



TECH pedia



HOCHGESCHWINDIGKEITS- INTERNETZUGANG

IVAN PRAVDA

Titel der Arbeit: Hochgeschwindigkeits-Internetzugang
Author: Ivan Pravda
Übersetzt (von): Alena Dvořáková
Veröffentlicht (von): České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Kontaktadresse: Technicka 2, Prague 6, Czech Republic
Tel.: +420 224352084
Drucken: (nur elektronisch)
Anzahl der Seiten: 46
Ausgabe: 1. Ausgabe, 2017
ISBN 978-80-01-06283-8

TechPedia

European Virtual Learning Platform for
Electrical and Information Engineering

<http://www.techpedia.eu>



Dieses Projekt wurde mit Unterstützung der Europäischen Kommission finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung (Mitteilung) trägt allein der Verfasser; die Kommission haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

ERLÄUTERUNG



Definition(en)



Interessantheit (Interessantes)



Bemerkung



Beispiel



Zusammenfassung



Vorteile



Nachteile

ZUSAMMENFASSUNG

Die Anschlüsse VDSL2 und G.fast wurden zur Bereitstellung neuer Dienstleistungen mittels symmetrischer Kupfer-Doppelleitungskabel und Lichtwellenleitern in einem Zugangs-Telekommunikationsnetz konzipiert. Die VDSL2-Anschlüsse sind eine Weiterentwicklung der ADSL-Anschlusstypen und bringen dem Nutzer höhere Übertragungsraten. Darüber hinaus optimieren sie die Symmetrie der Übertragungsraten für den Downstream- bzw. Upstream. Heutzutage sind VDSL2- und G.fast-Anschlüsse die neuesten Evolutionsstufen in der xDSL-Technologie und mit ihrer Implementierung ins Zugangs-Telekommunikationsnetz wird auch in Konzepten der FTTx-Netze gerechnet.

ZIELE

Vorgestellt wird das Prinzip der VDSL2- und G.fast-Anschlüsse, mögliche Varianten, verwendete Modulation und Kodierung. Auch die erreichbare Übertragungsraten und Anschlussmöglichkeiten der zweiten Generation werden behandelt. Es werden grundlegende Kenntnisse der Eigenschaften von Telekommunikationsnetzen und Hauptmethoden der digitalen Übertragung und Signalverarbeitung vorausgesetzt.

LITERATUR

- [1] Šimák, B. – Vodrážka, J. – Svoboda, J.: Digitální účastnické přípojky xDSL. Díl 1. – Metody přenosu, popis přípojek HDSL, SHDSL, ADSL a VDSL. Verlag Sdělovací technika. Prag 2005. ISBN 80-86645-07-X
- [2] Vodrážka, J. – Šimák, B.: Digitální účastnické přípojky xDSL. Díl 2. – Přenosové prostředí, druhá generace ADSL a VDSL, měření na přípojkách. Verlag Sdělovací technika. Prag 2007. ISBN 80-86645-07-X.
- [3] Vodrážka, J.: Spektrální profil přípojek VDSL2 vybraný pro sítě v ČR. Access server. <http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2011040001>
- [4] Vodrážka, J.: Varianty přípojek VDSL2. Access server <http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006052401>
- [5] Vodrážka, J.: Teoreticky dosažitelné přenosové rychlosti u přípojky VDSL2 s potlačováním přeslechů. Access server. <http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2008080002>

Inhaltsverzeichnis

1	Telekommunikationsnetz und digitale Teilnehmeranschlüsse	6
1.1	Kommunikations- und Telekommunikationstechnik	6
1.2	Telekommunikationsnetz	7
1.3	Kupfer-Zugangsnetz	8
1.4	Hybrides Zugangsnetz	9
1.5	Digitale Teilnehmeranschlüsse	11
2	Digitaler Teilnehmeranschluss VDSL2	12
2.1	Grundlegende Eigenschaften des Anschlusses VDSL2	12
2.2	Aufbau des Anschlusses VDSL2	14
2.3	Schichtenmodell des Endgerätes des Anschlusses VDSL2	16
2.4	Modi der Übertragung von Daten des Endteilnehmers	18
2.5	Möglichkeiten der Datenübertragung	19
2.6	Schutz der Übertragung vor Fehlern	21
2.7	Varianten des VDSL2-Anschlusses	22
2.8	Profile des Anschlusses VDSL2	23
2.9	Teilung des Frequenzbandes	25
2.10	Frequenzpläne für symmetrische Datenübertragungen	26
2.11	Frequenzpläne für asymmetrische Datenübertragungen	28
2.12	Masken der spektralen Leistungsdichte für 997-Pläne	30
2.13	Masken der spektralen Leistungsdichte für 998-Pläne	32
2.14	Übertragungskette des Anschlusses VDSL2	34
2.15	Protokollstruktur des Anschlusses VDSL2	35
3	Hochgeschwindigkeitsanschlüsse gemäß G.fast-Standard	36
3.1	G.fast-Standard - grundlegende Eigenschaften	36
3.2	Ausnutzen von Phantomkreisen	38
3.3	Versorgung des optischen Knotens vom Benutzermodem	40
3.4	Vektormodulation – VDMT	41
3.5	Vor- und Nachteile von VDMT	44

1 Telekommunikationsnetz und digitale Teilnehmeranschlüsse

1.1 Kommunikations- und Telekommunikationstechnik

Die Telekommunikation befasst sich mit dem Austausch von Informationen und Nachrichten unter Bedingungen, die mit natürlichen Sinnen nicht bewältigt werden können. Telekommunikation fällt daher in den Wissenschaftsbereich Kommunikationstechnik. Ihre moderne Entwicklung begann im Wesentlichen im neunzehnten Jahrhundert mit der Erfindung des Telegrafen und später des Telefons. Derzeit ist sie unteilbarer Bestandteil der Fachrichtung **IKT** (*Informations- und Kommunikationstechnik*, engl. **ICT**, *Information and Communication Technology*).



Der Begriff Telekommunikation entstand durch die Verbindung von zwei Wörtern: des griechischen Wortes „tele“ (fern) und des Wortes Kommunikation (Verständigung).

Eine Einrichtung zur Fernverständigung wird als Telekommunikationsanlage bezeichnet, während ein Telekommunikationsnetz durch miteinander verbundene Telekommunikationsanlagen oder Netzknoten gebildet wird.

Es ist nicht möglich, mit direkten Verbindungen alle Telekommunikationsanlagen, beziehungsweise alle Kommunikationsteilnehmer zu erreichen. Deshalb muss ein Telekommunikationsnetz auf eine gewisse Weise logisch strukturiert werden, um die Anforderungen einer großen Anzahl von geographisch weit voneinander entfernten Endteilnehmern zu erfüllen. Ein Telekommunikationsnetz hat zwei Bestandteile: Backbone und Zugang.



Beispiel: Wenn man ein Telekommunikationsnetz durch Verbinden aller Teilnehmer miteinander schaffen möchte, würde das für 10 Teilnehmer den Aufbau von insgesamt 45 Leitungen erforderlich machen.

1.2 Telekommunikationsnetz

Es wurde schon erwähnt, dass ein Telekommunikationsnetz auf eine bestimmte Art strukturiert sein muss. Üblicherweise besteht es aus zwei Hauptteilen: Backbone und Zugang. Beide Teile haben ihre Aufgabe und charakteristische Eigenschaften.

Das Backbone-Netz hat das Ziel, die einzelnen Netzknoten des gegebenen Telekommunikationsanbieters miteinander zu verbinden. In diesen Knoten werden die Datenübertragungen von Endteilnehmern gebündelt, so dass sie durch gemeinsame Telekommunikationswege über weite Entfernungen auf eine effiziente Art übertragen werden können. Typische Merkmale dieses Netzes sind:

- das Übertragungsmedium ist ein Monomode-Lichtwellenleiter,
- die Übertragungsraten bewegen sich in der Größenordnung von einigen zehn Gbit/s,
- die Betriebsdistanz liegt in einer Größenordnung von einigen zehn bis einigen tausend Kilometern,
- die Netztopologie ist üblicherweise die Ringtopologie.

Unter dem Begriff Zugangs-Telekommunikationsnetz versteht man den Teil des Telekommunikationsnetzes, der zwischen dem letzten Punkt des Zugangsanbieters (Telekommunikationsanbieters) und dem Endteilnehmer liegt. Als Zugangsanbieter wird üblicherweise eine lokale Vermittlungsstelle **HOST** oder eine entfernte Teilnehmereinheit (engl. **RSU**, *Remote Subscriber Unit*) bezeichnet. Das Kabelbündel, das aus der Hauptverteilung der Vermittlungsstelle (beziehungsweise aus **RSU**) führt, wird in Netz- und Straßenverteilern schrittweise in die einzelnen Richtungen mit den Endteilnehmern verbunden. Typische Merkmale dieses Netzes sind:

- das Übertragungsmedium ist ein symmetrisches Kupfer-Doppelleitungskabel, gegebenenfalls ein Monomode-Lichtwellenleiter,
- die Übertragungsraten bewegen sich in der Größenordnung von einigen Mbit/s bis einigen zehn Mbit/s,
- die Betriebsdistanz liegt in der Größenordnung von einigen hundert Metern bis einigen Kilometern,
- die Netztopologie ist üblicherweise die Baumtopologie.

1.3 Kupfer-Zugangsnetz

In den meisten europäischen Ländern werden für das Zugangs-Telekommunikationsnetz symmetrische Kupfer-Doppelleitungskabel verwendet. Die Entwurfskonzeption dieses Netzes galt vorrangig für Telefondienstleistungen durch Analog-Telefonanschlüsse (engl. **POTS**, *Plain Old Telephone Service*) im Frequenzband von 300 Hz bis 3400 Hz (sog. Telefonkanal) oder eines einfachen Anschlusses **ISDN-BRA** (*dienstintegrierendes digitales Netz - Basisanschluss*, engl. *Integrated Services Digital Network - Basic Rate Access*) im Band bis 80 kHz.

In der Tschechischen Republik besteht das Zugangsnetz des größten Telekommunikationsanbieters aus Kupferkabeln mit den grundlegenden Kabelarten eines Sternvierers (zwei Doppeladern) bzw. symmetrischer Doppelleitungskabel (eine Doppelader).

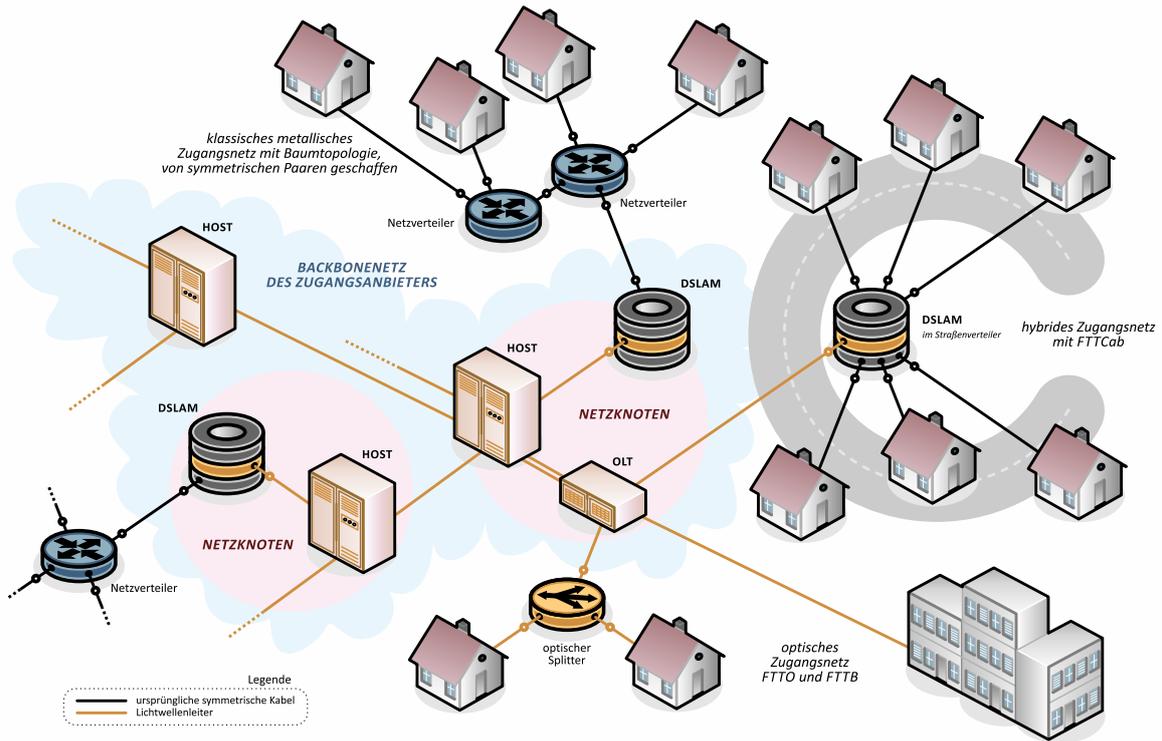
Die Kabel verwenden Leiter mit Kupferkernen des Durchmessers von 0,4, 0,6 und 0,8 mm bei einer Isolation des Durchmessers von max. 1,7 mm und haben einen Außenmantel überwiegend aus Polyethylen. Die Kabel in Erdlagerung werden mit einem geeigneten Füllstoff (Gel) gefüllt, der einen Schutz gegen Wasser herstellt. Die Leiter haben eine Polyethylen-Schaumisolierung. Freitragende Kabel (Hängekabel) werden nicht gefüllt und verwenden eine volle Polyethylen-Isolierung. Ein Teil des Zugangsnetzes in der Tschechischen Republik verwendet jedoch auch Kabel mit Kupferkernen des Durchmessers 0,4, 0,6 und 0,8 mm mit einer Luft-Papier-Isolierung.

Die Zugangsnetze der weiteren Telekommunikationsanbieter sind im Vergleich mit dem Netz des größten Anbieters relativ klein und decken ein kleines geografisches Gebiet ab. Deshalb werden wir uns in diesem Modul mit den Parametern und Bedingungen des Betriebes der Netzelemente nur im Zugangsnetz des größten Netzbetreibers beschäftigen.

1.4 Hybrides Zugangsnetz

Heutzutage ist es notwendig, den Endteilnehmern neben den Telefondiensten auch neue Dienstleistungen anzubieten. Dabei handelt es sich vor allem um die Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung, den Internetzugang und die Übertragung von Fernseh- und Videosignalen. Das Kupfer-Zugangsnetz stößt hier jedoch an seine Grenzen. Die physikalischen Parameter eines symmetrischen Doppelleitungskabels (Dämpfung, Gruppenausbreitungsgeschwindigkeit, Nebensprechen u. ä.) begrenzen die Übertragungsparameter wie z. B. die Übertragungsrate erheblich und verhindern ihre weitere Leistungssteigerung. Dieses Problem ist lösbar durch den Ersatz von symmetrischen Doppelleitungskabeln im Zugangsnetz durch Lichtwellenleiter. Im Hinblick auf die übliche Topologie des Zugangsnetzes ist diese Lösung jedoch zu aufwendig. Daher werden Kupferkabel durch Lichtwellenleiter schrittweise vom Netzpunkt des Zugangsanbieters zum Endteilnehmer ersetzt. Solche Zugangsnetze werden mit der Abkürzung **FTTx** (*Glasfaser zum x*, engl. *Fiber to the x*) bezeichnet, wobei der Buchstabe *x* die Abschlussstelle des Lichtwellenleiters kennzeichnet. Es gibt folgende Haupttypen der Netze **FTTx**:

- **FTTH** – *Glasfaser zum Heim*, engl. *Fiber to the Home*
- **FTTO** – *Glasfaser bis zum Schreibtisch*, engl. *Fiber to the Office*
- **FTTB** – *Glasfaser zum Gebäude*, engl. *Fiber to the Building*
- **FTTC**, **FTTCab** – *Glasfaser zum Bordstein*, engl. *Fiber to the Curb*; *Glasfaser zum Kasten*, engl. *Fiber to the Cabinet* (d. h. zum lokalen Verteiler – Bürgersteig, Pfosten) mit einer Länge der Kupferleitung bis 300 m
- **FTTN** – *Glasfaser zum Knoten*, engl. *Fiber to the Node* (d. h. zum lokalen Anschlusspunkt – Straßenverteiler, Pfosten) mit einer Länge der Kupferleitung von mehr als 300 m
- **FTTEx** – *Glasfaser zum Austausch*, engl. *Fiber to the Exchange* (d. h. zur lokalen digitalen Vermittlungsstelle)
- **FTTdp** – *Glasfaser zum Verteilungspunkt*, engl. *Fiber to the Distribution Point* (d. h. zum Verteilungsknoten)



Beispiel eines Kupfer-Zugangsnetzes, hybrides Zugangsnetzes FTTCab und volloptisches Zugangsnetzes.

1.5 Digitale Teilnehmeranschlüsse

Die Endgeräte der digitalen Teilnehmeranschlüsse (**xDSL**, *Digital Subscriber Line*) wurden speziell konstruiert, so dass sie eine bessere Ausnutzung des Potenzials der Kupferinfrastruktur im Zugangsnetz ermöglichen. Ein gemeinsames Merkmal dieser Systeme ist eine relativ hohe Übertragungsrate in der Größenordnung von einigen Mbit/s bis einigen zehn Mbit/s. Digitale Teilnehmeranschlüsse können nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt werden. Eine der Klassifizierungen teilt sie nach der Übertragungsart in digitale Anschlüsse mit der Übertragung ein:

- im Basisband (**HDSL** - *Hochgeschwindigkeits-DSL*, engl. *High-speed DSL*; **SHDSL** - *Hochgeschwindigkeits-DSL mit einem Paar*, engl. *Single-pair High-speed DSL*),
- im modulierten Frequenzband (**ADSL2+** - *Asymmetrische DSL*, engl. *Asymmetrical DSL*; **VDSL2** - *DSL mit einer sehr hohen Übertragungsgeschwindigkeit*, engl. *Very high-speed DSL*), das auf einer Teilnehmerleitung mit einer anderen, schon installierten Dienstleistung im Basisband betrieben werden kann, z. B. **POTS** oder **ISDN-BRA**.

Für Zugangsnetze nur mit Kupferleitungen, in den die Anschlüsse auf der Seite des Zugangsanbieters in der Nähe der Hauptverteilung der Vermittlungsstelle abgeschlossen werden, können Anschlüsse **ADSL** und **SHDSL** und auf einer kurzen Strecke auch die verbesserte Generationen **ADSL2+** und **VDSL** verwendet werden. Für hybride Glasfaser-Kupferkabel-Lösungen des Zugangsnetzes, bei dem die Geräte auf der Seite des Zugangsanbieters näher bei den Teilnehmern sind, können die Vorteile der Anschlüsse **ADSL2+** und **VDSL2** voll genutzt werden.

2 Digitaler Teilnehmeranschluss VDSL2

2.1 Grundlegende Eigenschaften des Anschlusses VDSL2

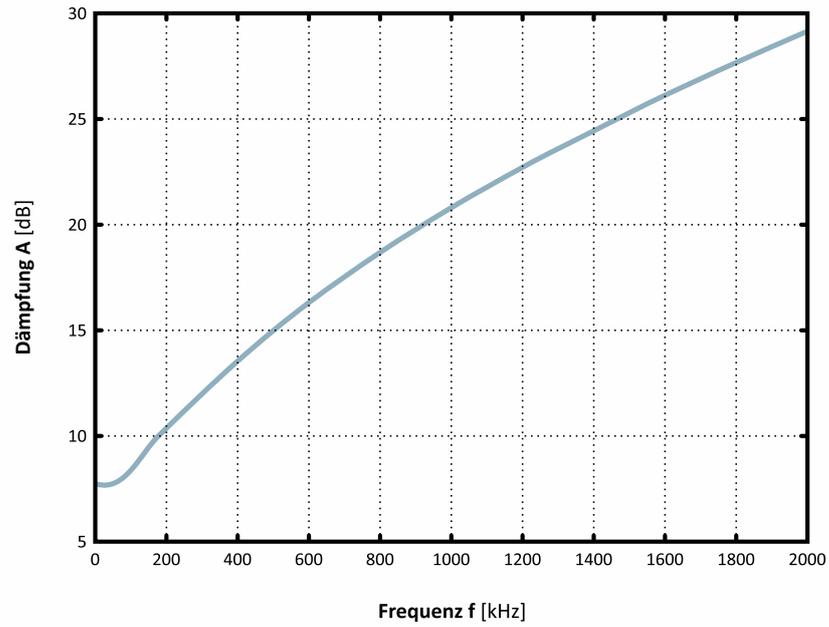
Der digitale Teilnehmeranschluss **VDSL2** ist die zweite Generation des Anschlusses **VDSL**. Bedeutende und bewährte Innovationen gegenüber der ursprünglichen Spezifikation von **VDSL** übernimmt die zweite Generation **VDSL2** von der zweiten Generation des Anschlusses **ADSL2**. Es handelt sich vor allem um Grid-Code (sog. *Trellis-Code*) mit der Fähigkeit der Korrektur von einzelnen Bitfehlern beim Empfänger und auch von Bündelfehlern, die durch Impulsstörungen mittels Reed-Solomon-Codes und Data-Interleavings verursacht wurden. Ähnlich wie bei **ADSL2** kann die Übertragungsrate beim Betrieb von **SRA** (*Ratenanpassung ohne Übergänge*, engl. *Seamless Rate Adaptation*) geändert, die Sendeleistung zur Reduktion von Nebensprechen in benachbarte Paare gesteuert und der energiesparende Betrieb (sog. *Sleep Mode*) aktiviert werden.



$E=m \cdot c^2$

Die grundlegende Empfehlung ITU-T G.993.2 standardisiert den Anschluss **VDSL2**.

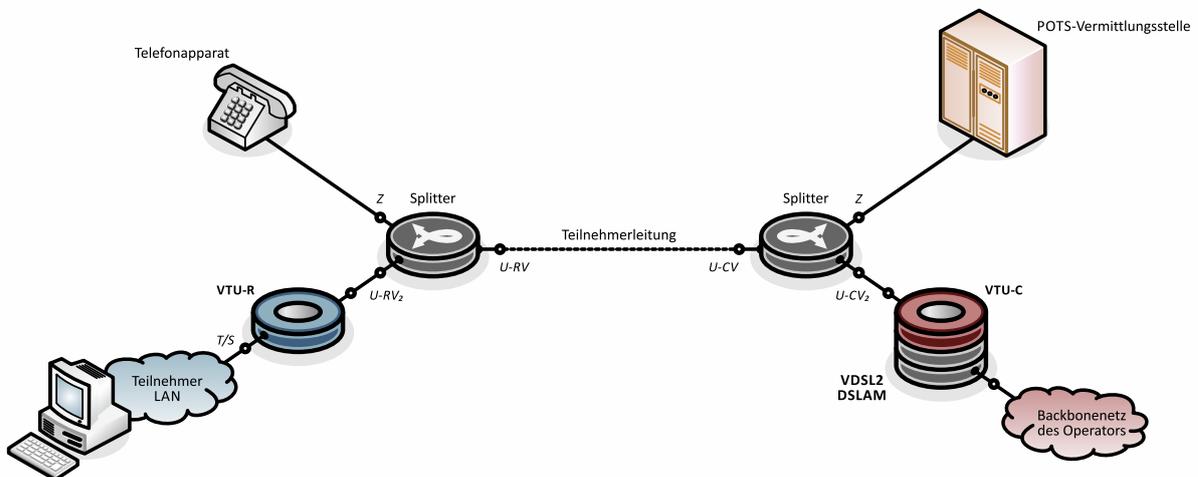
Die Erhöhung der Übertragungsrate wurde durch Erweiterung des ausgenutzten Frequenzbandes bis auf 30 MHz erreicht. Zum Vergleich: der Anschluss **ADSL2+** verwendet das Frequenzband nur bis 2,208 MHz. Die maximalen Übertragungsraten bewegen sich in der Größenordnung von einigen zehn bis einigen hundert Mbit/s. In der Downstream-Richtung ist der höchste Wert ungefähr 200 Mbit/s. Die Erweiterung des genutzten Frequenzbandes bringt jedoch auch einen Nachteil. Die maximale Länge der Teilnehmerleitung, auf der der Anschluss **VDSL2** betrieben werden kann, wird verkürzt. Je größer die Breite des Frequenzbandes ist, desto größer ist auch die Dämpfung der Leitung in diesem Band.



Auf dem Bild wird der Verlauf der Dämpfung eines symmetrischen Doppelleitungskabels in Abhängigkeit von der Frequenz gezeigt (Länge der Leitung 1 km, Durchmesser der Leiteradern 0,4 mm, Material Kupfer). Das symmetrische Doppelleitungskabel ist in einem klassischen lokalen Viererkabel TCEPKPFLE angeordnet.

2.2 Aufbau des Anschlusses VDSL2

Wie bereits angeführt wurde, ermöglichen die Anschlüsse **xDSL** eine effizientere Ausnutzung der bestehenden Teilnehmerleitung (symmetrische Kupfer-Doppelleitungskabel) zur Erbringung von neuen Dienstleistungen im Vergleich mit der ursprünglichen Auslegung der Leitung. Daher muss man annehmen, dass die Dienstleistung **POTS** oder **ISDN-BRA** schon auf der Leitung betrieben wurde und der Anschluss **VDSL2** diese koexistierende Dienstleistung nicht beeinflussen darf (dies gilt natürlich auch umgekehrt). Deswegen wird der Anschluss **VDSL2** im modulierten Frequenzband betrieben und die beiden Dienstleistungen auf der Teilnehmerleitung werden überdies mittels Frequenzfiltern (Splittern) getrennt. Sowohl Telefon- als auch Datensignale können so in beiden Richtungen auf der gleichen Leitung übertragen werden.



Das Grundschaltbild der Übertragungskette des Anschlusses **VDSL2** ist ähnlich wie bei den älteren Anschlüssen **ADSL**.

Die Hochgeschwindigkeits-Übertragung von digitalen Signalen des Anschlusses **VDSL2** wird von Modems **VTU-R** (*Fern-Endgerät VDSL2*, engl. *VDSL2 Termination Unit – Remote*) auf der Seite eines Teilnehmers und **VTU-C** (*Zentral-Endgerät VDSL2*, engl. *VDSL2 Termination Unit – Central*) auf der Seite des Zugangsanbieters sichergestellt. Das Modem auf der Seite des Zugangsanbieters ist am häufigsten ein Bestandteil des Benutzermultiplexers **DSLAM** (*DSL-Zugangsmultiplexer*, engl. *DSL Access Multiplexer*), der digitale Flüsse von allen Anschlüssen in der gegebenen Lokalität konzentriert.

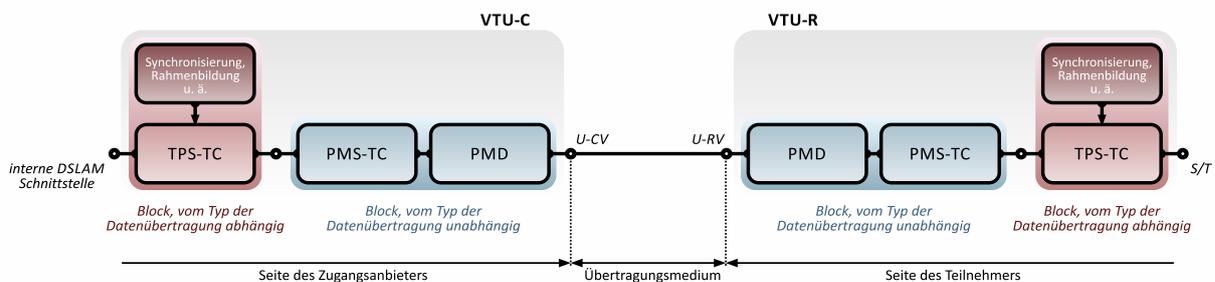
Das Grundschaltbild beinhaltet die folgenden Funktionsblöcke und -schnittstellen:

- **DSLAM** – DSL-Benutzermultiplexer
- *Splitter-R* – Frequenzfilter auf der Seite des Teilnehmers – im Fall der Variante der Dienstleistung ohne Zusammenwirken mit einer aktiven Dienstleistung **POTS** oder **ISDN-BRA** ist dieser Splitter nicht nötig

- *Splitter-C* – Frequenzfilter auf der Seite des Zugangsanbieters
- **VTU-C** – **VDSL2**-Sende-Empfangsgerät (Modem) auf der Seite des Zugangsanbieters
- **VTU-R** – **VDSL2**-Sende-Empfangsgerät (Modem) auf der Seite des Endteilnehmers
- *U-RV* – physikalische Schnittstelle, die die Leitung auf der Seite des Teilnehmers abschließt
- *U-CV* – physikalische Schnittstelle, die die Leitung auf der Seite der Vermittlungsstelle abschließt
- *U-RV2* – physikalische Schnittstelle zwischen Splitter und Modem auf der Seite des Teilnehmers
- *U-CV2* – physikalische Schnittstelle zwischen Splitter und Modem auf der Seite der Vermittlungsstelle
- *T/S* – physikalische Schnittstelle zwischen **VTU-R** und der anschließenden Netzinfrastruktur auf der Seite des Teilnehmers (**LAN** - *lokales Netzwerk*, engl. *Local Area Network*)
- *Z/U0* – physikalische Schnittstelle des symmetrischen Doppelleitungskabels für den Dienst **POTS/ISDN-BRA** mit einem vom Splitter begrenzten Frequenzband

2.3 Schichtenmodell des Endgerätes des Anschlusses VDSL2

Die Funktionen und Eigenschaften des Endgerätes des Anschlusses **VDSL2** können ähnlich wie für weitere Anschlüsse **xDSL** mittels eines Schichtenmodells beschrieben werden. Das Modell beinhaltet zwei grundlegende Teile. Der erste Teil ist unabhängig vom Typ der Datenübertragungen, weil er Funktionen und Blöcke beinhaltet, die in allen Endgeräten gleich sind und mit der Anpassung der Daten an ein physikalisches Übertragungsmedium zusammenhängen. Es handelt sich um die Blöcke **PMD** (*abhängig von physikalischen Medien*, engl. *Physical Media Dependent*) und **PMS-TC** (*spezifisch für physikalische Medien – Übertragungsanpassung*, engl. *Physical Media Specific – Transmission Convergence*). Der zweite Teil, Block **TPS-TC** (*spezifisch für Transportprotokoll – Übertragungsanpassung*, engl. *Transport Protocol Specific – Transmission Convergence*), respektiert dann den Typ der Datenübertragung und die Struktur der Teilnehmerdaten.



Schichtenmodell des Endgerätes des Anschlusses VDSL2.

Die grundlegenden Funktionen des Blocks **PMD** sind mit der Übertragung des Signals durch das Übertragungsmedium verbunden. Es handelt sich vor allem um das Generieren und Wiederherstellen eines Taktes, die Modulation und Demodulation, die Funktion der Echounterdrückung, die Kompensation von negativen Parametern der Leitung und den Aufbau einer Verbindung.

Der Block **PMS-TC** hängt vom konkreten Übertragungsmedium ab und erfüllt die Funktionen, die mit Herstellen und Synchronisierung von Frames, Datensicherung durch *Vorwärtsfehlerkorrektur FEC* (engl. *Forward Error Correction*), Interleaving, Scrambling und Descrambling verbunden sind. In diesem Block wird auch zum Datenfluss des Endteilnehmers eine Serviceinformation (Header der Datenframes) hinzugefügt und hier erfolgt auch die Servicekommunikation zwischen den Geräten.

Die Parameter des Blocks **TPS-TC** hängen von der geforderten Funktionalität des Endgerätes, beziehungsweise dem Typ der Datenübertragungen (Typ der geforderten Dienstleistungen) ab. **TPS-TC** dient als ein Adaptationsblock zwischen dem Transportprotokoll (Format der Benutzerdaten) und weiteren niedrigeren Blöcken des Anschlusses **VDSL2**. Er ist für Multiplexen, Demultiplexen und die

Synchronisierung der Daten der einzelnen Teilnehmer-Datenflüsse gemäß den geforderten Parametern der Dienstgüte (Priorisierung der Flüsse von einigen Dienstleistungen) verantwortlich.

Die als *S/T* gekennzeichneten Referenzpunkte schaffen eine Schnittstelle zu den Benutzerterminals. Bei der Beschreibung der Parameter des Anschlusses **VDSL2** beginnen wir mit dem Block **TPS-TC** und fahren später mit dem Block **PMD** und der Schnittstelle *U* fort.

2.4 Modi der Übertragung von Daten des Endteilnehmers

Die Parameter des Blocks **TPS-TC** im Schichtenmodell des Endgerätes sind die nächsten zum Teilnehmer und entsprechen in ihrer Funktionalität den Anforderungen gemäß dem Typ der Datenübertragung des Endteilnehmers. In den heutigen Anschlüssen **VDSL2** unterstützt der Block **TPS-TC** drei Datenübertragungsmodi.

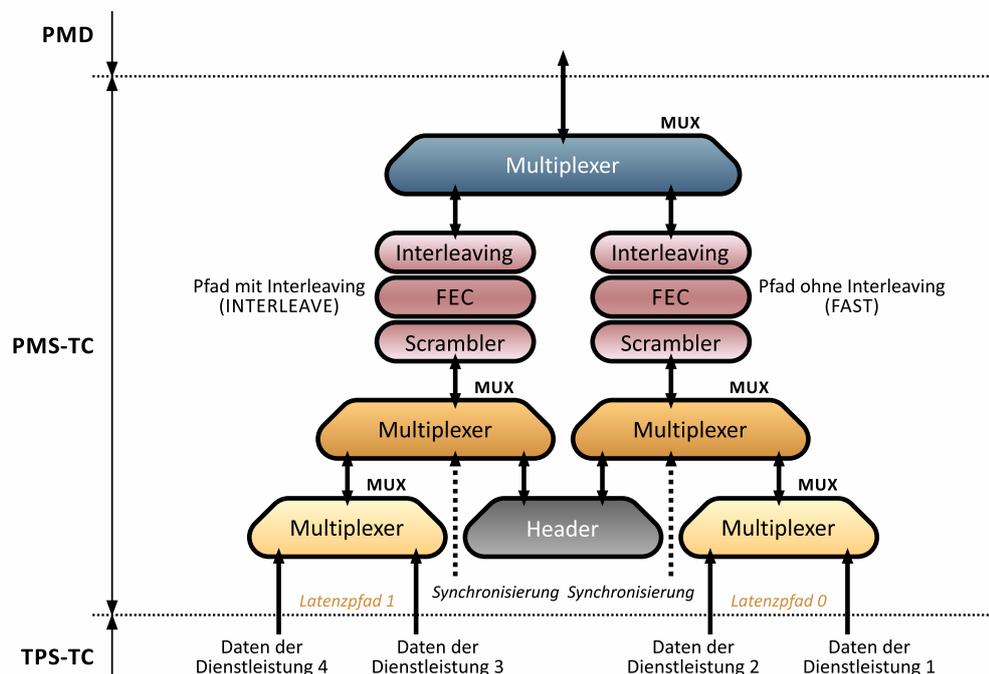
- Synchroner Übertragungsmodus **STM** (engl. *Synchronous Transfer Mode*). In diesem Modus arbeiten alle Endgeräte im Teil des Zugangsnetzes in Abhängigkeit von **DSLAM** synchron. Das bedeutet, dass Datenübertragungen in der Upstream- und Downstream-Richtung bei allen Endgeräten zugleich erfolgen. Der Vorteil dieser Übertragung ist eine erhebliche Reduktion des störenden Nebensprechens auf dem nahen Ende.
- Asynchroner Übertragungsmodus **ATM** (engl. *Asynchronous Transfer Mode*). Dieser Übertragungsmodus stellt eine Rückwärtskompatibilität mit den bestehenden Anschlüssen **ADSL** sicher (sog. duale **VTU-R** können gegen **ADSL DSLAM** arbeiten). Für die Datenübertragung werden Zellen einer konstanten Länge von 53 Bytes verwendet, die nach dem Typ des übertragenen Inhalts in den virtuellen Pfad und Kanal mit entsprechenden Bezeichnern **VPI** (*Virtueller Pfadidentifikator*, engl. *Virtual Path Identifier*) und **VCI** (*Virtueller Kanalidentifikator*, engl. *Virtual Channel Identifier*) eingelegt werden.
- Der Paketübertragungsmodus **PTM** (engl. *Packet Transfer Mode*) ist zur effizienteren Datenübertragung bestimmt, in denen die Daten des Teilnehmers in Paketen oder Frames eingekapselt werden. Typischerweise handelt es sich um Ethernetframes, Frames des Protokolls Point-to-Point oder Pakete **MPLS** (*MultiProtocol Label Switching*). Der Modus **PTM** basiert auf Standards, die als Ethernet in the First-Mile gemäß IEEE 802.3ah bekannt sind, konkret auf Lösungen für Kupfer-Zugangsnetze, die von **10-PASS-TS** ausgehen.

Der Anschluss **VDSL2** kann über die Bitübertragungsschicht mehrere unabhängige Datenkanäle von mehr Dienstleistungen unterstützen, die unterschiedliche Anforderungen an die Dienstgüte haben. Typischerweise kann es sich um Videoübertragungen handeln, die vor den Übertragungen der üblichen Daten bevorzugt werden sollen. Die Daten dieser Dienstleistungen werden über zwei unabhängige Pfade (*Latenzpfad*, engl. *Latency Path*) mit unabhängig einstellbaren Parametern übertragen, wie Interleaving-Tiefe und daher auch Verzögerung (*Doppelte Latenz*, engl. *Dual Latency*) usw.

Die Dienstgüte ist ein Tool zur Bewertung der Zufriedenheit eines Teilnehmers mit dem Dienst, für den er bezahlt hat und der vom Netzbetreiber ausgeführt wird. Die Bewertung des Dienstes ist ein komplizierter Prozess, für den verschiedene Kriterien verwendet werden: beginnend zum Beispiel mit ganz objektiven technischen Kriterien, wie erreichte Übertragungsrates oder Datenverzögerung bei der Übertragung, bis hin zu ganz subjektiven Kriterien, wie Übersichtlichkeit der Rechnung oder Zufriedenheit mit dem Kundendienst.

2.5 Möglichkeiten der Datenübertragung

Der Block **PMS-TC** hat die Aufgabe der Sicherung und Anpassung der Daten des Endteilnehmers in ein Format, das für die Übertragung mittels des symmetrischen Doppelleitungskabels geeignet ist. Vom Block **TPS-TC** übernimmt er die einzelnen Datenflüsse des Teilnehmers. Zu diesen Datenflüssen ergänzt der Block **PMS-TC** einen Header, formatiert sie in **VDSL2-Frames** und stellt eine zufällige Anordnung von periodischen Folgen durch Scrambling, Hinzufügen eines Sicherungsbits und Interleaving sicher. Die angeführten Verfahren werden auf jeden Datenfluss im Pfad getrennt angewandt.



Grundverfahren der Datenverarbeitung im Block PMS-TC.

Die Übertragungspfade beim Anschluss **VDSL2** können allgemein zwei Formen haben:

- ohne Interleaving von Daten – daher mit einer kleinen Verzögerung bei der Übertragung, was für Echtzeitübertragungen notwendig ist, aber auch mit einer niedrigen Beständigkeit gegen Impulsstörung.
- mit Interleaving von Daten – daher mit einer größeren Verzögerung bei der Übertragung, die kein Problem beispielsweise bei der Datenübertragung ins Internet darstellt (typischerweise Übertragung von Dateien mit dem **FTP**-Protokoll - *Dateiübertragungsprotokoll*, engl. *File Transfer Protocol*), aber auch mit einer höheren Beständigkeit gegen Impulsstörung.



Das Interleaving ist ein Verfahren, das die Möglichkeiten der Erkennung und Korrektur von Fehlern erweitert, die durch Impulsstörung bei einer Übertragung entstehen. Die beschädigten Daten können dann im Endgerät korrigiert werden und sie müssen nicht von der Datenquelle erneut übertragen werden, was die Effizienz der Übertragung erhöht.



Ein Nachteil des Interleavings ist jedoch die Erhöhung der Verzögerung der Übertragung.

Das Interleaving teilt den erstellten Datenframes mit den Daten des Endteilnehmers in eine gewisse Anzahl von Teilen ein. Die Reihenfolge der einzelnen Teile wird auf eine definierte Weise gewechselt (verschachtelt). Ein so angepasster Frame wird in den Übertragungspfad gesendet. Die Impulsstörung bei einer Übertragung kann ein Bündelfehler im übertragenen Datenframe verursachen. Auf der Seite des Empfängers werden die Teile des beschädigten Frames in der ursprünglichen Reihenfolge wieder neu geordnet. Es ist sehr wahrscheinlich, dass ein Bündelfehler bei der erneuten Anordnung in unterschiedliche Teile des Frames eingefügt wird. So verursachte Fehler können besser erkannt und mittels Reed-Solomon-Codes (siehe weiter) korrigiert werden. Der Nachteil besteht in der erhöhten Verzögerung (in der Größenordnung von einigen zehn bis einigen hundert Millisekunden), weil der Datenframe auf der Seite des Senders gleich nach dem Zusammensetzen nicht in die Leitung gesendet wird, sondern für die Neuordnung verzögert werden muss. Sinngemäß kommt es zur Verzögerung auf der Seite des Empfängers. Der Vorteil des Interleavings ist eine höhere Beständigkeit gegen Impulsstörung, die vor allem bei Videoübertragungen Probleme verursacht, die vom Standard **MPEG** (*Expertengruppe für bewegte Bilder*, engl. *Moving Picture Experts Group*) codiert werden. Bei Videoübertragungen mit der **MPEG**-Codierung äußert sich der Einfluss der Impulsstörung als sog. „Blockbildung“ im Bild. Zum Wiederherstellen der Bildinformation muss auf die Übertragung des entscheidenden Bildes gewartet werden.

2.6 Schutz der Übertragung vor Fehlern

Im Block **PMS-TC** wird die übertragene Datenfolge gescrambelt. Das Scrambling auf der Sendeseite (und Descrambling auf der Empfangsseite) hat die Aufgabe, die periodischen Folgen des übertragenen Datenflusses zu beseitigen. Üblicherweise wird Scrambling/Descrambling als Schieberegister mit eingefügten Rückkopplungen realisiert. Die Operationen Scrambling und Descrambling müssen selbstverständlich total invers sein, so dass die ursprüngliche Datenfolge immer wiederhergestellt werden kann.



Die zufällige Anordnung der gesendeten Datenfolge stellt niedrigere Ansprüche an die erforderliche Breite des Frequenzbandes des Übertragungspfades.

Beim **VDSL2**-Anschluss wird ähnlich wie bei weiteren Anschlüssen **xDSL** die Datenfolge vor Fehlern bei der Übertragung geschützt. Für die Fehlererkennung wird eine 8-Bit-Wort-Sicherung angewandt, die durch eine klassische Berechnung des zyklischen Codes **CRC** (*Zyklische Redundanzprüfung*, engl. *Cyclic Redundancy Check*) entsteht.

Die Vorwärtsfehlerkorrektur **FEC** basiert auf *Reed-Solomon-Code* (**RS-Code**). Die Fehlerkorrektur zusammen mit Interleaving bietet einen Schutz gegen einzelne Fehler und kurze Bündelfehler.

Bei der Codierung mittels Reed-Solomon-Codes entstehen Blöcke von einer festen Menge der Datenbytes und einer festen Menge der gesicherten Bytes. Die Anzahl der gesicherten Bytes kann eine ganze Zahl vom Intervall 0 bis 16 sein. Die gesamte Datenfolge (einschließlich Sicherung) kann 32 bis 255 Bytes betragen. Vereinfacht kann man sagen, dass die Anzahl von Bytes, die mittels Reed-Solomon-Codes korrigiert werden können, im Vergleich zu den angewandten Sicherungs-Bytes halb so groß ist. Diese Korrektur ist sehr effizient wegen ihrer niedrigen Redundanz (typischerweise etwa sieben Prozent).



Bei einer konkreten Feststellung von Parametern für **FEC**-Korrektur und Interleaving ist ein Kompromiss zwischen dem Grad des Fehlerschutzes und der resultierenden Übertragungsverzögerung notwendig.

2.7 Varianten des VDSL2-Anschlusses

Die folgenden Kapitel behandeln die Parameter des Blocks **PMD**, mittels dessen ein Endgerät an ein physikalisches Übertragungsmedium – ein symmetrisches Doppelleitungskabel – angeschlossen wird.

Der **VDSL2**-Anschluss hat einige Varianten, so dass er Aufgaben bei unterschiedlichen Übertragungsbedingungen erfüllen kann. In Anhängen der grundlegenden Empfehlung ITU-T G.993.2 wurden von der internationalen Standardisierungsorganisation drei grundlegende Typen der **VDSL2**-Anschlüsse bestimmt:

- Anhang A – **VDSL2**-Anschluss für das Zugangsnetz Nordamerikas
- Anhang B – **VDSL2**-Anschluss für das Zugangsnetz Europas
- Anhang C – **VDSL2**-Anschluss für das Zugangsnetz Japans

Gemeinsam für alle drei Typen der Anschlüsse ist die Blockanordnung der Innenkreise und die Prinzipien dieser Kreise, zum Beispiel Sicherung des Datenflusses des Endteilnehmers vor seiner Übertragung im Zugangsnetz (Kreise zur Synchronisierung, Scrambler, Faltungscoder, Modulator u. ä.).

Bei allen drei Anschlusstypen wird für die Realisierung der Datenübertragungen ausschließlich die Modulation mit Mehrfachträgern **DMT** (*Diskretes Multitone*, engl. *Discrete Multi-tone*) verwendet.

Das Prinzip hinter dieser Modulation ist die Einteilung des gesamten ausgenutzten Frequenzbandes in einer Reihe von voneinander unabhängigen Subkanälen (manchmal auch als Tone oder Träger bezeichnet). Die Breite des Subkanals kann entweder wie bei dem älteren Anschluss **ADSL** gleich, daher 4,3125 kHz, oder doppelt so hoch sein, d. h. 8,625 kHz (aber nur für das Band von 30 MHz). In jedem Subkanal werden die Daten eines Teilnehmers mit Quadraturamplitudenmodulation **QAM** moduliert. Die Anzahl der Modulationszustände bewegt sich bei den Anschlüssen **VDSL2** zwischen 4 und 32768, was der Übertragung von 2 oder auch 15 Bits mit einem Modulationszustand entspricht. Die Modulationsgeschwindigkeit wird für die Subkanalbreite von 4,3125 kHz auf 4 k Bd und für die Subkanalbreite von 8,625 kHz auf 8 k Bd festgelegt. Um eine Übertragung in beiden Richtungen zu schaffen, kann nur der Frequenzduplex **FDD** (engl. *Frequency Division Duplex*) angewandt werden.

Für den **VDSL2**-Anschluss werden in den einzelnen Anhängen der Empfehlung ITU-T G.993.2, gemäß den typischen Parametern der Telekommunikations-Zugangsnetze der jeweiligen Region, unterschiedliche Profile, Frequenzpläne und Sendemasken der spektralen Leistungsdichte **PSD** (engl. *Power Spectral Density*) definiert.

2.8 Profile des Anschlusses VDSL2

Es wurde schon erwähnt, dass die Erhöhung der Übertragungsraten durch Erweiterung des ausgenutzten Frequenzbandes erreicht wurde. Dies vermindert jedoch die maximale Länge der Teilnehmerleitung, weil die Dämpfung des kupferbasierten Übertragungspfades auf höheren Frequenzen steigt. Daher wurde im Hinblick auf Unterschiede in Zugangsnetzen der einzelnen Regionen (Nordamerika, Europa, Japan), die Notwendigkeit der Realisierung der Datenübertragungen von verschiedenen Dienstleistungen und weitere Bedingungen beim **VDSL2**-Anschluss unterschiedliche Breite des ausgenutzten Frequenzbandes definiert: es handelt sich um sog. VDSL2-Profile. Die einzelnen Profile unterscheiden sich in der oberen Grenzfrequenz, Breite des Subkanals und maximalen Gesamtleistung des Sendesignals.

Gemeinsame Parameter der Profile des Anschlusses VDSL2 für Europa.

Profil	Max. Leistung in Downstream-Richtung [dBm]	Max. Leistung in Upstream-Richtung [dBm]	Breite des Subkanals [kHz]	MBDC [Mbit/s]
8a	+17,5	+14,5	4,3125	50
8b	+20,5	+14,5	4,3125	50
8c	+11,5	+14,5	4,3125	50
8d	+14,5	+14,5	4,3125	50
12a	+14,5	+14,5	4,3125	68
12b	+14,5	+14,5	4,3125	68
17a	+14,5	+14,5	4,3125	100
30a	+14,5	+14,5	8,625	200

Das Frequenzband kann jedoch nicht als Ganzes genutzt werden. Der Endteilnehmer möchte mittels seiner einzigen Kupferleitung die Daten sowohl senden als auch empfangen. Daher muss das Frequenzband mindestens in zwei Subbänder für zwei Richtungen der Übertragung geteilt werden. Zur Teilung der Übertragungsrichtungen dienen zwei grundlegende Verfahren. Das erste Verfahren ist die Echounterdrückung (**EC**, engl. *Echo Cancellation*), das zweite Frequenzduplex (**FDD**).



Der Anschluss **VDSL2** kann nur das Frequenzduplex (**FDD**) mit reservierten Bändern für die beiden Übertragungsrichtungen und die Trennfrequenz zwischen den Bändern verwenden. Dank des Frequenzduplexes wird der Einfluss eines Nebensprechens auf dem nahen Ende **NEXT** (*Near-End-Nebensprechen*, engl. *Near End Cross Talk*) reduziert. Wegen dieser Eigenschaft wird daher bei diesem Anschluss **FDD** bevorzugt.



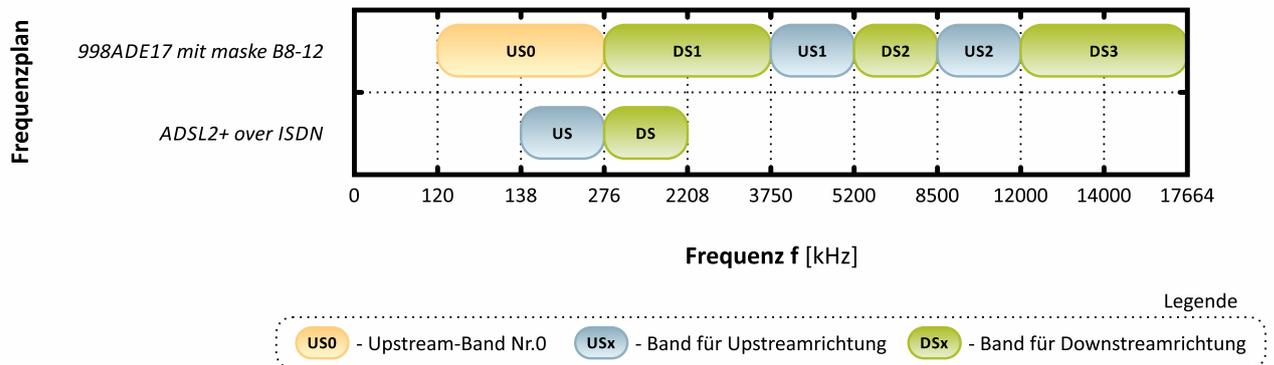
Der Parameter **MBDC** (*Minimale bidirektionale Netto-Datenrate*, engl. *Minimum Bidirectional Net Data Rate*) stellt den Mindestwert der Übertragungsrate dar, der als Summe von Übertragungsraten in den beiden Richtungen definiert wird. Diesen Wert **MBDC** muss das Endgerät erreichen, um für den Einsatz in dem gegebenen Frequenzprofil klassifiziert werden zu können. Dem Endteilnehmer wird die Rate **NDR** (*Netto-Datenrate*, engl. *Net Data Rate*) angeboten, die jedoch keine Ansprüche an die Übertragung von Serviceinformationen und Header-Bits zwischen **VDSL2**-Modems einschließt. Die Nutzrate bei der Übertragung von Benutzerdaten ist jedoch noch kleiner als der **NDR**-Wert. Ein Teil von **NDR** muss beispielsweise für die Übertragung der Headers der Ethernetframes oder **IP**-Pakete ausgenutzt werden.

2.9 Teilung des Frequenzbandes

Beim **VDSL2** ist die Situation noch ein bisschen komplizierter. Der **VDSL2**-Anschluss muss die Erbringung der Leistungen ermöglichen, die nicht nur asymmetrische, sondern auch symmetrische Datenübertragungen brauchen. Deswegen müssen die Frequenzsubbänder noch weiter in kleinere Teile geteilt und diese Teile schrittweise so abgewechselt werden, damit die geforderten Raten der Datenübertragungen in den beiden Richtungen unter Berücksichtigung der steigenden Dämpfung des Übertragungspfades erreicht werden. Die Art des Wechsels und die Breite der einzelnen Frequenzsubbänder werden von einem sogenannten Frequenzplan bestimmt. Die Subbänder für die Downstream-Richtung werden gekennzeichnet und nummeriert als: D1, D2, D3, D4. Die Subbänder für die Upstream-Richtung werden gekennzeichnet und nummeriert als: US0, US1, US2, US3, US4.



Für den **VDSL2**-Anschluss gibt es zwei Haupt-Frequenzpläne, die von den Plänen für den Anschluss **VDSL** ausgehen. Der Plan, der als 998 gekennzeichnet wird, ist für asymmetrische Datenübertragungen geeignet. Der Plan, der als 997 gekennzeichnet wird, ist für Dienstleistungen geeignet, die symmetrische Datenübertragungen brauchen.



Das Bild zeigt, wie das Frequenzband des Anschlusses ADSL2+ over ISDN und VDSL2 im Band bis 17 MHz mit Frequenzplan 998ADE17 ausgenutzt wird.

2.10 Frequenzpläne für symmetrische Datenübertragungen

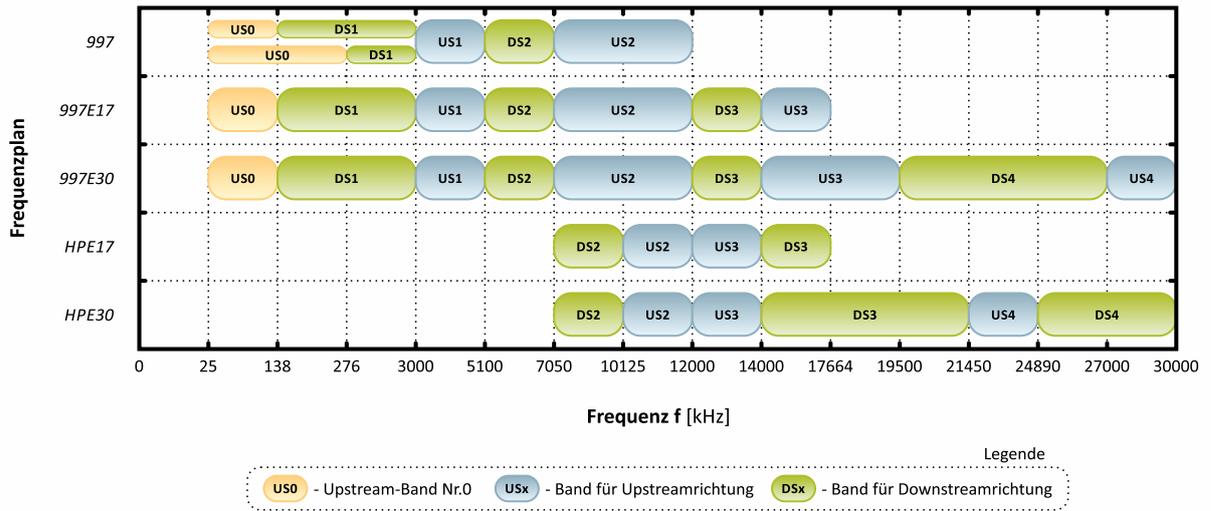
Mit dem Einsatz von symmetrischen Datenübertragungen wird vor allem bei kleinen und mittleren Firmen gerechnet, deren Mitarbeiter die Daten aus dem Internet nicht nur downloaden, sondern auch schnell uploaden müssen. Ein Beispiel dieser Dienstleistung mit symmetrischen Übertragungsraten sind die Videokonferenzen, die klassische Arbeitssitzungen ergänzen.

Im vorigen Kapitel wurde konstatiert, dass gerade für symmetrische Datenübertragungen der grundlegende Frequenzplan 997 bestimmt ist. Dieser Plan wird weiter geteilt:

- 997 – fundamentaler Frequenzplan mit dem üblichen Wechsel der Bänder für Downstream und Upstream, der vom Anschluss **VDSL** übernommen wurde
- 997E – Frequenzplan mit dem üblichen Wechsel der Bänder für Downstream und Upstream, der bis 17 MHz bzw. 30 MHz erweitert wurde
- HPE – spezieller Frequenzplan für Anschlüsse, die zwischen 7,05 MHz und 30 MHz (Profile 17a, 30a) arbeiten

Beispiel der Parameter des Frequenzplans 997E für einzelne Profile des Anschlusses VDSL2 in Europa.

Profile des VDSL2	Meistgenutzter Subkanal	Obere Grenze der Frequenz für Downstream [MHz]	Obere Grenze der Frequenz für Upstream [MHz]
8a	2047	7,05	8,832
8b	2047	7,05	8,832
8c	1182	7,05	5,1
8d	2047	7,05	8,832
12a	2782	7,06	12
12b	2782	7,05	12
17a	4095	14	17,664
30a	3478	27	30



Wechsel der einzelnen Bänder der Frequenzpläne für symmetrische Datenübertragungen.

2.11 Frequenzpläne für asymmetrische Datenübertragungen

Asymmetrische Datenübertragung werden eher bei Heimanwendern vorausgesetzt, wo die Downstream-Übertragungsrate wesentlich höher als die Übertragungsrate für die entgegengesetzte Richtung ist.



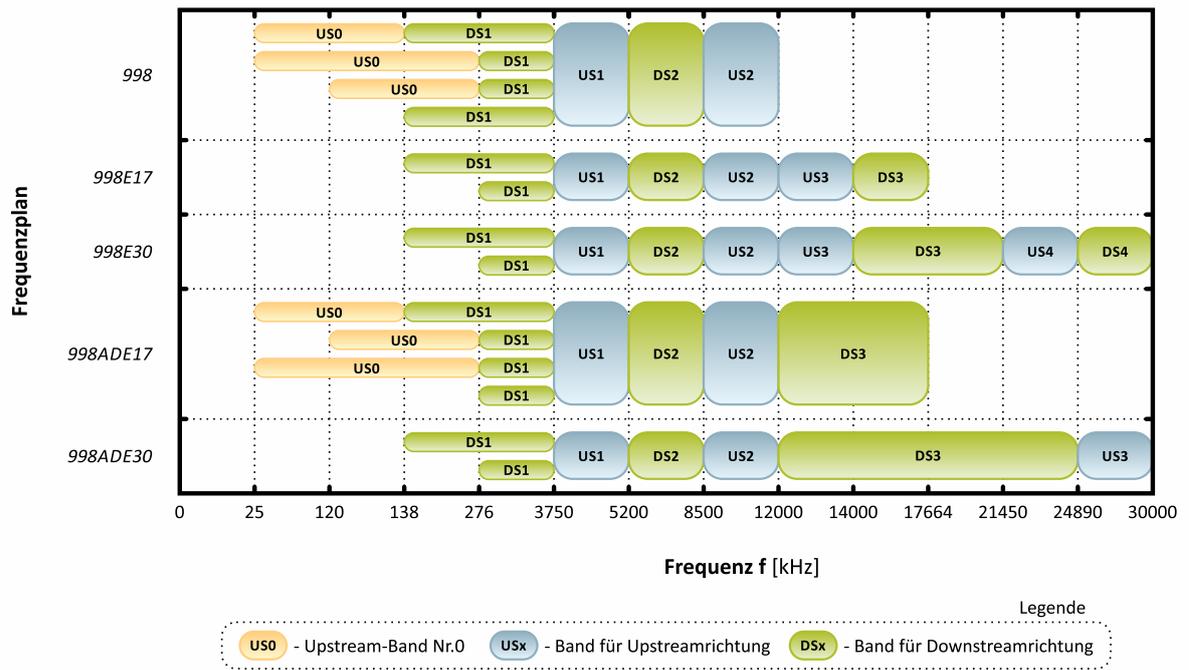
Im Hinblick auf die Anzahl von Subbändern für Upstream soll jedoch der Anschluss **VDSL2** auch im asymmetrischen Modus höhere Übertragungsraten erreichen, als bei dem älteren Anschluss **ADSL**.

Der grundlegende Frequenzplan 998 wird weiter wie folgt geteilt:

- 998 – fundamentaler Frequenzplan mit dem üblichen Wechsel der Bänder für Downstream und Upstream, der von der ersten Generation des Anschlusses **VDSL** übernommen wurde
- 998E – Frequenzplan mit dem üblichen Wechsel der Bänder für Downstream und Upstream, der bis 17 MHz, bzw. 30 MHz erweitert wurde
- 998ADE – Frequenzplan, der für Datenübertragungen mit überwiegend asymmetrischen Raten bestimmt ist

Beispiel der Parameter des Frequenzplans 998ADE für einzelne Profile des Anschlusses VDSL2 in Europa.

Profil des VDSL2	Meistgenutzter Subkanal	Obere Grenze der Frequenz für Downstream [MHz]	Obere Grenze der Frequenz für Upstream [MHz]
8a	1971	8,5	5,2
8b	1971	8,5	5,2
8c	1971	8,5	5,2
8d	1971	8,5	5,2
12a	1971	8,5	12
12b	1971	8,5	12
17a	4095	17,664	12
30a	2479	24890	30



Wechsel der einzelnen Bänder der Frequenzpläne für asymmetrische Datenübertragungen.

2.12 Masken der spektralen Leistungsdichte für 997-Pläne

Bisher haben wir die definierten Profile des Anschlusses **VDSL2** und die definierten Frequenzpläne vorgestellt. Die Frequenzpläne bestimmen, welche Frequenzen für Downstream oder Upstream verwendet werden können. Für eine komplette Definition von Sendeparametern müssen jedoch noch maximale Ebenen der Leistung des gesendeten Signals festgelegt werden. Die Definition einer Leistungsebene erfolgt mittels Masken der spektralen Leistungsdichte **PSD**. Die Maske stellt die höchsten Leistungswerte des gesendeten Signals auf der konkreten Frequenz dar.

Die PSD-Masken entsprechen den konkreten Frequenzplänen. In der Tabelle sind ihre grundlegenden Parameter angeführt. Außer bei den Ebenen des gesendeten Signals unterscheiden sich die einzelnen Masken auch zum Beispiel in Einsatz oder Nichteinsatz des Upstream-Bandes US0. Auf dem Bild wird der Verlauf der Maske *997E17-M2x-A* angezeigt. Die Parameter von weiteren Masken für Europa sind in dem entsprechenden Anhang der Empfehlung ITU-T G.993.2 angeführt.

Grundlegende Parameter der PSD-Masken für Frequenzpläne 997.

Kurzer Name	Langer Name	Einsatz des Bandes US0	Obere Grenze der Frequenz für Upstream oder Downstream [kHz]
B7-1	997-M1c-A-7	A	7050
B7-3	997-M1x-M	M	12000
B7-7	HPE17-M1-NUS0	n. a.	17664
B7-8	HPE30-M1-MUS0	n. a.	30000
B7-9	997E17-M2x-A	A	17664
B7-10	997E30-M2x-MUS0	n. a.	30000

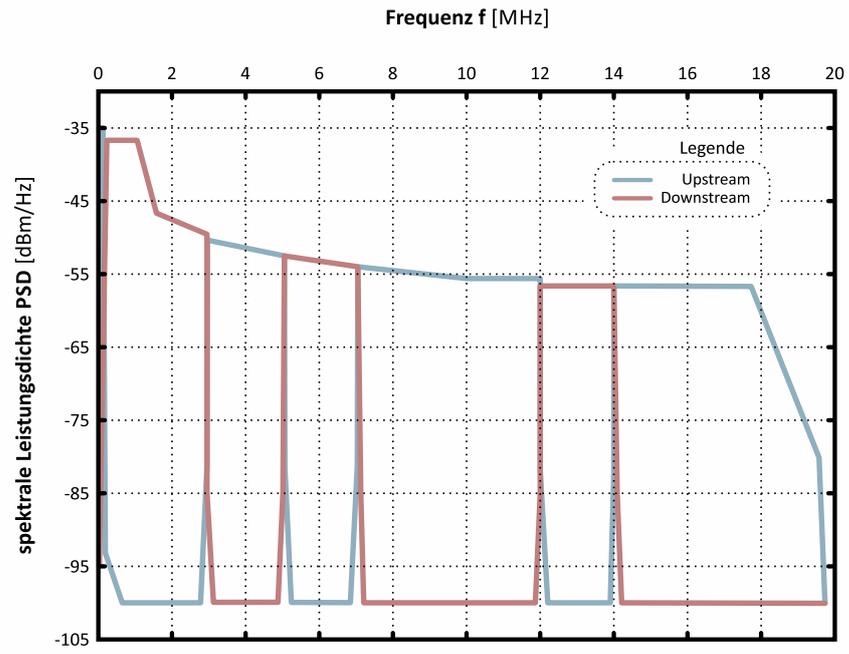


Für das Upstream-Band US0 gelten bei den einzelnen Masken die folgenden Bedingungen:

A – entspricht dem Anhang A der Empfehlung ITU-T G.992.5,

M – entspricht dem Anhang M der Empfehlung ITU-T G.993.2 oder G.992.5,

n. a. – das Band US0 wird nicht für die Datenübertragung ausgenutzt.



PSD-Maske 997E17-M2x-A mit markierten Übertragungsrichtungen.

2.13 Masken der spektralen Leistungsdichte für 998-Pläne

Für den Plan 998 sind in der Empfehlung für den Anschluss **VDSL2** insgesamt 17 Masken definiert. Daher werden wir nur Parameter für zwei **PSD**-Masken anführen, die im Zugangsnetz des größten Telekommunikationsanbieters in der Tschechischen Republik verwendet werden.

Grundlegende Parameter der PSD-Masken, die im Zugangsnetz in der Tschechischen Republik verwendet werden.

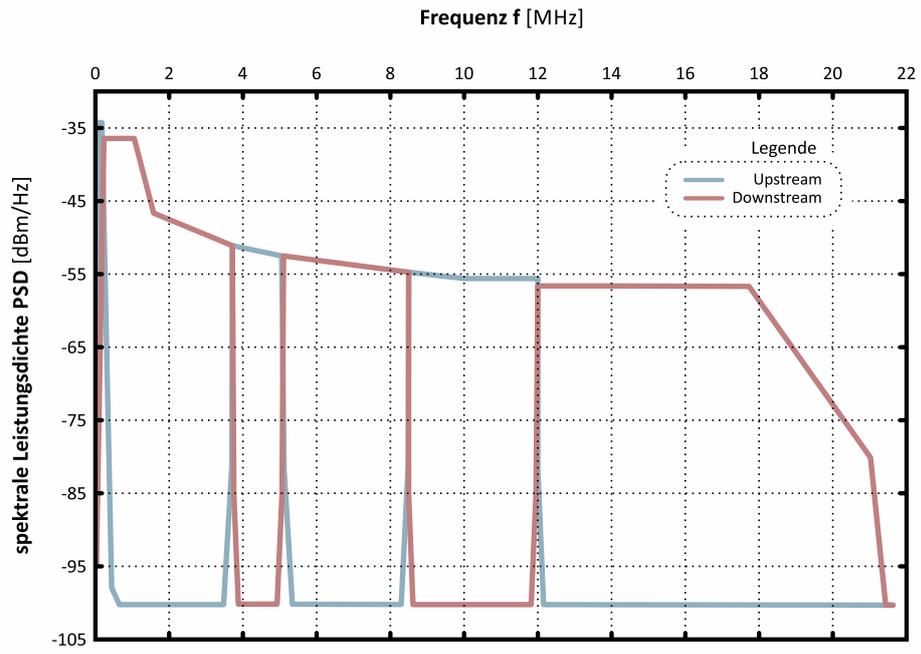
Kurzer Name	Langer Name	Einsatz des Bandes US0	Obere Grenze der Frequenz für Upstream oder Downstream [kHz]
B8-6	997-M2x-B	B	12000
B8-12	998ADE17-M2x-B	B	17664



Für das Upstream-Band US0 gelten bei den einzelnen Masken die folgenden Bedingungen:

B – entspricht dem Anhang B der Empfehlung ITU-T G.992.5.

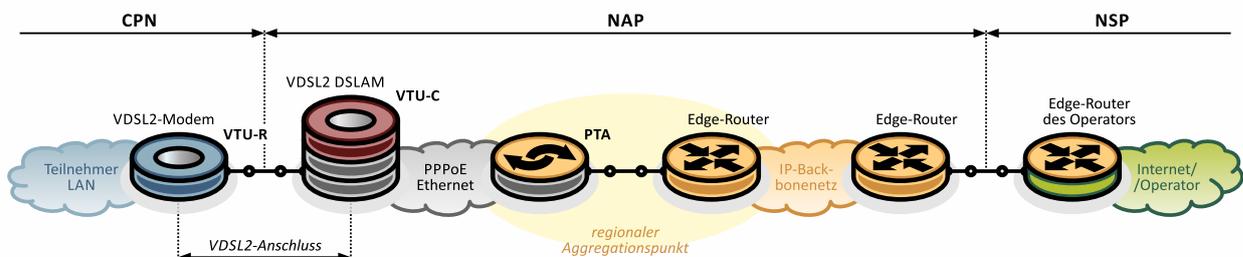
Die beiden **PSD**-Masken verwenden für die Übertragung von Benutzerdaten auch das Upstream-Band US0. Die Wahl dieser Masken stellt geeignete Eigenschaften im Bereich der spektralen Kompatibilität mit den schon installierten Anschlüssen **ADSL/ADSL2+** dar. Die Anschlüsse verwenden nämlich gleiche Frequenzbänder für gleiche Übertragungsrichtungen, wobei Nebensprechen **NEXT** eliminiert wird.



PSD-Maske 998ADE17-M2x-B mit markierten Übertragungsrichtungen.

2.14 Übertragungskette des Anschlusses VDSL2

Auf dem Bild wird die komplette Netzarchitektur für Hochgeschwindigkeits-Datenübertragungen und Internetzugang mittels Anschlüssen **xDSL** angezeigt.



Übertragungskette des Anschlusses VDSL2.

Die Netzarchitektur kann allgemein in drei Bereiche eingeteilt werden:

- Teilnehmernetz **CPN** (*Customer Premises Network*)
- Netzzugangsanbieter **NAP** (*Network Access Provider*)
- Netzdienstleister **NSP** (*Network Service Provider*)

Ein markantes Merkmal der angeführten Konzeption ist die Unterscheidung des Erbringers des Anschlusses und des Erbringers der Dienstleistungen. Die beiden Rollen kann ein einziges Subjekt erfüllen, aber im Zusammenhang mit der Diversität der Dienstleistungen und dem Telekommunikations-Wettbewerbsumfeld ist es sinnvoll, diese Rollen zu trennen.

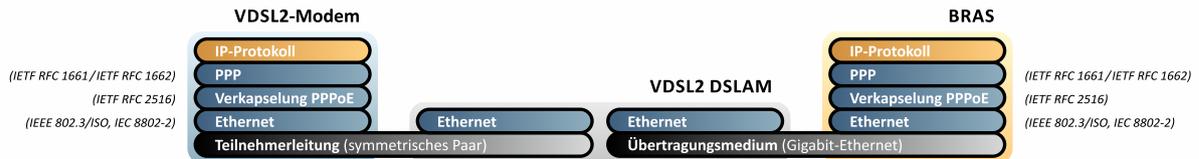
In den Begriff Teilnehmernetz kann alles einbezogen werden, was an den abschließenden Punkt des Netzes des Zugangsanbieters (üblicherweise Anschlusssteckdose) angeknüpft wird, d. h. Endgeräte, Terminals, lokale Datenverteilungen und lokale Netze **LAN**.

Der Zugangsanbieter **NAP** betreibt die Technologie für die physikalische Signalübertragung der Teilnehmer zu den Telekommunikationsknoten. Bei den Anschlüssen **VDSL2** besteht **NAP** aus symmetrischen Kupfer-Doppelleitungskabeln, die vom **CPN** ausgehen und in Zugangs-Multiplexern **DSLAM** abgeschlossen werden. Die Multiplexer werden vom Zugangsanbieter an sein Backbone-Netz angeschlossen, von dem an den Dienstleister die weitere Verbindung erfolgt.

Die Quellen der Daten, die über **NAP** übertragen werden, sind im Netz des Netzdienstleisters **NSP**. Es kann sich zum Beispiel nur um eine Firma handeln, typischerweise ein Unternehmen, das ein Archiv von Fernsehprogrammen verwaltet, oder kann **NSP** de facto vom weltweiten Internet-Netz geschaffen werden.

2.15 Protokollstruktur des Anschlusses VDSL2

Die Verbindung zwischen dem Teilnehmer, dem Zugangsanbieter und dem Netzdienstleister kann allgemein auf verschiedenen Protokollarchitekturen aufgebaut werden. Heutzutage werden vor allem der Ethernet-Standard, das **PPP-Protokoll** (*Punkt-zu-Punkt-Protokoll*, engl. *Point-to-Point Protocol*) und die Familie der **TCP/IP**-Protokolle verwendet.



Protokollstruktur des Anschlusses VDSL2 für Datenübertragung im PTM-Modus.

Beim Anschluss **VDSL2** im **PTM**-Modus wird die Übertragung von Paketen des **IP**-Protokolls mittels eines **PPP**-Protokolls gelöst, das in Ethernetframes gekapselt wird (*PPP over Ethernet*). Auf der Abschlussstelle der **PPP**-Verbindung wird Authentifizierung, Autorisierung, Rechnung, Vergabe von IP-Adressen im Rahmen der **PPP**-Verbindung, Aggregation von Datenflüssen und weitere Dienstleistungen durchgeführt. Die angeführten Dienstleistungen erfüllen die Rolle eines Breitband-Zugangsservers **BRAS** (*Broadband Access Server*) des Zugangsanbieters im Aggregationspunkt. Vom Server **BRAS** werden die Daten des Endteilnehmers weiter ins Internet oder zu den einzelnen Dienstleistern mittels **VPN** (*virtuelles privates Netzwerk*, engl. *Virtual Private Network*) transportiert. Diese Lösung wird als die Variante **PTA** (*PPP Terminated Aggregation*) bezeichnet.

3 Hochgeschwindigkeitsanschlüsse gemäß G.fast-Standard

3.1 G.fast-Standard - grundlegende Eigenschaften

Der Standard G.fast wird in der Literatur als die 4. Generation der Systeme **xDSL** behandelt. Mit der Entwicklung dieses Standards wurde im Februar 2012 begonnen. Die Standardisierung erfolgte dann im Jahre 2014. Dieser neue Standard für **xDSL**-Anschlüsse hat mehrere Ziele:

- höhere Übertragungsraten als bei bestehenden Anschlüssen des Typs **xDSL** – bis 500 Mbit/s auf ca. 100 m bzw. 150 Mbit/s auf ca. 250 m (es werden auch Raten von bis 1 Gbit/s angestrebt)
- Nutzung von kurzen Längen der Teilnehmerleitungen, sog. **FTTdp** (*Glasfaser zum Übergabepunkt*, engl. *Fiber To The distribution point*) – Anordnung der Verteilungsknoten sehr nah zu den Endteilnehmern (bis 250 m), Analogie des Konzepts **FTTB** (*Glasfaser zum Gebäude*, engl. *Fiber To The Building*)
- inverse Versorgung
- Möglichkeit einer selbstständigen Installation der Dienstleistung mit den Parametern eines optischen Anschlusses und der Einfachheit eines **xDSL**-Anchlusses

Alle oben genannten Ziele hängen sehr eng mit zwei entscheidenden Bereichen zusammen: die Art der Steigung des Durchsatzes und die Verbesserung der Zuverlässigkeit. Der Durchsatz eines Anschlusses kann auf zwei Arten erhöht werden:

- durch Erweiterung des Frequenzbandes – diese Möglichkeit wurde auch von den vorigen Generationen der Systeme **xDSL** mit der Anforderung an spektrale Kompatibilität mit den Systemen **VDSL2** ausgenutzt
PSD-Maske:
 - Anfang auf 138 kHz; 2,5 MHz; 18 MHz und 30 MHz
 - Ende auf 106 MHz; 212 MHz und 300 MHz

Berücksichtigung von weiteren Frequenzbändern, wie **VKV**-Sendung (üblicherweise sog. „westliche Norm“ in Europa), **DAB**-Sendung (*Digitaler Rundfunk*, engl. *Digital Audio Broadcast*) – sog. III. Fernsehband 174 bis 240 MHz.

- durch Unterdrückung von Nebensprechen – Prozess des Eliminierens von Nebensprechen **FEXT** (*Far-End-Nebensprechen*, engl. *Far End Cross Talk*) mittels einer geeigneten Modulation des Typs **VDMT** (*Gerichtetes diskretes Multitone*, engl. *Vectored Discrete Multi Tone*)

Die Erhöhung der Zuverlässigkeit des ganzen Systems wird durch zwei Mechanismen möglich:

- inverses Multiplex
- Phantomkreise



Im Gegensatz zu den Anschlüssen **ADSL** und **VDSL**, die Frequenzduplex **FDD** ausnutzen, wird bei den Anschlüssen mit einer extremen Bandbreite Zeitduplex **TDD** eingesetzt. Das ermöglicht eine viel effizientere und flexiblere Vergabe der Übertragungskapazität und eliminiert das Dilemma mit der Vergabe der Bänder für die einzelnen Übertragungsrichtungen. Die Zeitsynchronisierung stellt kein Problem dar, weil sie schon im Hinblick auf die Modulation **VDMT** gelöst werden muss.

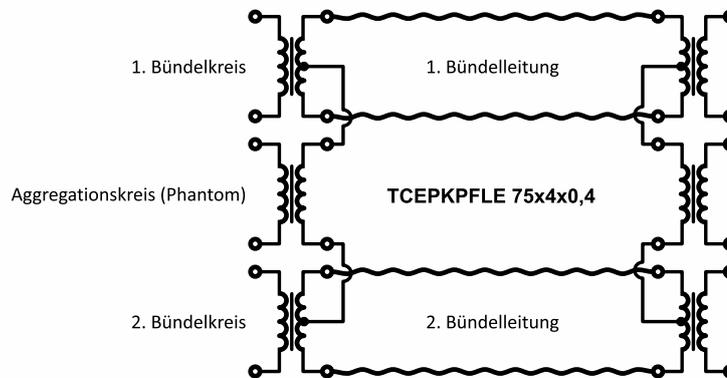
Die Einführung von Zeitduplex **TDD** ermöglicht auch eine einfache Unterstützung von sparsamen Modi. Im Kontext des Zeitduplex **TDD** werden obligatorische Teilverhältnisse 90/10 und 50/50 eingeführt, fakultative Teilverhältnisse sind dann von 50/50 bis 10/90 möglich.

Zu den letztgenannten, jedoch entscheidenden Eigenschaften des Standards G.fast gehört die Implementation der adaptiven Modulation **DMT** mit einer obligatorischen Unterstützung von **VDMT**.

3.2 Ausnutzen von Phantomkreisen



Die Phantomkreise wurden in der Vergangenheit bei Fernsprechleitungen zur Erhöhung der Übertragungskapazität eingesetzt. Ihr Prinzip besteht in dem Anknüpfen des Signals inmitten des Transformators von zwei Leitungen und damit der Herstellung eines weiteren Kreises. Das Ausnutzen dieses Prinzips wird mit der steigenden Frequenz durch die Unmöglichkeit eines präzisen Ausgleichens von Symmetriertransformatoren und weiter durch vermehrtes Nebensprechen unter den Hauptkreisen und dem Phantomkreis begrenzt. Die angeführten Ereignisse können durch Unterdrückung von Nebensprechen mittels Modulation **VDMT** eliminiert und damit z. B. eine Gesamtrate von fast 500 Mbit/s in jeder Richtung auf der Kabellänge von 400 m erreicht werden.



Prinzip des Phantomkreises

Übertragungsraten für Hochgeschwindigkeitssysteme xDSL, auf Kabellänge von 400 m modelliert

Modell für Kabellänge von 400 m	Frequenzplan VDSL2 bis 17 MHz		Frequenzplan VDSL2 bis 30 MHz	
	Downstream [Mbit/s]	Upstream [Mbit/s]	Downstream [Mbit/s]	Upstream [Mbit/s]
2 Leitungen plus Phantom	150	67	176	80
2 Leitungen	166	92	226	118
2 Leitungen plus Phantom mit Unterdrückung von Nebensprechen	382	243	493	449



Außer Phantomkreisen können noch sog. Superphantomkreise durch 4 Leitungen realisiert werden. So kann man insgesamt 7 Kreise bilden: 4 Haupt-, 2 Phantom- und dazwischen ein Superphantomkreis.



Neben den Phantomkreisen wurden Übertragungen in den sogenannten Unisono-Modus versucht, wobei die einzelnen Leiter der Paare als selbstständige Übertragungspfade betrachtet werden. Das entstehende starke Nebensprechen kann auch mittels **VDMT**-Modulation kompensiert werden. Mit dieser Lösung verliert man jedoch den Vorteil der symmetrischen Leitungen, d. h. hohe Beständigkeit gegen Umgebungsstörungen. Gerade wegen einer erheblichen gegenseitigen Störung zwischen den Leitungen und der Umgebung hat sich diese Art nicht durchgesetzt.

3.3 Versorgung des optischen Knotens vom Benutzermodem

Bei den klassischen Analog- und einfachen **ISDN**-Anschlüssen wird das Endgerät von der Vermittlungsstelle versorgt (typischerweise mit der Versorgungsspannung von 60 V und Versorgungsstrom in der Größenordnung von einigen zehn mA). Bei den Anschlüssen mit einer extremen Rate gemäß der G.fast-Spezifikation wird mit einem umgekehrten Versorgungsfluss gerechnet.

Vom Teilnehmermodem wird der Knoten (**Mini-DSLAM**) im sog. Verteilungspunkt versorgt. Der Grund dafür sind jahrelang wiederkehrende Probleme mit den Versorgungsanlagen im Zugangnetz zwischen der Vermittlungsstelle des Telekommunikationsanbieters und dem Teilnehmer.



Die Geräte im Verteilungspunkt werden an das Netz des Anbieters mittels Lichtwellenleitern angeschlossen, daher ist keine Fernversorgung über eine Signalleitung möglich.



Eine lokale Versorgung vom Verteilungsnetz ist meistens problematisch. Eine logische Lösung ist dann die Versorgung von der Seite des Teilnehmers, wobei jedoch das Summieren der Versorgungsleistung von mehreren Teilnehmern notwendig ist.

3.4 Vektormodulation – VDMT

Die Modulation **DMT** wird bei den Anschlüssen **xDSL** für eine maximal effiziente Ausnutzung des Potenzials von symmetrischen Kupfer-Doppelleitungskabeln verwendet und sie ermöglicht es, auf das Auftreten der Schmalbandstörung in dem ausgenutzten Frequenzkanal geeignet zu reagieren. Bei den Anschlüssen **xDSL** mit der **DMT**-Modulation können erreichbare Übertragungsraten dank des Charakters des Übertragungsmediums im geteilten Kupferkabel mittels sog. Vektormodulation **DMT (VDMT, Vectored DMT)** weiter erhöht werden.

Eine dominante Komponente der Störung, die die Übertragungsraten der Anschlüsse **xDSL** begrenzt, ist die Störung durch Nebensprechen.

Nebensprechen ist eine Übertragung des Signals durch kapazitive und induktive Verbindungen zwischen den einzelnen Paaren. Ein so übertragenes Signal, zum Beispiel vom ersten Paar ins zweite Paar, wirkt im zweiten Paar als negative Störung und senkt das *Signal-Rausch-Verhältnis (SNR, engl. Signal-to-Noise Ratio)* und damit auch die resultierende Übertragungsrate. Im Hinblick darauf, dass wegen der Konstruktion eines Kupferkabels und den Eigenschaften der elektromagnetischen Wellen Nebensprechen nicht verhindert werden kann, müssen die Wirkungen des Nebensprechens auf das übertragene nützliche Signal eliminiert werden. Die Eliminierung von Nebensprechen bringt eine Verbesserung des **SNR** und daher auch eine höhere Übertragungsrate. Gemäß der Stelle, wo Nebensprechen gemessen wird, unterscheidet man ein Nebensprechen auf dem nahen Ende **NEXT** und auf dem entfernten Ende **FEXT**. Das Nebensprechen **NEXT** kann mittels Frequenzduplex der Übertragungsrichtungen eliminiert werden. Die Größe des Nebensprechens **FEXT** ist für die Anschlüsse **xDSL** entscheidend.

Das Modulationsprinzip **VDMT** nutzt den hochentwickeltesten Stand des mathematischen Apparates, der die Parameter der symmetrischen Doppelleitungskabel und gegenseitige Nebensprechenanknüpfungen zwischen den Paaren beschreibt. Bei der Eliminierung muss die Übertragungsrichtung unterschieden werden.

In der Downstream-Richtung nutzt **VDMT** die Tatsache aus, dass der **DSLAM** ein gemeinsames Element für alle Anschlüsse **xDSL** ist, die im Bündel des Kupferkabels betrieben werden. In **DSLAM** hat man daher auf einer einzigen Stelle die Information über **DMT**-Symbole zur Verfügung, die im nächsten Moment in den Abschnitt der Kupferleitung gesendet werden (daher ein Vektor von Werten der **DMT**-Symbole – deshalb nennt man **DMT** auch Vektormodulation). Weil in **DSLAM** auch Parameter der einzelnen symmetrischen Doppelleitungskabel und Nebensprechenanknüpfungen dazwischen (vom Prozess der Anknüpfung der Verbindung) bekannt sind, können die gesendeten **DMT**-Symbole im Hinblick auf das Übertragungsmedium angepasst werden, durch das sie übertragen werden. Auf der Empfangsseite im Modem des Endteilnehmers werden dann die Symbole theoretisch einen idealen Verlauf und die für eine fehlerfreie Erkennung geeigneten Parameter haben. Die Problematik der Synchronisierung der Sendungen ist auch einfacher lösbar, weil **DSLAM** ein zentrales Element ist. Die Synchronisierung der Sendungen aller **DMT**-Symbole ist notwendig. Die gesendeten Symbole müssen

aufeinander mittels Nebensprechenanknüpfungen so definiert wirken, wie sie bei ihrer Anpassung berechnet wurden.

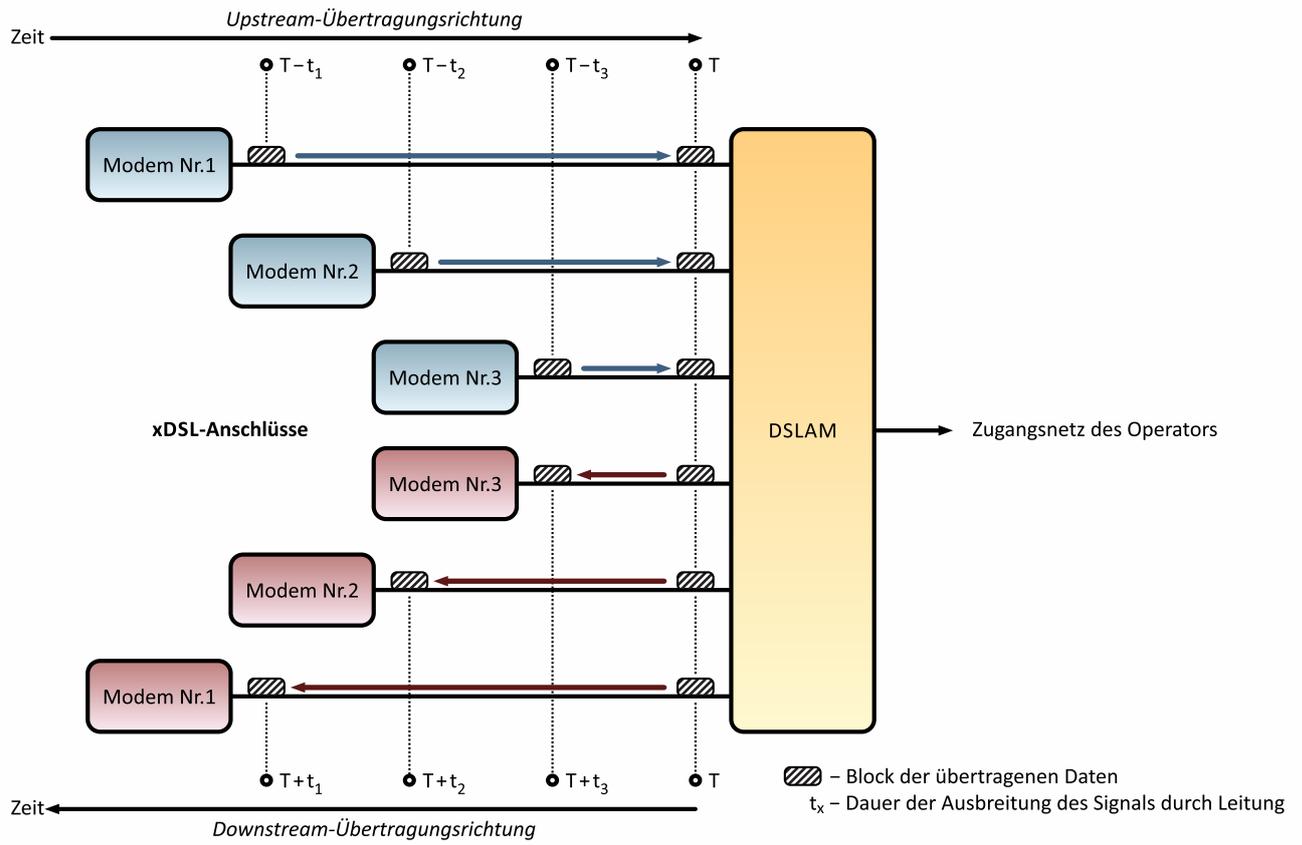
In der Upstream-Richtung kann das gesendete Symbol im Endgerät des Teilnehmers nicht angepasst werden. Das würde erhöhte Ansprüche an Ausstattung und Berechnungsleistung des Endgerätes stellen. Überdies kann ein Endgerät keine Informationen über die Symbole haben, die von anderen Anschlüssen im Kupferkabel gesendet werden. Daher ist es nötig, nur das empfangene Signal wieder in **DSLAM** (in einem zentralen Element) mittels eines speziellen Blocks zur Unterdrückung von Nebensprechen anzupassen. Eine wichtige Frage ist auch die notwendige Synchronisierung der Sendungen von Endteilnehmern in die Richtung zu **DSLAM** im Hinblick auf verschiedene Längen der Teilnehmerleitungen.

VDMT ist eine Erweiterung der Modulation **DMT** in einer Mehrbenutzerumgebung und löst das Problem eines **MIMO**-Systems und eliminiert **FEXT**-Nebensprechen. Das Nebensprechen des Typs **NEXT** wird mittels Frequenzduplex der Übertragungsrichtungen eliminiert.

In Hinsicht auf die gemeinsame Anordnung der Modems in **DSLAM** kann eine synchrone Sendung von **DMT**-Symbolen in der Downstream-Richtung sichergestellt werden. Die Sicherstellung einer synchronen Übertragung der Symbole von Benutzern zum Zugangsmultiplexer **DSLAM** ist wegen verschiedener Längen der einzelnen Anschlüsse komplizierter, aber man kann zum Beispiel das Verfahren Zipper FDD verwenden.

Die Synchronisierung in der Upstream-Richtung geschieht parallel zum Verfahren der Zugangssteuerung an ein Medium in der geteilten Umgebung Punkt–Multipunkt, wie passive optische Netze und Funknetze **LDMS** (*Lokales Mehrpunkt-Verteilungssystem*, engl. *Local Multipoint Distribution System*). Die Sendung in Teilnehmermodems muss unter Berücksichtigung der verschiedenen Zeiten der Signalverbreitung in Leitungen von den Teilnehmern in verschiedenen Entfernungen zeitlich festgelegt werden.

Das Verfahren Zipper FDD nutzt einen zyklischen Suffix (**CS**, engl. *Cyclic Suffix*). Im Gegensatz zum zyklischen Prefix (**CP**, engl. *Cyclic Prefix*) wird sie hinter dem **DMT**-Symbol eingefügt. Die Länge des **CS** muss größer oder gleich dem maximalen Unterschied der Verbreitungsverzögerungen in Signalkanälen sein. Das Verfahren Zipper FDD eliminiert auch das restliche Nebensprechen **NEXT**. Ein Nachteil ist jedoch wieder die Senkung der Übertragungsrates.



Prinzip der Synchronisierung der Symbole der xDSL-Anschlüsse in der Upstream-Richtung.

3.5 Vor- und Nachteile von VDMT

Der Hauptvorteil des Modulationsprinzips **VDMT** wurde schon erwähnt.

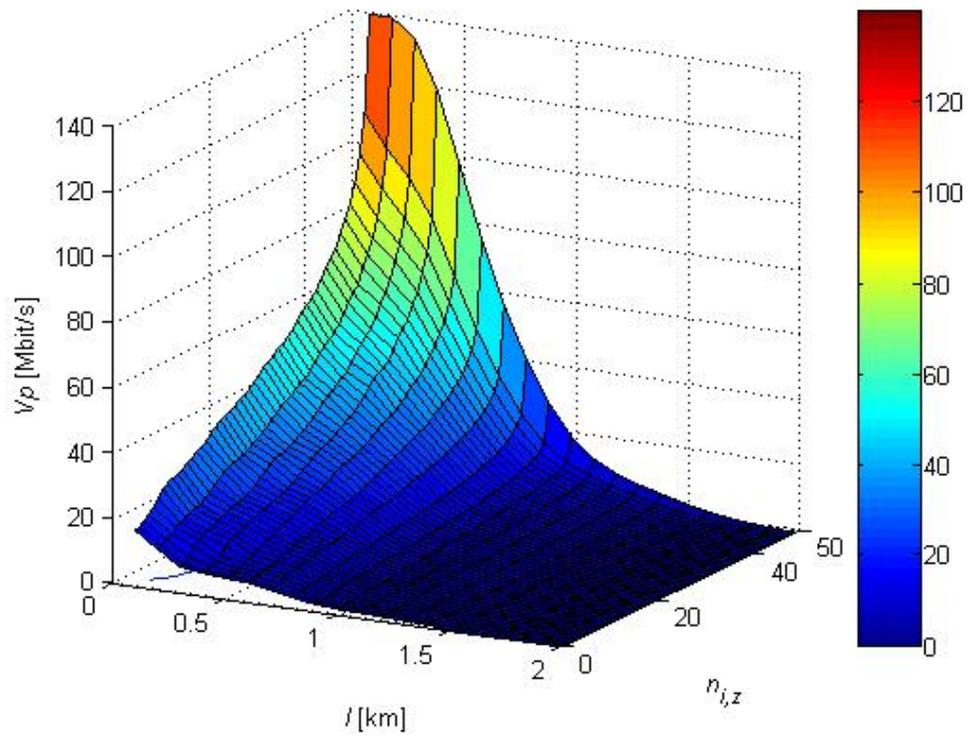


Der Sinn des Modulationsprinzips **VDMT** besteht im Eliminieren der Nebensprechenstörungen und damit dem Erreichen einer höheren Übertragungsrate der Anschlüsse **xDSL**.

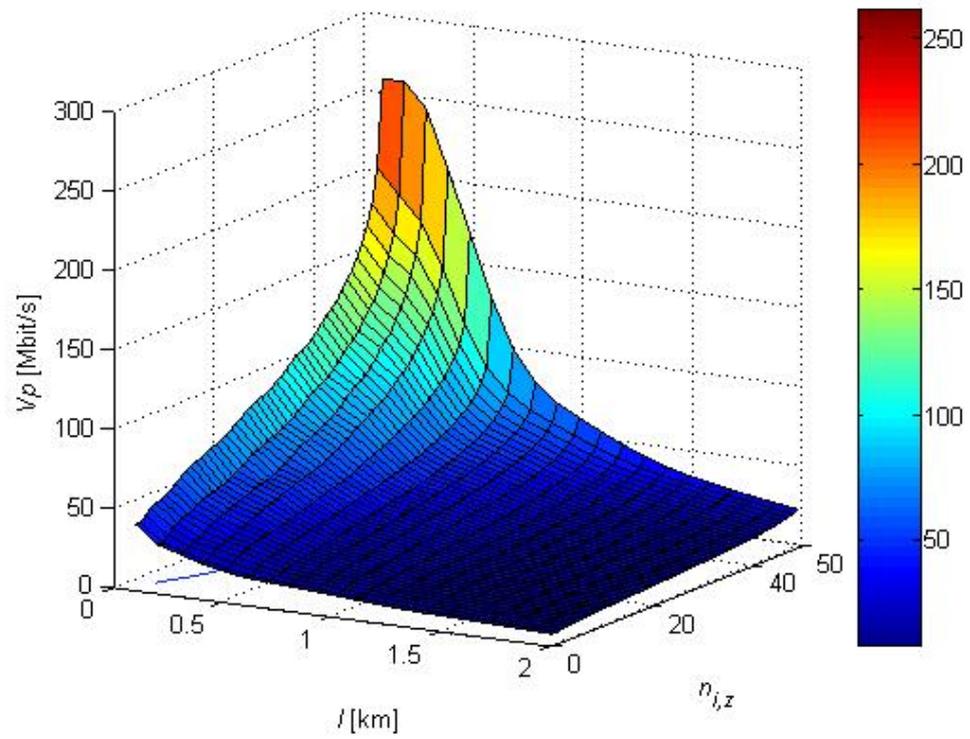
Der Prozess der Unterdrückung von Nebensprechen wird Koordination genannt. Bei der VDMT-Modulation wird dann über Koordination der Sendungen der einzelnen Anschlüsse im Bündel eines Kupferkabels gesprochen.

Weil die Prinzipien und Parameter der Anschlüsse mit analytischen Modellen beschrieben werden können, sind auch die Vorteile der VDMT-Modulation relativ einfach zu berechnen. In Abhängigkeit von der Anzahl der koordinierten Anschlüsse steigt die erreichbare Übertragungsrate des gegebenen Anschlusses. Die folgende Simulation wurde für den **VDSL2**-Anschluss mit dem Frequenzplan B8-13 durchgeführt, der eine Bandbreite von bis zu 30 MHz hat. Dieser Frequenzplan ermöglicht, dass üblicherweise eine Übertragungsrate über 100 Mbit/s erreicht wird. Auf den folgenden Bildern wird die graphische Interpretation der Steigung der Übertragungsrate für Upstream- und Downstream-Richtung gezeigt.

Zum Zwecke der Simulation wurde ein Bündel eines Kupferkabels mit 50 symmetrischen Doppelleitungskabeln des Aderdurchmessers von 0,4 mm bedacht (Kabel TCEPKPFLE 50×4×0,4 mm). Die Vorteile der Koordination wurden auch in Abhängigkeit von der Länge des Teilnehmeranschlusses modelliert. Die Länge betrug von 0,1 km bis 2 km in Schritten von 0,1 km. Die Anzahl der koordinierten Anschlüsse stieg stufenweise von 0 bis 49. Bei dem fünfzigsten Anschluss wurde die Leistung der Übertragung (erreichbare Übertragungsrate) verfolgt. Das Bündel des Kupferkabels wurde daher von den Anschlüssen **VDSL2** vollbesetzt.



Vorteile der Koordination für Upstream und Anschluss VDSL2 B8-13.



Vorteile der Koordination für Downstream und Anschluss VDSL2 B8-13.

Bei der Analyse der Vorteile der **VDMT** kann für diesen Modellfall abgeleitet werden, dass für die Länge der Teilnehmerleitung von 0,5 km ohne Koordination (volle Besetzung aller Paare durch Anschlüsse **xDSL**) in der Downstream-Richtung die Übertragungsrate von 16,676 Mbit/s erreicht werden kann. Wenn wir Sendungen unseres Anschlusses und eines anderen Anschlusses koordinieren, der das größte Nebensprechen in dem verfolgten Anschluss verursacht, sind wir imstande, in der Downstream-Richtung die Übertragungsrate von 19,84 Mbit/s zu erreichen. Wenn wir Sendungen von fünf benachbarten Anschlüssen koordinieren, erzielen wir eine Rate von 27,960 Mbit/s. Bei der Koordination von siebenundzwanzig Anschlüssen werden wir die Rate von 50,868 Mbit/s erreichen. Wenn wir eine sog. volle Koordination von Anschlüssen vornehmen, wird unser verfolgter Anschluss in Downstream-Richtung die Übertragungsrate von 170,720 Mbit/s haben. Die Vorteile der **VDMT** sind dann ganz klar.

Die **VDMT**-Modulation hat jedoch auch erhebliche Nachteile.



Ein Nachteil der **VDMT**-Modulation ist die hohe Berechnungskomplexität bei der Koordination der Sendungen.

Das Prinzip der **VDMT** liegt in der Anpassung jedes aktuell gesendeten **DMT**-Symbols auf jedem symmetrischen Doppelleitungskabel im Hinblick auf aktuelle Parameter des Übertragungsmediums. Es ist daher klar, dass für die volle Koordination aller Anschlüsse mit der **DMT**-Modulation die Funktionen, die die Nebensprechenanknüpfungen unter allen Leitungspaaren beschreiben, die Übertragungsfunktionen der einzelnen Leitungen und die aktuell gesendeten **DMT**-Symbole aller koordinierten Anschlüsse bekannt sein müssen. Für Kupferkabel mit vielen hunderten symmetrischen Doppelleitungskabeln wird die Realisierung einer vollen Koordination des Betriebes sehr anspruchsvoll was die mit der Anpassung von **DMT**-Symbolen und mit der Erwerbung der Parameter des Übertragungsmediums zusammenhängenden Berechnungen betrifft. Man kann berechnen, dass zum Beispiel nur für 50 Anschlüsse **VDSL2** mit 4096 Subkanälen und einer Modulationsrate von 4 kBd jede Sekunde im entsprechenden **DSLAM** 40,960E9 mathematische Operationen durchgeführt werden sollen, und dies nur bei den Anpassungen der gesendeten **DMT**-Symbole. Eine weitere Berechnungsleistung braucht man dann bei der Anknüpfung der Verbindung, Kontrolle und Steuerung der aktuellen Verbindungen usw.



Die **VDMT**-Modulation bringt Vorteile nur dann, wenn im Übertragungsmedium alle Systeme die **DMT**-Modulation ausnutzen. Diese Bedingung ergibt sich schon aus dem Prinzip der **VDMT**.
