

## Kommunikation über DSL

Kommunikation über DSL .....	1
1 DSL Grundlagen.....	3
1.1 Trends verschlafen.....	3
1.2 Das DSL-Prinzip: Kanaltrennung.....	3
1.3 Trennung bietet neue Nutzungsoptionen.....	3
1.4 Theoretische Grenzen im analogen Netz.....	4
1.5 Potential und Einschränkungen .....	4
1.6 Übertragungsfaktoren .....	4
1.7 ADSL-Intern.....	4
1.7.1 Datentransfer per ADSL.....	5
1.7.2 Carrierless Amplitude/Phase Modulation.....	5
1.7.3 Übertragungsmethoden im Detail.....	5
1.7.4 Discrete Multi-Tone Modulation.....	6
1.8 Vorteile der neuen Technik .....	6
1.9 Die Zukunft: VDSL.....	6
1.10 FTTH .....	7
2 xDSL Technologien im Überblick .....	7
2.1 Kurzüberblick DSL Technologien.....	7
2.2 Kurzüberblick Kupferübertragungstechniken .....	9
2.3 Digital Subscriber Line (DSL) Technologien .....	10
2.3.1 Handelsübliche Modems .....	10
2.3.2 DSL - Digital Subscriber Line.....	10
2.3.3 T1 oder E1 .....	11
2.3.4 HDSL - High data rate Digital Subscriber Line .....	11
2.3.5 SDSL - Single Line Digital Subscriber Line .....	11
2.3.6 ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line .....	12
2.3.7 VDSL - Very high rate Digital Subscriber Line .....	12
2.4 Ein Überblick über ADSL.....	13
2.4.1 Einleitung.....	13
2.4.2 Das Konzept .....	13
2.4.3 Die Fähigkeiten von ADSL .....	14
2.4.4 ADSL-Übertragungstechniken .....	15
2.4.5 Trennung von Downstream- und Return-Kanälen .....	15
2.4.6 Die Quadratur Amplituden Modulation (QAM) .....	17
2.4.7 Die Carrierless Amplitude/Phase Modulation (CAP) .....	18
2.4.8 Discrete Multi-Tone Modulation (DMT) .....	19
2.5 Was ist VDSL ? .....	22
2.5.1 Einleitung.....	22
2.5.2 Was VDSL alles können soll .....	23
2.5.3 VDSL Technik.....	23
2.5.4 Übertragungsmethoden.....	23
2.5.5 Kanaltrennung .....	23
2.5.6 Forward Error Control.....	23
2.6 Ein Überblick über HDSL .....	24
2.6.1 Die Bedeutung von HDSL .....	24
2.6.2 Repeated T1/E1 .....	24
2.6.3 Die Geburt von HDSL .....	25
2.6.4 Wie HDSL prinzipiell arbeitet .....	25
2.6.5 HDSL - Technik .....	25

2.6.6 Die Vorteile von HDSL .....	27
3 DSL Technologien.....	28
4 DSL Technologien (Digital Subscriber Line .....	28
4.1 Eine kleine Geschichte der analogen Modems .....	28
4.2 DSL Technologie und T1/E1.....	29
4.3 xDSL.....	30
4.3.1 HDSL - High Rate Digital Subscriber Line.....	30
4.3.2 SDSL – Single Line Digital Subscriber Line .....	30
4.3.3 ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line .....	30
4.3.4 VDSL - Very high rate Digital Subscriber Line .....	30
4.4 Kurzübersicht der DSL Technologien .....	31
4.5 Standards .....	31
4.6 ADSL Marktstatus .....	32
4.7 ADSL Technik.....	32
4.8 Funktionsweise der ADSL Technik .....	33
4.8.1 FDM ADSL .....	34
4.8.2 EC ADSL.....	35
4.9 VDSL.....	35
4.10 VDSL's im Vergleich zu ADSL.....	36

## 1 DSL Grundlagen

### 1.1 Trends verschlafen

Den Telekomgesellschaften ist es durch aufwendige Werbekampagnen gelungen, ISDN auf breiter Ebene einzuführen. Allerdings hat das digitale Konzept einen generellen Haken: Daten und Sprache werden nicht getrennt, sondern als eine Einheit behandelt - eigene Datenkanäle sind nicht im Konzept vorgesehen. Demgegenüber stellt ADSL die weitaus leistungsfähigere Technologie dar.

In Europa, speziell in Deutschland, hat man diese Entwicklung einmal mehr verschlafen. Während hierzulande ADSL in ersten Pilotprojekten anläuft, ist es in den USA bereits auf dem Vormarsch: Viele Provider bieten derzeit schon fertige Zugänge. Entsprechend ist auch die Entwicklung von ADSL-Modems fortgeschritten: Während in Europa teure Prototypen zum Einsatz kommen, bedienen Hersteller wie 3Com (<http://www.3com.com/xdsl>), Amati oder Orckit den amerikanischen Markt mit Geräten, die längst den Kinderschuhen entwachsen sind.

### 1.2 Das DSL-Prinzip: Kanaltrennung

Ende der Achtziger präsentiert Bellcore mit der DSL-Technologie erstmals eine komplette Protokollfamilie für den schnellen Datenaustausch. Der DSL-Ansatz setzt auf nicht ausgelastete Bandbreiten innerhalb des Kupferkabelnetzes. Derzeit werden die Kabel lediglich zur Übertragung von Sprache im Telefonverkehr genutzt - was Frequenzen von bis zu 4 kHz belegt. Kupferkabel decken jedoch einen Frequenzbereich bis zu 1,1 MHz ab - bieten also Platz für mehr als 250mal soviel Informationen. Dabei beschränken lediglich Filter im Telefonnetz den nutzbaren Frequenzbereich. Um die brachliegenden Frequenzbereiche also effektiv zu nutzen, ist schlichtweg eine Aufteilung des Kupferkabels erforderlich. Der Nachteil ist allerdings, daß in hohen Frequenzbereichen enorm Verluste auftreten. Aus diesem Grund finden in der Praxis nur Bandbreiten bis 120 kHz Verwendung.

Die Kupferleitung wird von xDSL-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 (Downstream-Kanal) dient der Datenübertragung vom Anbieter zurück zum Anwender. Digitale Modems sorgen in den Vermittlungsstellen dafür, daß der POTS-Kanal durch Filter von den beiden anderen Bereichen strikt getrennt wird.

### 1.3 Trennung bietet neue Nutzungsoptionen

Erst diese Trennung ermöglicht eine gleichzeitige Nutzung des Kabelnetzes für Sprach- und Datenübertragung. Dabei ermöglicht ADSL Übertragungsraten zwischen 0,5 und 55 MBit/s, wobei die Grenzen hauptsächlich von Kabellänge und -querschnitt definiert sind.

## **1.4 Theoretische Grenzen im analogen Netz**

Die Grenzen der Übertragungskapazität der analogen Telefonleitung sind durch das Nyquist- und das Shannon-Theorem beschrieben. Das Nyquist-Theorem besagt, daß die Schrittgeschwindigkeit bei der verzerrungsfreien Übertragung von Impulsen maximal doppelt so groß wie die Bandbreite des benutzten Übertragungskanals sein darf. Das Shannon-Theorem beschäftigt sich mit Zusammenhängen zwischen der verfügbaren Bandbreite, dem Verhältnis zwischen Signal- und Rauschpegel und der maximal möglichen Anzahl übertragbarer Bits pro Sekunde. Beim derzeitigen analogen Telefonnetz ist die Bandbreite auf 4 kHz beschränkt und das Signal-/Rauschverhältnis liegt bei 30 bis 35 dB. Daraus resultiert eine Übertragungsrate von maximal 35 kBit/s.

## **1.5 Potential und Einschränkungen**

ADSL ermöglicht nun durch die Kanalteilung unterschiedliche Datenübertragungsraten: Während der Telefonkanal wie bisher auf 35 kBit/s begrenzt bleibt, sind die neuen Datenkanäle wesentlich erweiterbar. Durch das asymmetrische Verfahren kann für den Zugang vom Benutzer zum Dienstleister eine geringere Übertragungsgeschwindigkeit eingestellt werden als für das Downloaden von Daten. Dabei weisen die Kanäle lediglich unterschiedliche Frequenzbereiche auf. Untersuchungen belegen, daß die Upload- Datenmengen im Verhältnis zu Downloads unterhalb von zehn Prozent liegen. Diesen Umstand nutzt ADSL und prädestiniert damit die Technologie für den Zugriff auf das Internet.

In der Praxis werden über die Downstream- Leitungen vom Provider zum Anwender Übertragungswerte zwischen 1,5 und 6,1 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 kBit/s auf den Leitungen zum Zugangsknoten. Jeder Kanal läßt sich zudem in weitere Subkanäle unterteilen.

## **1.6 Übertragungsfaktoren**

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.

## **1.7 ADSL-Intern**

ADSL basiert technisch auf der Trennung des nutzbaren Frequenzspektrums in drei Kanäle. Hierbei finden zwei unterschiedliche Verfahren Verwendung: Frequency Division Multiplexing (FDM) oder Echo Cancellation (EC). 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.

## 1.7.1 Datentransfer per ADSL

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. Dieser kann wiederum durch verschiedene Übertragungsmethoden realisiert werden. Auch hier läßt die ADSL- Spezifikation, die in Händen von ANSI (American National Standards Institute) und ETSI (European Telecommunications Standards Institute) liegt, verschiedene Methoden zu. Daher kommen derzeit in der Praxis drei Modulationsverfahren zum Einsatz, die zueinander inkompatibel sind. Ähnlich wie anfangs bei der 56k-Technik kann es also dem Anwender passieren, daß eine Kommunikation trotz gleicher Basistechnologie scheitert. Folgende Verfahren kommen derzeit zur Anwendung:

\* 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.

## 1.7.2 Carrierless Amplitude/Phase Modulation

Auch CAP zählt zu den Einträger- Bandpassübertragungsverfahren. Schon die Bezeichnung des Modulationsverfahren deutet seine Besonderheit an: Es wird eine trägerlose Amplituden-/Phasenmodulation durchgeführt, wobei ein technischer Kniff die Übertragung der Trägerfrequenz verhindert. Zusätzlicher Unterschied zu QAM: Modulation und Demodulation erfolgen beim Sender und Empfänger über digitale Filter.

Die Grafik verdeutlicht die Arbeitsweise der CAP. An die Stelle der orthogonalen Trägerfunktionen von QAM treten digitale Filter, um die Teilströme zu modulieren. Das zu übertragende Signal wird einfach durch Addition der beiden Filterausgaben gebildet.

Nachdem das Signal eine D/A-Wandlung erfahren hat und den Sendefilter passiert hat, wird es auf die Leitung gelegt.

## 1.7.3 Übertragungsmethoden im Detail

QAM ist ein sogenanntes 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.

Der Sender beinhaltet einen Scrambler (Chiffrierer), einen Leitungskodierer, einen Sendefilter, einen Modulator und einen D/A- Wandler. Das Signal wird in einem Demultiplexer in zwei Teilsignale aufgeteilt. Diese Teilsignale durchlaufen anschließend die Leitungscodierer, die eine Bit-nach-Symbol- Kodierung ähnlich wie bei der 56k- Technologie vornehmen. Anschließend werden die kodierten Signale im Modulator mit einer definierten Frequenz ( $f_0$ ) multipliziert. Das eine Signal wird mit einem Kosinus, das andere mit einem Sinus

moduliert. Anschließend erfolgt die Addition sowie eine D/A-Wandlung. Ein Sendefilter schließlich bringt das Signal auf die Leitung.

Auf der Empfängerseite passiert ähnliches: Das Signal wird zunächst in einem Empfangsfilter bandbegrenzt und nach einer A/D-Wandlung mit einem Kosinus- beziehungsweise Sinusträger gleicher Frequenz wie beim Sender multipliziert. Ein nachfolgender Entzerrer macht eventuell bei der Übertragung aufgetretene Verzerrungen des Leiterpaares rückgängig und filtert die Frequenzanteile ( $f_0$ ) heraus. Danach liegt wieder das ursprüngliche Basisbandsignal vor. Dieses wird für das jeweilige Signal getrennt dekodiert, um die Teilsignale schließlich in einem Multiplexer (zur Serialisierung der Signale) zusammenzufassen.

### **1.7.4 Discrete Multi-Tone Modulation**

Im Unterschied zu CAP und QAM zählt DMT zu den sogenannten Mehrträger- Bandpassübertragungsverfahren. Dieses Verfahren findet bei den Herstellern derzeit breite Unterstützung. Zur Umsetzung wird der gesamte Übertragungskanal in mehrere Teilkanäle unterteilt, die - theoretisch - die gleiche Bandbreite aufweisen. Im einfachsten Fall findet bei jedem dieser Teilkanäle das gleiche Modulationsschema Verwendung. Die Übertragungsrate ist daher identisch. 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. Daher legen die Hersteller die Bitrate des jeweiligen Teilkanals entsprechend seiner Störanfälligkeit fest. Nur so ist eine optimale Nutzung des Übertragungsmediums Kupfer möglich.

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.

## **1.8 Vorteile der neuen Technik**

Bei hinreichend kleiner Teilkanalbandbreite ist die Dämpfung für jeden einzelnen Teilkanal nahezu konstant. Ein weiterer Vorzug dieser Technik: Beim Empfänger entfällt der Entzerrer. Es reicht ein einfacher Kanalverstärker, da der Einfluss der nichtlinearen Phase des Kabels auf das übertragene Signal in einem Teilkanal vernachlässigbar ist. Damit ist die Herstellung derartiger ADSL-Modems relativ preiswert.

Allerdings setzt ein Mehrträger- Modulationsverfahren Orthogonalität zwischen den verschiedenen Teilkanälen voraus. Dies kann man beispielsweise durch die Verwendung von Fast-Fourier-Transformation-Methoden erreichen. Der Aufbau eines DMT-ADSL- Transceivers entspricht im wesentlichen dem eines CAP-ADSL-Gerätes.

Wie bereits erwähnt, kann die Anzahl der Bits, die über einen Teilkanal gesendet werden, bei DMT variieren. Daraus ergibt sich eine verbesserte Performance, da störanfällige Frequenzen außen vor bleiben. Die mögliche Übertragungsrate beim Upstream-Kanal erhöht sich dabei auf 176 kBit/s.

## **1.9 Die Zukunft: VDSL**

ADSL ist eine interessante Technologie, von der nicht nur Internetnutzer, sondern auch Informationsanbieter profitieren. Allerdings stellt ADSL lediglich die erste Stufe innerhalb der neuen DSL-Technik dar: Obwohl

ADSL in Deutschland noch immer in Pilotversuchen steckt, haben die Hersteller bereits Geräte der nächsten Generation im Versuchsstadium: Die nächste Version des digitalen Breitbandzugangs heißt VDSL (Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line).

VDSL ist der ADSL-Technologie sehr ähnlich, da die Kanalaufteilung ebenfalls asymmetrisch erfolgt - spricht unterschiedliche Down- und Upstream-Bereiche nutzt. Voraussetzung für VDSL ist jedoch ein Hybridnetz, das aus Glasfaser- und Kupferleitungen besteht. Durch den Einsatz von Glasfaser läßt sich die mögliche Übertragungsrate extrem nach oben schrauben.

Beim Aufbau von Hybridanschlußnetzen werden derzeit mehrere Ansätze verfolgt. Man unterscheidet zwischen Fibre To The Curb (FTTC), Fibre To The Neighborhood (FTTN), Fibre To The Basement (FTTB) und Fibre To The Home (FTTH).

### **1.10 FTTH**

FTTH ist sehr teuer, da dazu bis zur Haustür beziehungsweise zum Modem Glasfaserleitungen liegen müßten. Entsprechende Infrastrukturen fehlen derzeit noch. Eine günstigere Alternative wäre FTTN. Bei dieser Strategie werden sogenannte Optical Network Units (ONUs) installiert, die über Glasfaser verkabelt sind. Die letzten Teilstücke zum Endanwender lassen sich über existierende Kupferleitungen überbrücken. Allerdings liegen hier noch Probleme: VDSL will Daten mit einer maximalen Downstream-Übertragungsrate von bis zu 55 MBit/s zum Empfänger bringen. Dazu dürften die Kupferleitungen bei den bisherigen Querschnitten jedoch nicht länger als 300 Meter sein. Dies ist entschieden zu wenig, um in der Praxis umsetzbar zu sein.

Ansonsten baut VDSL im wesentlichen auf dieselben technischen Grundlagen wie ADSL, wobei jedoch neben den beschriebenen Übertragungsmethoden zwei weitere in der Diskussion sind:

\* DWMT (Discrete Wavelet Multitone)

\* SLC (Simple Line Code)

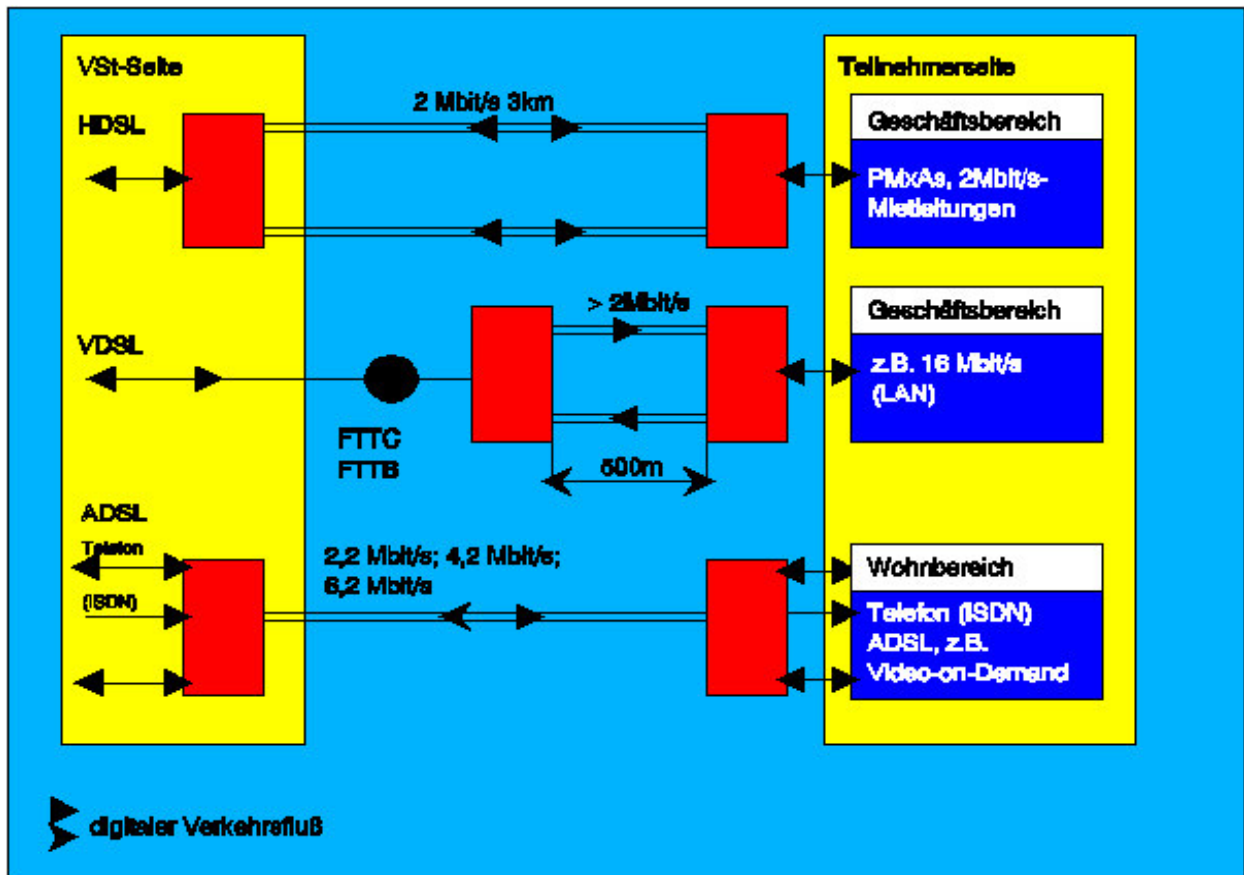
VDSL befindet sich noch in der Entwicklungsphase, soll aber in zwei Jahren Marktreife erreichen.

## **2 xDSL Technologien im Überblick**

### **2.1 Kurzüberblick DSL Technologien**

Vor Juni '95 wurde VDSL VADSL, BDSL oder einfach ADSL genannt, bevor T1E1.4 die offizielle Bezeichnung VDSL einführte. Die anderen Bezeichnungen geistern häufig noch durch ältere Dokumente. Zwischen den europäischen DSL-Technologien und den amerikanischen Versionen gibt es noch kleinere Unterschiede, insbesondere die Übertragungsraten sind unterschiedlich

*Bild 2.1.8.1. Übersicht der DSL-Technologien*





## 2.2 Kurzübersicht Kupferübertragungstechniken

Name	Bedeutung	Datenübertragungsrate	Übertragungsmodus	Anwendung
V.22 [1] V.32 V.34	Sprachbandmodem	1200 bit/s bis 28800 bit/s	Duplex	Datenübertragung
DSL	Digital Subscriber Line	160 kbit/s [2]	Duplex	ISDN Sprach- und Datenübertragung
HDSL [6]	High data rate Digital Subscriber Line	1.544 Mbit/s [4] 2.048 Mbit/s [5]	Duplex	T1/E1 Dienst,
SDSL	Single line Digital Subscriber Line	1.544 Mbit/s	Duplex	wie HDSL zusätzlich Dienste mit symmetrischen Übertragungsraten
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	1,5 bis 9 Mbit/s 16 bis 640 kbit/s	Down Up	Internetzugriff, Video on Demand, rLAN Zugriff, interaktive Multi- mediadienste
VDSL [7]	Very high data rate Digital Subscriber Line	13 bis 52 Mbit/s 1,5 bis 2,3 Mbit/s	Down Up [9]	wie ADSL plus HDTV

**Tabelle 2.1.9.1. DSL-Technologien im Überblick [1]**

Bei den Bezeichnungen handelt es sich nicht um Akronyme, sondern um CCITT Empfehlungen.

192 kbit/s auf zwei B-Kanäle zu jeweils 64 kbit/s, einen D-Kanal mit 16 kbit/s und Overhead verteilt.

"Duplex" bedeutet, daß upstream und downstream gleichzeitig Daten mit der gleichen Datenübertragungsrate übertragen.

Erfordert zwei twisted-pairs.

Erfordert drei twisted-pairs.

Ein neues System mit dem Namen SDSL, für eine einzelne Leitung, arbeitet mit 1,5 oder 2,0 Mbit/s duplex.

Es finden sich oft noch andere Bezeichnungen, wie BDSL, VADSL, oder manchmal ADSL. Die Bezeichnung VDSL ist ANSI und ETSI konform.

"Down" steht für downstream und bezeichnet den Datenstrom vom Netzwerk zum Teilnehmer. "Up" steht für upstream und bezeichnet demnach die Rückrichtung. Zukünftige VDSL Systeme haben vielleicht genauso hohe upstream-Datenübertragungsraten wie downstream- Raten, aber über sehr viel kürzere Leitungen.

## **2.3 Digital Subscriber Line (DSL) Technologien**

Es gibt inzwischen eine Vielzahl von verschiedenen DSL-Technologien und ebenso viele Akronyme dafür - ADSL, VDSL, VADSL, HDSL, DSL oder SDSL, um nur einige davon zu nennen.

Die meisten dieser Begriffe besitzen relativ klare Definitionen, aber oft gibt es Verwechslungen untereinander oder mit anderen Bezeichnungen. Im folgenden wird ein kurzer Überblick über die Entwicklung der DSL-Technologien gegeben, anschließend sollen einige dieser Technologien im Detail betrachtet werden.

### **2.3.1 Handelsübliche Modems**

Die Geschichte der sogenannten "Copper Access Technologies" - also der zur digitalen Übertragung über Kupferleitungen eingesetzten Technologien - begann mit den uns bekannten handelsüblichen Modems. Solche im Sprachfrequenzbereich arbeitenden Modems erzielen Übertragungsraten bis zu 28,8 kbit/s über existierende Telefonleitungen. Vor etwa 20 Jahren lagen die praktisch erreichbaren Übertragungsraten noch bei etwa 1,2 kbit/s. V.34-Modems haben inzwischen fast die theoretisch möglichen Übertragungsraten - in dem von ihnen benutzten Frequenzbereich - erreicht.

Solche Modems übertragen und empfangen im selben Frequenzbereich und wurden erst durch die großen Fortschritte in der digitalen Signalverarbeitung, der Halbleitertechnologie und den zugrundeliegenden Algorithmen möglich.

Die bisher betrachteten Modems werden an den beiden Enden einer Telefonleitung angeschlossen und übertragen anschließend Daten durch das zugrundeliegende Netzwerk. Dabei werden diese Signale in keinsten Weise modifiziert, sondern exakt wie normale Sprachsignale gehandhabt. Dies hat insbesondere den großen Vorteil, daß man solche Modems an jedem beliebigen Telefonanschluß anschließen kann und sie dann sofort einsatzbereit sind.

Filter an den Enden des Telefonnetzes beschränken den zur Übertragung einsetzbaren Frequenzbereich auf 3,3 kHz. Ohne diese Filter könnten Kupferkabel Frequenzen im MHz- Bereich übertragen, allerdings treten hier u.U. starke Signalveränderungen bzw. -störungen auf.

Die Signalform verändert sich mit zunehmender Leitungslänge und Frequenz mehr und mehr, wodurch die praktikable Übertragungsrate über Kupferleitungen beschränkt wird.

### **2.3.2 DSL - Digital Subscriber Line**

Bellcore führte die DSL-Technologien und ihre heute verwendeten Abkürzungen ein. DSL steht für "Digital Subscriber Line", daher könnte man annehmen, es würde eine Leitung damit bezeichnet. DSL bezeichnet jedoch nicht die Leitung als solches, sondern die Leitung mit je einem Modem an den Leitungsenden.

Ursprünglich bezeichnet DSL ein Modem, das für Basic Rate ISDN eingesetzt wird. Ein solches Modem überträgt Daten in beiden Richtungen simultan - es arbeitet also duplex. Dabei wird eine Übertragungsrate von 160 kbit/s über 0,5 mm dicke Kupferleitungen bis zu einer Länge von 5,5 km erreicht. Der Multiplex- und Demultiplexvorgang des Datenstromes in zwei B-Kanäle ( zu je 64 kbit/s) und einen D-Kanal (16 kbit/s) sowie etwas Overhead findet in angeschlossenen Terminals statt. DSL verwendet Echokompensation, um Sende- und Empfangssignal an beiden Enden zu trennen. DSL-Modems verwenden die Bandbreite von 0 bis 80 kHz (bzw. 120 kHz in Europa) und schließen damit die gleichzeitige Verwendung der Leitung für den üblichen Telefondienst POTS (plain old telephone service) aus.

Heutzutage werden DSL-Modems hauptsächlich dazu verwendet, eine einfache Telefonleitung in zwei POTS-Leitungen zu splitten und somit eine weitere Verkabelung einzusparen.

### 2.3.3 T1 oder E1

In den frühen Sechzigern entwickelten Ingenieure der Bell Laboratorien ein "Sprach Multiplexing System" das zunächst Sprache in einen 64 kbit/s Signalstrom digitalisierte und anschließend 24 dieser Ströme zu einem gerahmten Datenstrom zusammenfasste.

Der resultierende Rahmen war 193 Bit lang und man erreichte eine Datenübertragungsrate von 1,544 Mbit/s. Dieses strukturierte Signal bekam den Namen DS1, wurde aber schon bald mit dem Synonym T1 belegt, das darüber hinaus die "rohe" Datenübertragungsrate unabhängig von der Rahmung und der intendierten Nutzung beschrieb.

In Europa wurde die ursprüngliche Entwicklung von T1 modifiziert und E1 definiert - ein Multiplex-System für 30 Sprachkanäle mit einer Übertragungsrate von 2,048 Mbit/s. Die europäische Bezeichnung E1 steht sowohl für die formatierte Version als auch für die "rohe" Datenübertragungsrate. Seit kurzem werden T1/E1-Systeme unter Verwendung bestehender Kupferleitungen eingesetzt. Dazu werden einfache Transceiver mit dem self-clocking Alternate Mark Inversion (AMI) Protokoll eingesetzt. AMI benötigt Repeater im Abstand von ca. 1 km von den Zentralstellen und dann ca. alle 2 km. Es wird eine Bandbreite von 1,5 MHz belegt. Heutzutage existieren bereits einige hunderttausend T1/E1 Leitungen weltweit.

Obwohl T1/E1 sehr verbreitet ist, ist es zur individuellen Verkabelung einzelner Wohnungen äußerst ungeeignet. Zunächst einmal beansprucht T1/E1 viel zuviel Bandbreite und beeinflusst das Kabelspektrum so sehr, daß die Telefongesellschaften nicht mehr als eine T1/E1-Leitung in einem einfachen Kabel mit 50 Doppeladern verwenden können und zudem keine in einem benachbarten Kabel installieren dürfen. Der flächendeckende Einsatz von T1/E1 würde also eine umfassende Neuverkabelung nach sich ziehen.

Außerdem gab es bisher kaum Anwendungen, die solch hohe Übertragungskapazitäten benötigten. Seitdem die Übertragungsratenansprüche im Hinblick auf Multimedia-Anwendungen oder anderen Hochgeschwindigkeitsanwendungen wachsen, sind die Anforderungen in Bezug auf die Übertragungsrate stark asymmetrisch, d.h. es wird ein starker Datenfluss in Richtung Kunde und ein geringer in Richtung Zentrale benötigt. Zudem benötigen neuartige Anwendungen oft schon höhere Übertragungsraten als T1/E1 anbieten.

Daher werden Hochgeschwindigkeitsanwendungen für zu Hause i.a. durch ADSL oder VDSL unterstützt.

### 2.3.4 HDSL - High data rate Digital Subscriber Line

HDSL erlaubt eine wesentlich effizientere Übertragung von T1- oder E1-Raten über twisted-pair Kupferleitungen. Es benötigt wesentlich weniger Bandbreite und braucht zudem keine Repeater. Unter Verwendung fortschrittlicher Modulationstechniken überträgt HDSL 1,544 Mbit/s oder 2,048 Mbit/s in Bandbreiten von 80 kHz bis 240 kHz.

HDSL erreicht solche Übertragungsraten auf 0,5 mm Kupferkabel bis zu einer Länge von 3,7 km.

### 2.3.5 SDSL - Single Line Digital Subscriber Line

Bei SDSL handelt es sich um eine HDSL-Variante, die zur Übertragung eines T1/E1 Signals nur ein einziges twisted-pair verwendet. SDSL arbeitet in den meisten Fällen oberhalb von POTS, so daß auf einer Leitung POTS und T1/E1 simultan angeboten werden kann. SDSL hat einen wichtigen Vorteil im Vergleich zu HDSL: es trifft die Marktanforderungen eher, da die meisten Kunden nur mit einer Telefonleitung ausgestattet sind.

SDSL ist für Applikationen mit symmetrischen Übertragungsraten ausgelegt und stellt somit das Gegenstück zu ADSL dar. Die Reichweite von SDSL ist jedoch auf ca. 3 km beschränkt.

### **2.3.6 ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line**

ADSL stellt eine Weiterentwicklung von HDSL dar. Es soll insbesondere beim letzten Teilstück der Vernetzung eines Kunden - dem sogenannten local loop - eingesetzt werden. Wie der Name schon sagt, überträgt ADSL einen asymmetrischen Datenstrom. Es wird mehr zum Kunden hin als zurück zur Zentrale übertragen. Der Grund hierfür liegt nicht so sehr in der verwendeten Übertragungstechnik, sondern hängt vielmehr mit den Kabelnetzen selbst zusammen. Man bündelt bzw. dreht twisted pairs ineinander um unerwünschte Signalstörungen durch induktive Interferenz oder kapazitive Einflüsse zwischen verschiedenen Kabeln zu minimieren.

Diese Methode ist jedoch nicht perfekt und es entstehen unerwünschte Signalkoppelungen, welche mit der Leitungslänge und der Frequenz zunehmen.

Werden symmetrische Signale in vielen pairs eines Kabels übertragen, wird die mögliche Übertragungsrate und Übertragungreichweite signifikant begrenzt.

Glücklicherweise erfordern Anwendungen für digital subscriber services - wie z.B. Video on demand oder home shopping - i.a. asymmetrische Übertragungsraten.

Die Übertragungsrate des upstream (Rückkanal zur Zentrale) variiert zwischen 16 kbit/s und 640 kbit/s. Heutige Produkte unterstützen eine Vielzahl von gängigen Übertragungsraten. Die Spannbreite reicht von Geräten mit minimalen downstream Übertragungsraten von 1,544 Mbit/s bzw. 2.048 Mbit/s bis hin zu Geräten mit 9,6 Mbit/s down und 640 kbit/s up.

Alle Geräte arbeiten in Frequenzbereichen oberhalb der für POTS verwendeten. Dadurch ist ein unabhängiger, ungestörter Telefondienst auf der selben Leitung möglich - selbst dann noch, wenn ein ADSL-Modem ausfällt.

### **2.3.7 VDSL - Very high rate Digital Subscriber Line**

Als VDSL eingeführt wurde, hieß es noch VADSL, weil zumindest die ersten Geräte höhere asymmetrische Übertragungsraten als ADSL - allerdings bei kürzeren Reichweiten - erreichten. Zur Zeit existieren noch keine Standards für VDSL, die Diskussion geht jedoch von folgenden downstream Übertragungsraten aus:

- 12.96 Mbps 4,500 feet of wire
- 25.82 Mbps 3,000 feet of wire
- 51.84 Mbps 1,000 feet of wire

Die upstream Raten liegen hier zwischen 1,4 Mbit/s und 2,3 Mbit/s. VDSL ist in vielerlei Hinsicht einfacher aufgebaut als ADSL. Kürzere Leitungen bedeuten weniger Übertragungs-Constraints, so daß die zugrundeliegende Transceiver- Technologie weniger komplex - obwohl 10mal schneller - ist. VDSL wird ausschließlich in ATM-Netzwerk- Architekturen eingesetzt, dadurch können bestimmte Anforderungen bzgl. des packet handling von ADSL beiseite gelassen werden. Ferner läßt VDSL passive Netzabschlüsse zu, wodurch mehrere VDSL-Modems an eine Leitung angeschlossen werden können.

Bei näherer Betrachtung gibt es allerdings auch Nachteile. VDSL muß immer noch Fehlerkorrektur zur Verfügung stellen. Zudem gibt es noch kein öffentliches ATM Netz, so daß VDSL zunächst konventionellen Datenverkehr übertragen muß. Darüber hinaus bringt der passive Netzabschluß einige Probleme mit sich, was dazu führen wird, daß VDSL zunächst identisch wie ADSL, jedoch mit höheren Übertragungsraten, arbeitet. VDSL wird sowohl von POTS als auch von ISDN durch passive Filter getrennt.

## **2.4 Ein Überblick über ADSL**

### **2.4.1 Einleitung**

Asymmetric Digital Subscriber Line - ADSL - ist die direkte Nachfolgetechnologie von HDSL.

Während es sich bei HDSL um ein System zur Übertragung gleicher Bitraten in beiden Richtungen handelte, wurden in den USA sehr früh ADSL-Verfahren entwickelt, die bzgl. ihrer Bitraten unsymmetrische, bidirektionale Übertragungen realisieren. ADSL-Systeme erfüllen damit die Anforderungen vieler Breitbanddienste und sollen diese im Anschlussbereich sehr wirtschaftlich zum Wohnsitz der Kunden verteilen. ADSL spielt in diesem Umfeld deshalb eine sehr bedeutende Rolle, weil neue Breitbandnetze Jahrzehnte benötigen würden, um alle interessierten Teilnehmer anzubinden. Der Erfolg der neuen Multimedia-Anwendungen hängt jedoch maßgeblich von ihrem Verbreitungsgrad in den ersten Jahren ab. Da ADSL eine schnelle, flächendeckende Einführung dieser Dienste ermöglicht, belebt es den Markt und ist zudem sehr wirtschaftlich, da keine weitere Hardware benötigt wird.

Ein weiterer Unterschied zu HDSL besteht im Anwendungsbereich. Während HDSL vorwiegend im geschäftlichen Bereich eingesetzt wird, soll ADSL private Anwender ansprechen und zu einem Massenartikel werden.

Bei ADSL handelt es sich um eine neuartige Modemtechnologie, die Hochgeschwindigkeits-Übertragungen über existierende twisted-pair-Leitungen ermöglicht. Durch den Einsatz von ADSL werden in bestehenden Telefonnetzen bisher ungeahnte Kapazitäten freigesetzt. Die ADSL-Technologie ermöglicht Übertragungsraten von mehr als 6 Mbit/s in Richtung des Teilnehmers und von max. 640 kbit/s in die Rückrichtung. Dadurch werden existierende Übertragungskapazitäten um den Faktor 50 - ohne zusätzliche Verkabelung - erweitert.

### **2.4.2 Das Konzept**

Das ADSL zugrundeliegende Konzept wurde bereits Anfang unseres Jahrzehnts von Forschern wie Lechleider oder Cioffi vorgeschlagen. Die Bedeutung von ADSL liegt von je her in der Übertragung interaktiver Videodienste begründet. Seit den ersten konzeptuellen Überlegungen wurde ADSL von der Computersimulation über Laborprototypen bis hin zum fertigen Produkt fortentwickelt und dabei ständig verbessert. Das Grundprinzip ist denkbar einfach: Übertrage einen downstream-Kanal mit hoher Übertragungsrate zum Kunden hin und einen schmalbandigen upstream zurück. Das ganze soll simultan und ohne Störung des normalen Telefonbetriebs auf der verwendeten Leitung geschehen.

ADSL wird also zusätzlich auf der Telefonleitung und zwar auf nur einer Doppelader, im Gegensatz zu HDSL, betrieben. Dies ist eine sehr strenge Forderung, da Kennzeichengabe, Weckerstromübertragung, Fernspeisung, Tonwahl u.a. ungestört erfolgen muß und zudem die spezifischen ADSL-Signale nicht beeinträchtigt werden dürfen.

Abgesehen davon, daß neuartige interaktive Videodienste i.a. asymmetrische Übertragungsraten benötigen, bringt die Verwendung von asymmetrischen Übertragungsraten auch große Vorteile für das ADSL-System, insbesondere bzgl. der zu erwartenden Störungen aufgrund von Nebensprechen, mit sich. Da der return transmitter mit viel geringeren Frequenzen als der forward transmitter arbeitet, ist der Grad von Nebensprechen auf Seite des Kunden sehr viel geringer als bei Systemen mit symmetrischen Datenübertragungsraten. Dadurch lassen sich insbesondere größere Übertragungsdistanzen erreichen.

Unter Verwendung von Bandpassübertragungsverfahren arbeiten ADSL-Transceiver mit Frequenzen oberhalb der zur Telefonübertragung benötigten. Filter vermeiden unerwünschtes Rauschen und Störeinflüsse durch mechanische Vermittlungsvorgänge. Dadurch können ADSL-Systeme mit existierenden Telefondiensten ohne Störungen koexistieren. Intelligente Signalverarbeitung in den Transceivern passt sich automatisch den

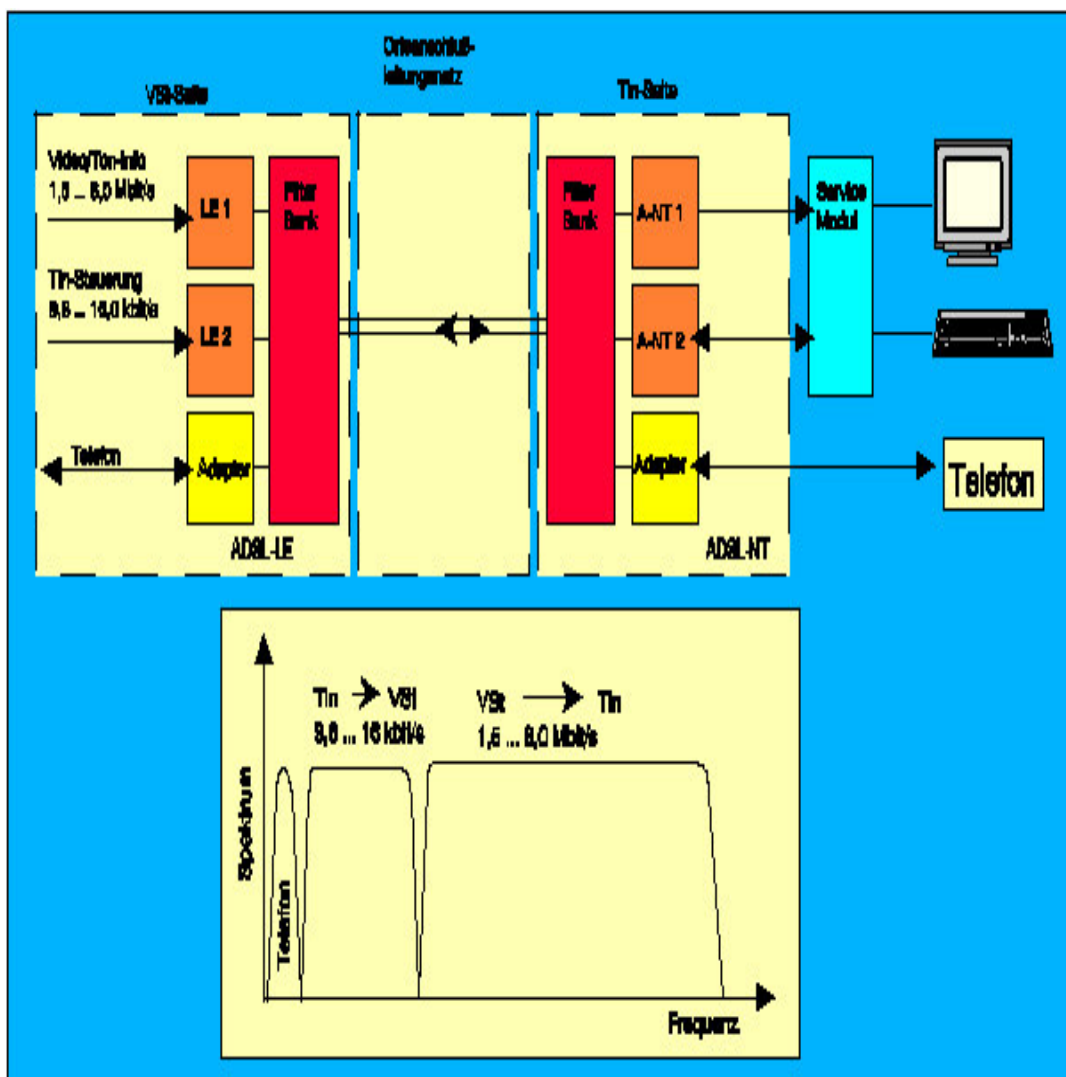
Bedingungen jeder individuellen Leitung an und erkennt zudem zeitlich auftretende Änderungen, wie sie durch Temperatur oder Feuchtigkeit verursacht werden.

### 2.4.3 Die Fähigkeiten von ADSL

Eine ADSL Verbindung besteht aus einer Leitung, an deren Enden jeweils ein ADSL-Transceiver installiert ist. Die Installation von ADSL ist denkbar einfach und binnen kürzester Zeit wird ein zunächst recht beschränktes Übertragungssystem zu einem leistungsstarken, allgegenwärtigen Multi mediasystem aus gebaut.

Das Prinzip der ADSL-Übertragung wird in Bild 2.3.3.1. dargestellt.

Bild 2.3.3.1. Prinzip der ADSL-Übertragung



Die Verbindung besteht aus drei Informationskanälen - einem Hochgeschwindigkeitskanal in Richtung des Teilnehmers, einem Duplex-Kanal mittlerer Geschwindigkeit 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 sogenannte simplex downstream- Hochgeschwindigkeitskanäle in Richtung

des Kunden zu übertragen. Die Duplexkanäle erreichen Übertragungsraten zwischen 16 und 640 kbit/s. Jeder Kanal kann durch Multiplexer in weitere Kanäle mit geringeren Übertragungsraten unterteilt werden.

So sind z.B. bis zu vier 1,536-Mbit/s-downstream-Kanäle oder bis zu drei 2.048-Mbit/s-downstream-Kanäle realisierbar. Je höher die verwendete Übertragungsrate ist, um so geringer ist die Übertragungreichweite 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 sogenannten 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 i.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 zugrundeliegendes 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.

Ein ADSL-Zugriffs-Übertragungssystem mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 2,048 Mbit/s kann bereits MPEG (Motion Picture Experts Group) kodierte Videos inklusive Stereo Sound übertragen. Dabei ist die erreichbare Bildqualität der handelsüblicher Videorecorder vergleichbar. Ein 6,144-Mbit/s-Übertragungssystem kann bereits 3 Kanäle in VHS-Qualität anbieten oder einen Kanal mit einer Bildqualität, wie man sie von Liveübertragungen her kennt.

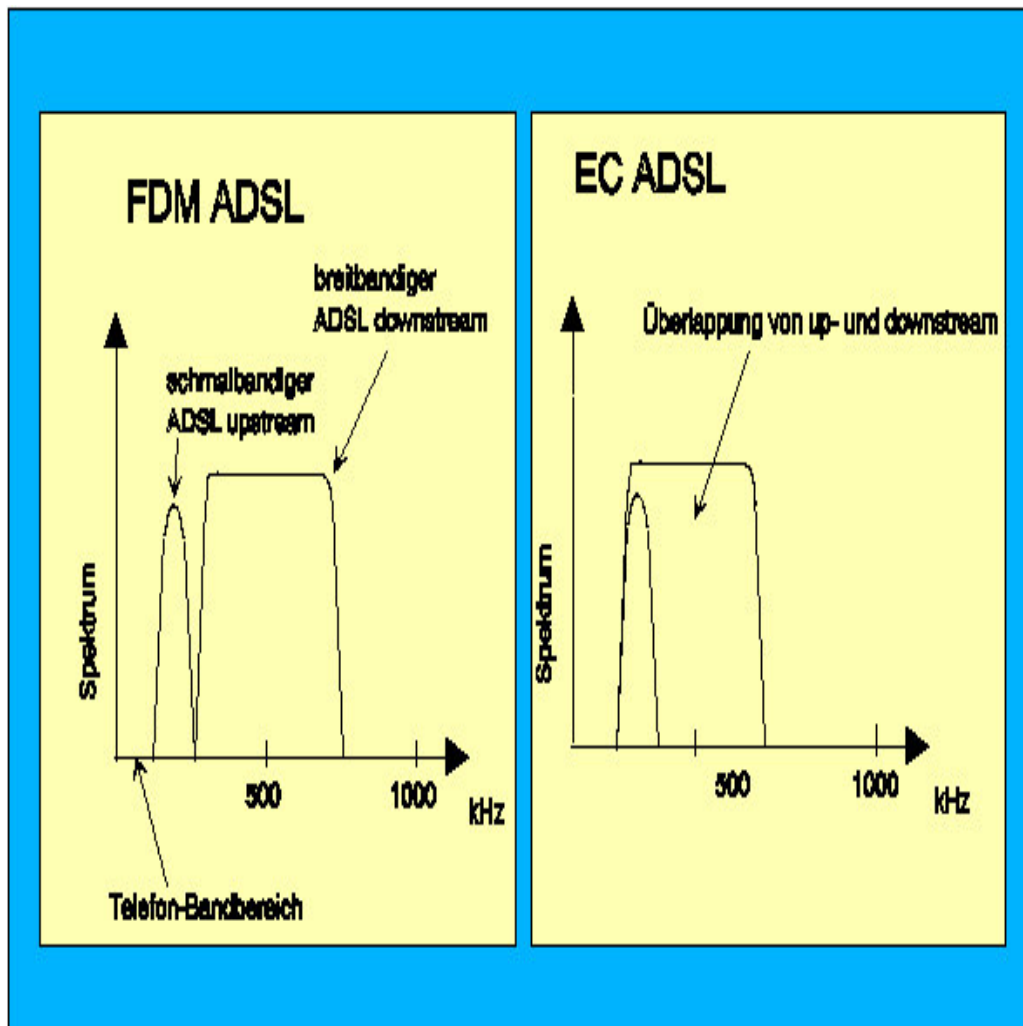
## 2.4.4 ADSL-Übertragungstechniken

### 2.4.5 Trennung von Downstream- und Return-Kanälen

Da wir auf einer Leitung simultane duplex Übertragung realisieren möchten, d.h. gleichzeitig in beide Richtungen über ein Medium übertragen wollen, wollen wir uns nun mit verschiedenen Methoden zur Trennung der verschiedenen Kanäle auseinandersetzen.

Frühe ADSL-Systeme verwendeten das sogenannte Frequency Division Multiplexing (FDM) zur Kanaltrennung, wie es in Bild 2.4.1.1. gezeigt wird.

*Bild 2.4.1.1. ADSL Kanaltrennung*



Der schmalbandige Kontrollkanal verwendet i.a. den Frequenzbereich direkt oberhalb der Sprachfrequenzen, die für die Telephonie verwendet werden. Der breitbandige downstream-Kanal schließt sich an und belegt die höheren Frequenzen. Der für die Übertragung eingesetzte Frequenzbereich wird i.a. auf 1 MHz beschränkt, indem man mehrere Bits durch ein Symbol kodiert. In Bild 2.4.1.1. wird die Frequenzverteilung eindimensional dargestellt, in der Realität könnte das auch anders sein, um max. Performance zu erzielen.

Da Kupfer im unteren Frequenzbereich bessere Übertragungseigenschaften als im oberen aufweist, versucht man den Kontrollkanal mit dem downstream-Kanal zu überlappen. Dies kann man z.B. durch asymmetrische Echokompensation erreichen, durch die Störungen zwischen forward- und return-Kanal modelliert und aufgehoben werden können.

Nach dem ADSL-Standard ist es möglich, in der set-up-Phase zwischen FDM oder Echokompensation zu wählen. Da Echokompensation für DMT-ADSL-Transceiver neu ist, haben jedoch viele Anbieter diese Option nicht vorgesehen. Durch den zusätzlichen Aufwand der Echokompensation soll eine Leistungssteigerung von 2dB erreicht werden. Die Vorteile der Echokompensation kommen erst dann voll zur Geltung, wenn die Bandbreite des Kontrollkanals ausgedehnt wird. Dadurch erzwingt eine FDM-Implementation für den downstream höhere Frequenzen und ist damit störanfälliger. In diesem Fall würde sich eine FDM-



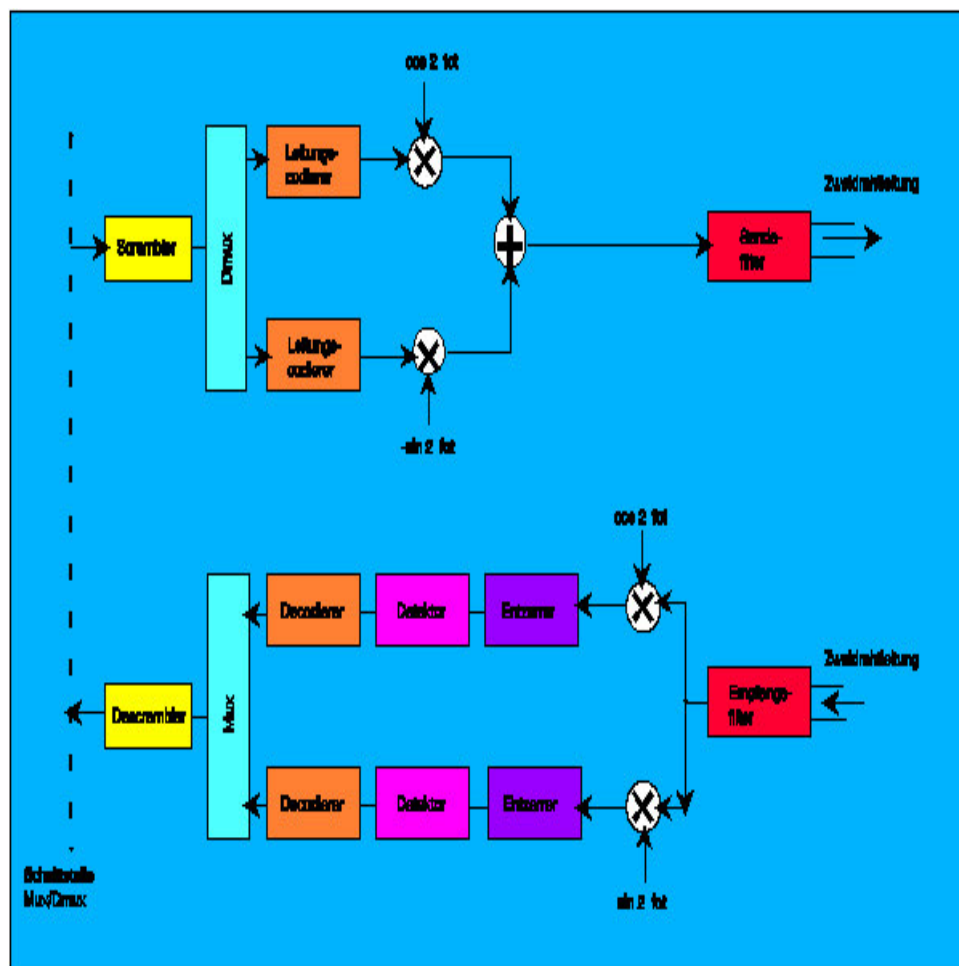
Implementation reichweitenbegrenzend auswirken. Es soll auch nicht verschwiegen werden, daß bei Echokompensation eine weitere Störung, bekannt als self-NEXT (Near End Cross Talk), auftreten kann.

Über die verschiedenen Übertragungsmethoden, die für ADSL eingesetzt werden, wollen wir uns im folgenden einen Kurzüberblick verschaffen:

## 2.4.6 Die Quadratur Amplituden Modulation (QAM)

Die Quadratur-Amplituden-Modulation zählt zu den Einträger-Bandpassübertragungs-Verfahren, d.h. die Signale werden frequenzversetzt in einem höheren Frequenzbereich übertragen. Ein Bandpasssignal wird i.a. durch Modulation eines Basisbandsignals mit einem Sinus-Träger erzeugt. Bei der QAM wird - wie der Name schon ausdrückt - Amplitudenmodulation verwendet. Die prinzipielle Arbeitsweise von QAM sieht so aus, daß ein Trägersignal mit einem Symbolstrom moduliert wird.

Bild 2.4.2.1. Prinzipielle Struktur des Senders und des Empfängers bei Bandpassübertragung mit einem Träger (QAM) [24], [12]



Bei diesem Verfahren wird der Datenstrom in zwei Datenströme mit jeweils der halben Übertragungsrates gesplittet und dann einem orthogonalen Trägerpaar aufmoduliert. Die Verwendung der beiden orthogonalen Träger - einer Sinus- und einer Cosinus-Funktion - erklärt auch die Bezeichnung "Quadratur"-Amplituden-Modulation.

Das Prinzip dieses Verfahrens wird in Bild 2.4.2.1. dargestellt. Der obere Teil des Bildes stellt den ADSL-Sender dar. Dieser beinhaltet einen Scrambler, einen Leitungskodierer, einen Sendefilter, einen Modulator und einen D/A-Wandler. Ein zu übertragendes Signal wird nach dem Verwürfeln in einem Demultiplexer in zwei Teilsignale aufgeteilt. Diese Teilsignale durchlaufen anschließend Leitungscodierer, 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. Beide Signale werden anschließend addiert und nach einer D/A-Wandlung über einen Sendefilter auf eine Zweidrahtleitung gegeben.

Beim Empfänger wird das Signal 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.

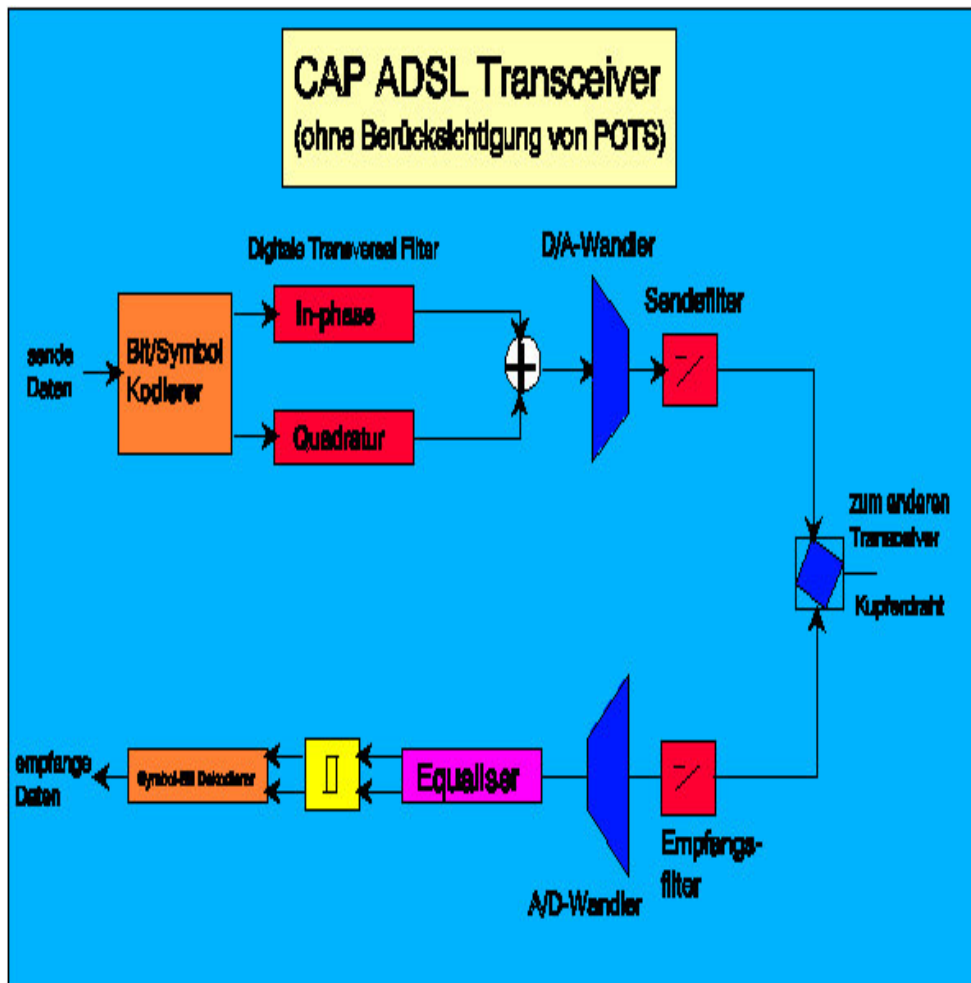
## 2.4.7 Die Carrierless Amplitude/Phase Modulation (CAP)

Die CAP zählt ebenso wie die QAM zu den Einträger-Bandpassübertragungsverfahren. Der Name deutet schon die Besonderheit des Verfahrens an: es wird eine trägerlose Amplituden-/Phasenmodulation durchgeführt, d.h. durch geschickte Wahl der Trägerfrequenz wird die Übertragung derselben verhindert. Ein weiterer Unterschied zur QAM liegt darin, daß Modulation und Demodulation im Sender und Empfänger in einem Paar von digitalen Filtern stattfindet. Bild 2.4.3.1. verdeutlicht die Arbeitsweise der CAP.

Wie bereits erwähnt, werden hier keine orthogonalen Trägerfunktionen verwendet, sondern die Teilströme durch die Verwendung zweier digitaler Transversalfilter moduliert. Diese beiden Filter haben als Impulsantworten Hilbertpaare, d.h. Antworten mit denselben Amplitudencharakteristika aber einer Phasenverschiebung von  $\pi/2$ . Das zu übertragende Signal wird durch die Addition der beiden Filterausgaben gebildet. Nachdem das Signal eine D/A-Wandlung erfahren hat und einen Sendefilter passiert hat, wird es auf die Zweidrahtleitung gelegt.

Der Empfänger muß hier eine Ausgleichfunktion bereitstellen. Die Struktur des Equalizers sieht im Prinzip genauso aus wie bei der QAM.

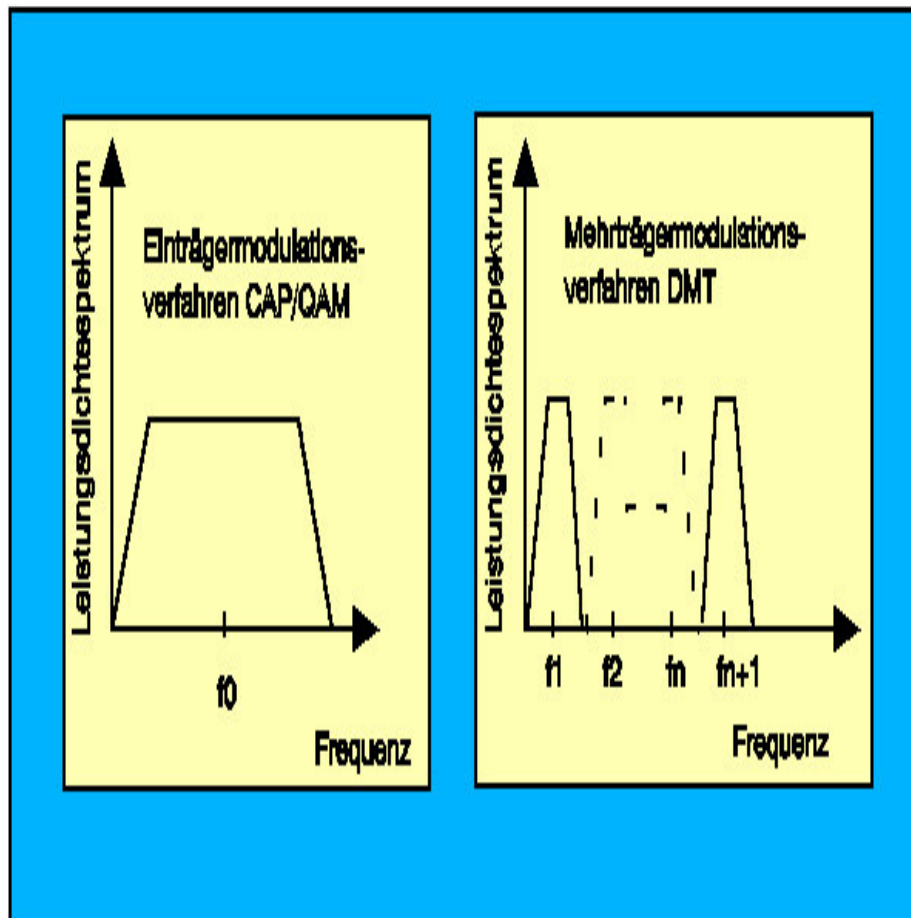
*Bild 2.4.3.1. CAP ADSL-Transceiver [24]*



## 2.4.8 Discrete Multi-Tone Modulation (DMT)

Die DMT zählt zu den sogenannten Mehrträger-Bandpassübertragungsverfahren. Mehrträgerverfahren unterscheiden sich von Einträgerverfahren dadurch, daß mehrere Trägerfrequenzen zur Übertragung eingesetzt werden. Der Übertragungskanal wird also in  $n$  Teilkanäle unterteilt, die i.a. die gleiche Bandbreite aufweisen. Im einfachsten Fall wird jedem dieser Teilkanäle das gleiche Modulationsschema - und damit die gleiche Übertragungsbitrate - zugeordnet.

Bild 2.4.4.1. CAP/QAM und DMT Modulation [12], [24]



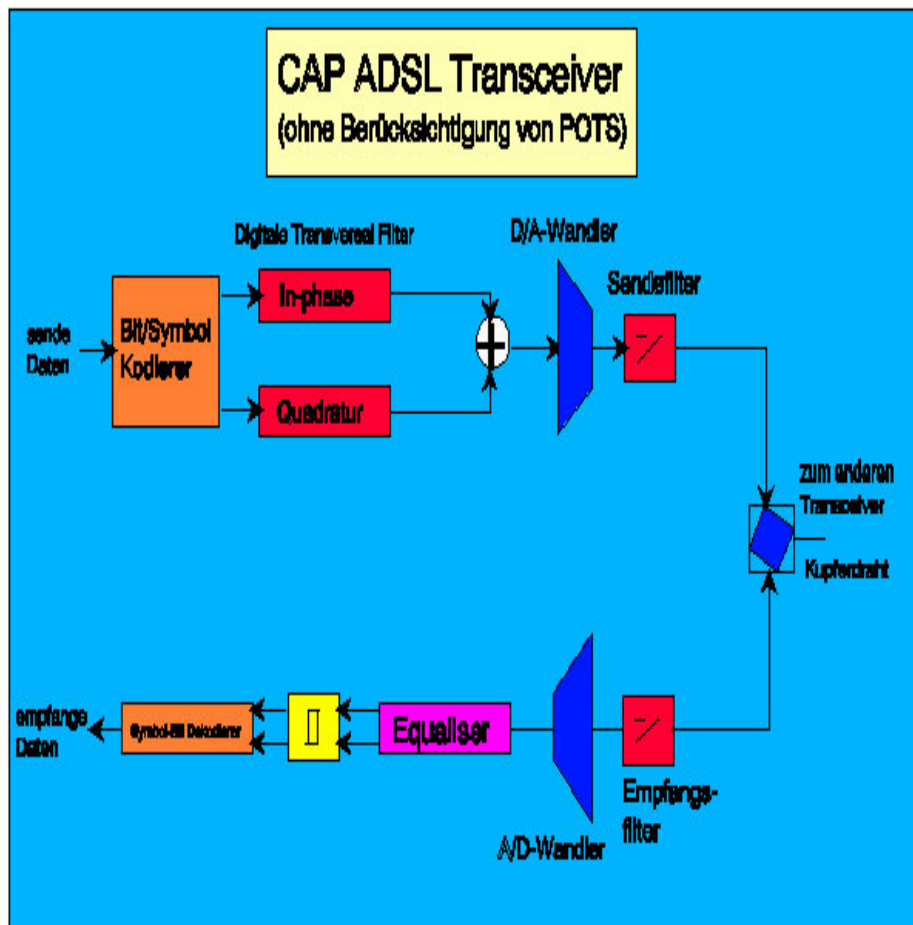
Diese Vorgehensweise ist allerdings nicht immer sehr geschickt, da man hier die schlechten Übertragungseigenschaften von Kupfer in höheren Frequenzlagen außer Acht lässt. Deshalb legt man in der Praxis die Bitrate des jeweiligen Teilkanals entsprechend seines Störbelages fest. Dadurch ist eine optimale Nutzung des Übertragungsmediums Kupfer möglich.

DMT kann man sich im Prinzip als eine Reihe von nebeneinanderliegenden, parallel und gleichzeitig arbeitenden QAM-Systemen denken (Bild 2.4.4.1.). Dabei arbeitet jedes QAM-System mit der zu einem DMT Teilkanal korrespondierenden Trägerfrequenz. Der Transmitter moduliert Daten, indem er Töne bestimmter Frequenzen erzeugt, diese zusammenfasst und als "DMT Symbol" 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 i.a. 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.

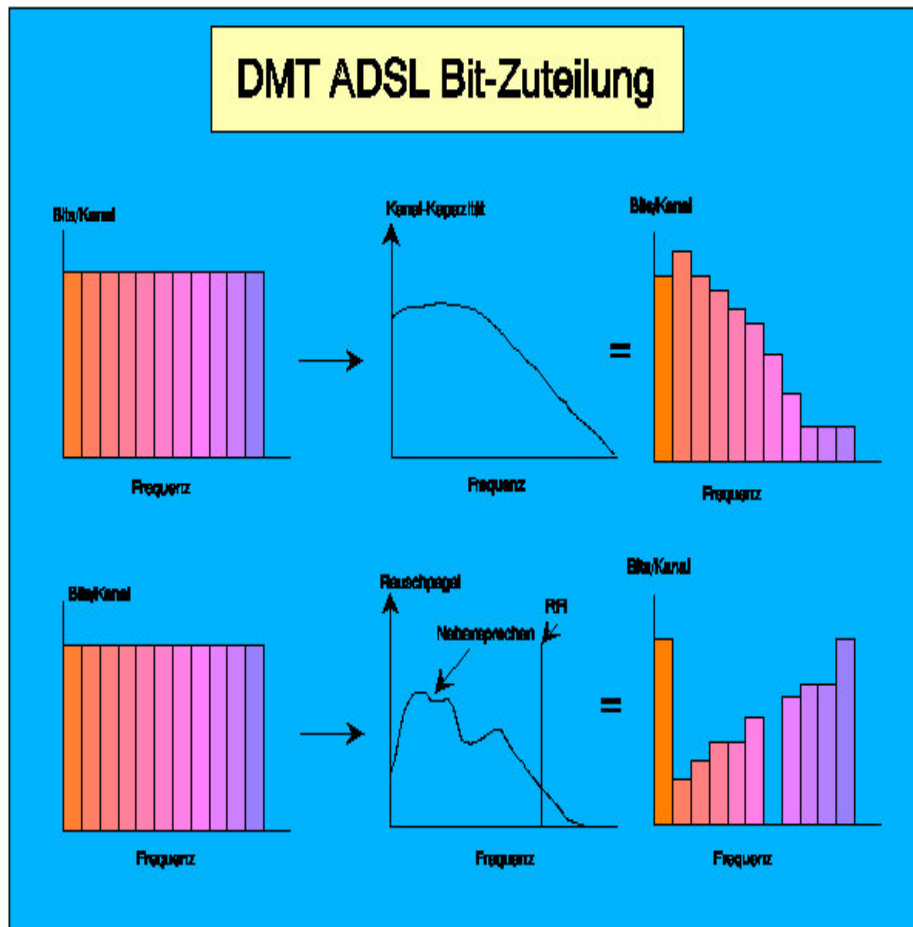
Das Mehrträger Modulationsverfahren setzt Orthogonalität zwischen den verschiedenen Teilkanälen voraus. Dies kann man z.B. durch die Verwendung von Fast Fourier Transformation (FFT) Methoden erreichen. Bild 2.4.4.2 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines DMT-ADSL- Transceivers.

Bild 2.4.4.2. DMT-ADSL-Transceiver [24]



Wie bereits erwähnt, kann die Anzahl der Bits, die über einen Teilkanal gesendet werden, bei DMT variieren. Diese adaptive Fähigkeit erhöht die Performance, da bestimmte störanfällige Frequenzen bestimmter Übertragungsmedien einfach ausgespart werden können. Das folgende Bild (Bild 2.4.4.3.) zeigt die Verteilung der Bits auf die verschiedenen Teilkanäle bzw. Frequenzen.

*Bild 2.4.4.3. Verteilung der Bits auf die verschiedenen Teilkanäle bzw. Frequenzen [24]*



## 2.5 Was ist VDSL ?

### 2.5.1 Einleitung

Im Teilnehmeranschlussbereich lassen sich die Nutzungsmöglichkeiten vorhandener Netze durch die Einführung von Hybridnetzen, bestehend aus Glasfaser und Kupferleitungen, unter Verwendung leistungsfähiger Very High-bit-rate Digital Subscriber Line (VDSL) Transceiver weiter verbessern. In einem solchen hybriden Anschlussnetz, bei Kupferleitungslängen zwischen 100m und 500m, läßt sich die Übertragungskapazität weit über 2,048 Mbit/s steigern.

Beim Aufbau von Hybridanschlussnetzen werden i.a. mehrere Ansätze verfolgt. Man unterscheidet zwischen Fibre To The Curb (FTTC), Fibre To The Neighborhood (FTTN), Fibre To The Basement (FTTB) und Fibre To The Home (FTTH).

Die meisten Konzepte zur Einführung optischer Teilnehmeranschlüsse verfolgen die Strategie, den optischen Netzabschluss möglichst nahe an oder in den Wohnbereich zu führen. Bei FTTC befindet sich der Netzabschluss am Straßenrand. Von hier werden die Einzelteilnehmer über relativ kurze Kupferleitungen an das optische Netzwerk angeschlossen. Bei FTTB und FTTH wird der Netzabschluss direkt in die Gebäude gelegt und nur noch die Gebäudeverkabelung selbst mit Kupferleitungen realisiert. Da FTTH in der Regel noch zu teuer ist, bietet sich eine attraktive Alternative in Form von FTTN an. Bei dieser Strategie werden in der Nachbarschaft

sogenannte Optical Network Units (ONUs) installiert, die mittels Glasfaser verkabelt sind, und die sogenannte letzte Meile durch existierende Kupferleitungen überbrückt. Durch die Heranführung der Glasfaser bis zum Kabelverzweiger, einem Schaltpunkt im Teilnehmeranschlussnetz, kann die mit Kupferkabel zu überbrückende Distanz in Deutschland in 90% auf weniger als 500m reduziert werden.

## 2.5.2 Was VDSL alles können soll ...

VDSL befindet sich gerade in der Definitionsphase. Obwohl es noch nicht so weit gediehen ist wie ADSL, lassen sich bereits jetzt einige grundsätzliche Entwurfsziele herausstellen.

Betrachten wir zunächst die zu erwartenden Übertragungsraten. Man diskutiert zur Zeit downstream-Übertragungsraten von 51,84 Mbit/s, 25,92 Mbit/s und 12,96 Mbit/s. Vielfache dieser Übertragungsraten ergeben die in SONET bzw. SDH gebräuchliche Übertragungsraten von 155,52 Mbit/s. Wie bereits aus der Diskussion von ADSL bekannt, nimmt die Übertragungreichweite mit zunehmender Datenübertragungsrate ab.

Symmetrische Konfigurationen sind u.U. für sehr kurze Leitungen realisierbar. Da die meisten Multimedia- und Videoanwendungen in der Regel asymmetrische Übertragungsraten erfordern, ist dies allerdings keine allzu große Einschränkung. Wie bereits ADSL wird auch VDSL daher vorwiegend für Videoanwendungen eingesetzt. Dadurch ergibt sich bei der Wahl geeigneter Fehlerfunktionen eine kleine Einschränkung. Komprimierte Video-Signale sind ebenso wie Echtzeitsignale nicht für die klassischen Fehler-Korrekturstrategien in der Datenkommunikation geeignet. Daher wird in VDSL eine Forward Error Correction (FDE) mit genügend Interleaving zur Korrektur aller durch Impulse bestimmter Dauer verursachten Störungen durchgeführt.

## 2.5.3 VDSL Technik

VDSL baut im wesentlichen auf den selben technischen Grundlagen wie auch ADSL auf. VDSL ist jedoch von seiner Struktur her nicht so komplex wie ADSL, da weitaus weniger dynamische Leitungsparameter beachtet werden müssen.

## 2.5.4 Übertragungsmethoden

Für VDSL wurden 4 Übertragungsmethoden vorgeschlagen, von denen einige bereits bei der ADSL-Diskussion vorgestellt wurden:

- CAP (Carrierless AM/PM)
- DMT (Discrete Multitone)
- DWMT (Discrete Wavelet Multitone)
- SLC (Simple Line Code)

## 2.5.5 Kanaltrennung

VDSL Systeme werden anfänglich Frequency Division Multiplexing (FDM) zur Trennung von down- und upstream sowie zur Abschirmung beider Kanäle gegenüber dem Telefondienst bzw. ISDN verwenden. Echokompensation wird vielleicht für neuere Geräte mit symmetrischen Datenübertragungsraten erforderlich.

## 2.5.6 Forward Error Control

*Forward Error Control*

Für die Fehlerkontrollfunktionen wird eine Form der Reed Soloman Kodierung mit optionalem Interleaving zur Korrektur von durch Impulsstörungen verursachten Fehlern eingesetzt. Die Fehlerkorrektur wird sehr ähnlich der für ADSL in T1.413 definierten Form sein. Eine noch nicht geklärte Frage ist, ob für den FEC-Overhead payload-Kapazität oder out-of-band Signalisierung verwendet wird. ADSL verwendet hier out- of-band Signalisierung.

## **2.6 Ein Überblick über HDSL**

### **2.6.1 Die Bedeutung von HDSL ...**

Schon vor über einem Jahrhundert begannen Telefongesellschaften damit, Kupferkabel zum Zweck der Telekommunikation zu verlegen. Inzwischen stellen diese Netze ein kollektives Gut von immensem Wert dar. Obwohl viel für den Ausbau der Datenautobahnen getan wird, ist ein Großteil dieser "Straße" in der Realität noch mit Kupfer gepflastert.

Neuartige DSL-Technologien setzen hier zunehmend ungenutzte Kapazitäten in bestehenden Telefonnetzen frei. HDSL und seine Nachfolger stellt eine neue Methode zur Übertragung digitaler Daten über twisted pair Kupferleitungen dar.

Früher wurden einzelne Häuser und Firmen mit der Zentrale ihrer Telefongesellschaft über eigene T1/E1-Leitungen verbunden. Solche T1/E1 Leitungen bestanden aus 24 bzw. 30 Telefonleitungen und waren einer digitalen Pipeline vergleichbar. Im einfachsten Fall handelte es sich bei T1/E1-Systemen um einfache 1,544 Mbit/s bzw. 2,048 Mbit/s- Systeme, welche für eine breite Palette von öffentlichen und privaten Kommunikationsdiensten eingesetzt werden konnten, jedoch aus heutiger Sicht sehr langsam waren.

Die physikalischen Eigenschaften von Kupferkabeln machen die Hochgeschwindigkeitsübertragung schwierig. Da jedoch insbesondere aus wirtschaftlichen Gründen der Einsatz von Kupferkabeln geboten war, entwickelten Ingenieure eine Möglichkeit, Signale mit einer relativ hohen Geschwindigkeit über Kupferkabel zu senden. Die Grundidee bestand darin, Repeater einzusetzen - es entstand das sogenannte repeatered T1/E1.

### **2.6.2 Repeatered T1/E1**

Kupferkabel verzerren Signale, daher müssen an vorgeschriebenen Stellen Repeater oder Filter zur Signalregeneration installiert werden. Doch genau darin besteht auch schon ein schwerwiegender Nachteil von repeatered T1/E1. In den heutigen Systemen müssen solche Repeater jeden Kilometer eingefügt werden - ein zeit- und kostenintensiver Prozeß. Repeatered T1/E1 hat darüber hinaus noch eine Menge anderer signifikanter Nachteile:

Die Kosten zur Installation einer repeatered T1/E1-Leitung können in die Tausende gehen.

Die Installation ist mühsam und erfordert einen erheblichen Arbeitsaufwand. Es müssen bestimmte Leitungsparameter beachtet werden und der Umstellungsprozeß kann für eine Leitung mehrere Wochen in Anspruch nehmen.

Repeatered T1/E1 hat schlechtere Signalqualitäten im Vergleich zu Lichtwellenleitern und HDSL.

Jedes Segment - Leitungsabschnitt zwischen zwei Repeatern - der Leitung muß überprüft werden; Doppeladern müssen sorgfältig ausgewählt werden, um Nebensprechen zu vermeiden.

Die Installation von Repeatern erfordert u.U. ein re-engineering.

Die Anzahl der benötigten Repeater kann sehr groß sein und Fehler, Fehlerbehandlung und Wartung sind kostenintensiv.



Um repeatered T1/E1 Leitungen für weitere Dienste zu rekonfigurieren, müssen die Repeater physikalisch entfernt werden, wodurch neue Kosten anfallen.

Angesichts dieser Nachteile suchte man nach besseren Methoden der Datenübertragung und in den späten Achtzigern wurde in den Laboratorien von Bellcore HDSL geboren.

### 2.6.3 Die Geburt von HDSL ...

Die zugrundeliegende Idee war klar: einen leistungsstarken und kosteneffektiven Weg für die Übertragung von mehr als 2 Mbit/s über existierende Kupferkabel zu realisieren. Die neue Methode sollte ferner leicht adaptierbar und schneller sein. Zudem sollte die Verwendung von Repeatern vermieden werden, sowie eine spezielle Vorbereitung der Leitung unnötig sein.

Ursprünglich verlief die Entwicklung von HDSL sehr langsam, sobald jedoch die Preise fielen, entwickelte sich die Methode zu einer der schnellsten und kostengünstigsten Verfahren.

Für diesen gravierenden Durchbruch waren insbesondere zwei Eigenschaften von HDSL verantwortlich.

Zum einen spielten die adaptiven Fähigkeiten von HDSL eine entscheidende Rolle, die Signalqualitäten vergleichbar zu Lichtwellenleitern garantierte. Zum anderen konnten Dienste nun innerhalb weniger Stunden statt mehrerer Wochen angeboten werden, da keine Leitungsmodifizierungen mehr nötig waren.

### 2.6.4 Wie HDSL prinzipiell arbeitet ...

HDSL bildet digitale Hochgeschwindigkeitskanäle auf Kupferleitungen, zur Realisierung von Mehrwertdiensten sowohl im öffentlichen als auch im privaten Bereich, ab. Es findet heute seine Hauptanwendung bei der Bereitstellung digitaler Dienste für local loop Kunden und corporate network Nutzer.

Die durch HDSL erreichte Übertragungsqualität ist der von Lichtwellenleitern her bekannten vergleichbar. Letztlich liefert HDSL produktivere Dienste zu reduzierten Kosten, da die Übertragungsrate ohne Verwendung von Repeatern vervierfacht wird.

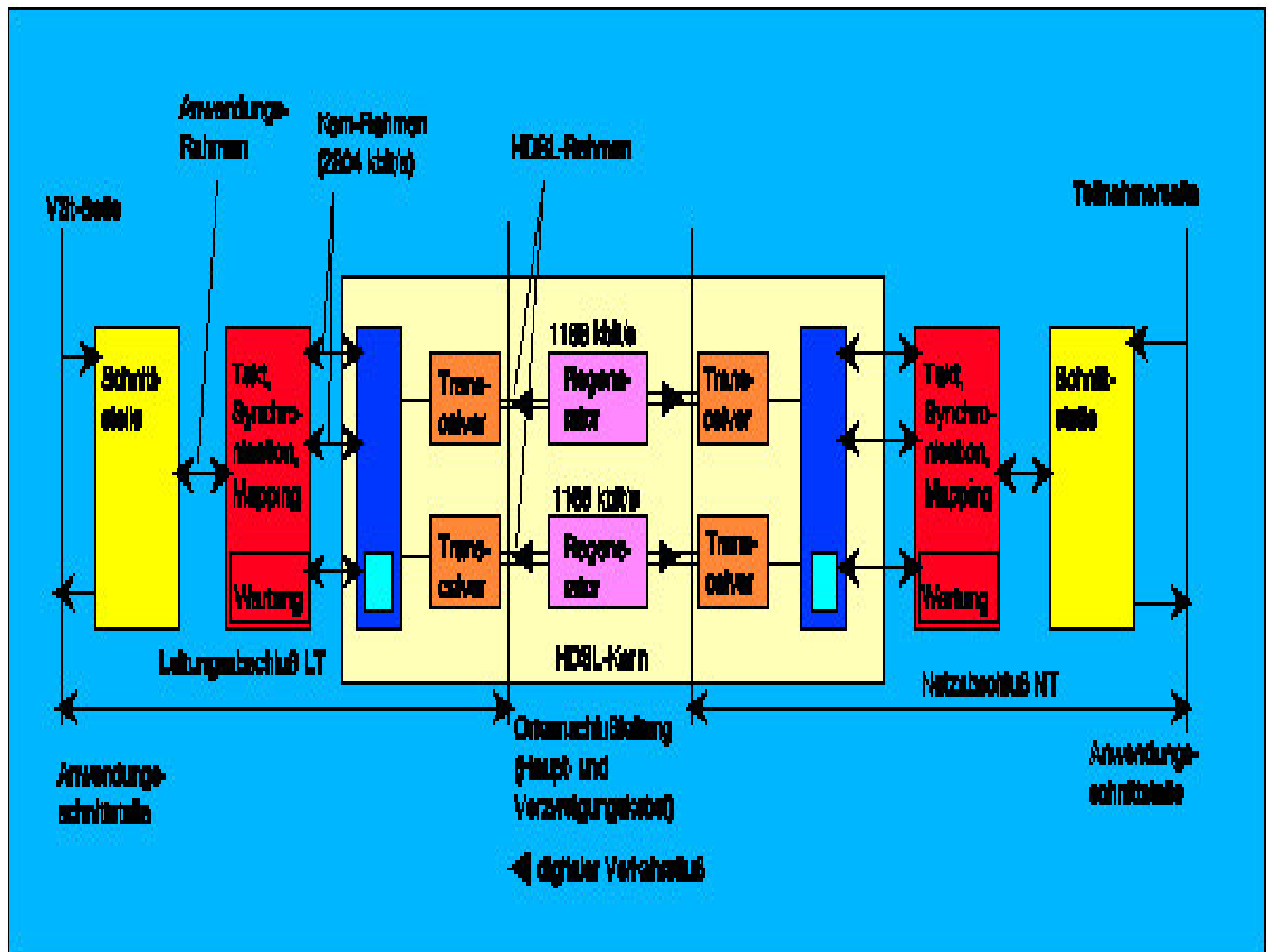
Zum Betrieb einer HDSL-Leitung wird eine HDSL-Karte in der Zentrale angebracht und eine weitere Karte beim Kunden installiert. Die Systeme verwenden komplexe digitale Signalverarbeitungstechniken. HDSL sendet seine Signale mit normaler "Stärke". Die einzigartige Fähigkeit von HDSL liegt darin die Signalintegrität, angesichts der schlechten Übertragungseigenschaften von Kupfer, zu erhalten oder wiederherzustellen. Es wird ein mathematisches Modell der Kupferleitungen erzeugt, das dem Übertragungsgerät erlaubt, präzise die im Hochfrequenzbereich auftretenden Störungen auf Kupferleitungen zu kompensieren. Diese Anpassung wird kontinuierlich durchgeführt, so daß das Übertragungssignal auch dann nicht abnimmt, wenn sich die Leitung oder die Umgebungsbedingungen ändern.

HDSL stellt die ideale Lösung dar, wenn verstreut liegende Gebäude und Nutzer verbunden werden müssen und Zeit, Geld und Leistung die signifikanten Faktoren darstellen.

### 2.6.5 HDSL - Technik

In dem ETSI-Report zu HDSL sind zwei alternative HDSL-Strukturen vorgesehen. Zum einen die Dreifach-Duplex-Übertragung für drei Doppeladern, zum anderen die Doppel-Duplex-Übertragung, die bereits mit zwei Doppeladern auskommt. Da die Doppel-Duplex-Übertragung in der Praxis eher eingesetzt wird als die Dreifach-Duplex-Übertragung, wollen wir uns diese Systemstruktur näher betrachten.

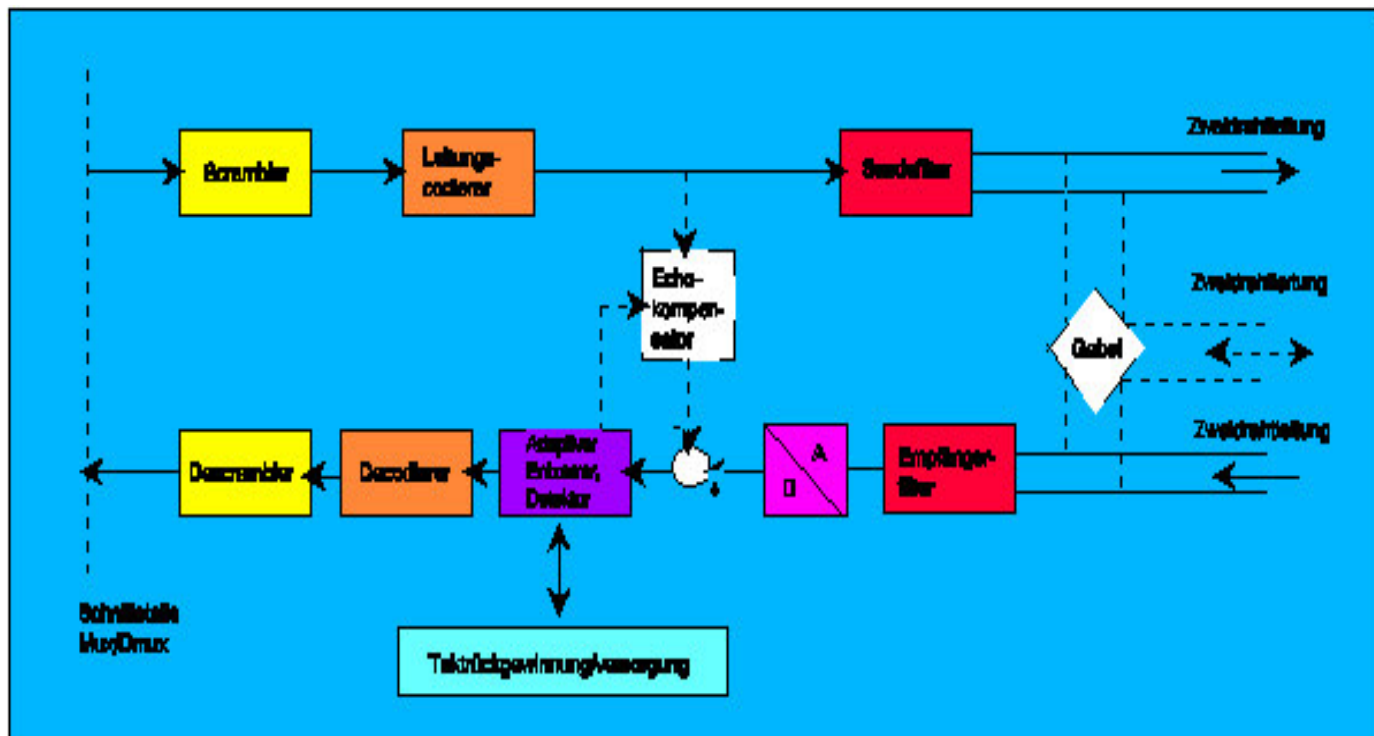
*Prinzipielle HDSL-Systemstruktur für eine 2048 Mbit/s-Vierdraht-Doppel-Duplex-Übertragung*



In Bild 2.2.5.1. wird die prinzipielle HDSL-Systemstruktur nach ETSI für eine 2,048 Mbit/s-Vierdraht-Doppel-Duplex- Übertragung skizziert [5], [12]. Die Leistung eines HDSL-Systems hängt stark von der Gestaltung der Transceiver - kombinierte Sender-Empfänger - ab. Für den Fall der Basisbandübertragung ist die prinzipielle Struktur eines Transceivers in Bild 2.2.5.2. dargestellt.

Werden beim Anschlussmultiplexer die Hin- und Rückrichtung der quaternären 2,048-Mbit/s-Übertragung getrennt über zwei Doppeladern geführt, erreicht man eine bidirektionale Signalübertragung in Frequenzgleichlage auf jeder Doppelader. Für die Richtungstrennung wird neben der eingezeichneten Gabelschaltung noch ein Echokompensator benötigt. Der Echokompensator stellt eine Signalentkopplung von Sende- und Empfangssignal sicher. Dazu produziert er ein Abbild des Echos vom zu übertragenden Signal, welches anschließend vom Empfangssignal subtrahiert wird.

*Prinzipieller Aufbau eines Transceivers für Basisbandübertragung*



Die Struktur eines HDSL-Systems besteht aus einem Leitungsendgerät LT und dem Netzabschluss NT. Dieses System wird von ETSI in einen anwendungsspezifischen Teil und einen mit Kern bezeichneten Teil aufgeteilt, vgl. Bild 2.2.5.1..

Dies ist vor allem im Hinblick auf zukünftige Erweiterungen des Systems günstig. Im anwendungsspezifischen Teil werden die Schnittstellen vermittlungs- und teilnehmerseitig festgelegt. Der Anpassung an die festliegenden HDSL- Rahmen dient die Bildung anwendungsspezifischer Formate von Anwendungs- und Kern-Rahmen. Der anwendungsunabhängige Kern schließlich enthält alle zur Übertragung benötigten Komponenten. Für jede Leitungsschleife wird ein definierter HDSL-Rahmen gebildet, der sich aus Nutzinformationen sowie Zusatzinformationen (Overhead) zusammensetzt. Zur Rahmensynchronisation wird ein aus sieben Symbolen bestehender Barker Code verwendet, der am Anfang jedes HDSL-Rahmens steht. Schon seit längerem sind für die Dreifach-Duplex- Übertragung Transceiver mit Übertragungsraten von 784 kbit/s bzw. jetzt auch schon mit 1168 kbit/s auf dem Markt. Diese verwenden vorwiegend eine störungsprädikative quantisierte Rückkopplung wie beim Anschlussleitungsmultiplexer. Es werden hier Reichweiten auf 0,4 mm Kupfer bis zu 3 km ohne Verwendung von Repeatern erreicht.

## 2.6.6 Die Vorteile von HDSL ...

Der Einsatz von HDSL bringt sowohl wirtschaftliche als auch technologische Vorteile im Vergleich zu Vorgängertechnologien.

HDSL reduziert die Kosten zur Installation von T1/E1-Leitungen und reduziert zudem den Zeitbedarf zur Installation signifikant.

HDSL erlaubt Verbindungen unter Verwendung von 0,5 mm Kupferkabel bis zu 3,6 km. Mit mehr Hardwareaufwand oder dickeren Kupferleitungen können Verbindungen über Distanzen bis zu 7 km erzielt werden.

Der adaptive digitale Signalverarbeitungsalgorithmus, der von HDSL verwendet wird, erzielt weitaus bessere Übertragungsqualitäten als repeatered T1/E1.

Am entfernten Ende der Leitung braucht HDSL nur minimalen Strom, was eine entfernte Stromspeisung von der Zentralstelle aus möglich macht.

HDSL-Lösungen können in 99% aller Fälle für die letzte Meile des sogenannten local loop eingesetzt werden.

Es gibt keine Leitungskonditionierung und es wird keine Entfernung von "bridged taps" oder nachträgliche Signalverstärkung vorausgesetzt.

Die Elimination von Repeatern erhöht die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems und die Übertragungsperformance.

Durch die verwendete fortschrittliche Elektronik ist HDSL sehr resistent gegenüber Nebensprechen und andere Störungen; es werden Signalqualitäten vergleichbar zu Lichtwellenleitern mit Fehlerraten von  $10e-10$  erzielt.

### 3 DSL Technologien

## 4 DSL Technologien (Digital Subscriber Line)

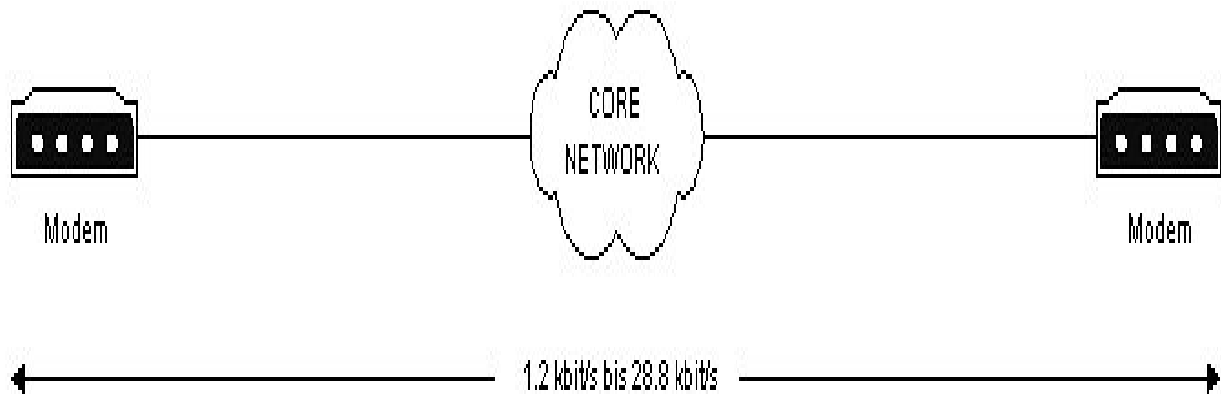
### Definition und Hintergründe

Digital Subscriber Line ist eine Modem Technologie, die die bestehenden Telefonleitungen zum Transport von Breitbandanwendungen, wie zum Beispiel Video oder Multimedia, nutzen kann. Derzeit gibt es verschiedenste Varianten der DSL Technologie : ADSL, VDSL, HDSL und SDSL um nur einige davon zu nennen. Im folgenden wird dem interessierten Leser ein Überblick über die Entwicklungen der DSL Technologien gegeben.

#### 4.1 Eine kleine Geschichte der analogen Modems

Das Wort Modem ist ein Akronym das für die Bezeichnungen **M**odulation / **D**emodulation steht. Ein Modem ermöglicht zwei Computern die Kommunikation untereinander bei Verwendung des analogen Telefonnetzes. Das Modem wandelt hierbei die Signale des Computers, die in digitaler Form vorliegen in ein analoges Signal, dass über die bestehenden Telefonleitungen transportiert werden kann. Auf der Empfängerseite wandelt das zweite Modem die analogen Signale der Telefonleitungen wieder in digitale Signale, die für den Computer verständlich sind. Alle Modems verwenden eine Art der Kompression und besitzen eingebaute Fehlerkorrekturmechanismen. Die Kompressionsalgorithmen erlauben eine zwei- bis viermal höhere Datendurchsatzrate als ohne. Die Fehlerkorrekturmechanismen überprüfen ankommende Daten, respektive Pakete und fordern eine erneute Übertragung an, falls ein Problem festgestellt wird. Alle dieser handelsüblichen Modems arbeiten im sogenannten Sprachübertragungsbereich. Sie senden und empfangen im selben Frequenzbereich. Dieser Bereich ist durch Filter an den Enden des Telefonnetzes beschränkt, so dass sich also die Übertragung in einem Frequenzbereich von ca. 50 Hz bis 3.3 kHz bewegt. Ohne diese Filter wäre es theoretisch möglich über ein Kupferkabel Frequenzen im MHz Bereich zu übertragen , allerdings verändert sich die Signalform mit zunehmender Länge des Kabels und Frequenz sehr stark. Die ersten solcher Modems konnten Datendurchsätze von bis 1.2 Kbit/s erreichen. Heutige Modems schaffen mittels oben genannter Kompression und

Fehlerkorrekturmechanismen etwa 56 kbit/s. Somit sind die theoretisch möglichen Übertragungsraten bei Arbeitsweise der Modems heute erreicht.



#### **4.2 DSL Technologie und T1/E1**

DSL bezeichnet, entgegen dem Namen nicht die Leitungen als solches, sondern die Leitung mit je einem Modem an den Leitungsenden. Ein DSL Modem arbeitet in beiden Richtungen simultan, das heißt: Es sendet Daten in beide Richtungen. Dabei wird eine Übertragungsrate von ca. 160 kbit/s über 0,5mm dicke Kupferleitungen bis zu einer Länge von etwa 5-5,5 Kilometern. Die nutzbare Bandbreite bewegt sich von 0 bis 80 kHz. DSL ist eine Entwicklung der Bellcore Laboratories in den sechziger Jahren. Man entwickelte zuerst ein Sprach- Multiplex-System das Sprache in einen digitalen 64 kbit/s Datenstrom digitalisierte und anschließend 24 solcher Ströme zu einem Datenstrom zusammenfasst, welcher nun 1.544 Mbit/s groß ist. Dieser Technik gab man den Namen DS-1, der in Amerika für Digital Signal 1 steht. Später wurde die Namengebung in T-1 modifiziert. In Europa verwenden wir eine weitere Modifikation dieser Entwicklung die als T1 definiert wurde. Der Unterschied besteht dabei in folgendem: Statt 24 Datenströme zu multiplexen sind es bei uns in Europa 30, wodurch eine Übertragungsrate von 2.048 Mbit/s entsteht. T1/E1 Leitungen arbeiten mit dem speziellen Leitungscode AMI (alternated mark inverse) . Sie beanspruchen deshalb eine relativ große Bandbreite. Durch die starke Signaldeformation werden Verstärker alle 2 km eingesetzt. Wesentlicher Aspekt für eine Weiterentwicklung dieser T1/E1 Technologie, war die Tatsache, dass nur sehr gutes Kupferkabel für die Übertragung von 2 Mbit/s geeignet war. Im Durchschnitt war in einen Kabel der Telefongesellschaften das aus 50 Leitungen bestand, nur ein einziges paar Kupferleitungen gut genug für die Übertragung des AMI Codes. Um bessere Ausnutzung zu erzielen, entwickelte man die DSL Technologien.

## **4.3 xDSL**

### **4.3.1 HDSL - High Rate Digital Subscriber Line**

HDSL ist ein effizienterer Weg T1/E1 Signale über twisted-pair Kupferleitung zu übertragen, da diese Technologie keine Verstärker benötigt. Diese Technik verwendet fortgeschrittenere Modulations- und Codierungsarten. Dabei wird ermöglicht 1.544 Mbit/s oder 2 Mbit/s über eine Entfernung von bis zu 3.7 km bei einer Dicke des Kabels von 0.5 mm zu Übertragen. Das Spektrum der Bandbreite reicht von 80 kHz bis 240 kHz.

### **4.3.2 SDSL – Single Line Digital Subscriber Line**

SDSL ist die „Einzelleitungsversion“ von HDSL. Sie überträgt T1/E1 Signale über ein einziges twisted-pair Kupferkabel und ist fähig in einem Bereich oberhalb der normalen Telephonie zu arbeiten. So ist es möglich gleichzeitig Telephonie und Daten über ein einziges paar Kupferleitungen zu senden. Die Reichweite von SDSL beträgt etwa 3km.

### **4.3.3 ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line**

Wie der Name schon sagt überträgt ADSL einen sogenannten asymmetrischen Datenstrom. Der Datenstrom zum Kunden hin ist also größer, als der Datenstrom zur Zentrale zurück. ADSL stellt die direkte Weiterentwicklung von HDSL dar. Die Übertragungsraten bewegen sich bei 1.55 Mbit/s bis 9 Mbit/s zum Kunden und bei 16 Kbit/s bis 640 kbit/s zur Zentrale. Die verwendeten Modems arbeiten bei ADSL, wie bei HDSL, in einem Frequenzbereich oberhalb des für die normale Telephonie genutzten Bereichs. So ist es möglich sowohl ein Telefongespräch, sowie Datenübertragung auf den selben Leitungen zu nutzen.

### **4.3.4 VDSL - Very high rate Digital Subscriber Line**

Zur Zeit existieren noch keine Standards für VDSL, die Diskussion geht jedoch von folgenden Downstream Übertragungsraten aus:

- 12.96 Mbps 4,500 feet of wire
- 25.82 Mbps 3,000 feet of wire
- 51.84 Mbps 1,000 feet of wire

Die erreichten Datendurchsatzraten zum Kunden hin liegen hier zwischen 1,4 Mbit/s und 2,3 Mbit/s. VDSL ist in vielerlei Hinsicht einfacher aufgebaut als ADSL. Kürzere Leitungen bedeuten weniger starke Beeinflussungen der Signale, so da die zugrundeliegende Transceiver-Technologie weniger komplex - obwohl 10mal schneller - ist. VDSL wird ausschliesslich in ATM-Netzwerk-Architekturen eingesetzt, dadurch können bestimmte Anforderungen bzgl. des Paket handling von ADSL beiseite gelassen werden. Ferner lässt VDSL passive Netzabschlüsse zu, wodurch mehrere VDSL-Modems an eine Leitung angeschlossen werden können.

Bei näherer Betrachtung gibt es allerdings auch Nachteile. VDSL Mus immer noch Fehlerkorrektur zur Verfügung stellen. Zudem gibt es noch kein öffentliches ATM Netz, so

da VDSL zunächst konventionellen Datenverkehr übertragen muss. Darüber hinaus bringt der passive Netzanschluss einige Probleme mit sich, was dazu führen wird, da VDSL zunächst identisch wie ADSL, jedoch mit höheren Übertragungsraten, arbeitet. VDSL wird sowohl von POTS als auch von ISDN durch passive Filter getrennt.

#### 4.4 Kurzüberblick der DSL Technologien

Name	Bedeutung	Datenübertragungsrate	Übertragungsmodus	Anwendung
<b>V.22</b> <b>V.32</b> <b>V.34</b>	Sprachband-modem	1200 bit/s bis 34000 bit/s	Duplex	Datenübertragung
<b>DSL</b>	Digital Subscriber Line	160 kbit/s	Duplex	ISDN Sprach- und Datenübertragung
<b>HDSL</b>	High data rate Digital Subscriber Line	1.544 Mbit/s 2.048 Mbit/s	Duplex	T1/E1 Dienst, Teilnehmeranschluß, WAN, LAN, Server Zugriff
<b>SDSL</b>	Single line Digital Subscriber Line	1.544 Mbit/s	Duplex	wie HDSL zusätzlich Dienste mit symmetrischen Übertragungsraten
<b>ADSL</b>	Asymmetric Digital Subscriber Line	1,5 bis 9 Mbit/s 16 bis 640 kbit/s	Down Up	Internetzugriff, Video on Demand, rLAN Zugriff, interaktive Multi-medienienste
<b>VDSL</b>	Very high data rate Digital Subscriber Line	13 bis 52 Mbit/s 1,5 bis 2,3 Mbit/s	Down Up	wie ADSL plus HDTV

#### 4.5 Standards

Das American National Standards Institute (ANSI) hat einen Standart für ADSL verabschiedet, basierend auf einer Übertragungsraten von 6.1 Mbit/s (ANSI Standart T1.413). Das European Standards Institute (ETSI) hat diese Empfehlung für den Europäischen Raum übernommen. Der T1.413 Standart basiert auf der Implementation

eines Terminal Interfaces am Ende der Leitung. Die Weiterentwicklung dieses Standards, T1E1.4, sieht vor die jetzt bestehende Empfehlung mit der Implementierung einer Multiplexeinheit am Leitungsende und einem Protokollstandart für Netzwerk Management und Konfiguration zu ergänzen.

Das ATM Forum und das Digital Audio-Visual Council (DAVIC) haben beide ADSL als physical- Layer Übertragungsstandart für UTP anerkannt.

Das ADSL Forum wurde Mitte Dezember 1994 gegründet um die Standardisierung und die Entwicklung rund um die ADSL Technologie voranzutreiben. Das Gremium besitzt mehr als 200 Mitglieder, die sich aus Vertretern der Telekommunikationsgesellschaften, Geräteherstellern und Industrie zusammensetzen. Im Moment setzt sich das Forum aus verschiedenen Arbeitsgemeinschaften zusammen, die folgende Techniken und Standardisierungsmöglichkeiten untersuchen :

- ATM über ADSL
- Paketvermittlung über ADSL
- Konfiguration und Schnittstellen
- Netzwerk Management
- Teste und Betrieb im Verbund mit anderen Geräten

#### **4.6 ADSL Marktstatus**

Verschiedenste ADSL Modems sind bei über 30 Telefongesellschaften in den USA erfolgreich getestet worden. 1000de Leitungen wurden bereits mit dieser Technik in den USA und Europa verwirklicht und realisiert. ADSL Vermarktung für den „normalen Kunden“ ist aktiv und es existieren bereits Marketingpläne für die Nutzung von ADSL für Dienste wie Video-on- Demand, Interaktive Spiele und Interaktive Lernprogramme.

#### **4.7 ADSL Technik**

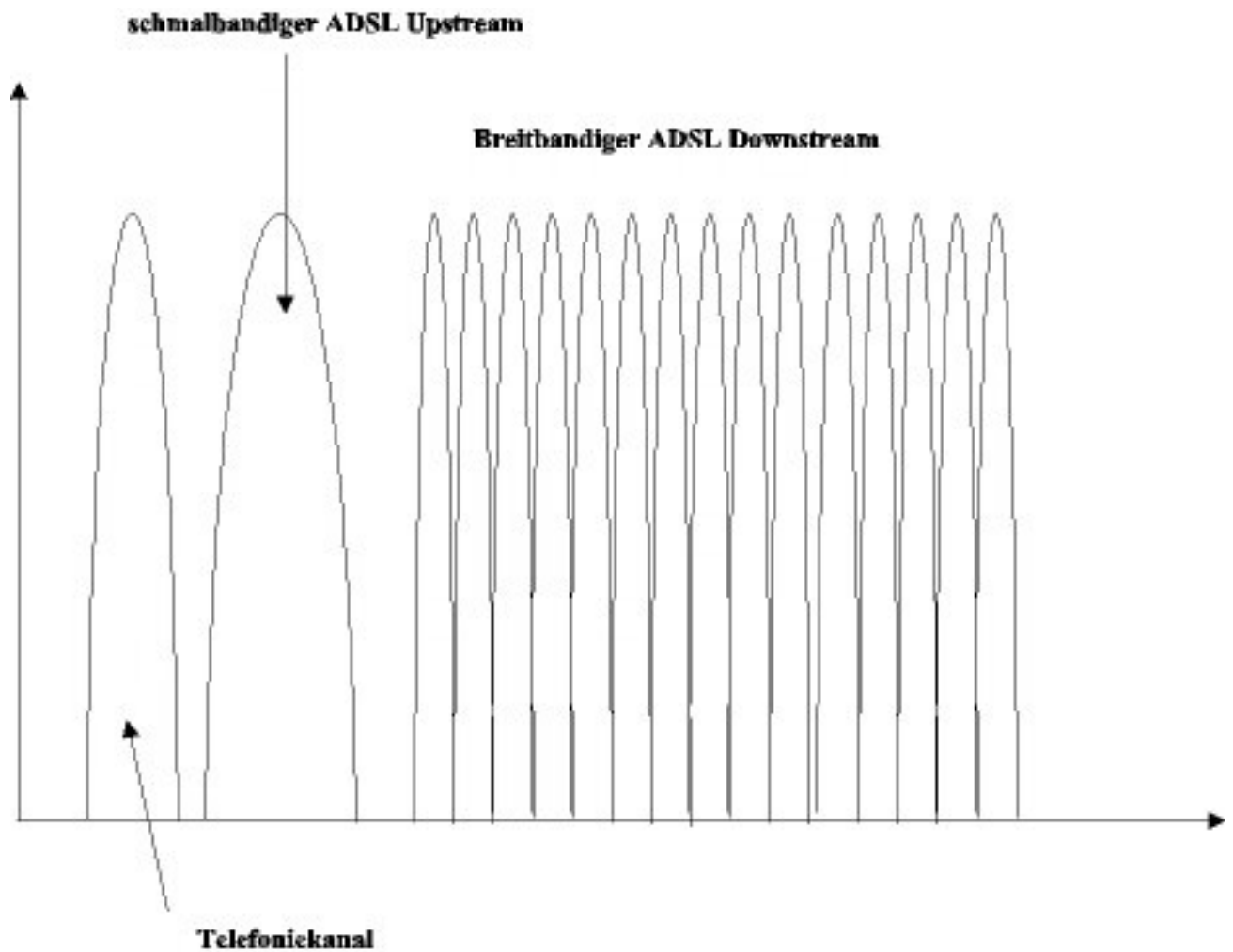
Wie in der Abbildung unten ersichtlich besteht die Verbindung aus drei Frequenzmäßig voneinander getrennten Kanälen. An erster Stelle kommt der Frequenzbereich der den herkömmlichen Übertragung der Sprache durch das Telefon zugewiesen ist welcher in der Vermittlungsstelle und beim Kunden mittels Filtern getrennt wird um Telefongespräche auch bei Ausfall der Anlage zu ermöglichen. Anschließend folgt ein Upstream-Kanal, also ein Kanal vom Kunde zur Zentrale mit ca. 16-640 kbit/s, und schließlich der Downstream-Kanal, respektive die Downstreamkanäle, mit bis zu 6 Mbit/s Datendurchsatz. Der Downstream-Kanal kann in kleinere Kanäle, beispielsweise zu 2 Mbit/s unterteilt werden. Nicht zu vergessen ist allerdings, dass je höher die Durchsatzrate , desto kleiner die Übertragungsreichweite des Systems ist. Primär hängt diese Durchsatzrate von folgenden Faktoren ab: a) Leiterlänge, b) natürlich Leiterquerschnitt und c) Güte der Verbindung (Crosstalk, Interferenzen usw)



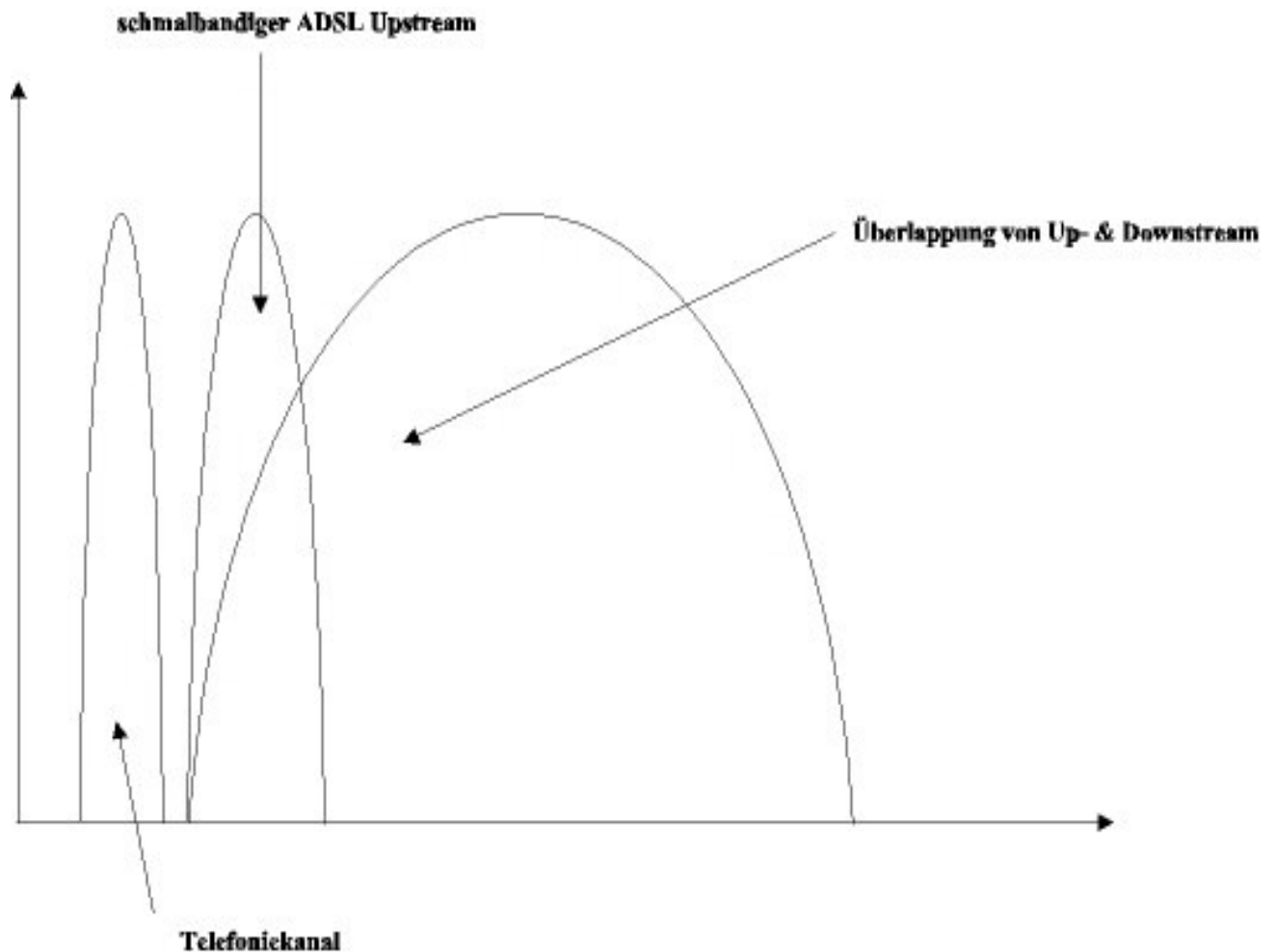
#### **4.8 Funktionsweise der ADSL Technik**

Von außen gesehen sieht die Technik ziemlich simpel aus. Wollen wir uns nun mit der Funktionsweise des Innenlebens befassen, die wesentlich komplizierter ist. Das Modem erkennt mittels Kommunikation zu seiner Gegenstelle, also dem Modem in der Zentrale oder, bei einer Punkt zu Punkt Verbindung, zu seinem Empfänger, die maximale ausnutzbare Bandbreite des bestehenden Kabels. Das Modem ist konfigurierbar und kann wählen zwischen zwei möglichen Übertragungsarten. Frequenzdivision Multiplex oder Echocancellation. FDM verwendet ein Band für Upstream-Daten und ein Band für Downstream-Daten. Der Upstream- Pfad wird geteilt in einen oder mehrere Kanäle mit einem oder mehreren kleineren Kanälen für Datenübertragung. Der Upstream Pfad, also die Leitung von Kunden zur Vermittlungsstelle retour, wird genauso geteilt. Je mehr kleine Kanäle verfügbar sind, desto größer ist die maximal zu übertragende Bandbreite. Ist das Kabel schlecht, also degradiert, verringert sich die nutzbare Bandbreite, weil gewisse spezifische Frequenzen nicht zur Verfügung stehen. Bei der Echocancellationstechnik überlagert der Upstream Pfad den Downstream Pfad, wird also gewissermaßen in diesen hinein gemultiplext. Man nutzt die Technik der Echocancellation, da Kupfer im unteren Frequenzbereich bessere Eigenschaften besitzt. Ältere ADSL Modems arbeiten Bei beiden Techniken wird der herkömmliche Telephoniekanal durch ein Filter getrennt.

#### 4.8.1 FDM ADSL



#### 4.8.2 EC ADSL



#### 4.9 VDSL

Im Teilnehmeranschlussbereich lassen sich die Nutzungsmöglichkeiten vorhandener Netze durch die Einführung von Hybridkabeln, bestehend aus Glasfaser und Kupferleitungen, unter Verwendung leistungsfähiger Very High-bit-rate Digital Subscriber Line (VDSL) Transceiver weiter verbessern. In einem solchen hybriden Anschlussnetz, bei kürzeren Kupferleitungslängen zwischen 100m und 500m, lässt sich die Übertragungskapazität durch Minimierung der Beeinflussung durch das eigentliche Übertragungsmedium Kupfer weit über 2,048 Mbit/s steigern.

Beim Aufbau von Hybridanschlussnetzen werden i.a. mehrere Ansätze verfolgt. Man unterscheidet zwischen Fibre To The Curb (FTTC), Fibre To The Neighborhood (FTTN), Fibre To The Basement (FTTB) und Fibre To The Home (FTTH).

Die meisten Konzepte zur Einführung optischer Teilnehmeranschlüsse verfolgen die Strategie, den optischen Netzanschluss möglichst nahe an oder in den Wohnbereich zu führen. Bei FTTC befindet sich der Netzanschluss am Straßenrand. Von hier werden die Einzelteilnehmer über relativ kurze Kupferleitungen an das optische Netzwerk angeschlossen. Bei FTTB und FTTH wird der Netzanschluss direkt in die Gebäude gelegt und nur noch die Gebäudeverkabelung selbst mit Kupferleitungen realisiert. Da FTTH in der Regel noch zu teuer ist, bietet sich eine attraktive Alternative in Form von FTTN an. Bei dieser Strategie werden in der Nachbarschaft sogenannte Optical Network Units (ONUs) installiert, die mittels Glasfaser verkabelt sind, und die sogenannte letzte Meile durch existierende Kupferleitungen überbrückt. Durch die Heranführung der Glasfaser bis zum Kabelverzweiger, einem Schaltpunkt im Teilnehmeranschlussnetz, kann die mit Kupferkabel zu überbrückende Distanz in 90% auf weniger als 500m reduziert werden.

VDSL befindet sich, wie vorher bereits geschrieben, momentan in der Standardisierungsphase. Von VDSL kann man, auf kürzeste Anschlussdistanz betrachtet, Downstreamraten von 51.84 Mbit/s, 25.92 Mbit/s oder 12.96 Mbit/s erwarten. Diese Übertragungsraten sind allerdings nur auf kürzeste Distanz realisierbar. Ebenfalls wie bei ADSL soll VDSL für die gleichen Zwecke, also Dienste mit hoher Bandbreite wie Videoanwendungen ü.ä., eingesetzt werden.

#### **4.10 VDSL's im Vergleich zu ADSL**

##### **VDSL's im Vergleich zu ADSL**

Die Technik von VDSL ist der Technik von ADSL sehr ähnlich. VDSL erreicht, wie erwähnt, Datenraten die beim 10-fachen des beim ADSL möglichen liegen. Allerdings benötigen ADSL-Modems eine etwas komplexere Technik, schon um die längeren Distanzen zu erzielen. Der klare Vorteil bei VDSL liegt allerdings in der Übertragung der enormen Datenmengen zum Kunden hin. Die VDSL Technologie kann als eine sogenannte Full- Service Technologie betrachtet werden die, wenn wir vom größtmöglichem Downstream ausgehen, bis zu zwei Kanäle HDTV unterstützen könnte. ADSL mag zwar bei näherer Betrachtung keine solche Full-Service Technologie sein, allerdings ist es mit ADSL möglich die angebotene Leistung über herkömmliche Telefonleitungen zu beziehen. Viele Dienstleistungen sind bei ADSL heute schon Realität, so zum Beispiel Videokonferenzen, Internetservice, Video-on-demand und Remote LAN Access.

