duplexkanäle können in beiden Bereichen in ähnlicher Anordnung enthalten sein, d.h. beginnend mit AS0 und gefolgt von AS1, AS2, AS3, LS0, LS1 und LS2. Der schnelle Abschnitt beginnt mit einem sog. Fast Byte und endet mit einigen Redundanzbytes für die vorwärtsgerichtete Fehlerkorrektur.

Für die schnellen Daten befindet sich die Information bezüglich der Kanäle und der einzufügenden oder zu löschenden Zellen im Fast Byte, für die verschachtelten Kanäle befindet sie sich im Synchronisierungsbyte.

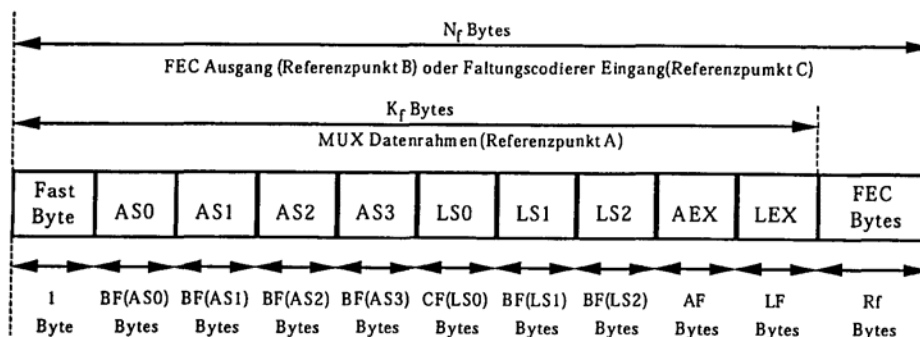


Bild 11 Format des Rahmens für schnelle Daten

⁸ In T1.413 Issue 2 wurden später einige Veränderungen wie z.B. höhere Übertragungsgeschwindigkeiten definiert und die genaue Einteilung in Kanäle aufgehoben.

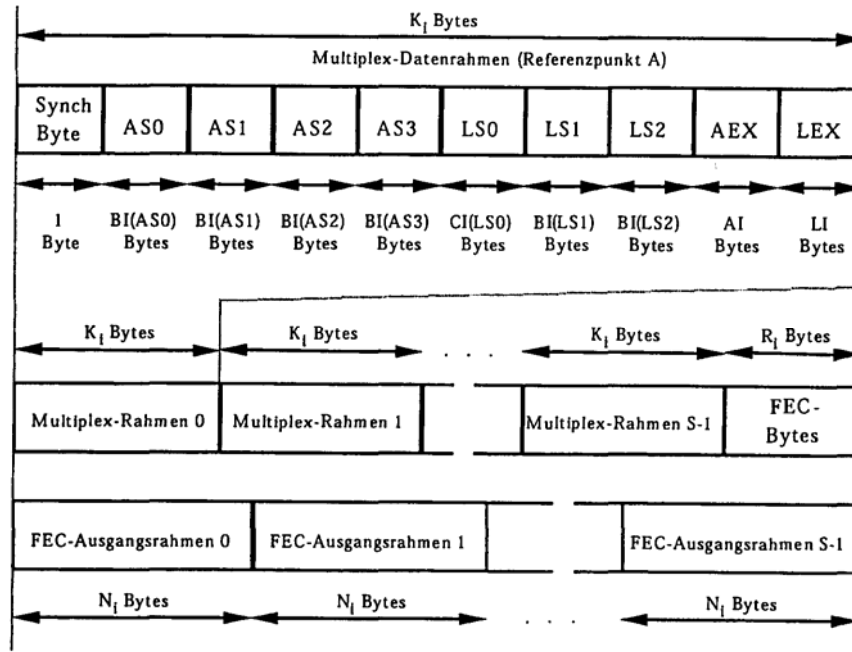


Bild 12 Format des Rahmens für verschachtelte Daten

4 Schnittstellen und Protokolle

ADSL Hardware-Struktur

(12) Direkt an der Anschlussleitung wird vermittlungsstellenseitig und teilnehmerseitig je ein ADSL-Splitter eingefügt, der hochwertige, sprich steiflankige Hochpassfilter für das ADSL-Spektrum enthält. Über Tiefpassfilter wird das bisherige analoge Telefonsignal bzw. das ISDN-Signal auf und von der Anschlussleitung gefiltert.

Vermittlungsstellenseitig stellt eine ADSL Line Termination (Digital Subscriber Line Multiplexer) einerseits ADSL-Kanäle für mehrere Teilnehmer zur Verfügung, andererseits steht sie mit dem ATM-Backbone über einen ATM-Switch mit 155 Mbit/s in Verbindung.

Teilnehmerseitig ist an dem Splitter ein ADSL-Modem angeschlossen, welches eine ATM-F25,6-Schnittstelle (25,6 Mbit/s) oder eine (langsamere) LAN-Schnittstelle 10BaseT enthält. Der nachfolgende PC verfügt über eine entsprechende ATM- oder Netzwerkkarte, um die Schnittstelle des ADSL-Modems einwandfrei bedienen zu können. Bei ISDN ist der NTBA (Network Termination, Netzabschluss des Basisanschlusses) dem Splitter nachzuschalten.

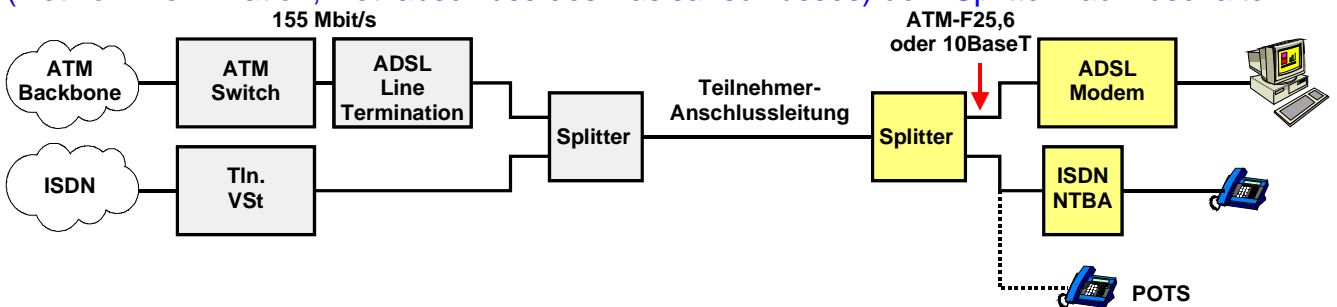


Bild 13 ADSL Hardware-Struktur

4.1 Teilnehmerseitige Systemschnittstellen

ADSL stellt ohne Zweifel einen gewaltigen Fortschritt in der Übertragungstechnik für die sog. *„letzte Meile“* zum Teilnehmer dar. Nicht weniger wichtig als die sog. Datenpumpe (das eigentliche ADSL-Modem) sind jedoch die Schnittstellen zur öffentlichen Vermittlungseinrichtung und zum Endgerät des Teilnehmers. Schließlich müssen die Daten auf irgendeinem Weg und in ausreichender Geschwindigkeit zu- bzw. abgeführt werden.

Auf der Teilnehmerseite sollten sich die Schnittstellen an bestehenden und bereits eingeführten Standards orientieren, um durch kostengünstige Systemlösungen einen möglichst breiten Markt zu adressieren. Welche Schnittstelle letztendlich zum Einsatz kommt, hängt entscheidend von der Art des Endgerätes und dem Konzept des ADSL-Modems ab. Es herrscht allgemein Einigkeit darüber, dass das primär zum Einsatz kommende Endgerät der Personal Computer sein wird, gefolgt von der *Set Top Box (STB)* für Digital-TV-Anwendungen. Dementsprechend sind folgende ADSL-Modemschnittstellen im Gespräch:

Universal Serial Bus (USB)

USB ist eine relativ neue Schnittstelle, die im Jahre 1995 von den Firmen Intel, Microsoft und einigen anderen entwickelt wurde und die mittlerweile auf den meisten neuen PC-Hauptplatinen zu finden ist. Sie ersetzt die in die Jahre gekommenen Schnittstellen für Maus, Tastatur, Joystick und Modem. *USB* ist ein serieller Bus, an den bis zu 127 Peripheriegeräte angeschlossen werden können, welche selbständig erkannt werden (*„Plug and Play“*) und sich den Bus teilen. Geräte können sternförmig über Verteiler angeschlossen oder hintereinander geschaltet werden. Auch während des Betriebes können Geräte zugeschaltet oder entfernt werden, es findet eine automatische Neukonfigurierung statt. Die maximal zur Verfügung stehende Bandbreite beträgt 12 Mbit/s und bietet damit ausreichende Reserven für den Betrieb eines Universal-ADSL-Modems. Auch ein *„Full-Rate“*-ADSL-Modem lässt sich theoretisch am USB betreiben, sofern die Kapazität des Busses nicht von anderen Geräten zu stark ausgelastet wird. Das Erreichen der vollen Leistung von 8 Mbit/s kann jedoch nicht in allen Fällen gewährleistet werden.

Fire Wire - p1394

Der ebenfalls serielle p1394-Bus wurde im Jahre 1994 unter der Bezeichnung *„Fire Wire“* von Apple Computers vorgestellt. Konzipiert für die Vernetzung von Personal Computern mit digitalen Audio- und Videogeräten, ist er mittlerweile nicht nur in digitalen Videokameras, sondern auch in vielen anderen Hochgeschwindigkeitsanwendungen wie z.B. im Backbone von GSM-Basisstationen zu finden. Hervorzuhebende Merkmale von p1394 sind die enormen Datenraten von 200, 400 und 800 Mbit/s sowie die Fähigkeit, während des Betriebes Netzwerkkomponenten störungsfrei anzuschließen oder zu entfernen. Wie auch USB beinhaltet p1394 neben den Datenleitungen zwei Leitungen zur Stromversorgung angeschlossener Komponenten.

PCI

PCI, ein Acronym für Peripheral Component Interconnect, ist ein von der Fa. Intel im Jahre 1993 vorgestellter Standard für Computer-Bussysteme. PCI stellt eine Zwischenstufe zwischen dem lokalen Bus des Prozessors und einem herkömmlichen Erweiterungsbus (ISA, EISA, Microchannel usw.) dar. Die Verbindung vom lokalen Bus des Prozessor-Subsystemes (Prozessor, Speicher, Cache) zum Erweiterungsbus erfolgt über eine sog. PCI-Brücke. Die meisten modernen Personal Computer verfügen sowohl über einen PCI-Bus als auch über einen *ISA-Bus*. Vorteile des PCI-Busses sind die Bandbreite von bis zu 132 MHz bei einem

Bustakt von 33 MHz und einer Datenwortgröße von 32 oder 64 Bits und die Unterstützung von intelligenten, d.h. mit eigenen Prozessoren ausgestatteten Erweiterungskarten. Hierdurch wird die CPU von Aufgaben wie dem Datentransfer zwischen Hauptspeicher und Peripherie entlastet. Alle auf dem Markt erhältlichen ADSL-Modemkarten für Personal Computer sind mit einer PCI-Schnittstelle ausgestattet.

Ethernet

Ethernet wurde in den siebziger Jahren am Forschungszentrum der Fa. Xerox in Palo Alto als Verfahren zur Datenkommunikation in lokalen Computernetzwerken entwickelt. Im Jahre 1985 wurde der Ethernet-Standard unter der Bezeichnung *IEEE 802.3* formal verabschiedet. Seitdem wird der Standard kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert. Neben der klassischen Übertragungsgeschwindigkeit von 10 Mbit/s (10Base-x) existiert eine Variante mit 100 Mbit/s (100Base-x) sowie das sog. Gigabit-Ethernet (1000Base-x), welches nochmals deutlich höhere Geschwindigkeiten erreicht.

ATM-F 25.6 Mbit/s

Diese vom ATM-Forum spezifizierte Schnittstelle hat sich, da von einigen großen Netzbetreibern in Europa und den USA verlangt, neben Ethernet (10Base-T) als Quasi-Standard-Schnittstelle für ADSL-Netzabschlusseinrichtungen etabliert. Sie ermöglicht den durchgehenden Transport von ATM-Zellen vom Diensteanbieter bis zum Teilnehmer und zurück ("End-to-End"). Für den Massenmarkt wird die ATM25-Schnittstelle aus Kostengründen jedoch keine große Rolle spielen.



Bild 14 Aufbau der ATM25-Schnittstelle

Der Aufbau der ATM25-Schnittstelle ist relativ einfach. Im SAR-Block werden Daten zur Anpassung an höhere Schichten segmentiert bzw. wieder zusammengesetzt (*SAR = Segmentation And Reassembly*). Der TC-Block (Transmission Convergence) passt den zum ATM-PHY gehenden bzw. den von dort kommenden Bitstrom an das verwendete Übertragungssystem an. Eine weitere Funktion des TC ist die Erzeugung bzw. Überprüfung der Fehlersicherung im Kopf jeder ATM-Zelle. Der sog. ATM-PHY nimmt die Anpassung des Datensignals an das Übertragungsmedium vor bzw. gewinnt Daten und Takt aus dem Eingangssignal zurück. Als Übertragungsmedium kommt ungeschirmtes verdrilltes Kabel der Kategorie 3, 4 oder 5 zum Einsatz. Die Reichweite beträgt maximal 100 Meter.

UTOPIA-2

Als interne Schnittstelle vom ADSL-Chipsatz zum ATM-Systembus, der sog. Backplane, hat sich die UTOPIA-2-Schnittstelle durchgesetzt. UTOPIA (Universal Test and Operations Physical Interface for ATM) stellt eine standardisierte Schnittstelle zwischen der physikalischen Ebene und den oberen Protokollebenen wie der ATM-Ebene und den verschiedenen Managementeinheiten dar.

4.2 Protokolle für den Datentransport über ADSL

Die Diskussion über die für den Datentransport über ADSL am zweckmäßigsten zu verwendenden Protokolle ist noch immer in vollem Gange, ohne dass sich eine einheitliche Lösung abzeichnet. Es scheint aber sicher, dass ATM zumindest auf einem Teil der Übertragungsstrecke zum Einsatz kommen wird. ATM ist ein Protokoll der Ebene 2 (im OSI-Modell), das unter Zuhilfenahme der physikalischen Schicht eine Verbindung zwischen zwei Punkten aufbaut, zwischen denen Informationen ausgetauscht werden. ATM wurde für die Übertragung verschiedener Informationstypen wie Sprache, Daten und Video konzipiert und ist daher sehr gut für den Einsatz in ADSL-Systemen geeignet, die genau diese Arten von Information zum Teilnehmer transportieren sollen. ATM ermöglicht darüber hinaus die Definition verschiedener Qualitätsklassen, die dem Kunden die Auswahl zwischen einer preiswerten Verbindung bei variierender Bandbreite oder einem teureren Dienst mit garantierter Übertragungskapazität bieten.

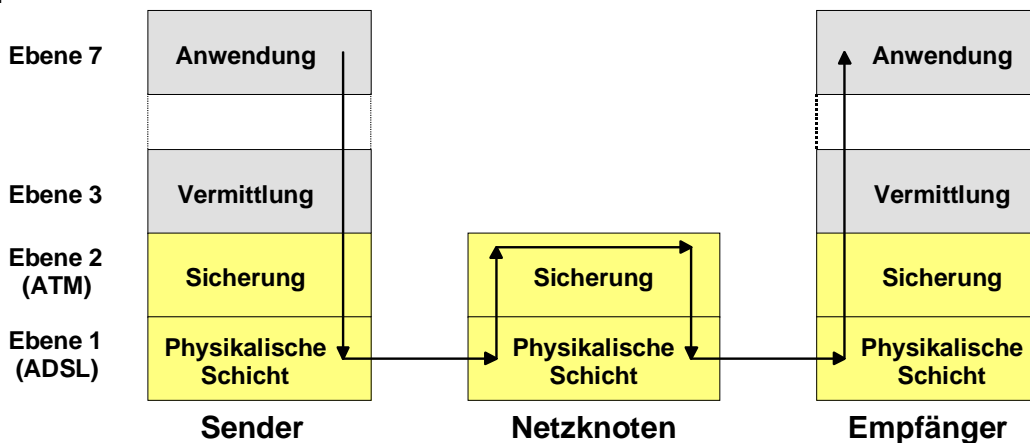


Bild 15 ATM über ADSL im OSI-Schichtenmodell

Für den Einsatz von ATM gibt es eine Reihe von Szenarien, von denen zwei besondere Beachtung in der Industrie finden: IP über PPP und PPP über ATM. Die *TCP/IP-Protokollfamilie (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)* wurde für die Kommunikation zwischen Computern verschiedener Hersteller im amerikanischen Forschungsnetz *ARPA (Advanced Research Project Agency)* entwickelt.

PPP (*Point-to-Point Protocol*) ermöglicht die Übertragung von Daten zwischen den Kommunikationsterminals verschiedener Hersteller über serielle Wahl- und Festverbindungen. PPP wurde im Jahre 1990 als herstellerunabhängiges Protokoll vorgestellt, um das bis dahin verwendete SLIP-Protokoll (*Serial Line Internet Protocol*) abzulösen.

Viele Netzbetreiber favorisieren PPP über ATM, weil ATM so bis zum Teilnehmer geführt werden kann. Hierdurch werden Protokollumsetzungen innerhalb des Netzwerkes vermieden und die ATM-Zellen können ohne großen Aufwand durch das Netz geschleust werden. Die Aufgabe des Segmentierens und Entsegmentierens (SAR) muss dann allerdings im PC oder sonstigen Endgerät des Teilnehmers durchgeführt werden, was bei der Leitungsfähigkeit moderner Personal Computer jedoch kein Problem darstellen dürfte.

IP über PPP ist durch Bereitstellung eines entsprechenden Software-Treibers leicht auf einem PC zu implementieren. Der existierende TCP/IP-Protokollstapel kann vollständig genutzt werden. Einer Ankündigung der Firma Microsoft zufolge werden auch die Windows-Betriebssysteme in Zukunft ATM unterstützen.

5 Einsatzgebiete

xDSL-Technologien werden hauptsächlich im Teilnehmeranschlussbereich, auf der sog. letzten Meile zwischen Vermittlungsstelle und Teilnehmer, eingesetzt. Die Überbrückung dieser letzten Meile gilt als besonders kritisch, da das Verlegen neuer Anschlussleitungen die Durchführung von Bauarbeiten erfordert und somit enorme Kosten verursacht. Die Netzbetreiber sind daher darauf bedacht, die existierenden Anschlussleitungen in möglichst effizienter Weise zu nutzen. Historisch bedingt besteht die Anschlussleitung auf der letzten Meile in der Regel aus ungeschirmt, verdrehtem Kupferdraht. Den Teil des Netzwerkes, der die Verbindung des Teilnehmers zum öffentlichen Telekommunikationsnetz herstellt, bezeichnet man als Teilnehmerzugangnetz (englisch: *Access Network*).

(13) Für die Einrichtung einer ADSL-Übertragungsstrecke ist eine direkte, d.h. nicht mehrfach genutzte Verbindung vom Teilnehmer zur Vermittlungseinrichtung erforderlich. Auf Seiten des Teilnehmers befindet sich ein ADSL-Modem oder eine *Netzabschlussleinrichtung (NT)*. In der Vermittlungsstelle befindet sich das Gegenstück in Form einer ADSL-Leitungsabschlussleinrichtung (*LT*)

Die von ITU-T verwendeten Bezeichnungen sind:

- NT: *ATU-R (ADSL Termination Unit Residential Side)* und für die
- LT: *ATU-C (ADSL Termination Unit Central Office)*.

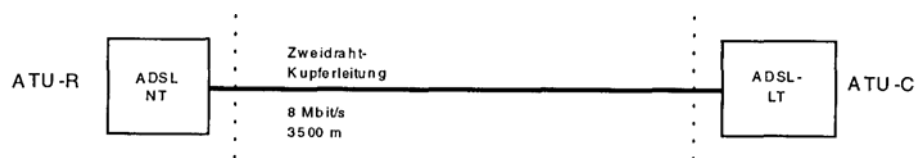


Bild 16 Einsatz von ADSL im Zugangnetz

5.1 Netzwerk- bzw. Vermittlungsstellenseite

Im Normalfall ist ein Teilnehmer über eine Zweidrahtleitung direkt mit der nächsten *Ortsvermittlungsstelle (OVSt)* verbunden. Alle Teilnehmeranschlussleitungen werden in der OVSt über einen *Hauptverteiler (HVt)* auf Anschlussbaugruppen geführt, welche die Leitungen terminieren, Überspannungen ableiten, die Fremdspeisung zuführen und im Falle von POTS Sprachsignale weiterverarbeiten, die Rufspannung erzeugen und das Abheben des Apparates detektieren. In ISDN-Systemen ist dort auch die Zweidraht-Vierdrahtschnittstelle zu finden.

(14a) Bei der Umrüstung auf ADSL wird die Verbindung vom HVt zu den Anschlussbaugruppen aufgetrennt. Eine Bank aus Tief- und Bandpassfiltern trennt die niederfrequenten POTS- bzw. ISDN-Signale von den ADSL-Signalen⁹.

⁹ Diese Filter sind i. a. Bestandteil der DSLAM. Zur besseren Verständlichkeit wurden sie hier als separate Einheit dargestellt.

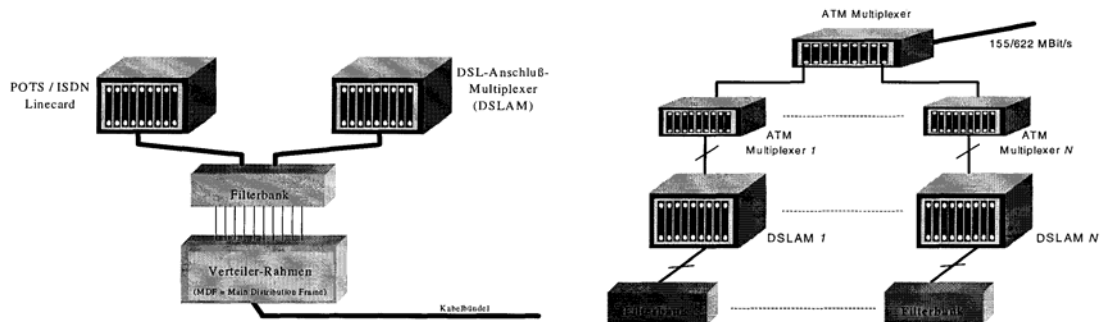


Bild 17 DSL- Anschluss-Multiplexersystem in der Vermittlungsstelle

(14b) Die POTS- bzw. ISDN-Signale werden auf die bereits vorhandenen Anschlussbaugruppen geführt und unverändert weiterverarbeitet.

Die ADSL-Signale werden auf einen DSL-Anschlussmultiplexer (*DSLAM = DSL Access Multiplexer*) geführt. Der DSLAM besteht aus einer Reihe von ADSL-Anschlussbaugruppen, die jeweils zwischen einem und vier ADSL-Kanälen (in Zukunft acht und mehr) verarbeiten. Jede Anschlussbaugruppe besteht im Wesentlichen aus folgenden Funktionsblöcken:

- Überspannungsschutz
- Zweidraht-Vierdraht-Umsetzer (Hybrid)
- ADSL-Modem
- Steuerprozessor mit Managementschnittstelle
- Systemschnittstelle (meist UTOPIA)

Die Ausgänge der ADSL-Anschlussbaugruppen werden auf einen ATM-Multiplexer gegeben, der entweder über eine Verbindung von 155 oder 622 Mbit/s an ein ATM-Netz angeschlossen oder mit einem weiteren ATM-Multiplexer verbunden ist.

Eine insbesondere für Neuinstallationen interessante Alternative zu den separaten Anschlussbaugruppen ist die kombinierte Anschlussbaugruppe für ADSL und POTS bzw. ADSL und ISDN. In diesem Fall sind die Filter auf der Baugruppe integriert, die weitere Verarbeitung der Signale erfolgt allerdings vorerst noch getrennt.

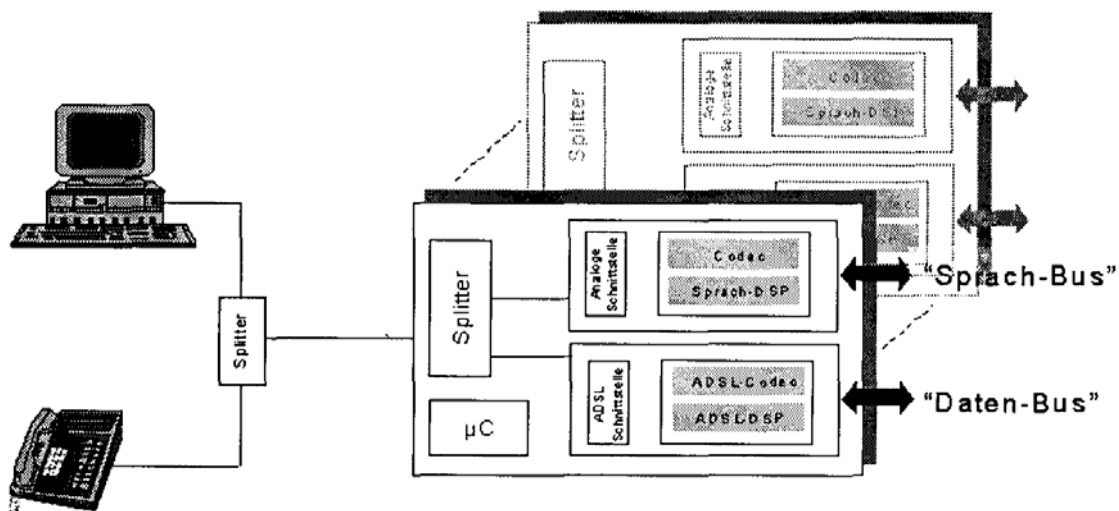


Bild 18 Integrierte Teilnehmeranschlusskarte für POTS/ISDN und ADSL

5.2 Teilnehmerseite

ADSL NT (Network Termination Unit)

Vergleichbar dem herkömmlichen ISDN-NT stellt der ADSL-NT einen definierten Netzabschluss dar. Für die Ausführung der ADSL-NT gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Splitter, ADSL-NT und POTS-Anschluss bzw. ISDN-NT können als separate Einheiten in verschiedenen Gehäusen untergebracht sein.
- Splitter und ADSL-NT sind integriert, so dass nur der ISDN-NT bzw. das analoge Telefon angeschlossen werden müssen.
- Splitter, ISDN-NT und der ADSL-NT sind in einem Gehäuse bzw. einem System integriert.

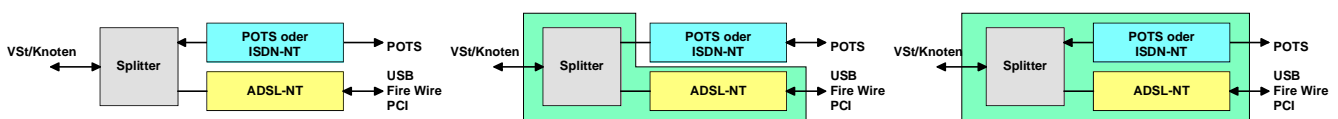


Bild 19 ADSL-NT-Konzept

(15) Bezüglich der Funktionalität der ADSL-NT gibt es von Seiten der Netzbetreiber klare Vorgaben. Netzwerkseitig müssen sie den bekannten Spezifikationen für Impedanz, Signalgröße, -form etc. genügen. Teilnehmerseitig muss die NT bestimmte Schnittstellen und Protokolle für den Anschluss von Datenendgeräten wie z.B. dem Personal Computer bereitstellen.

Als wichtigste Schnittstellen haben sich die vom ATM-Forum spezifizierte ATM-Schnittstelle mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 25,6 Mbit/s und die aus dem Netzwerkbereich bekannte Ethernet-Schnittstelle mit 10 Mbit/s etabliert.

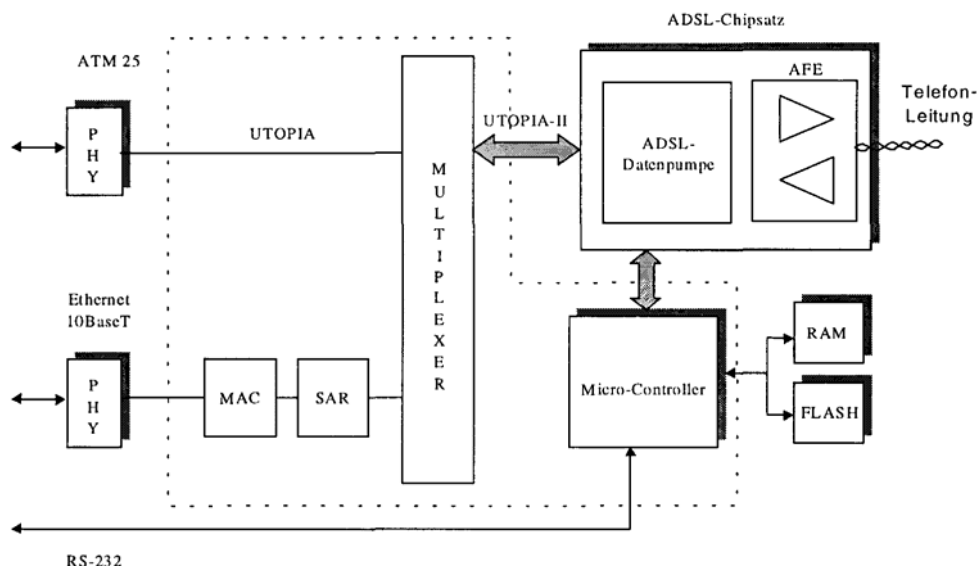


Bild 20 Prinzipieller Aufbau einer ADSL-NT

Die Aufbereitung der Daten für die Übertragung über die Zweidrahtleitung und die Rückgewinnung von Daten aus dem empfangenen Signal wird durch einen Standard-ADSL-Chipsatz mit ATM-UTOPIA-2-Schnittstelle vorgenommen. Ein Multiplexer bzw. Demultiplexer fügt die von den Schnittstellen kommenden bzw. zu ihnen gehenden Datenströme zusammen bzw. trennt sie. Während der ATM-PHY-Baustein ebenfalls über eine UTOPIA-II-Schnittstelle verfügt, muss für die Ethernet-Schnittstelle eine Anpassung der Datenstruktur vorgenommen werden.

Eine weitere interessante Entwicklung zeichnet sich im Bereich der Heimnetzwerke (engl. Home Networks) ab, die im Haus installierten Telefonleitungen zur Datenübertragung nutzen. Die Übertragungsgeschwindigkeit der auf Ethernet-Technologie basierenden Verfahren beträgt bis zu 10 Mbit/s.

Ein ADSL-NT oder ein ähnliches Gerät könnte als Teil eines Heimnetzwerkes die Schnittstelle zwischen diesem Netzwerk und dem öffentlichen Telekommunikationsnetz bilden. Unter dem Stichwort *“Home Gateway“* sind bereits seit einiger Zeit diesbezügliche Studien bzw. Entwicklungen in verschiedenen Industriezweigen im Gange.

Das ADSL-Modem

Externe ADSL-Modems können entweder als separate Einheiten oder in Kombination mit dem Splitter ausgeführt sein. Als Schnittstellen kommen nach jetzigem Stand USB oder Fire Wire (p1394) in Betracht.

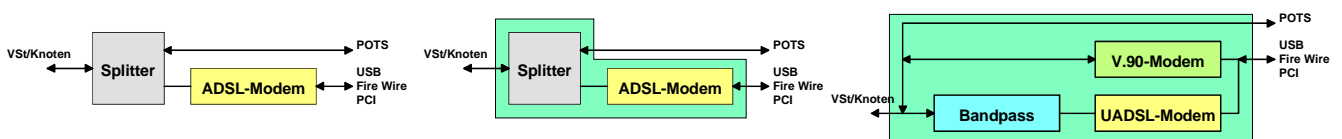


Bild 21 ADSL-Modem-Konzepte

USB ist für eine maximale Datenrate von 12 Mbit/s spezifiziert, was bei einer Belegung des Busses mit mehreren Peripheriegeräten zu Konflikten und einer reduzierten Datenrate des ADSL-Modems führen könnte. Fire Wire (p1394) hat sich trotz einiger Erfolge im Computer- und Konsumerbereich (digitale Videokameras) bislang bei den Modems noch nicht durchsetzen können. Für Full-Rate-ADSL stellt Fire Wire (p1394) jedoch ausreichende Kapazitätsreserven zur Verfügung.

6 Kontrollfragen

1. [Welche Einsatzmöglichkeiten können für die wired local loop prinzipiell unterschieden werden?](#)
2. [Beschreiben Sie die grundsätzliche Kanalstruktur des ADSL.](#)
3. [Was muss berücksichtigt werden, wenn man ADSL auf einem ISDN Anschluss einsetzen will?](#)
4. [Beschreiben Sie die bei ADSL einsetzbaren Verfahren zur Richtungstrennung.](#)
5. [Nennen Sie mögliche ADSL Modulationsverfahren und deren grundlegende Eigenschaften.](#)
6. [Beschreiben Sie Prinzip und Eigenschaften der Discrete Multitone Modulation.](#)
7. [Beschreiben Sie Prinzip und Eigenschaften der Quadratur-Amplitudenmodulation.](#)
8. [Beschreiben Sie die Aufnahme einer ADSL-Verbindung.](#)
9. [Was verstehen Sie unter Bit swapping und wann wird es eingesetzt?](#)
10. [Nennen und beschreiben Sie die vorgesehenen Fehlerkorrekturmaßnahmen.](#)
11. [Beschreiben Sie die ADSL Rahmenstruktur.](#)
12. [Beschreiben Sie die ADSL Hardware-Struktur.](#)
13. [Welche Einrichtungen sind für eine ADSL-Kommunikation erforderlich?](#)
14. [Welche Aufgabe hat die netzseitige ADSL-Schnittstelle und aus welchen Bestandteilen besteht sie?](#)
15. [Beschreiben Sie Aufgaben und prinzipiellen Aufbau eines ADSL-NT.](#)

7 Bilder

Bild 1	ADSL – Kanalstruktur bei POTS	4
Bild 2	ADSL-Übertragungssystem.....	4
Bild 3	ADSL – Kanalstruktur bei ISDN	5
Bild 4	POTS mit FDM-Betrieb	7
Bild 5	POTS mit Echokompensation	7
Bild 6	Prinzip des DMT-Verfahrens.....	8
Bild 7	Verteilung der Bits auf die verschiedenen Teilkanäle bzw. Frequenzen	9
Bild 8	Prinzip eines QAM-Modulators.....	10
Bild 9	ADSL-Referenzsystem.....	13
Bild 10	ADSL-Rahmenstruktur	13
Bild 11	Format des Rahmens für schnelle Daten.....	14
Bild 12	Format des Rahmens für verschachtelte Daten.....	15
Bild 13	ADSL Hardware-Struktur	15
Bild 14	Aufbau der ATM25-Schnittstelle	17
Bild 15	ATM über ADSL im OSI-Schichtenmodell	18
Bild 16	Einsatz von ADSL im Zugangsnetz.....	19
Bild 17	DSL- Anschluss-Multiplexersystem in der Vermittlungsstelle	20
Bild 18	Integrierte Teilnehmeranschlusskarte für POTS/ISDN und ADSL	20
Bild 19	ADSL-NT-Konzept	21
Bild 20	Prinzipieller Aufbau einer ADSL-NT	21
Bild 21	ADSL-Modem-Konzepte	22

8 Abkürzungen

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ANSI	American National Standards Institute
ASL.....	Analog Subscriber Line
ATM	Asynchronous Transfer Mode
CAP	Carrierless Amplitude/Phase Modulation
CO	Central Office, Ortsvermittlungsstelle, Teilnehmervermittlungsstelle
DMT	Discrete Multi-Tone Modulation
DSL.....	Digital Subscriber Loop, Digital Subscriber Line
EC.....	Echo Compensation
ETSI.....	European Telecommunications Standards Institute
FDM	Frequency Division Multiplexing
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transformation
HDSL	High bit rate Digital Subscriber Line
IDSL.....	Integrated Digital Subscriber Line
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU.....	Internationale Telegraphen Union
ITU-T.....	Internationale Telegraphen Union, Abteilung Telekommunikation
OSI	Open Systems Interconnection
OVSt	Ortsvermittlungsstelle
PCI.....	Peripheral Component Interconnect
POTS.....	Plain Old (Ordinary) Telephone Service, analoger Telefonanschluß
QAM	Quadratur-Amplitudenmodulation
TAL	Teilnehmer-Anschlussleitung
TCP IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
VSt.....	Vermittlungsstelle

9 Literatur

- [1] Elektor 10/99 Seite 28 bis 34, Autor: Dipl.-Ing. Gregor Kleine
- [2] Lochmann, Digitale Nachrichtentechnik, 2. Auflage, Verlag Technik Berlin, 1997, ISBN 3-341-01184-6
- [3] Ulrich Freyer, Nachrichtenübertragungstechnik, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, 1994, ISBN 3-446-17724-8
- [4] Gunther Altehage (Hrsg), Digitale Vermittlungssysteme für Fernsprechen und ISDN, R.v.Decker´s Verlag, 1991, ISBN 3-7685-0689-4
- [5] Telekommunikationstechnik, 6. Auflage, Verlag Europa Lehrmittel, 1995, ISBN 3-8085-3346-3
- [6] Gerd Siegmund, Technik der Netze, 3. Auflage, R.v.Decker´s Verlag, 1996, ISBN 3-7685-2495-7
- [7] Beuth/Hanebuth/Kurz, Nachrichtentechnik – Elektronik 7, 1. Auflage, Vogel Fachbuchverlag, 1996, ISBN 3-8023-1401-8
- [8] Bergmann/Gerhardt, Handbuch der Telekommunikation, Hanser Verlag, 2000 ISBN 3-446-19535-1
- [9] Detlef Führer, ADSL: High-speed Multimedia per Telefon, Hüthig Verlag, 2000 ISBN 3-7785-3914-0

Standards

- [1] ANSI-Standard T1.413
- [2] ITU-Standard G992.2 - Splitterless ADSL
- [3] ITU-Standard G992.1 (Annex B: ISDN + ADSL)

Internetadressen

www.dtag.de
www.adsl.com
www.uawg.org