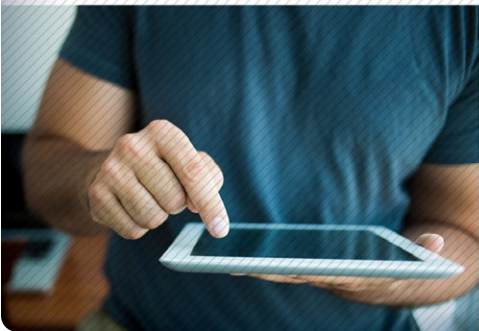


TAL - und DSL -Leitfaden
REFERENZHANDBUCH



EXFO

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2	2.3.9.3 REIN	32
1. Einführung	5	2.3.9.4 SHINE	32
2. Was ist DSL?	6	2.3.9.5 PEIN	32
2.1 Datenbereitstellung vor DSL	6	2.3.10 Bonding	33
2.1.1 Einwahlverbindung	6	2.3.11 Vectoring	35
2.1.2 ISDN	7	2.3.12 G.Fast	36
2.2 xDSL im Überblick	8	3. Probleme bei der DSL-Bereitstellung	38
2.3 Ein genauerer Blick auf DSL	12	3.1 Bestimmen der Art des Problems	39
2.3.1 ISDN	13	3.2 Durchführen einer Sichtprüfung	44
2.3.2 HDSL und HDSL2	14	3.3 Wahl einer Testposition	45
2.3.3 SHDSL	16	3.4 Messen des Dienstes	45
2.3.4 ADSL und ADSL2	17	3.5 Vermeiden von Kabelbrüchen	45
2.3.4.1 Discrete Multi-Tone (DMT)-		3.6 Prüfen der Dienstgüte	45
Leitungskodierung	20	4. Aufbau und Prüfung der Kupferleitung	47
2.3.5 ADSL2+	22	4.1 Grundlegende elektrische Charakterisierung	47
2.3.6 VDSL2	23	4.1.1 Gleichspannung	48
2.3.7 Asynchroner Transfermodus (ATM)	25	4.1.2 Wechselspannung	48
2.3.8 Pakettransfermodus (PTM)	26	4.2 Länge oder Entfernung	49
2.3.9 Schutz vor Impulsrauschen	27	4.3 Dämpfung	52
2.3.9.1 Die Funktionsweise von INP	28	4.3.1 Dämpfung bei einer bestimmten Frequenz	54
2.3.9.2 G.INP	31		

4.4 Rauschen und Nebensprechen	56
4.4.1 Nebensprechen.....	56
4.4.2 Impulsrauschen.....	58
4.5 Symmetrie	60
4.5.1 Resistiver und Kapazitive symmetrie	60
4.5.2 LCL (Symmetrie).....	60
4.6 Bespulte Leitungen.....	62
4.7 Parallelschaltung.....	64
4.8 Split Pairs	67
4.9 Hochohmige Fehler	68
4.10 Widerstandsfehlerortung	70
4.11 Defekte Spleiße.....	71
4.12 Isolationswiderstand	72
4.13 Spektrum-Management.....	73
4.14 Interoperabilität von DSL-Ausrüstung.....	74
4.15 Abschirmung, Bündelung, Erdung	76
4.16 Wasser im Bündel	77
4.17 Wartung der Stromleitungen.....	78
5. ADSL2+- und VDSL2-Tests.....	79
5.1 DSL-Leistungsprüfung	80
5.2 Basisdienstprüfung.....	83
5.3 IPTV/VoIP-Dienstprüfung.....	84

6. Zusammenfassung.....	86
7. Informationen zum Autor	87
7.1 Über den Autor.....	87
7.2 Den Autor kontaktieren	87
8. Literaturhinweise.....	87
8.1 Empfehlungen der ITU-T.....	87
8.1.1 Empfehlungen zu DSL.....	87
8.1.2 Empfehlungen zu Kupfertests.....	88

Vorwort

Stellen Sie sich doch einmal vor, wie die Welt heute aussähe, wären da nicht große Erfinder wie Alexander Graham Bell, Antonio Meucci und Samuel Morse gewesen. Wenn Sie gerade über Ihr Tablet oder Ihr Smartphone im Internet nachgeschaut haben, wer sich hinter diesen Namen verbirgt, unterstreicht das nur meinen Punkt. Ohne diese Herren würden Sie diesen Leitfaden wahrscheinlich gar nicht lesen.

Im Jahr 1840 wurde Samuel Morse ein Patent (USPTO Nr. 1.640) für die „Verbesserung der Art der Kommunikation von Informationen durch elektromagnetische Signalübertragung“ zugesprochen. In jenem Patent spricht er über die Übertragung von Informationen zwischen entfernten Punkten in Form von Klängen und sichtbaren Signalen. Außerdem erwähnt er die Aufzeichnung von Informationen.

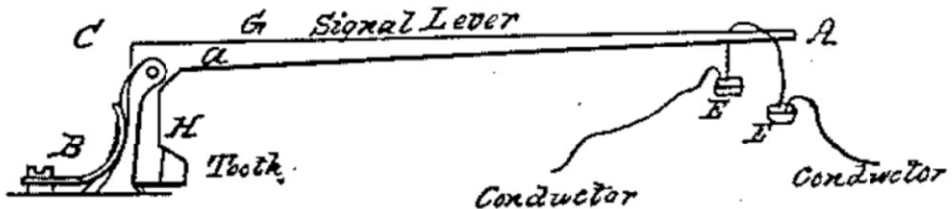


Abbildung 1. Auszug aus dem Patent von Samuel Morse für den Telegraphen von 1840

Im Jahr 1881 erhielt Alexander Graham Bell ein Patent (USPTO Nr. 244,426) für den „Telefonschaltkreis“. In jenem Patent beschreibt er Verbesserungen am Aufbau einer Doppelader und eines Kabelbündels. Außerdem erwähnt er, dass die beiden Drähte am besten miteinander verdreht werden.

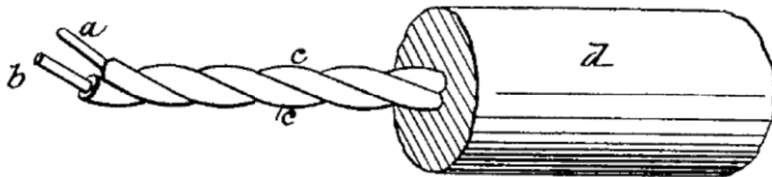


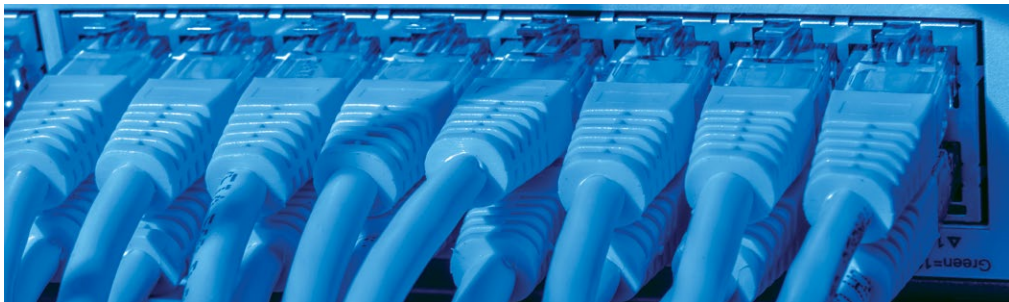
Abbildung 2. Auszug aus dem Patent von Alexander Graham Bell für die Telefonleitung von 1881

Was diese Herren vor über 130 Jahren taten, hat zu dem beigetragen, was wir heute oft für selbstverständlich halten. Breitband ist ein Begriff, der in IPTV, sozialen Medien (Facebook™ ist nun schon 10 Jahre alt) und „Apps“ recht geläufig ist, und wir können unsere Lieblingsfernsehsendungen und -filme auf verschiedenen „Smart“-Geräten anschauen. Wir haben Bedarf an immer höheren Datenübertragungsraten und die Bereitstellung von „Informationen“ treibt uns an. Natürlich verwenden wir kein Paraffinwachs zur Isolierung der Doppelader mehr, und unsere Datenübertragungsraten übertreffen 30 bis 70 Wörter pro Minute inzwischen bei weitem – aber was diese beiden Herren geschaffen haben, ist die Grundlage der heutigen Teilnehmeranschlussleitung (TAL) und DSL, ebenso wie zukünftiger Technologien wie G.Fast.

Der Nutzen dieses Teilnehmeranschlussleitungs- und DSL-Test-Leitfadens ist für den Leser, dass er in kurzer Zeit Näheres zu den neuesten DSL-Technologien sowie zu den Herausforderungen erfährt, die bei der Entwicklung dieser neuen Technologien entstehen. Mit jeder neu hinzukommenden DSL-Technologie bzw. jeder neuen Anwendung entstanden auch eine Reihe neuer Probleme, die vom Servicetechniker zu lösen waren, um den Endteilnehmer zufrieden zu stellen. – denn einfach nur „zufrieden“ bedeutete „gerade mal gut genug“ und somit auch, dass der Endteilnehmer sich genauso gut für die Konkurrenz entscheiden könnte. Der Techniker musste daher sicherstellen, dass die Erwartungen des Endteilnehmers bezüglich der Qualität des Benutzererlebnisses übertroffen wurden. Dies bedeutete kontinuierliche Umsätze und Neugeschäfte, da ein zufriedener Teilnehmer den Dienst Bekannten weiterempfiehlt (und so weiter und so weiter) und oft das nächsthöhere Paket abonniert.

1. Einführung

Der vorliegende Leitfaden beschreibt praktische Methoden zur Erfassung von Fehlern und Beeinträchtigungen in der Kupferkabelanlage der Teilnehmeranschlussleitung für eine erfolgreiche Bereitstellung von DSL-Technologien (Digital Subscriber Line, engl. für digitaler Teilnehmeranschluss). Wenn auch die meisten Aspekte der Fehlererfassung in Telefonkabeln besprochen werden, liegt der Schwerpunkt hier auf der Vorbereitung von Kabeln für Hochgeschwindigkeits-Breitbandsignale von ADSL2+, VDSL2 und zukünftigen Technologien. Außerdem dient der Leitfaden als nützliche Informationsquelle für sonstige Probleme bei der Bereitstellung und Überprüfung der von DSL getragenen Dienste, wie z. B. Internetdiensten, E-Mail, Internet Protocol Television (IPTV) und Voice-over-Internet-Protokoll (VoIP) bzw. Internet-Telefonie.



2. Was ist DSL?

Bevor wir DSL definieren, sehen wir uns zunächst die Entwicklung der Kommunikationstechnologie an.

2.1 Datenbereitstellung vor DSL

Das herkömmliche analoge Telefonnetzwerk, auch bekannt als der übliche Telefonverkehr (POTS; Plain Old Telephone Service) oder das Telefonnetz bzw. Fernsprechnet, stützt sich auf leitungsvermittelte Methoden, um Telefonsignale von einem Ort zum anderen zu übertragen. In der Regel wird jeder Teilnehmer über eine einzige verdrehte Doppelader mit dem Netzwerk verbunden. Normalerweise sind diese Leitungen weniger als 6000 Meter (20.000 Fuß) lang; in ländlichen Gegenden können sie jedoch bis zu 20 km (90.000 Fuß) Länge erreichen. In den USA gibt es derzeit ca. 139 Millionen Telefonleitungen¹. Schätzungen zufolge liegt diese Zahl weltweit bei über 1,18 Milliarden².

2.1.1 Einwahlverbindung

Analoge Einwahlmodems trugen zur rapiden Ausbreitung des World Wide Webs bzw. Internets bei Privatverbrauchern bei. Diese Methode der Datenübermittlung nutzt das Sprachband (mit einem Frequenzbereich von 300 bis 3400 Hz) und ermöglicht PCs (persönlichen Computern), mit anderen PCs oder Servern zu „sprechen“. Die obere Grenze bei der Datenübertragung reicht von 300 Baud bis zu ca. 38.400 kbit/s. Dann kamen die in den V.90-/V.92-Standards der ITU beschriebenen 56 kbit/s-Modems auf den Markt, jedoch konnte mit ihnen kein echter Durchsatz von 56 kbit/s erzielt werden.

^{1, 2} 2010 World Fact Book, CIA



Abbildung 3. Spektrum der Kommunikationssequenz eines Einwahlmodems

Anschließend wurden mit den Einwahlmodems dank der zu jener Zeit eingesetzten Kompressions- und Modulationsverfahren unterschiedliche Geschwindigkeiten ermöglicht.

Einwahlmodems sind auch heute noch in vielen Gegenden, in denen DSL- oder Fiber-to-the-Home (FTTH)-Dienste noch nicht verfügbar sind (möglicherweise aufgrund von Problemen mit der Leitungslänge oder staatlichen bzw. regulatorischen Schwierigkeiten bzw. Einschränkungen), im Einsatz.

2.1.2 ISDN

Seit vielen Jahrzehnten lotet die Branche die Grenzen zwischen der analogen und der digitalen Welt aus. Das Integrated Services Digital Netzwerk, besser bekannt als ISDN, welches 1984 von der International Telecommunication Union (ITU), einer Organisation der United Nations (UN), ratifiziert

wurde und als eine der ersten DSL-Technologien gilt, wurde so entwickelt, dass die gleichzeitige digitale Übertragung von Sprache, Video und Daten über herkömmliche Kupferkabel möglich ist. ISDN konnte mit Geschwindigkeiten von 64 kbit/s pro Nutzkanal aufwarten und wurde Anschließend Modulationsschemata (2B1Q und 4B3T) mit einer Bandbreite von 40 kHz bis 80 kHz betrieben. Obwohl ISDN die Erwartungen einer gleichzeitigen Bereitstellung von Sprache, Video und Daten nicht ganz erfüllen konnte, ist diese Technologie auch heute noch in vielen Teilen der Welt im Einsatz.

In den letzten 10 Jahren hat die Digital Subscriber Line (DSL)-Technologie extrem an Beliebtheit gewonnen und gewinnt rapide an Nutzern. DSL verwendet unterschiedliche Kompressions- und Modulationsschemata, und die vom POTS und von ISDN-Netzwerken gebotene Bandbreite wird mit Frequenzen, die weit über denen der vorangehenden Technologien liegen, übertroffen. Zum Beispiel kann VDSL2 mit 30 MHz betrieben werden, während die demnächst kommende Technologie G.Fast (ITU-T G.9700 und ITU-T G.9701) mit bis zu 106 bzw. 212 MHz arbeitet.

2.2 xDSL im Überblick

DSL (Digital Subscriber Line) ist eine digitale Breitbandtechnologie, bei der Informationen über die Telefonleitung eines Teilnehmers (welche auch als Teilnehmeranschlussleitung bzw. TAL bezeichnet wird) gesendet werden. Deren primäre Anwendung ist die Übertragung von Hochgeschwindigkeitsdaten zu Privat- und Geschäftskunden. DSL kann auch eine Lösung für den Bereich Mobile Backhaul sein. Dadurch sind Anbieter in der Lage ihre ältere und auf Kupfer basierte Zeitmultiplex/TDM-Technologie (wie T1) durch das bandbreitenfähigere und flexiblere VDSL2 zu ersetzen.

DSL im Allgemeinen beschreibt die Technologie, während xDSL für die Familie der DSL-Technologien steht. Je nach Geschwindigkeit und Anwendung der xDSL-Technologie ist das „x“ ein Platzhalter. HDSL (das H steht für Hochgeschwindigkeit) eignet sich beispielsweise am besten für Unternehmensteilnehmer als spektral kompatibler Ersatz für T1, während VDSL2 (hier steht das V für „very“ in „very high speed“ und das 2 für die zweite Generation) eher für Privatverbraucher und kleine bis mittelständische Unternehmen (KMUs) geeignet ist.

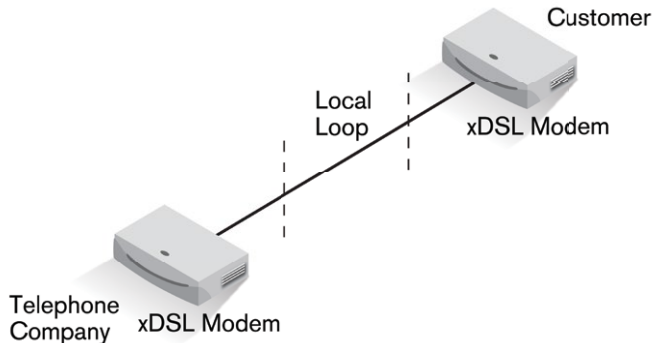


Abbildung 4. Grundlegende DSL-Architektur

Im Vergleich zu Einwahlmodems können mit DSL höhere Datenübertragungsgeschwindigkeiten erreicht werden, da die verfügbare Bandbreite einer Teilnehmeranschlussleitung stärker genutzt wird. Der herkömmliche Telefondienst nutzt nur eine begrenzte Bandbreite von bis zu 3.400 Hz. Auch wenn eine Bandbreite von 3.400 Hz durchaus für die Übertragung analoger Sprachdaten oder von Datengeschwindigkeiten bis zu 56 kbit/s in annehmbarer Qualität ausreicht, erreicht DSL mit einer Bandbreite von bis zu 30MHz Datenübertragungsraten zwischen 256kbit/s und mehr als 100Mbit/s. So ist eine gleichzeitige Übertragung hochqualitativer digitaler Sprache, von Video und Daten möglich.

Die HDSL-Technologie (darunter auch HDSL2, HDSL4 und SHDSL/SHDSL.bis) wird von den Anbietern nun bereits seit einigen Jahren angeboten. HDSL/SHDSL dient hauptsächlich als effizientere und kostengünstigere Methode für die Bereitstellung von T1 oder 2 Mbit/s (E1)-Diensten – den Hochgeschwindigkeitsverbindungen, die in der Regel zur Verbindung von Unternehmen und öffentlichen und privaten Netzwerken eingesetzt wird. Seit kurzem werden ADSL2+ und VDSL2 eingesetzt, um Privatverbrauchern inhaltsreiche Breitbanddienste bereitzustellen. Die Pioniere von ADSL2+/VDSL2

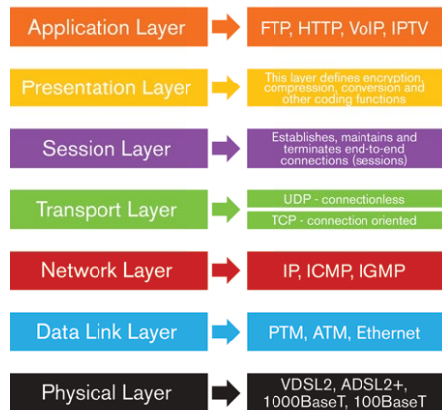


Abbildung 5. Open Systems Interconnection (OSI)-Modell

waren sich darüber im Klaren, dass die Abnehmer hier in erster Linie Privatverbraucher sein würden, und konzipierten die Dienste so, dass deren Signale die vorhandenen Telefonleitungen (POTS) der Teilnehmer nutzen konnten.

Mit dem Open Systems Interconnection (OSI)-Modell als Erwägung für DSL können wir DSL neben anderen Technologien wie 10/100 BaseT-Ethernet an der untersten physikalischen Schicht des OSI-Modells anordnen.

Um Anwendungsverkehr wie Webseiten oder IPTV-Streams über DSL-Verbindungen und damit über die physikalische Schicht leiten zu können, muss dieser Anwendungsverkehr an der Quelle in andere Technologieschichten eingekapselt oder kodiert werden. Sobald der Datenverkehr seinen Bestimmungsort erreicht, müssen die verschiedenen Schichten dort dekodiert werden, um die nötigen Daten zu extrahieren, damit sie vom Endbenutzer verwendet werden können.

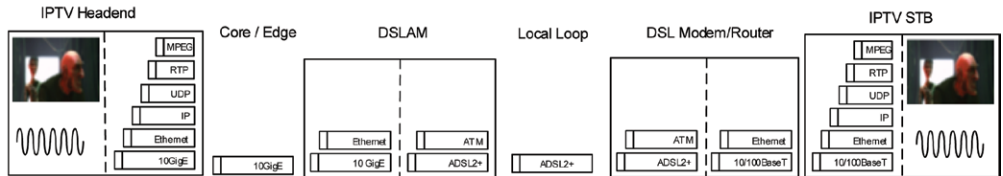


Abbildung 6. Lineare Darstellung des Datenverkehrs

2.3 Ein genauerer Blick auf DSL

Heute gibt es eine Reihe von DSL-Technologien, von denen jede verschiedene Datengeschwindigkeiten für verschiedene Bedürfnisse und Anwendungen bereit hält. Ungeachtet der Technologie bietet DSL schnelle Datengeschwindigkeiten für Privatverbraucher und Unternehmen. Es wurden verschiedene Arten von DSL-Technologien für den Betrieb auf entweder einer oder zwei Kupferdoppelader(n) konzipiert. Zum Beispiel wurde HDSL ursprünglich als zweipaarige Technologie entwickelt, während ADSL von Anfang an eine einpaarige Technologie war. ADSL wurde für den Betrieb auf derselben Kupferdoppelader wie für die analoge Sprachübertragung entwickelt (d. h. POTS), so dass die Benutzer ihre vorhandenen Telefonleitungen nutzen konnten. So entsteht eine stets verfügbare Verbindung, was für Anwendungen, die einen Zugang zum Internet erfordern, ideal ist; gleichzeitig ergibt sich dabei die Möglichkeit eines störungsfreien analogen Sprachdienstes.

Darüber hinaus kann ADSL über dieselbe Doppelader betrieben werden wie die Basis-ISDN-Übertragung. So können die Benutzer ihre bereits vorhandenen digitalen Sprach-, Fax-, Daten- und Videoverbindungen auch für Hochgeschwindigkeitszugriff auf das Internet verwenden. Obwohl ISDN Privatverbrauchern in den USA und Kanada in der Regel nicht angeboten wird, wird diese Technologie in vielen europäischen Ländern und in anderen Teilen der Welt streichen, weglassen weitgehend genutzt.

Die verschiedenen DSL-Technologien werden allesamt über Doppeladern an mit Modem-Chip ausgestatteten Geräten bereitgestellt, wobei sich ein Modem-Chip im DSLAM entweder in der Vermittlungsstelle oder in einem Fernschaltschrank befindet, der andere beim Kunden im DSL-Modem bzw. -Router. Einige der beliebtesten xDSL-Technologien werden in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

2.3.1 ISDN

Das Integrated Services Digital Network – ISDN – kann als eine der ersten DSL-Technologien angesehen werden und wurde entwickelt, um digitale Sprache, Video und Daten gleichzeitig über herkömmliche Kupferkabel zu leiten. Basis-ISDN setzt sich aus drei logischen Kanälen zusammen, die allesamt über eine einzige Kupferdoppelader laufen. Zwei Nutzkanäle (B-Kanäle) übertragen Sprache, Video und Daten, während der eine Signal-/Kontrollkanal (D-Kanal) für die Signalgebung verwendet wird. Basis-ISDN wird gängig als 2B+D bezeichnet und bietet Geschwindigkeiten von bis zu 160 kbit/s symmetrisch mit typischen Einsätzen von 64 kbit/s. ISDN ist zudem als Primärmultiplexanschluss (PMxAs) erhältlich. Der PMxAs bietet eine Übertragung von Daten/Sprache/Bildern mit bis zu 1,544 Mbit/s (nordamerikanisches T1-Format) über 23 B-Kanäle und einen D-Kanal oder bis zu 2,048 Mbit/s (europäisches und internationales E1-Format) über 30 B-Kanäle und einen D-Kanal. Jeder Kanal in der PMxAs-Konfiguration läuft mit 64 kbit/s.

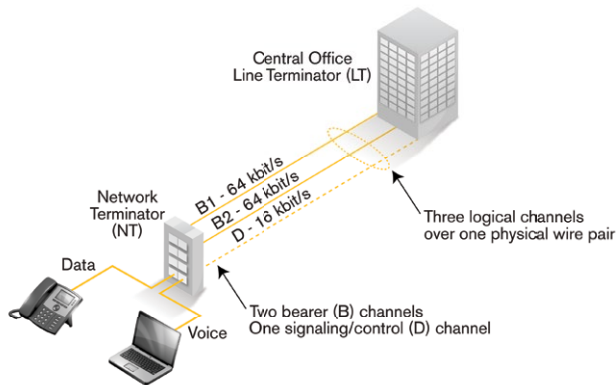


Abbildung 7. Basis-ISDN-Architektur

ISDN verwendet eine 2B1Q-Leitungskodierung (zwei binär, eine quaternär), um die Informationen darzustellen. 2B1Q führt zwei Datenbits in ein quaternäres Symbol zusammen; d. h. in vier Spannungsebenen, die von zwei Bits an digitalen Informationen bei regulärer Taktrate dargestellt werden.

2.3.2 HDSL und HDSL2

Bei der High Bit Rate Digital Subscriber Line – HDSL – handelt es sich um eine symmetrische DSL, ähnlich wie T1 oder 2 Mbit/s (E1), da hier eine Bitrate von bis zu 1,544 bzw. 2,048 Mbit/s ermöglicht wird. Die meisten HDSL-Systeme verwenden eine oder zwei verdrehte Doppelader(n), obgleich manche der älteren 2,048 Mbit/s-Systeme drei verdrehte Kupferkabel erforderten. HDSL besteht aus einem HDSL-Transceivergerät in der Verteilerstelle (HTU-CO) und einem entfernten HDSL-Transceivergerät (HTU-R) am Kundenanschluss. Da die Geschwindigkeiten und Frame-Strukturen von HDSL denen von T1- oder 2 Mbit/s- (E1)-Leitungen entsprechen, nutzen lokale Telekommunikationsanbieter die HDSL-Technologie, um, wann immer möglich, lokal Zugang zu T1/E1-Diensten zu bieten. Es sollte erwähnt werden, dass für die herkömmliche T1-Übertragung zwei Kupferdoppeladern eingesetzt werden, so dass der Übergang vom herkömmlichen T1 zum HDSL-basierten T1 recht nahtlos ist. Die Reichweite von HDSL im Sinne von Entfernung ist geringer als die von SHDSL, ADSL und ADSL2+. Normalerweise kann ein HDSL-Dienst nur Kunden im Umkreis von 3,6 km (12.000 Fuß) von der Verteilerstelle bedienen. Für größere Entfernungen muss der Dienst mit Signalverstärkern erweitert werden.

Da HDSL zwei verdrehte Doppeladern erfordert, wird es hauptsächlich bei Geschäftskunden eingesetzt, die eine Verbindung über eine private Nebenstellenanlage (PBX), virtuelle private Netzwerke (VPNs), Frame Relay-Schaltkreise, Internetzugang und private Datennetzwerke benötigen. Ferner wird HDSL gegenüber dem traditionellen T1 bevorzugt, da es im Vergleich zu AMI-, B8ZS- oder HDB3-kodierten Signalen vorhandener T1- und 2 Mbit/s (E1)-Lösungen spektral kompatibler mit anderen Technologien in einem Paket an TALs ist. HDSL nutzt eine 2B1Q- oder Carrierless-Amplituden/Phasen-Modulation (CAP)-basierte Leitungscodierung.

HDSL2 ähnelt in Hinsicht auf den Betrieb HDSL, kann jedoch die Geschwindigkeit von HDSL anhand einer einzigen Doppelader erreichen. Satz ohne Sinn. Was hat Übertragungsentfernung mit Erfolg zu tun?. Die meisten HDSL2-Systeme basieren auf nicht standardkonformen, geschützten Übertragungssignalen und -protokollen. Zwischen den Anbietern besteht kaum oder gar keine Interoperabilität.

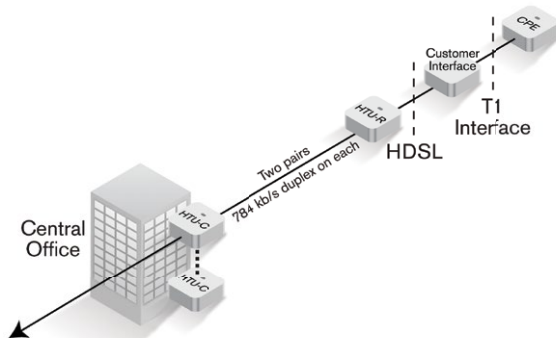


Abbildung 8. HDSL-Architektur

2.3.3 SHDSL

Die Symmetrical High-Speed Digital Subscriber Line – SHDSL – ist eine Technologie, die HDSL und HDSL2 sehr ähnelt. SHDSL wird über eine einzige Doppelader betrieben, kann jedoch je nach Anwendung auch über bis zu vier Doppeladern betrieben werden. Beim Betrieb über eine einzige Doppelader bietet SHDSL symmetrisch Datengeschwindigkeiten von 192 kbit/s bis zu 2,3 Mbit/s, während der Betrieb über zwei Doppeladern mit Datengeschwindigkeiten von 384 kbit/s bis zu 4,72 Mbit/s aufwarten kann.

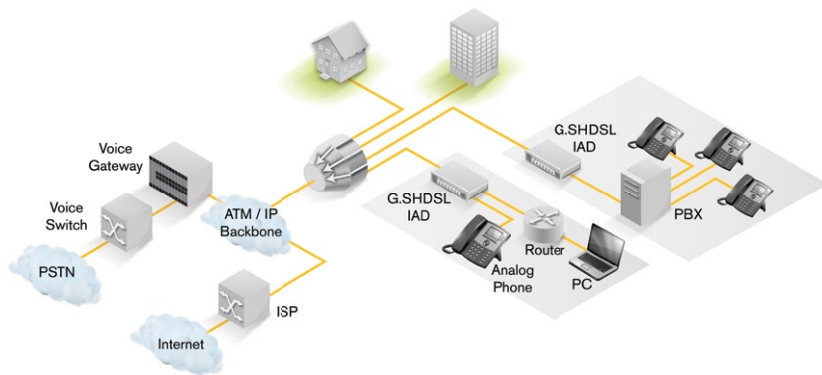


Abbildung 9. SHDSL-Architektur

SHDSL ist aufgrund seiner Symmetrie eher als eine Lösung für Geschäftskunden als für den Privatverbrauchermarkt konzipiert. Es kann als T1- und 2 Mbit/s (E1)-Ersatztechnologie verwendet werden.

SHDSL ist auch als EFM (Ethernet in the First Mile)-Technologie bekannt und kann somit als EFM anstatt SHDSL bezeichnet werden. EFM wird häufig für mobile/Mobiltelefon-Backhaul-Anwendungen eingesetzt (ebenso wie VDSL2).

SHDSL wurde so entwickelt, dass es mit anderen Technologien in TAL-Bündeln spektral kompatibel ist. Dies hat SHDSL der Leitungskodierung durch Trellis-Code-Pulsamplitudenmodulation (TC-PAM) zu verdanken. Dieses Kodierverfahren maximiert die Nutzung der niedrigeren Frequenzen der verfügbaren Leitungsbandbreite und vermeidet somit höhere Frequenzen, bei denen die Signale anfälliger für Nebensprechen und Dämpfung(sverlust) sind.

2.3.4 ADSL und ADSL2

Die Asymmetric Digital Subscriber Line – ADSL – bietet eine digitale Technologie mit hoher Bitrate für verbraucherorientierten Internetzugang. ADSL bietet in Empfangsrichtung (Downstream; vom Dienstanbieter zum Teilnehmer) eine größere Bandbreite als in Senderichtung (Upstream; vom Teilnehmer zum Netzwerk). Da die meisten Nutzer weit mehr Informationen betrachten/lesen/ansehen,

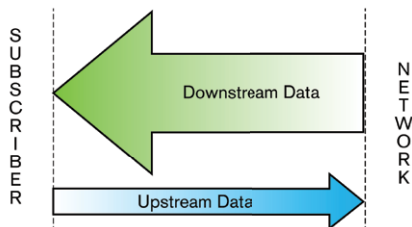


Abbildung 10. Asymmetrie von ADSL

als sie erstellen (hochladen), ist ADSL optimal für Internet- und andere IP-basierte Dienste. Die Downstream-Geschwindigkeiten reichen von 256 kbit/s bis zu 8 Mbit/s, während der Upstream von 16 kbit/s bis zu 1,5 Mbit/s reicht. Die ADSL-Übertragung kann Entfernungen von mehr als 5,5 km (18.000 Fuß) über eine einzige verdrehte Kupferdoppelader erreichen, wobei in dieser Entfernung nur noch die niedrigsten Bitraten verfügbar sind.

ADSL bietet Diensteanbietern und Verbrauchern die Möglichkeit, ihre vorhandene Telefonleitung für den Hochgeschwindigkeitsinternetzugang sowie für den normalen Telefondienst (POTS) (u. a. auch Notrufnummern) zu nutzen. ADSL-Signale können auf derselben Leitung wie der POTS betrieben werden, da sie ein höheres Frequenzband nutzen als dieser. In der Regel funktioniert ADSL im Bereich von 25 kHz bis 1,104 MHz, während der POTS im Bereich von 300 Hz bis 3400 Hz arbeitet. Der Einbau eines Tiefpassfilters in der Leitung ist eine nötige Vorsichtsmaßnahme, um ADSL-Signale von POTS-Signalen zu trennen. Diese kompakten Geräte – welche, je nachdem, wo sie installiert werden, als POTS-Splitter oder Mikrofilter bezeichnet werden – ermöglichen den Durchgang der Sprachbandfrequenzen für analoge Telefone, während die Hochfrequenzsignale von ADSL von den Telefonen ferngehalten werden. Ähnlich verhindern EingangsfILTER in ADSL-Modems, dass Telefonsignale ins Modem gelangen. Ähnlich wie ADSL und POTS auf ein und derselben Leitung betrieben werden können, kann auch ADSL mit ISDN koexistieren. Da ISDN in der gleichen Bandbreite von bis zu 150 kHz liegt, gibt es weniger ADSL-Unterkanäle, die für die ADSL-Datenübertragung genutzt werden können, so dass die erreichbare Datengeschwindigkeit niedriger ist. ADSL-Modems, die nur für den Einsatz gemeinsam mit POTS-Diensten gedacht sind, werden als Annex A-Modems bezeichnet, während Modems, die für Leitungen mit ISDN bestimmt sind, Annex B genannt werden. Beide Bezeichnungen werden aus den Anhängen der veröffentlichten ATIS/ANSI T1.413- und ITU-T G.992.1-, 2- und 3-Standards abgeleitet.

Es gibt für ADSL zweierlei Arten der Leitungskodierung. Ein älteres Konzept verwendete eine nicht standardkonforme Carrierless-Amplituden/Phasen-Modulationsmethode (CAP). Dieses Modulationsverfahren ähnelt dem, das bei Einwahlmodems eingesetzt wird. Heutzutage wird bei praktisch allen ADSL-DSLAMs und -Modems das Discrete Multitone (DMT)-Verfahren eingesetzt. Dieser Leitfadens konzentriert sich auf die DMT-Leitungskodierung, da diese von den Normierungsstellen für ADSL empfohlen und generell eingesetzt wird. Die Standards der ITU-T (G.992.1, G.992.2), ETSI und des ANSI-Komitees T1 (Nordamerika) (T1.413 Ausgabe 2) beschreiben die Technologie.

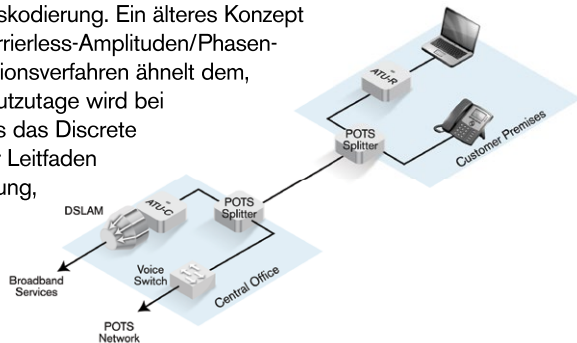


Abbildung 11. ADSL-Architektur

Es folgt ein kurzer Überblick über die Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten von ADSL:

Rate-Adaptive Digital Subscriber Line – R-ADSL – Hierbei handelte es sich um einen früheren Namen für ein spezielles ADSL-Modem, das die Übertragungsgeschwindigkeit dynamisch auf die Länge und Qualität der lokalen Leitung anpasste. Heutzutage sind die meisten ADSL-Modems „rate-adaptive“, d. h. sie passen die Übertragungsgeschwindigkeit an die Gegebenheiten der Leitung an, und die meisten DSLAM-Netzwerkmanagement-Systeme ermöglichen die Einstellung bzw. Begrenzung der Übertragungsgeschwindigkeit auf eine bestimmte maximale Bitrate.

G.Lite – Hierbei handelt es sich um die langsamere Version von ADSL, bei der die Datengeschwindigkeit im Downstream auf ca. 1,5 Mbit/s begrenzt ist. G.Lite nutzt 128 Bins statt 256 (immer noch bei einer Unterkanal-Bandbreite von 4,3125 kHz), und es können nur bis zu 8 Bit/Bin pro Unterkanal kodiert werden.

ADSL2 – Hierbei handelt es sich um eine optimierte Version von ADSL, mit etwas höheren Datengeschwindigkeiten. ADSL2 wird im ITU-T-Standard G.992.3 beschrieben und bietet die gleiche Bitrate über längere Leitungen sowie eine verbesserte Geschwindigkeitsanpassung. ADSL2-Modems sollten generell mit ADSL-Modems rückwärtskompatibel sein.

Reach-Extended-ADSL2 – RE-ADSL2 – Diese Variante von ADSL wurde von der ITU-T im Oktober 2003 zugelassen und wird in Annex L des G.992.3-Dokuments beschrieben. Beim RE-ADSL2-Übertragungsschema müssen sich die Betreiber an eine neu definierte Maske für eine spektrale Leistungsdichte anpassen, die die Störung durch Nebensprechen von Doppelader zu Doppelader reduziert und somit die ADSL2-Reichweite erhöht.

2.3.4.1 Discrete Multi-Tone (DMT)-Leitungskodierung

Das von der heutigen DSL-Technologie verwendete Discrete Multi-Tone (DMT)-Übertragungsschema stützt sich auf Frequenzduplex (FDD), bei dem das DSL-Frequenzband abgesehen von der Unterstützung einzelnen Upstream- und Downstream Bändern in gleichmäßig aufgeteilte Unterkanäle, Unterträger, Töne oder Bins aufgeteilt wird. Bei ADSL und ADSL2 entspricht dies insgesamt 256 Bins. Jedes Bin nimmt 4,3125 kHz an Bandbreite ein. Da ADSL asymmetrisch ist, wird das 1,104 MHz-Band wiederum in ein Upstream- und ein Downstream-Band aufgeteilt. Das Upstream-Band überträgt Informationen vom Verbraucher zum Netzwerk, und das Downstream-Band überträgt Informationen vom Netzwerk zum Verbraucher.

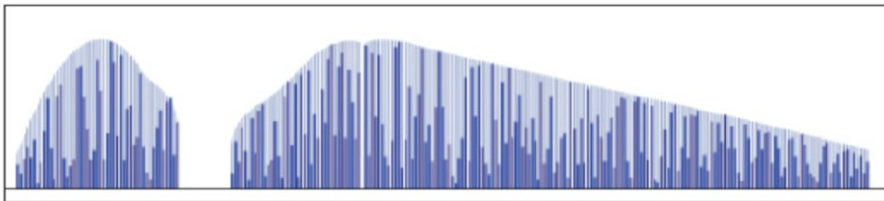


Abbildung 12. ADSL verwendet ca. 256 amplitudenmodulierte Carrier. Die dunklen Balken zeigen einen „Schnappschuss“ der Modulation zu einem beliebigen Zeitpunkt. Die hellen Balken zeigen die für jede Carrierfrequenz verfügbare maximale Modulationsstatusamplitude. Beachten Sie jedoch, dass bei niedrigeren Frequenzen aufgrund einer Verminderung des Signal-/Rausch-Abstands weniger Positionen verfügbar sind.

Bei Systemen, die eine Echounterdrückung – eine Methode, bei der die Upstream- und Downstream-Töne in der gleichen Frequenz koexistieren – verwenden, werden der Upstream-Übertragung 32 Bins und der Downstream-Übertragung bis zu 250 Bins zugewiesen. In der Regel nutzen DMT-Implementationen jedoch 218 Bins für Downstream-Signale. Schutzbänder, die die Upstream- von den Downstream-Signalen trennen, nutzen einige der möglichen Carrier-Zuweisungen. Außerdem befindet sich ein Schutzband zwischen den POTS-Signalen und den DMT-Carriern der ADSL-Signale.

Gemäß DTM-Standard können Geräte bis zu 15 analoge Niveaus pro Frequenzbin nutzen, um die Daten jedes Unterkanals zu kodieren. DMT verwendet eine komplexe Quadraturamplitudenmodulation (QAM) sowie schnelle Fourier-Transformationstechnologien (FFT). QAM ist ein Verfahren, bei dem ein komplexer Phasenhybrid (bzw. eine „Quadratur“) sowie Amplitudenmodulation zum Einsatz kommt. Jeder Unterkanal ist 4,3125 kHz breit und kann bis zu 15 Bits befördern. Die Größe der QAM-

Konstellation ist 2^N ->. Bei 14 Bits/Symbol ist die QAM-Konstellation $2^{14} = 16384$ Punkte, was auf der Gauß'schen Zahlenebene mit $(Z(i) = x(i) + jy(i))$ dargestellt wird. Werden jedoch die maximalen 15 Zustände pro Bin verwendet, kann dies dazu führen, dass die ADSL-Gesamtübertragungsleistung höher als sinnvoll oder gemäß Richtlinien für ein Kabelbündel zulässig ist. ADSL-Anbieter haben ihre Designs größtenteils auf 13 oder 14 Bits/Bin beschränkt. Dadurch wird die übertragene Leistung zwischen den Modems gesenkt und die Reichweite der Übertragung maximiert, ohne dass potenzielle Datengeschwindigkeiten aufs Spiel gesetzt werden. Um eine größere Konstellationsgröße verwenden zu können, ist ein besserer Signal-/Rausch-Abstand (SNR) erforderlich, damit eine bestimmte Bitfehlerrate beibehalten wird. Der SNR ist für die DMT-Technologie ein äußerst wichtiger Faktor.

Bei neueren Technologien (ADSL2+ und VDSL2) wird nach wie vor die DMT-Leitungskodierung verwendet, die Frequenzbandbreite wurde jedoch erhöht, um die höheren Datengeschwindigkeiten, die mit diesen Technologien möglich sind, bereitstellen zu können.

2.3.5 ADSL2+

Kurz nach der Einführung von ADSL2 wurde der Standard für ADSL2+ (ITU-T-Standard G.992.5) veröffentlicht, und Chipgeräte, die diese neue Technologie unterstützten, kamen auf den Markt. Mit ADSL2+ wird die Downstream-Datengeschwindigkeit im Vergleich zu ADSL mehr als verdoppelt, indem die verwendete Bandbreite (von 1,1 MHz auf 2,2 MHz) und die Anzahl der DMT-Carrier (von 256 Bins auf 512 Bins) verdoppelt werden; hier ist eine Datengeschwindigkeit von bis zu 24 Mbit/s möglich. Diese Zugangstechnologie wurde primär entwickelt, um den Teilnehmern Videostreams in Rundfunkqualität zu erlauben. ADSL2+-Modems bieten darüber hinaus die gleiche Kapazität und Interoperabilität wie ADSL- und ADSL2-Modems.

Mit der Einführung von ADSL2+ begann die Branche mit der Entwicklung von Technologien zur Erhöhung der Stabilität von ADSL2+, wie beispielsweise dem Impulsrauschschutz (INP) und der Retransmission der physikalischen Schicht. Eine weitere Neuerung war der Einsatz der ATM-Kopfzeilen-Komprimierung, durch die bestimmte DSL-Chipgeräte Datengeschwindigkeiten von bis zu 30 Mbit/s erreichten.

2.3.6 VDSL2

Der Vorteil von VDSL2 (ITU-T G.993.2) liegt darin, dass die Benutzer durch die Nutzung von Frequenzen bis 12MHz und sogar bis zu 30 MHz einen asymmetrischen und symmetrischen Dienst mit sehr hoher Geschwindigkeit erhalten und dass VDSL2 darüber hinaus bei Einfachdoppelader-Anlagen Bitraten von bis zu 100 Mbit/s ermöglicht. Der Haken ist, dass VDSL2 nur auf relativ kurzen Leitungen (weniger als 1200 m/4000 Fuß weglassen, mit dieser Angabe kann in Deutschland keiner etwas anfangen) bei höheren Bitraten betrieben werden kann. Um kurze Entfernungen und hohe Geschwindigkeiten zu erreichen, wird VDSL2 normalerweise in einer FTTx-Architektur bereitgestellt, in der ein Glasfaser-Backbone (1 GigE oder 10 GigE) die Umgebung und

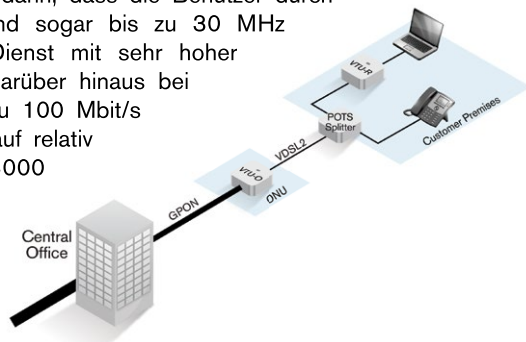


Abbildung 13. VDSL2-Architektur

VDSL2 den Endteilnehmer versorgt.

Wie auch bei ADSL2+ kann VDSL2 mit einem POTS oder ISDN auf der gleichen Leitung koexistieren. Die beiden Technologien unterscheiden sich jedoch darin, dass bei VDSL2 die Bandzuweisung im Upstream und im Downstream etwas unterschiedlich ausfällt. Anstatt eines einzigen Upstream- und eines Downstream-Bandes verwendet VDSL2 mindestens zwei Downstream-Bänder und in der Regel auch zwei Upstream-Bänder für VDSL2-12a-Dienste.

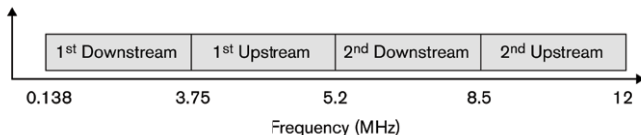


Abbildung 14. Plan 998 für die Umsetzung von VDSL in Nordamerika

VDSL2 nutzt Frequenzen bis zu 30MHz und ermöglicht somit potenzielle Datengeschwindigkeiten von 100 Mbit/s. 100 Mbit/s sind auf sehr kurzen Leitungen (weniger als 300 m bzw. 1000 Fuß) möglich und somit ideal für den Einsatz in MDU- und MTU-Umgebungen.

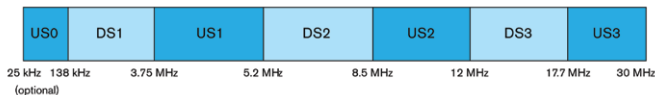


Abbildung 15. VDSL2-Bandplan (basierend auf Plan 998)

Profile	8a	8b	8c	8d	12a	12b	17a	30a
Bandwidth (MHz)	8.5	8.5	8.5	8.5	12	12	17.7	30
Data Rate Mbit/s	50	50	50	50	68	68	100	200

Abbildung 16. VDSL2-Profile

Abbildung 17 zeigt einen Vergleich der Downstream-Datengeschwindigkeiten von ADSL2, ADSL2+ und VDSL2.

2.3.7 Asynchroner Transfermodus (ATM)

Mit der Einführung von DSL wurde der asynchrone Transfermodus (ATM) für die OSI-Schicht 2 (Sicherungsschicht)-Protokoll gewählt, da diese Technik zu jener Zeit bereits stark im Netzwerk genutzt wurde. ATM wurde als wirksame Methode zur Übertragung von Daten, Video und Sprachsignalen zwischen Netzwerken mit asynchronem Zeitmultiplex konzipiert. ATM wurde auf der Kern-/Netzwerkseite des DSLAM jedoch recht schnell durch Ethernet (IP) ersetzt, so dass ADSL, ADSL2 und ADSL2+ im Netzwerk zwischen dem DSLAM und dem

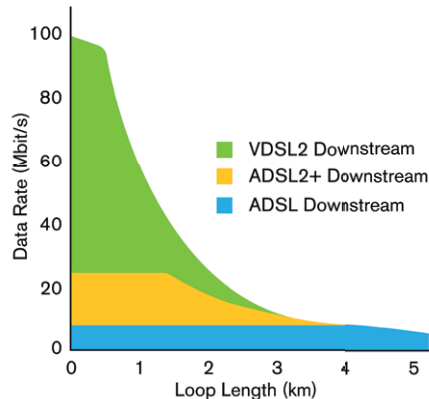


Abbildung 17. Vergleich von Geschwindigkeit und Reichweite von ADSL, ADSL2+ und VDSL2

Verbrauchermodem verblieben, welches bis zum heutigen Tage ATM-basiert ist. Ein wesentliches Element von ATM ist die Idee virtueller Verbindungen. Eine virtuelle Verbindung besteht aus einem Virtual Path Identifier (VPI) und einem Virtual Circuit Identifier (VCI). Der VPI und der VCI wurden verwendet, um den Zielort für die ATM-Datennutzlast festzulegen. In der Regel verwendet jeder Betreiber für alle Teilnehmer die gleichen VPI/VCI, wenn er den Einsatz von ATM zwischen dem DSLAM und dem Modem des Endteilnehmers in Betracht zieht.

2.3.8 Pakettransfermodus (PTM)

In den letzten Jahren sag sich das Telekommunikationsnetzwerk einem Übergang von einem ATM-dominierten Netzwerk hin zu einem Ethernet/IP-dominierten Netzwerk gegenüber. Bei VDSL2 kam PTM schnell zum Einsatz, obgleich einige ältere VDSL2-Anlagen weiterhin mit ATM arbeiten, auch wenn die Vorteile von PTM gegenüber ATM wohl bekannt sind. Zu den genannten Vorteilen gehören niedrigere Hardware-Kosten und niedrigere Gesamtkosten für die Datenübertragung, so dass ein etwas höheres Datengeschwindigkeitspotenzial entsteht.

Obgleich PTM beim Einsatz mit DSL neu ist, ist es keine neue Technologie. In der IEEE 802.3ah-Spezifikation wird ein spezifisches Ethernet TPS-TC mit 64/65-Oktett-Kapselung für Ethernet-Anwendungen ohne zugrunde liegendes ATM-Segment beschrieben. In der ITU-T VDSL2-Spezifikation wird TPS-TC als PTM-TC bezeichnet.

PTM nutzt eine Virtual Local Area Network (VLAN)-Adressierung, um Daten im Netzwerk zu bewegen. Ähnlich wie bei ATM verwenden Betreiber für alle Teilnehmer in der Regel die gleiche VLAN-Adressierung. Die Mehrzahl der Betreiber stellt Dienste über verschiedene virtuelle Verbindungen

bereit. Zum Beispiel kann Hochgeschwindigkeitsinternet (HSI) VLAN = 35 nutzen, während IPTV vielleicht VLAN = 36 verwendet. Diese Trennung in Bezug auf die Adressierung bei den verschiedenen Diensten erleichtert die Verwaltung und die Fehlerbehebung dieser Dienste.

2.3.9 Schutz vor Impulsrauschen

Elektrische Geräte erzeugen oft kurze Spitzenpegel an Rauschen mit hoher Amplitude, welches Impulsrauschen genannt wird. Impulsrauschen kann zu Fehlern in der Datenübertragung führen, was die IPTV- und VoIP-Dienste wiederum schwer beeinträchtigen könnte, da diese normalerweise das User Datagram Protocol (UDP) anstelle des Transmission Control Protocol (TCP) in der Transportschicht des OSI-Modells verwenden. Im Gegensatz zum TCP wird beim UDP keine Retransmission verlorener Datenpakete durchgeführt, so dass bei IPTV- und VoIP-Datenverkehr beim Endbenutzer eine Pixelierung entsteht oder das Bild auf dem Bildschirm einfriert, wenn ein Spitzenpegel an Impulsrauschen den DSL-Frame mit dem UDP-Paket, welches die Programmtaktreferenz (PCR) enthält, stoppt.

In der Branche wird Impulsrauschen je nach Dauer in verschiedene Gruppen unterteilt; wenn man von Impulsrauschen spricht, sind nun Begriffe wie REIN, SHINE und PEIN gebräuchlich.

Tabelle 1. Einteilung von Impulsrauschen in Kategorien

Akronym des Impulsrauschens	Voller Name	Dauer
REIN	Repetitive Electrical Impulse Noise	< 1 ms
SHINE	Single High-Impulse Noise Event	> 10 ms
PEIN	Prolonged Electrical Impulse Noise	1–10 ms

2.3.9.1 Die Funktionsweise von INP

Impulsrauschschutz (INP) sorgt gemeinsam mit dem Interleaver des DSL-Systems und Vorwärtsfehlerschutzmechanismen dafür, dass die Stabilität der DSL-Verbindung gewährleistet wird. Mit INP wird versucht, Bitfehler zu vermeiden, indem sich das DSL-System an die Anzahl der aufeinanderfolgenden schutzbedürftigen DMT-Symbole anpasst. Da ein DMT-Symbol $250\text{ }\mu\text{s}$ lang dauert, ist dies die Mindestgröße, die der INP benötigt, um den DSL-Frame vor Störungen zu schützen. Da das Impulsrauschen jedoch zufällig auftritt, ist es sehr unwahrscheinlich, dass es genau zu Beginn des DMT-Symbols auftritt – daher wird beim INP stets der Schutz von aufeinanderfolgenden DMT-Symbolen (d. h. zwei) angestrebt.

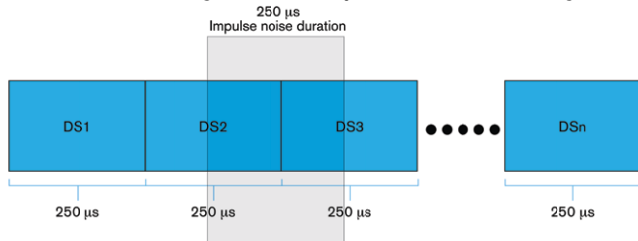


Abbildung 18. Mindest-INP-Größe für den Schutz des DSL-Frames vor Störungen

INP ist ein wirksamer Schutz vor Impulsrauschen von kurzer Dauer, das mit REIN assoziiert wird; längeres Impulsrauschen wird hingegen eher PEIN und SHINE zugeschrieben und kann den vom INP-Mechanismus gebotenen Schutz überfordern.

Tabelle 2. INP-Wert vs. Dauer

INP-Wert	Maximale Dauer des Impulsrauschens
2	250 μ s
3	500 μ s
4	750 μ s
5	1 ms
6	1,25 ms
7	1,5 ms
8	1,75 ms
9	2 ms
10	2,25 ms
11	2,5 ms
12	2,75 ms
13	3 ms
14	3,25 ms
15	3,5 ms
16	3,75 ms

Es sollte beachtet werden, dass ein Zusammenhang zwischen den verwendeten INP-Werten und der einem Verbraucher bereitgestellten Datengeschwindigkeit besteht. Obgleich es Sinn macht, hohe INP-Werte anzuwenden, wird die Datengeschwindigkeit durch die zusätzliche Verzögerung stark gemindert. Dies wird in der nachstehenden Tabelle mit einem Auszug aus dem Breitbandforum TR-176 veranschaulicht.

Tabelle 3. INP-Wert vs. Verzögerung – Auszug aus dem Breitbandforum TR-176

		INP_min						
		0	1/2	1	2	4	8	16
Verzögerung_max (ms)	1 (Hinweis)	29556	0	0	0	0	0	0
	2	29556	25718	20928	7616	0	0	0
	4	29556	27612	25718	21092	7616	0	0
	8	29556	28394	27217	24703	19092	8112	0
	16	29556	28394	27217	24703	19092	10844	4024
	32	29556	28394	27217	24703	19092	10844	5393
	63	29556	28394	27217	24703	19092	10844	5393
Hinweis: In Empfehlung G.997.1 der ITU-T bedeutet eine Verzögerung von 1 ms, dass streichen $S_p \leq 1$ und $D_p = 1$.								

2.3.9.2 G.INP

Schutz vor Impulsrauschen mittels Retransmission auf der physikalischen Schicht laut ITU-T G.998.4 bzw. G.INP bezieht sich auf die Übertragung verlorener DSL-Frames oder von DSL-Frames außerhalb der Reihenfolge in der physikalischen Schicht. Bei der ursprünglichen Übertragung von DSL-Frames werden die ursprünglichen Frames in einen Retransmissionspuffer kopiert. Erfasst die Empfängerseite verlorene DSL-Frames oder solche, die aus der Reihenfolge geraten sind, wird an die Senderseite eine Anfrage gesendet, das verlorene DSL-Frame erneut zu senden.

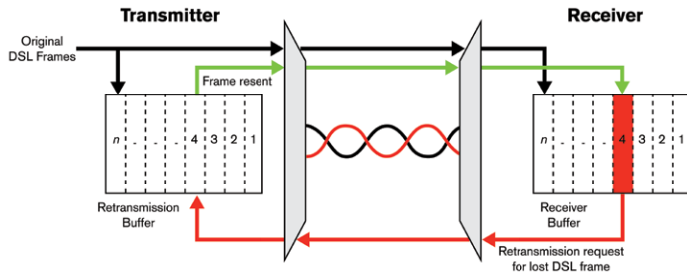


Abbildung 19. Mindest-INP-Größe für den Schutz des DSL-Frames vor Störungen

Beachten Sie, dass bei ADSL2 (G.992.3) und ADSL2+ (G.992.5) G.INP nur in der Downstream-Richtung (vom DSLAM zum CPE-Modem) verfügbar ist. Bei VDSL2 (G.993.2) ist G.INP bidirektional.

2.3.9.3 REIN

REIN wird laut G.998.4 als eine Art elektrischen Rauschens definiert, welches in digitalen Teilnehmerleitungen auftritt. Es äußert sich als ein fortlaufender und regelmäßiger Strom kurzen Impulsrauschens. Einzelne REIN-Impulse dauern in der Regel weniger als 1 Millisekunde. REIN tritt normalerweise in Verbindung mit elektrischen Geräten auf, die über das Wechselstromnetz gespeist werden, und haben eine Wiederholungsrate, die die Wechselstromfrequenz um das Zweifache übersteigt (100 oder 120 Hz).

2.3.9.4 SHINE

SHINE wird laut G.998.4 als eine Art elektrischen Rauschens definiert, welches in digitalen Teilnehmerleitungen auftritt. SHINE tritt in der Regel als regelmäßiger Strom an Impulsen mit tatsächlich wahllosen Zwischenankunftszeiten und einer Impulslänge auf, die beide umgekehrt proportional zur Stromstärke auftreten. Generell wird der Begriff SHINE mit großen Impulsen mit einer Dauer assoziiert, die von Millisekunden bis Sekunden reichen kann.

2.3.9.5 PEIN

PEIN wird als nichtrepetitives Impulsrauschen mit einer Dauer zwischen 1 Millisekunden und 10 Millisekunden definiert.

2.3.10 Bonding

Bonding ist eine Methode laut ITU-T G.998.1 (ATM-basierte bonding) und G.998.2 (Ethernet-basierte bonding), bei der mindestens zwei Kupferdoppeladern verwendet werden, um die dem Verbraucher zur Verfügung stehende ADSL2+- oder VDSL2-Datengeschwindigkeit zu erhöhen und/oder die Entfernung, die von diesen Technologien insgesamt abgedeckt wird, zu vergrößern.

Mittels Bonding kann ein Betreiber innerhalb des DSLAM einen Satz verfügbarer Doppeladern, eine „Gruppe“ (welche Doppeladern verwendet werden sollen) und die „Gruppengeschwindigkeit“ (welche Geschwindigkeit) bestimmen. Das gebündelte DSL-System greift auf jede Kupferdoppelader einzeln zu, um zu sehen, was sie handhaben kann. Unklar was wirklich gemeint ist. Vielleicht so: So kann das System festlegen, was jede einzelne Doppelader zur gebündelten Gruppe beiträgt. Idealerweise übernimmt jede Doppelader 50 % der Last. In den Bondingsstandards laut ITU-T wird jedoch berücksichtigt, dass nicht jede Doppelader genau gleich verwendet werden kann wird; daher kann das Bündelungssystem ein Verhältnis von 4:1 in Bezug auf die Datengeschwindigkeit der einzelnen Doppeladern erlauben.

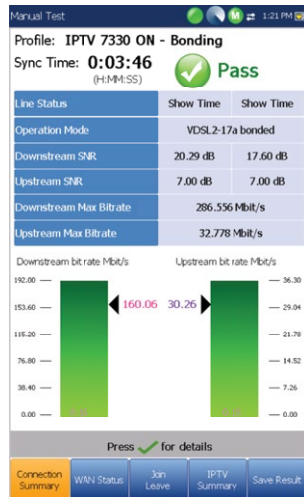


Abbildung 20. Beispiel für einen manuellen Bonding-Test

Was Geschwindigkeit vs. Reichweite angeht, so zeigt die nachstehende Grafik, wie ADSL2+ und VDSL2-Technologien aussehen, wenn sie als Einzeldoppeladertechnologie bzw. in ihrer gebündelten Form betrieben werden.

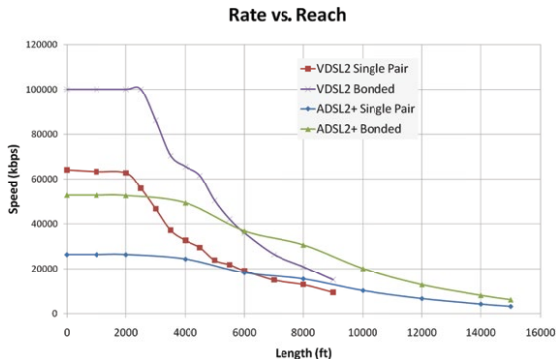


Abbildung 22. Unterschied zwischen ADSL2+ und VDSL2 beim Betrieb als einfache Doppeladertechnologie

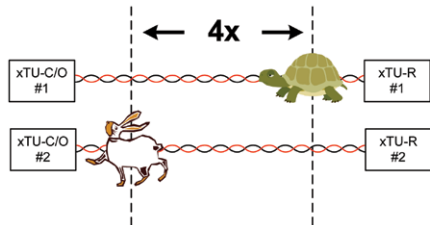


Abbildung 21. Darstellung eines Datengeschwindigkeits-Bondingsystems mit einem Verhältnis von 4:1

2.3.11 Vectoring

Vectoring wird laut ITU-T G.993.5 als Self-FEXT-Unterdrückung (Vectoring) für den Einsatz mit VDSL2-Transceivern beschrieben. Der Zweck des Vectoring liegt darin, VDSL2-Fernnebensprechen (FEXT) beinahe in Echtzeit zu überwachen und abzuschwächen, um eine hohe Datengeschwindigkeit auf der Teilnehmerleitung zu gewährleisten. Indem das Nebensprechen abgeschwächt wird, wird der Signal-/Rausch-Abstand der Teilnehmer-Doppelader verbessert, und die potenzielle Datengeschwindigkeit kann auf dieser insgesamt erheblich erhöht werden.

Vectoring wird nur bei VDSL2 angewendet. Obgleich FEXT auch bei ADSL2+-Leitungen durchgeführt wird, ist die Leitung bei ADSL2+ normalerweise länger als bei VDSL2. Daher wird das FEXT bei ADSL2+-Leitungen erheblich gedämpft, wenn es am anderen Ende ankommt, und hat somit kaum oder gar keine Wirkung für den Teilnehmer.

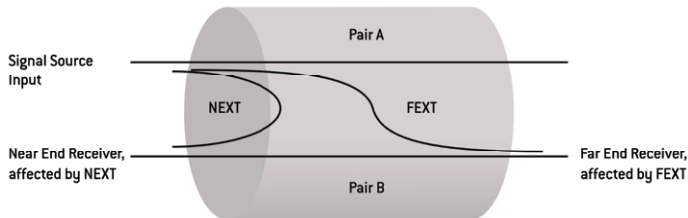


Abbildung 23. Darstellung von Nebensprechen

Beim Vectoring wird das FEXT aller anderen vektorisierten Leitungen gemessen und ein komplexes Signal in Richtung der Teilnehmerdoppelader erzeugt, das die ursprünglichen und inversen Signale kodiert, damit der entfernte Empfänger das FEXT-Rauschen unterdrücken kann. Kopfhörer mit Störgeräuschnunterdrückung funktionieren auf dieselbe Weise. .

Eines der Hauptprobleme beim DSL-Vectoring ist, dass die versprochene Bandbreite nur dann bereitgestellt werden kann, wenn alle Leitungen in einem bestimmten Kabelbündel gemeinsam vektorisiert werden. Ist dies der Fall, wird das verbleibende Rauschen (z. B. Hochfrequenzstörungen (RFI), Impulsrauschen von elektrischen Geräten zu Hause, Fremdnbensprechen) zur primären Einschränkung. Mithilfe anderer Techniken, wie z. B. Bitswapping, INP und G.INP, können manche dieser Probleme gemindert werden.

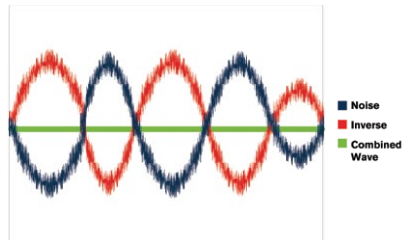


Abbildung 24. Darstellung der Rauschunterdrückung

2.3.12 G.Fast

Abgesehen von Vectoring und Bonding ist G.Fast eine neu aufkommende Technologie, die gemäß ITU-T-Standards G.9700 und G.9701 definiert wird und mit der Teilnehmern auf Kupferkabelbasis gesamthafte Geschwindigkeiten bis zu 1 Gbit/s bereitgestellt werden können. G.Fast erreicht diese Geschwindigkeit dank zweier Hauptfaktoren: Zum einen der zusätzlichen Bandbreite und zum anderen der kürzeren Leitungslänge.

VDSL2 kann mit bis zu 30 MHz Bandbreite betrieben werden, so dass Teilnehmer, die sich im Umkreis von 300 m vom DSLAM befinden, eine Gesamtgeschwindigkeit von bis zu 200 Mbit/s erhalten (100 Mbit/s im Upstream und 100 Mbit/s im Downstream). Mit G.Fast wird die verfügbare Bandbreite auf 106 MHz erhöht (ursprünglich waren bis 212MHz geplant), und in Kombination mit kürzeren Leitungen werden die Betreiber letztendlich bei 106 MHz Bitraten von 150 Mbit/s auf Leitungen von 250 m und bis zu 1 Gbit/s auf Leitungen von 100 m anbieten können.

G.Fast kann neben ADSL2+ und VDSL2 betrieben werden. Ähnlich wie ADSL2+ kann G.Fast mit Frequenzen für POTS oder sogar ISDN auf bereits für ADSL2+ und VDSL2 vorhandenen Kabelbündeln eingesetzt werden und bietet das volle Spektrum von entweder ADSL2+ (2,2 MHz) oder VDSL2 (30 MHz).

Ferner ändert G.Fast unser Verständnis von Upstream- und Downstream-Bändern, wie sie derzeit von ADSL2+ und VDSL2 genutzt werden. G.Fast setzt weiterhin auf die DMT-Kodierung und nutzt Zeitduplex (TDD) statt FDD. Während FDD unidirektionale Bänder (das Frequenzband und die DMT-Töne sind stets entweder Upstream oder Downstream gerichtet; beides ist nicht möglich) ermöglicht, können die Töne mit TDD entweder in den Upstream oder Downstream gerichtet werden, je nachdem, wie es vom System erfordert wird. Wenn zum Beispiel kein Grund für die Unterstützung einer Upstream-Bitrate vorhanden ist, können mit TDD alle Töne verwendet werden, um eine höhere Downstream-Bitrate zu erreichen (und umgekehrt).

3. Probleme bei der DSL-Bereitstellung

Trotz aller positiven Attribute hat DSL – wie die meisten Technologien – seine Fehler. Um DSL zum Beispiel nutzen zu können, müssen sich die Endbenutzer in einer bestimmten Entfernung zum DSLAM in der Verteilerstelle oder dem Anschlusspunkt befinden; andernfalls wird die Signalverschlechterung (Dämpfung) unter Umständen so groß, dass DSL entweder nicht eingesetzt werden kann, die erreichbare Bitrate für den Verbraucher nicht interessant ist oder ein kostspieliger Signalverstärker eingesetzt werden muss.

Die DSL-Performance hängt von folgenden Faktoren ab:

- › Der Entfernung zwischen dem Verbraucher und dem DSLAM in der Verteiler-/Vermittlungsstelle oder dem Anschlusspunkt des örtlichen Telefonanbieters
- › Der Art und Marke der DSL-Geräte an beiden Enden der Leitung
- › Der Leistung des digitalen Backbones, der verfügbar ist, um jeden DSLAM zu unterstützen
- › Der Anzahl der Benutzer, die dem verfügbaren digitalen Backbone hinzugefügt werden
- › Dem Verhalten der bedienten Gemeinde (d. h. wie oft der Dienst genutzt wird, wie hoch der Datenverbrauch ist, der Art der angebotenen Dienste)
- › Der Qualität der TAL zwischen dem Verbraucher und der Verteilerstelle des Diensteanbieters
- › Die Nähe und Stärke der Rauschquellen für die DSL-Geräte und die TAL

- › Dem Zustand der Verkabelung des Kunden
- › Zustand und Leistung des PCs und/oder Routers des Benutzers
- › Dem Zustand des öffentlichen Stromnetzes und der Erdung

Angesichts der zunehmenden Beliebtheit von bandbreitenintensiven Anwendungen – insbesondere sozialen Medien und Mehrbildschirm-Anwendungen – ist die Bereitstellung einer stabilen und hohe Geschwindigkeiten ermöglichenden Breitbandverbindung wesentlich für den Erfolg. Stabilität und maximale Bitraten können durch ein erhöhtes Dienstniveau und Prüfung der TALs gewährleistet werden. Die Bereitstellung eines hochwertigen DSL-Dienstes mit hervorragender Datengeschwindigkeit hängt größtenteils von Qualität und Aufbau der TAL ab. Die meisten Anbieter bieten inzwischen eine Vorprüfung der Kupferleitungen an (oder möchten dies in Zukunft tun), um zu bestimmen, ob die Teilnehmeranschlussleitung in der Lage ist, die verschiedenen DSL-Technologien zu tragen. Die Erstellung eines angemessenen Installations- und Wartungsplans wird für die Wettbewerbsfähigkeit eines Dienstansbieters zunehmend unerlässlich. Je mehr über die TAL bekannt ist, desto größer die Effizienz der Reparaturteams und desto niedriger das Risiko, den Kunden mit Verzögerungen bei der Installation, Betriebsausfällen oder unzureichender Leistung des Dienstes zu enttäuschen. Die folgenden Kapitel befassen sich mit den empfohlenen Prüfelementen bei der Bereitstellung von DSL durch Überprüfung der TAL und DSL-Leistungstests.

3.1 Bestimmen der Art des Problems

Bevor Maßnahmen zur Fehlerbehebung angewendet werden, ist es sehr hilfreich zu wissen, warum die Leitung überhaupt als fehlerhaft gekennzeichnet wurde. Vollständige Unterbrechungen in einem oder

zwei der Leiter können recht leicht erkannt werden. Ohne Leitfähigkeit funktioniert kein Dienst. Mit einem einfachen TDR-Test kann die defekte Stelle identifiziert und von Servicetechnikern oder Reparaturteams repariert werden. Eine Fehlerbehebung der TAL bei DSL-Geschwindigkeiten unter der einem Teilnehmer versprochenen Geschwindigkeit kann sich wesentlich schwieriger gestalten. Der Dienst kann von mehreren Faktoren beeinflusst werden, und die Leitung könnte schlicht und einfach zu lang sein, um den Dienst zu ermöglichen. In anderen Worten: Manche Leitungen lassen sich vielleicht nicht reparieren, und der Kunde wird sich mit einem eingeschränkten oder gar keinem Dienst zufrieden geben müssen.

Techniker sollten Beschwerden in drei Kategorien einteilen:

- › Keine Signale passieren die TAL
- › Die Leistung des Dienstes liegt unter den zulässigen Werten
- › Der Dienst funktioniert, es kommt jedoch hin und wieder zu Ausfällen

Als nächstes müssen so viele Informationen wie möglich zu den angebotenen Diensten erfasst werden. Hier ist eine Liste mit nützlichen zu beantwortenden Fragen:

- › Sollte diese Leitung mit einem POTS verbunden sein?
- › Sollte über diese Leitung ein Breitbanddienst wie ADSL, ADSL2+, SHDSL, VDSL, usw. bereitgestellt werden?
- › Wird der Dienst auf dieser Leitung vom zuständigen Betreiber des Ortsnetzes (ILEC; Incumbent Local Exchange Carrier) oder einem konkurrierenden Ortsnetzbetreiber (CLEC; Competitive Local Exchange Carrier) angeboten?

- › Sollte es sich hierbei um eine passive Doppelader (ohne Batterie) handeln?
- › Sollte die Doppelader eine Frittspannung führen?
- › Trägt diese Doppelader ein Heim- oder geschäftliches Sicherheitsalarmsignal?
- › Handelt es sich um einen zweiadrigen Dienst wie POTS, Basis-ISDN, SDSL, HDSL2, HDSL4, ADSL oder SHDSL oder um einen vieradrigen Dienst wie T1, E1, primäres ISDN, DDS, HDSL oder EFM?

Außerdem müssen so viele Informationen wie nur irgend möglich zum Aufbau der TAL gesammelt werden. Manche dieser Faktoren gelten systemweit:

- › Wie lang ist die Leitung gemäß Installationsprotokoll?
- › Wie lang sind die einzelnen Abschnitte der Leitung, und welche Kabelgröße (Gauge) wurde verwendet (gemäß Installationsprotokoll)?
- › Welche Art von Kabel wurde verwendet (PIC, PULP usw.)?
- › Welche Abschnitte verlaufen unter der Erde? Welche Abschnitte sind Freileitungen?
- › Wie viele Doppeladern befinden sich im F1-Verteilerbündel? Im lokalen F2-Verteilerbündel? In den Endabschnitten (auf Verbraucherseite)?
- › Wird die Leitung durch ein Netzwerkschnittstellengerät (NID) zum Verbraucher geführt?
- › Verläuft die Leitung durch POTS-Splitter, ehe Sie die Verteilerstelle verlässt?

- › Umfasst die Installation des Verbrauchers einen einzigen POTS-Splitter oder Mikrofilter?
- › Welche Art von Schutzeinrichtungen (Heizspulen) werden in der Verteilerstelle eingesetzt?
- › Welche Art von Schutzeinrichtungen werden beim Verbraucher eingesetzt?
- › Wie alt ist die Leitung in diesem Gebiet?
- › Durch welche Schalt- oder Verteilerkästen und Trägersäulen verläuft die Leitung?
- › Gibt es Druckluftkabel in den Bündeln?
- › Wird die Leitung anhand einer Teilnehmeranschlussleitung (TAL)-Technologie bereitgestellt?
- › Befinden sich irgendwelche Verstärker oder Reichweitenverlängerer in der Leitung?
- › Werden Pupinspulen oder Kompensationskondensatoren verwendet?
- › Sind Abzweigstücke, Mehrfachstücke, Mehrfachendstücke oder sonstige Abzweigungen geplant?
- › Wie ist der allgemeine Zustand der Teilnehmeranschlussanlage?

Es ist auch sehr nützlich, sich die folgenden Faktoren zu notieren:

- › Ist der Boden nass oder sehr trocken?
- › Hat es in den vergangenen Stunden oder Tagen geregnet?
- › Ist es sehr heiß oder kalt?
- › Ist die Luftfeuchtigkeit in dem Gebiet sehr hoch?

- › Gab es vor Kurzem seismische Aktivität?
- › Gab es in dem Gebiet vor Kurzem einen Wald- oder Wiesenbrand?
- › Gab es starken Wind oder ein Gewitter?
- › Gab es vor Kurzem irgendwelche Erdbeben?
- › Werden in dem Gebiet irgendwelche Bauarbeiten durchgeführt, die auch Erdaushübe umfassen (u. a. auch für Pfosten für Zäune usw.)?
- › Gab es Frosthieb (üblich in kalten Gegenden im Frühjahr)?
- › Sind irgendwelche Trägermaste, Schalt- oder Verteilerkästen beschädigt worden (Zusammenstöße mit Kraftfahrzeugen, Schneepflügen, Traktoren, Baumaschinen, Vandalismus usw.)?
- › Befinden sich irgendwelche AM-Radiotürme in der Nähe?
- › Gibt es irgendwelche Fabriken in der Nähe, die elektrische Störwellen erzeugen (Lichtbogen-Schweißer, Lasergravuren, Galvanotechnik, Schaltanlagen von Elektrizitätsunternehmen, schwere Industriemotoren, elektrische Züge usw.)?

3.2 Durchführen einer Sichtprüfung

Zunächst sollte logischerweise im Vorbeifahren eine Sichtprüfung der Leitung durchgeführt werden. Ein Bagger, der direkt in einem Bereich mit Erdleitungsbündeln eingesetzt wird, gibt selbstverständlich Grund zur Sorge. Abgesehen davon ist es jedoch natürlich nicht sehr zeiteffizient, jeden einzelnen Schaltkasten zu öffnen und zu inspizieren. Das Öffnen überfüllter Schaltschränke kann vielmehr zu Überlastung und Bruch zusätzlicher Doppeladern führen und so die Fehlerbehebung erschweren.

3.3 Wahl einer Testposition

Der nächste logische Schritt ist die Identifikation der Art des Fehlers. Wenn im Trouble-Ticket steht, dass der Dienst plötzlich ausgefallen ist und noch immer nicht funktioniert, sollte zunächst auf einen Kurzschluss oder offenen Stromkreis überprüft werden. Verfügt der Kunde über den Dienst, beschwert sich jedoch über Rauschen in der Leitung oder eine zu niedrige DSL-Geschwindigkeit, sollte ein Ausgleich des Schaltkreises und das Verfahren zur Rauschunterdrückung durchgeführt werden. Ist der Schaltkreis generell in Ordnung, treten jedoch zwischendurch immer wieder Probleme auf, müssen Impulsrauschen, intermittierende Ereignisse (wie z. B. kurzfristige Unterbrechungen, wenn eine Freileitung vom Wind bewegt wird) und Spleiße überprüft werden. In jedem Fall muss der Wartungstechniker entscheiden, wo er beginnt. Diese Wahl hängt oft von der Betriebsrichtlinie des Diensteanbieters ab. Manche Telekom-Unternehmen beginnen bevorzugt an der Verteilerstelle und arbeiten sich zum Teilnehmer hin nach außen, da sich das Personal oft in oder in der Nähe der Verteilerstelle befindet. Prüft man zuerst hier, kann das Problem oft sofort behoben werden, und ein Ferneseinsatz von Geräten ist nicht nötig. Andere Telefonunternehmen beginnen lieber beim Teilnehmer. Der Besuch eines Technikers beschwichtigt den Teilnehmer oft, sorgt für ein angenehmes Kundenerlebnis und ermöglicht dem Techniker, so viele Informationen beim Kunden einzuholen, wie nur möglich. Die Tests können auf beiden Seiten durchgeführt werden – jede Seite des Testes oder ist jeder Ansatz gemeint? hat jedoch ihre Vor- und Nachteile.

3.4 Messen des Dienstes

Viele Diensteanbieter haben den Fehler begangen, neue Dienste einzuführen, ohne zunächst ihre Fehlerbehebungsmaßnahmen zu aktualisieren. Das Messen der Leitungsdämpfung bei 1 kHz ist zwar nützlich, aber nicht sehr aufschlussreich, wenn es um DSL geht. Darüber hinaus macht es wahrscheinlich

Sinn, eine TAL auf einen für DSL geeigneten Qualitätszustand zu bringen, selbst wenn das Trouble-Ticket nur auf ein Problem mit der Sprachfrequenz hinweist. Bei einem Schaltkreis mit Sprachfrequenzproblemen treten aller Wahrscheinlichkeit nach auch DSL-Probleme auf. Der logische Umkehrschluß trifft jedoch nicht automatisch zu, und Schaltkreise mit DSL-Problemen verursachen unter Umständen keinerlei erkennbare Probleme, die den POTS Dienst beeinträchtigen. Es ist nicht gerade effizient, ein Reparaturteam auszusenden, um ein POTS-Problem zu beheben, und ein paar Monate später dann ein weiteres, wenn ein DSL-Dienst installiert wird.

3.5 Vermeiden von Kabelbrüchen

Ohne angemessene Testgeräte oder entsprechende Ausbildung trennen viele Techniker heute die TAL an den Schaltkästen und Trägermasten, um einen Kabelfehler zu isolieren. Ein einziges Trouble-Ticket kann so zu drei oder vier Kabelbrüchen und Neu-Spleißen führen. Dies erhöht nicht nur den Zeitaufwand und die Kosten für neue Spleiße, sondern anschließend sind in der Leitung zusätzliche Spleiße vorhanden, die rosten oder irgendwann in der Zukunft kaputtgehen können. Mit der korrekten Anwendung eines TDR fährt man bei der Lokalisierung von Kabelfehlern wesentlich besser, da die Leitung dabei nicht gekappt werden muss.

3.6 Prüfen der Dienstgüte

Sucht der Servicetechniker zuerst beim Anschluss des Kunden nach dem Fehler, sollte der erste Test darauf abzielen, zu bestimmen, ob das Problem auf die TAL zurückzuführen ist und dort behoben werden kann, oder auf die Anlage des Verbrauchers selbst. Normalerweise öffnet der Techniker die Brücken im Netzwerkschnittstellengerät, um die Geräte des Kunden zu entfernen und die Verkabelung von der TAL zu trennen.

Als nächstes sollte der Techniker eine Prüfung des Dienstes in Richtung Verteilerstelle durchführen. Im Falle der POTS-Leitung sollte der Techniker sein Lineman-Prüfgerät (tragbares Prüftelefon, welches vom Personal des Telefonunternehmens verwendet wird) anschließen, um zu sehen, ob ein Wählton vorhanden ist, ob ein Anruf getätigt und angenommen werden kann und wie es um die Qualität der Leitung steht. Wenn die einzige Beschwerde des Kunden ein Ausfall des POTS-Dienstes ist und alles andere an diesem Punkt in Ordnung zu sein scheint, liegt das Problem höchstwahrscheinlich am Gerät des Kunden oder dessen Innenverkabelung. In diesem Fall sollte der Techniker Arbeiten auf dem Gelände des Kunden veranlassen. Häufig handelt es sich hierbei um einen Dienst, der auf Stundenbasis abgerechnet wird.

Im Fall von ADSL2+ und VDSL2 schließt der Techniker ein bestimmtes Prüfgerät an der Leitung an und stellt wieder eine Verbindung mit der Einrichtung des Telefonunternehmens her. Sobald ein Handshake mit dem DSLAM durchgeführt wurde, werden die Datengeschwindigkeit und einige weitere wichtige Parameter dieser Verbindung protokolliert. Ist der Handshake erfolgreich und die erwartete Datengeschwindigkeit vorhanden, sollte der Techniker wiederum eine Prüfung auf dem Gelände des Kunden anberaumen.

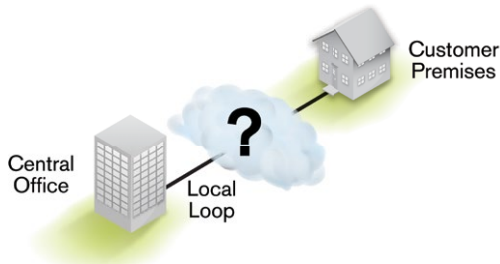


Abbildung 25. Ein Test der TAL beantwortet viele Fragen

4. Aufbau und Prüfung der Kupferleitung

Manche Dienstleister gehen nach dem Rateprinzip vor, um zu bestimmen, welche Teilnehmer in einem bestimmten Gebiet für eine bestimmte DSL-Version in Frage kommen. Andere wiederum konzentrieren ihre Tests ausschließlich auf die Sprachbandanalyse. Obgleich die Sprachbandanalyse immer noch wesentlich besser ist als das Rateprinzip, muss der Dienstleister den Umfang seiner gegenwärtigen Methoden und Verfahren erweitern, um die Eignung einer Leitung für DSL wirklich beurteilen zu können. Indem er die Frequenzbandbreite bei Vorqualifikationstests erweitert, kann sich der Betreiber ein viel besseres Bild davon machen, ob die geprüfte Leitung den mit DSL verbundenen hohen Frequenzen standhalten kann. Indem das Verfahren um Breitbandtests erweitert wird, lässt sich eine große Anzahl falscher positiver Ergebnisse bei der DSL-Installation vermeiden.

4.1 Grundlegende elektrische Charakterisierung

Digitalmultimeter (DMM)-Messungen können sehr viel über eine TAL und die von ihr beförderten Signale aussagen. Obwohl Parameter wie Gleich- und Wechselspannung mit einem einfachen DMM bestimmt werden können, wird ein fortschrittlicheres Prüfgerät empfohlen, d. h. eines, das speziell auf Telefonanwendungen ausgelegt ist und daher automatisch alle Konfigurationen zwischen Spitze, Ring und Erdung (Masse) prüft. Diese Prüfgeräte messen darüber hinaus Leitungskapazität, Leitungsstrom und, falls erforderlich, den Leitungswiderstand. Anhand dieser Messungen werden der kapazitive Ausgleich und die äquivalente kapazitive Länge der Leitung bestimmt.

4.1.1 Gleichspannung

Die Gleichspannung ist das Herzstück der Telefonanlage, sofern ein analoger Telefondienst eingesetzt wird. In der Verteilerstelle befindet sich eine Akkuanordnung, die eine konstante Spannung von ca. 48 VDC liefert. Aufgrund des Aufbaus der TAL bezüglich der Akkuverbindung mit Spitze (T), Ring (R) und Erdung (G) werden 48 VDC angezeigt, wenn zwischen T–R und R–G gemessen wird, zwischen T–G sind jedoch 0 VDC üblich. Wird eine stromführende Leitung geprüft, sollten Sie 48 VDC (T–R) messen; wenn der Akku jedoch von der Prüflleitung getrennt wurde, sollte die Spannung bei 0 VDC (T–R) liegen. Wird bei getrenntem Akku eine Spannung gemessen, ist möglicherweise eine Akkuüberkreuzung vorhanden, bei der Wasser in das Kabelbündel gelangt ist und die Spannung einer anderen Doppelader nun bei der Prüflleitung auftritt.

Um die Quelle der Akkuüberkreuzung zu bestimmen, muss eine Widerstandsfehlerortung (RFL) durchgeführt werden.

4.1.2 Wechselspannung

Wechselspannung sollte nur auf der Prüflleitung auftreten, wenn ein Rufzeichen seitens des Teilnehmers getätigt wurde (eingehender Anruf). Die Rufspannung rangiert zwischen 70 VAC und 110 VAC. Normalerweise sollte auf einer Telefondoppelader keine Wechselspannung festzustellen sein. Liegen zwischen T–R mehr als 5 VAC auf einer Leitung, und befindet sich diese nicht im Rufmodus, kann dies auf Erdungs- und/oder Bündelungsprobleme entweder in Verbindung mit der Telefonanlage oder sogar der Anlage des Stromversorgungsunternehmens hinweisen. In seltenen Situationen kann es sein, dass sich eine Doppelader mit einer Leitung des Stromversorgungsunternehmens kreuzt.

4.2 Länge oder Entfernung

Die Entfernung ist bei der Bereitstellung der DSL-Dienste ein wichtiger Faktor; je länger die Leitung, desto größer die Dämpfung und desto größer das externe Rauschen, das von verschiedenen Quellen auf die Leitung gelangen könnte. Dies bedeutet auch für den Teilnehmer, dass die Wahrscheinlichkeit die gewünschte DSL-Geschwindigkeit zu erhalten geringer wird, je länger die Leitung ist.

Das Rateprinzip ist eine nur teilweise erfolgreiche Methode zur Aussonderung von Teilnehmern mit langer Leitung, da Telefonkabel nicht in geraden Strecken verlaufen. Die Kabel folgen Straßen, Tunneln, Kabelstrecken und Flüssen. Wenn ein Telefonunternehmen über detaillierte Kabelverlegungsprotokolle verfügt, können diese verwendet werden. Leider sind diese Protokolle in den meisten Fällen nicht auf dem neuesten Stand oder enthalten keine Daten für Reparaturen.

Eine übliche Methode zur Bestimmung der Leitungslänge ist das Messen des Widerstands eines Schaltkreises, um den Leitungswiderstand zu bestimmen. Dafür wird das entfernte Ende der Leitung kurzgeschlossen, damit eine entsprechende

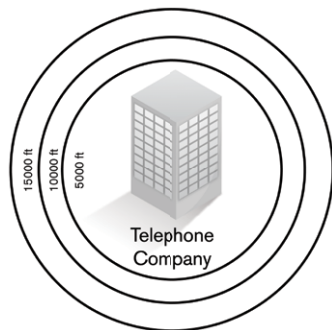


Abbildung 26. Die Bestimmung der Eignung für den DSL-Dienst nach dem Rateprinzip

Cable Gauge		Resistive Constant
	22 AWG 0.6 mm	174 ohm/mile 108 ohm/km
		276 ohm/mile 172 ohm/km
	24 AWG 0.5 mm	439 ohm/mile 273 ohm/km
	26 AWG 0.4 mm	

Abbildung 27. Kabelgröße vs. Widerstandskonstante

Widerstandsmessung durchgeführt werden kann. Sobald der Leitungswiderstand bestimmt wurde, kann die spezifische Widerstandskonstante für die Berechnung der Kabelstärke herangezogen werden, um die Länge des Kabels zu bestimmen. Je kleiner die Kabelgröße, desto höher die Widerstandskonstante, was wiederum bedeutet: desto kürzer die Entfernung zum Ende der Leitung (bei einem bestimmten Leitungswiderstandswert).

Je nach Aufbau der Anlage und je nachdem, wo der Techniker seinen Leitungswiderstandstest durchführt, sieht er sich möglicherweise unterschiedlichen Kabelgrößen gegenüber. In diesem Fall ist der Leitungswiderstand korrekt, aber die Berechnung der Leitungslänge wird inkorrekt sein. Es ist immer ratsam, das Netzwerk in Segmente aufzuteilen, um sicherzustellen, dass eine einzige Kabelgröße vorhanden ist und somit präzise Ergebnisse erzielt werden. Auch die Temperatur spielt eine Rolle beim Leitungswiderstand. Da die meisten Kabelspezifikationen mit 20 °C bzw. 68 °F angegeben werden, ist der Widerstand bei niedrigeren Temperaturen geringer und bei höheren Temperaturen höher. Die Berechnung der Leitungslänge ergibt wiederum eine kürzere Entfernung bei kaltem Wetter und eine längere Entfernung bei warmem Wetter.

Alternativ kann die Kapazität des Kabels herangezogen werden, um die ungefähre Länge zu bestimmen. In der Regel hat das Kabel eine Leitungskapazität von ungefähr 52 nF pro km (83 nF pro Meile). Dieser Wert ist bei den üblichen Kabelstärken der gleiche und hängt vom Herstellungsverfahren ab.

Cable Gauge		Capacitive Constant
	22 AWG 0.6 mm	83 nF/mile 52 nF/km
	24 AWG 0.5 mm	
	26 AWG 0.4 mm	

Abbildung 28. Kabelgröße vs. kapazitative Konstante

Die Leitungskapazität eignet sich für gemischte Kabelstärken. Leider bietet die Messung der Kapazität des Kabels nicht immer eine präzise Methode zur Bestimmung der Kabellänge, wenn Fehler vorhanden oder Telekommunikationsgeräte mit der Prüflleitung verbunden sind. Manchen TALs sind zusätzliche Kondensatoren zugeschaltet, um eine längere Impedanzanpassung auszugleichen. Teilnehmerseitige Geräte wie POTS-Splitter und Mikrofilter, welche eingesetzt werden, um DSL-Dienste zu ermöglichen, fügen eine erhebliche Kapazität hinzu. Die Kapazität des Kabels wird um die Kapazität der Abzweigungen (auch Abzweigstücke und Mehrfachendstücke genannt) ergänzt. Nach bewährtem Verfahren müssten die Telekommunikations- und Teilnehmergeräte entkoppelt werden; andernfalls müsste die durch Mikrofilter, POTS-Splitter, Telefone und Modems hinzukommende Kapazität ebenfalls berücksichtigt werden, was zu einer ungenauen Messung führen könnte. Eine zusätzliche Kapazität lässt die TAL viel länger erscheinen, als sie wirklich ist.

Ein ebenso wichtiger, präzisionsorientierterer Ansatz zur Bestimmung der korrekten Leitungslänge ist die Bestimmung der Fehlerorte mithilfe eines Rückstreumessgerätes (TDR). Ein TDR sendet einen Impuls von kurzer Dauer in ein

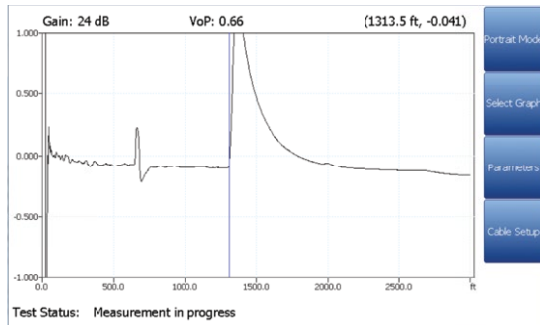


Abbildung 29. Beispiel des Testergebnisses einer Breitbanddämpfung gemäß Messung mit FTB-635 von EXFO

Leitungsende (normalerweise in der Dienststelle des Telefonunternehmens oder dem entfernten Schaltschrank). Dieser Impuls durchquert die gesamte Länge der Leitung und wird vom Ende mit dem offenen Regelkreis des Kabels reflektiert und zurück zum Prüfgerät in der Dienststelle oder im entfernten Schaltschrank geleitet. Wenn die Geschwindigkeit, mit der sich elektrische Signale in einer verdrehten Doppelader fortbewegen (propagieren) (in der Regel etwa 66 % der Lichtgeschwindigkeit), bekannt ist und die Übertragungsdauer in einer Richtung korrekt bestimmt wird, kann zum einen die Entfernung bis zum Ende des Kabels und zum anderen die Entfernung bis zu eventuellen Fehlern in der Leitung determiniert werden.

4.3 Dämpfung

Es ist wichtig zu wissen, dass der Gleichstromwiderstand einer Telefonleitung umso größer ist je länger die verdrehte Kupferdoppelader einer Telefonleitung wird. Wie bereits in Abschnitt 3.1 besprochen, steigt mit der Länge des Kabels auch die Kapazität. Wie jeder andere verdrehte Leiter (d. h. zwei verdrehte Einzeladern) auch, weist ein Telefonkabel einen bestimmten Induktivitätsbelag auf. Werden alle diese Faktoren (L , R , C) berücksichtigt, zeigt sich, dass eine verdrehte Doppelader eine komplexe Impedanz aufweist, die je nach Länge variiert.

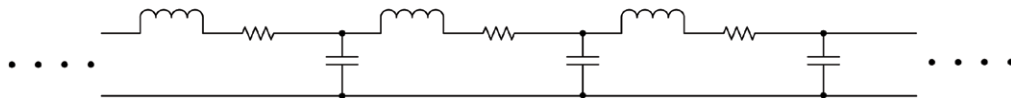


Abbildung 30. Darstellung einer je nach Länge schwankenden Impedanz

Verdrillte Doppeladern haben eine nicht lineare Dämpfung, d. h. höhere Frequenzen werden stärker gedämpft als niedrigere Frequenzen. Dieser Effekt verstärkt sich bei längeren Leitungen. Folglich haben kurze Kabel eine insgesamt geringere Dämpfung, und der Unterschied bei der Dämpfung zwischen niedrigen und hohen Frequenzen ist nicht so stark ausgeprägt. Insgesamt weisen längere Kabel im Vergleich zu kürzeren Kabeln eine stärkere Dämpfung auf. Darüber hinaus werden die höheren Frequenzen bei langen Kabeln im Vergleich zu niedrigeren Frequenzen stärker gedämpft.

Die Messung des Dämpfungs- oder Frequenzgangs einer TAL bedeutet u. a. das Einfügen eines Testtons eines bekannten Leistungspegels an einem Ende und das Messen der Leistung des Tons, nachdem er die Leitung passiert hat. Die Differenz des Leistungspegels zwischen dem übertragenen Testton und dem eingehenden Testton ist die Dämpfung bei dieser Frequenz. Indem eine Reihe verschiedener Frequenzen durchlaufen werden, kann der Frequenzgang des Schaltkreises bestimmt werden. Das Personal des Telefonunternehmens bezeichnet dies häufig auch als Einfügungsdämpfung, Dämpfung, Frequenzgangmessreihe, Pegelsuche oder Neigung.

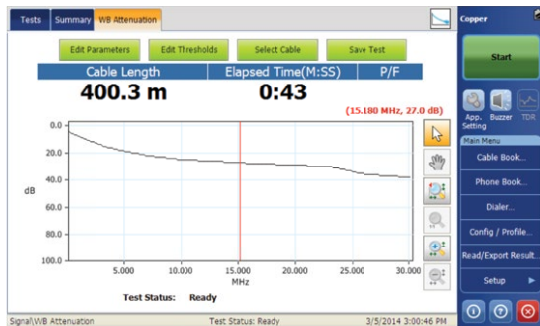


Abbildung 31. Beispiel des Testergebnisses einer Breitbanddämpfung gemäß Messung mit FTB-635 von EXFO

Ferner kann die Einfügungsdämpfung einer TAL von nur einem Ende der Leitung aus gemessen werden. Dafür muss ein offener Regelkreis oder Kurzschluss am anderen Ende der Leitung hergestellt werden. Prüfinstrumente verwenden Testtöne, die an einem Ende der Leitung eingefügt werden. Mithilfe fortgeschrittener Mathematik (schnelle Fourier-Transformation oder FFT) kann das Signal unter den erhaltenen Signalen unterdrückt werden. Sodann bleiben nur noch Signale übrig, die die gesamte Länge der Leitung passiert haben und vom offenen oder kurzgeschlossenen Ende des Kabels reflektiert wurden und die gesamte Länge der Leitung erneut passiert haben. Die einseitige Dämpfung ist eine Hälfte der gemessenen Gesamtdämpfung.

Anhand der Ergebnisse dieses Tests kann der Techniker bestimmen, ob verschiedene Dämpfungsstellen in der gewünschten Bandbreite möglicherweise zu groß sind, um DSL-Signale weiterleiten zu können. Um die gemessenen Informationen besser auswerten zu können, werden die Tests zum Frequenzgang am besten graphisch dargestellt. Idealerweise sollten die Ergebnisse zur Frequenzantwort für ein ausgewähltes Frequenzband als Pegel (dB) in Bezug zur Frequenz (kHz oder MHz) angegeben werden.

Mithilfe einer Grafik zum Frequenzgang kann ein Techniker darüber hinaus das Roll-Off von der Leitung betrachten und Einschnitte sehen, die durch Abzweigungen hervorgerufen werden, sowie Rufeffekte, die durch Pupinspulen entstehen.

4.3.1 Dämpfung bei einer bestimmten Frequenz

Eine einzige Frequenzmessung einer Dämpfung oder einer Einfügungsdämpfung reicht für das Prüfen von Leitungen auf ihre Fähigkeit, DMT-Signale einer ADSL2+- und VDSL2-Übertragung zu tragen, nicht aus. Eine einzige Abzweigung kann eine Reflexion verursachen, die den Testton auf der Testfrequenz effektiv aufhebt. Je nach Länge kann eine Abzweigung einige wenige (lange

Abzweigungen) oder eine erhebliche Anzahl (kurze Abzweigungen) an Frequenzen außer Gefecht setzen. So ist es möglich, dass bei einer bestimmten Testtonfrequenz eine erhebliche Dämpfung, und gleichzeitig ein guter Übertragungspfad für ADSL2+ und VDSL2 vorhanden ist (d. h. je nach gewünschter Datengeschwindigkeit).

$$f=v/4d$$

Formel für die Berechnung der durch eine Abzweigung beeinflussten Mittenfrequenz

$$f'=f(2n+1)$$

Formel für die Berechnung aufeinanderfolgender Nullstellen

Andernfalls verwenden Technologien wie ADSL/ADSL2+, HDSL, HDSL2, ISDN und SHDSL eine bestimmte Frequenz, die mithilfe eines einfachen Testtons geprüft werden kann. Wird bei diesen bestimmten Frequenzen ein Ton eingefügt, kann dies als grobe Methode zur Bestimmung der Eignung der Leitung herangezogen werden. So kann der Frequenzgang des tatsächlichen Systems in etwa bestimmt werden. Liegt die Dämpfung in der jeweiligen Frequenz außerhalb der vordefinierten Grenzwerte, kann der Techniker Leitungsprobleme isolieren, bevor versucht wird, die Hardware für die Übertragung zu installieren. In der nebenstehenden Tabelle werden einige der Frequenzen aufgeführt, die üblicherweise für die Prüfung verschiedener Technologien verwendet werden.

Tabelle 4. Von verschiedenen DSL-Diensten verwendete Frequenz

Technologie	Signaturfrequenz
ISDN	40 kHz
HDSL	196 kHz
HDSL2	392 kHz
ADSL2+	300 kHz
VDSL2	12 MHz

4.4 Rauschen und Nebensprechen

Rauschen ist ein unerwünschtes Signal, das das gewünschte Signal auf dem Weg durch den Übertragungspfad behindern kann. Die Folge kann ein korruptes Signal sein, das vom Empfänger falsch ausgewertet wird. Dies führt zu Fehlern im digitalen Bitstrom. Ist das Rauschen störend genug, ist eine Kommunikation mit dem Endgerät unter Umständen gar nicht erst möglich, während die Datenübertragungsgeschwindigkeit bei geringfügigem Rauschpegel verlangsamt werden kann.

Das bei TALs auftretende Rauschen kann vielerlei Ursachen haben: Lichtregler, Radiosignale (RFI), Neonleuchten, elektrische Züge und anliegende Stromleitungen, um nur einige zu nennen. Ein typisches Rauschen, das bei DSL-Systemen auftritt, wird durch die elektromagnetische Kopplung von Signalen von einer TAL mit einer anderen in ein und demselben Kabelbündel verursacht – dieser Effekt wird als Nebensprechen bezeichnet. Einer der Gründe, warum Telefonkabel verdreht sind, ist, um Nebensprechen zu mindern. Eine weitere übliche Art von Rauschen ist Impulsrauschen.

4.4.1 Nebensprechen

Im Gegensatz zu herkömmlichen gemieteten Leitungen und langen Telefonleitungen, bei denen Verstärker eingesetzt werden, muss das Rauschen bei Vorhandensein eines aktiven Tons auf der DSL-TAL nicht gemessen werden. Ein durchgehendes Kupferkabel ist nicht anfällig für inhärente nicht lineare oder harmonische Störeffekte, wie es bei Leitungen mit Verstärkern der Fall ist. Rauschen wird am besten durch ruhige und terminierte Rauschmessung gemessen. Auch hier ist es wünschenswert, dass der Techniker eine Spektralanzeige (Spektralanalyse) des gemessenen Rauschens erhält. Da ADSL, ADSL2+ und VDSL2 viele Carrier verwenden (bis zu 4096 Unterkanäle

dank DMT-Leitungskodierung), ist eine DSL-Übertragung nach wie vor möglich, solange die Gesamtrauschleistung auf das Frequenzschmalband konzentriert ist. Aus diesem Grund ist eine numerische Messung der Gesamtrauschleistung in der Übertragungsbandbreite völlig bedeutungslos. Nur eine Messung, die die Verteilung des Rauschens in der Bandbreite eines jeden Carriers anzeigt, ist von Bedeutung. In der Branche hat sich der Begriff „spektrale Leistungsdichte“ (PSD) etabliert, um die graphische Anzeige der Rauschleistung bei verschiedenen Frequenzen anzugeben.

Leises Rauschen, Störrauschen, Signal-/Rausch-Abstand oder Leerkanalgeräusch, wie es oft genannt wird, kann mittels Messung ohne ein auf die Leitung geprägtes Testsignal bestimmt werden. Jedwede auf dem Kabel festgestellten Hintergrundsignale werden daher gemessen und als Rauschen und/oder Nebensprechen betrachtet.

Es sollte beachtet werden, dass die für DSL verwendeten Signale in Hinsicht auf den Empfangspegel sehr niedrig sein können, insbesondere die Carrier in den höheren Frequenzen, wo die Dämpfung in der TAL am höchsten ist. Aus diesem Grund sind die für das Testen von Sprachleitungen festgelegten Bestanden/Nicht bestanden-Schwellenwerte für DSL nicht gültig. Gleichermäßen muss darauf geachtet werden, dass die Prüfgeräte, die für die Beurteilung der TAL verwendet werden, möglichst niedrige Rauschpegelwerte messen können. Normalerweise sollte das Prüfgerät bis mindestens -140 dBm/Hz messen können, was im Groben -100 dBm entspricht.

Die Effekte von Nebensprechen können nur in „aktiven“ Bündeln bestimmt werden, die bereits mehrere DSL-Dienste befördern. Stellen wir uns zum Beispiel eine F2-Anlage mit 25 Doppeladern vor. Wird auf diesem Bündel kein DSL- oder sonstiger Hochgeschwindigkeitsdienst verwendet, sind keine nützlichen

Nebensprechdaten für die Messung vorhanden. Sobald die erste DSL-Leitung bereitgestellt ist, steigt das Nebensprechen im jeweiligen Band (zum Beispiel 2,2 MHz für ADSL2+) dramatisch an. Jeder weitere hinzukommende DSL-Dienst erhöht den Pegel des Nebensprechens. Was dabei eine unbenutzte Doppelader betrifft, so ist jeder im Bündel hinzukommende Dienst eine potenzielle Störquelle für die Signale, die der unbenutzten Ader hinzugefügt werden. Die maximale Anzahl an Störquellen bei 25 Doppeladern ist daher 24. Viele Betreiber haben aus Erfahrung gelernt, dass das erste DSL bei langen Leitungen generell sehr gut funktioniert, bis der zweite Dienst dazukommt usw.

4.4.2 Impulsrauschen

Spannungs- oder Rauschsprünge können die Fähigkeit eines Modems, zwischen Kodierpegeln und -zuständen zu unterscheiden, beeinträchtigen. Treten diese Impulse häufig genug auf, können sie Bandbreite vom Übertragungsweg abziehen. Selbst ein erfasstes Rauschspektrum auf der DSL-Bandbreite kann außer Acht lassen, dass Impulse häufig genug auftreten, um Probleme zu verursachen.

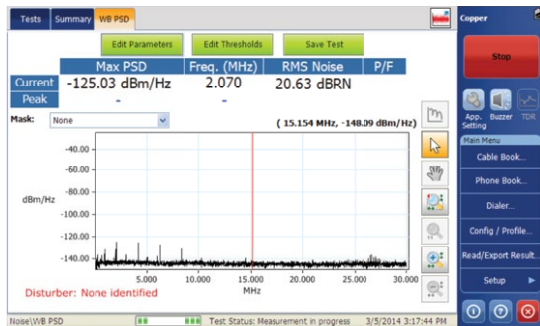


Abbildung 32. Eine Spektraldichtemessung des Rauschens auf einer TAL, gemessen mit der FTB-635 von EXFO

Impulse können sehr komplex sein und mehrere Frequenzen auf einmal stören. Daher können die üblichen Signalkodierungen für DSL-Signale (DMT, CAP, 2B1Q und TC-PAM) gleichermaßen betroffen sein. Aus diesem Grund ist eine Messung des Impulsrauschens unerlässlich.

Impulsrauschen ist ebenfalls eine Messung, die ohne ein auf die Leitung beaufschlagtes Testsignal durchgeführt wird. Anstatt die Rauschleistung bei verschiedenen Frequenzen zu messen, werden ein Schwellenwert und eine Anzahl zufälliger Impulse bestimmt, deren Amplitude den Schwellenwert übersteigt. Diese Werte werden wie in Abbildung 33 veranschaulicht über einen bestimmten Zeitraum gemessen.

Ob ein Betreiber vermutet, dass Impulsrauschen in der Leitung besteht oder nicht – durch die Verwendung von INP oder G.INP kann dem Kunden ein besseres Benutzererlebnis geboten werden. Die Messung des Impulsrauschens, das den benutzerdefinierten Schwellenwert übersteigt, ist schon mal ein guter Anfang, es fehlen jedoch Richtlinien dazu, welche INP-Werte zu verwenden sind, und ob G.INP ebenfalls verwendet werden soll.



Abbildung 33. Eine Messung gezählter Impulsrauschenstöße vs. Minuten



Abbildung 34. Eine Messung gezählter Impulsrauschenstöße vs. Impulsdauer

Durch eine längerfristige Überwachung der Leitung und Informationen zur Gesamtdauer der Impulsrauschspitzen kann ein Betreiber schnell erkennen, welcher INP-Wert am besten ist, und muss nicht nach dem Rateprinzip vorgehen.

4.5 LCL (Symmetrie)

Telefon-Doppeladern sollten in Bezug auf die Erdung sowohl ausgeglichen als auch potenzialfrei sein. Die beiden Leiter (Spitze und Ring) weisen die gleiche Kabelgröße auf und sind miteinander verdreht, um eine durchgängige elektrische Rauschkopplung zu gewährleisten. Die beiden Leiter sind mit Papier (ältere Kabel) oder Kunststoff (neuere Kabel) voneinander und von der Erde isoliert. Kabelbündel sind luftdruckbeaufschlagt, mit Gel gefüllt oder dicht versiegelt, um das Eindringen von Wasser möglichst zu minimieren.

4.5.1 Resistiver und Kapazitive Symmetrie

Zu den grundlegenden Zustandsprüfungen einer Kupferdoppelader gehört die Überprüfung der Symmetrie der Adern aus elektrischer Sicht. Mithilfe der Kapazität gegen einen offenen Schaltkreis und T-G- und R-G-Messungen kann der prozentuale Ausgleich zwischen T-G und R-G bestimmt werden, wobei eine Symmetrie von 100 % (d. h. die T-Leitung hat die gleiche Länge wie die R-Leitung) angestrebt wird; viele Betreiber bemühen sich um eine Symmetrie von 95–97 %. Auch ein Widerstandstest gegen einen verkürzten Schaltkreis und eine Überprüfung des Symmetriesverhältnisses zwischen T-G und R-G sind gängige Praxis.

In jedem Fall kann eine schlechte Leitung so schnell erkannt und die nötigen Korrekturmaßnahmen eingeleitet werden, um das Problem zeitnah zu beseitigen.

4.5.2 LCL (Breitband Symmetriedaempfung)

Ein etwas anspruchsvollerer Ansatz für die Messung des Ausgleichs ist ein Blick auf den Längenausgleich. Indem der Längenausgleich einer Doppelader gemessen wird, erhält man Hinweise auf die Differenzspannungen, die durch einen nicht ausreichenden LCL von Spitze und Ring im Bezug zur Erde entstehen. Diese Messung wird als Pegel in dB angegeben; je höher der dB-Wert, desto besser der LCL der geprüften Doppelader.

Messungen Breitband Symmetriedaempfung sind bei der Identifizierung von Leitungen, bei denen nach der Beaufschlagung eines Kabelbündels mit Breitbandsignalen Nebensprechen auftreten wird, äußerst nützlich. Mit dieser Methode lassen sich zukünftige Probleme bei Bündeln, bei denen die DSL-Dienste noch nicht bereitgestellt wurden, vermeiden. Beachten Sie, dass Leitungen mit unzureichendem Symmetriedaempfung ein effizienter Empfänger oder Sender für Nebensprechen sind. So kann eine einzige schlecht ausgeglichene Leitung zum Ausfall eines ganzen Bündels führen.



Abbildung 35. Eine Messung des Längenausgleichs in einer TAL

Die Symmetriedaempfung wird von kurzen oder teilweise kurzen Leitungen entweder zwischen Leiter und Kabelmantel oder sonstigen Erdungsquellen beeinflusst. Das Eindringen von Wasser ins Kabel ist eine der Hauptursachen für eine teilweise Bodenleitfähigkeit.

Bei DSL-Installationen und zur Fehlersuche in Leitungen muss der LCL bei vielen Frequenzen über der gesamten verwendeten Bandbreite gemessen werden. Auch wenn ein Gleichstromfehler (d. h. Bodenleitfähigkeit) Probleme mit der Symmetriedaempfung über alle Frequenzen hinweg verursacht, treten Wechselstromfehler (d. h. kapazitative Bodenleitfähigkeit) unter Umständen nur als gestörter Symmetriedaempfung bei hohen Frequenzen auf. Kapazitative Fehler treten dann auf, wenn Kabelbündel während der Installation oder durch Frosthieb, Erdbeben, Baulasten usw. zusammengequetscht oder abgeknickt werden.

Hinweis: Symmetriedaempfungsmessungen müssen mit einer Messreferenzverbindung zur Erde durchgeführt werden.

4.6 Bespulte Leitungen

Pupinspulen, die von Natur aus elektrisch induktiv sind, wurden der TAL hinzugefügt, um die Auswirkungen der linearen Dämpfung bei Sprachleitungen (in der Regel mit einer Länge über 6 km bzw. 18.000 Fuß) infolge eines Kapazitätsaufbaus (Wirkung langer Längen zweier Leiter, die dielektrisch getrennt sind) zu vermindern. Diese Reihe an Induktoren führt zu einem Abflachen des Frequenzgangs im Sprachband, welche eine akzeptable Sprachübertragung auf längeren Leitungen ermöglicht. Die Platzierung und Abstandseinteilung von Pupinspulen ist wichtig, um einen angemessenen Sprachfrequenzgang beizubehalten. Wenn eine Pupinspule nicht gleichmäßig

platziert werden kann, wird ein Ergänzungskondensator eingesetzt, um der TAL Kapazität hinzuzufügen und die erhöhte Induktanz auszugleichen. Dieser Ergänzungskondensator lässt den Kabelabschnitt im elektrischen Sinne länger erscheinen. Aus diesem Grund ermöglicht eine Rückstreuungsmessung (TDR) eine präzise Messung der Entfernung für das Auffinden von Pupinspulen. Eine Umwandlung der gemessenen Kapazität in die relative Entfernung (d. h. ganz einfach mithilfe eines Ohm-Entfernungsrechners) kann irreführend sein.

Pupinspulen wurden für das Sprachband (< 4 kHz) optimiert und erlauben daher keine Passage von Hochfrequenz-DSL- oder gar TDR-Signalen. Infolgedessen müssen alle Pupinspulen, die auf einer für einen DSL-Dienst bestimmten Leitung eingesetzt wurden, ausfindig gemacht und entfernt werden.

Für das Auffinden von Pupinspulen gibt es mehrere verschiedene Methoden; am einfachsten ist dies anhand von präzise geführten Anlagenprotokollen. Anlagenprotokolle sind jedoch nur selten auf dem neusten Stand oder ungenau oder gar nicht erst vorhanden – also müssen Alternativen gefunden werden.

Für eine graphische Darstellung von Fehlern in einer Leitung und für die Bestimmung von deren Standort kann eine TDR-Messung verwendet werden. Unter idealen Bedingungen erzeugt eine Pupinspule eine Spitze in der TDR-Kurve. Hierbei handelt es sich um einen wirksamen Test, allerdings muss der Benutzer hierbei selbst entscheiden, ob es sich bei der Spitze in der Tat um eine Pupinspule oder eine andere Art von Kabelfehler handelt. Zudem werden die meisten Spulen in bestimmter Entfernung von der Verteilerstelle (erste Spule bei 915 m bzw. 3.000 Fuß von der Verteilerstelle, die nachfolgenden Spulen alle 1,8 km bzw. 6.000 Fuß – je nach verwendetem Induktanzwert) eingesetzt,

so dass der Techniker im Grunde genommen nur wissen muss ob Pupinspulen überhaupt vorhanden sind.

Viele Prüfgeräte sind mit einer integrierten Pupinspulenerfassungsfunktion ausgestattet, mit der bestimmt werden kann, ob und wie viele Pupinspulen auf einer Leitung installiert sind. Dabei wird ein Text angezeigt, der auf das Vorhandensein einer oder mehrerer Pupinspulen hinweist.

Eine Pupinspule lässt sich auch anhand einer Impedanz- vs. Frequenzkurve auffinden. Dieser Test wird mit einem Prüfgerät an einem Ende des Kabels durchgeführt. Eine TAL ohne Pupinspulen erzeugt eine glatt aufsteigende Impedanzkurve, während eine TAL mit Pupinspulen starke Impedanzsprünge aufweist.

4.7 Parallelschaltungen

Parallelschaltungen sind unbestimmte Längen an Kabel, die an einem Punkt in der TAL angeschlossen sind. Für Abzweigungen gibt es verschiedene Bezeichnungen, wie z. B. Abzweigstücke, Mehrfachendstücke, Endleitungen, Endkreise usw. Die meisten Parallelschaltungen werden planmäßig installiert, um Teilnehmern möglichst viele TALs zur Verfügung zu stellen, ohne die Leistung der Zuführungskabelbündel (F1) verdoppeln zu müssen.

Parallelschaltungen verursachen eine Reflexion der ursprünglichen Signale, welche daraufhin zeitlich verzögert und, je nach Länge, in unterschiedlichem Ausmaß gedämpft werden. Die so reflektierten Signale können DSL-Empfänger verwirren und zu Bitfehlern führen, was wiederum den DSL-Dienst verschlechtert. Die Praxis hat gezeigt, dass Parallelschaltungen je nach Länge, Standort und Gesamtkonfiguration der Leitung unter Umständen gar keinen Einfluss auf die Übertragungsgeschwindigkeit nehmen, den Betrieb des Dienstes aber auch völlig verhindern können.

Wie im vorangehenden Abschnitt bereits erwähnt, können die grundlegende Frequenz sowie die von der Parallelschaltung ausgehenden Oberwellen anhand der folgenden Formeln bestimmt werden.

$$f=v/4d$$

Formel für die Berechnung der durch eine Parallelschaltung beeinflussten Mittenfrequenz

$$f=f(2n+1)$$

Formel für die Berechnung aufeinanderfolgender Nullstellen

Andere Quellen für Parallelschaltungen sind von Teilnehmern, Auftragnehmern oder schlecht ausgebildeten Technikern durchgeführte Kabelreparaturen oder Leitungsumleitungen. Ein Beispiel ist das Verfahren, ein paralleles „graues Kabel“ außen um eine defekte Doppelader zu führen. Ist mit dem verbleibenden Bündelabschnitt zwischen dem neuen Kabelverlauf eine Doppelader jedweder Länge an einem Ende verbunden, entsteht eine Parallelschaltung. Oft lassen Techniker einen unbenutzten Abschnitt des Kabelpaars mit dem neu installierten Paar verbunden und generieren so eine unerwünschte Parallelschaltung.

Die Parallelschaltungen, die am meisten Probleme bereiten, sind solche, die sich in der Nähe der Verteilerstelle oder dem Anschlusspunkt des Telefonanbieters befinden. Aus praktischer Sicht bedeutet

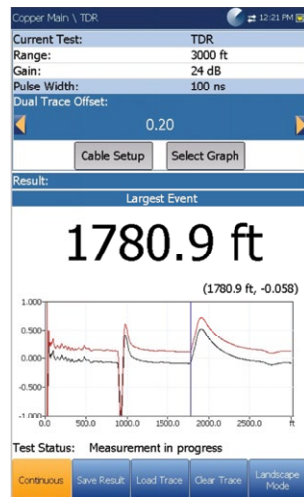


Abbildung 36. Abzweigungstest

dies generell die Parallelschaltung am Anschlusspunkt des Kunden oder Mehrfachendstücke im örtlichen Verteilerkabel (F2). Diese Parallelschaltung müssen ausfindig gemacht und entfernt werden. Die Suche nach einer Parallelschaltung gestaltet sich schwieriger als die nach einer Pupinspule. Ist eine Parallelschaltung ausreichend lang, kann ein TDR verwendet werden. Parallelschaltung sorgen in der TDR-Kurve für einen Abfall bzw. ein Tal, gefolgt von einem Anstieg bzw. einer Spitze. Im Idealfall entspricht die Entfernung zwischen dem Beginn der negativen TDR-Kurve (Abfall) und dem Beginn der nächsten Spitze der Länge der Parallelschaltung.

Ein Sonderfall ist, wenn das Abzweigstück (Parallelschaltung) länger ist als der primäre Pfad zum Teilnehmer. Automatische von der Verteilerstelle ausgehende Leitungsqualifikationssysteme, bei denen Reflektrometrie zum Einsatz kommt, um ein Kabelende zu bestimmen, werden dazu verleitet, das Ende des Abzweigstücks mit dem Ende des Kabels und das Ende der Parallelschaltung mit dem Ende der Leitung gleichzusetzen.

Prüfsysteme, die die Leitungskapazität messen, um die Länge der Leitung zu bestimmen, erzeugen falsche Entfernungswerte, wenn eine Parallelschaltung vorhanden ist. Die Gesamtkapazität wird um die zusätzliche Kapazität der Parallelschaltung(en) ergänzt. So erscheint die Leitung länger, als sie tatsächlich ist.

Es sollte beachtet werden, dass alle Prüfgeräte bei der Suche nach Parallelschaltung ihre Einschränkungen haben. Sind die Parallelschaltung zu weit entfernt, zu kurz oder sind mit zu wenig von der ursprünglichen TAL verbunden, sind sie möglicherweise nicht aufzufinden.

4.8 Split Pairs

Die Doppeladern in den Kabelbündeln werden aus mehreren Gründen verdreht: Und zwar, um das von angrenzenden/gekoppelten Doppeladern ausgehende Nebensprechen zu reduzieren. Das Personal von Telefonunternehmen verwenden Doppeladern je nach Bedarf für die dem Kunden zur Verfügung gestellten Dienste. In Umgebungen oder Industriegebieten, in denen Ersatzadern knapp geworden sind, setzen Telefontechniker häufig „geteilte“ Paare ein, um den Dienst bereitstellen zu können. Ein Split Pair besteht aus zwei halb defekten Leitungen, von denen jede einen defekten Leiter enthält. Mit dem von jedem Adernpaar verbleibenden funktionstüchtigen Leiter wird ein zusätzliches Adernpaar erstellt.



Abbildung 37. Beispiel für ein Split Pair

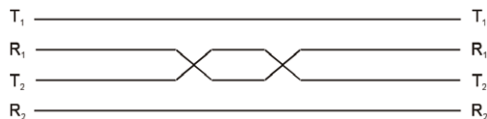


Abbildung 38. Beispiel für ein Re-Split Pair

Split Pairs können für Sprachfrequenzanwendungen über kurze oder mittlere Entfernungen verwendet werden. Bei DSL-Anwendungen ist das dadurch im Vergleich zu normalen Doppeladern entstehende Nebensprechen allerdings nicht akzeptabel. Im Fall von DMT-basiertem DSL kann die Upstream- oder Downstream-Verbindungsgeschwindigkeit so unnötig verlangsamt werden, oder es kommt erst gar keine Verbindung zustande.

Split Pairs in Kabelbündeln, die bereits DSL-Leitungen im selben Kabelbündel enthalten, zu

erkennen, ist recht einfach. Da die beiden Leiter eines Split Pairs nicht durchgängig verdreht sind, ist dieses anfälliger für Nebensprechen als ein normales Adernpaar. Daher lässt sich das Split Pair anhand eines Vergleichs mehrerer PSD-Rauschmessungen an mehreren Doppeladern erkennen. Adernpaare mit abnorm hohem Nebensprechen sind besonders anfällig für eine Teilung bzw. dafür, dass deren Leiter teilweise oder ganz geerdet werden.

In Fällen, in denen kein DSL vorhanden ist oder die Leitung vom Austausch (oder dem Anschluss des Telefonanbieters) und dem Anschluss des Teilnehmers getrennt wurde, kann das Split Pair ausfindig gemacht werden, indem eine Doppelader mit einem Signal beaufschlagt und die Auswirkung auf die zweite Doppelader gemessen wird. Diese Art von Test wird als Nebensprechentest (d. h. NEXT) bezeichnet.

Mit einem TDR-Test kann der Standort der Teilung genau geortet werden, nachdem das Split Pair identifiziert wurde.

4.9 Hochohmige Fehler

Die Kupferleitung ist normalerweise eine Mischung aus alten und neuen Anlagen. Eine typische Kupferleitung besteht aus verschiedenen Kabeltypen mit verschiedenen Kabelstärken. In den USA und Kanada kommt in der Regel Kabel mit einer Größe von 19, 22, 24 und 26 zum Einsatz, während in Europa und dem Rest der Welt die Größen 0,4, 0,5, 0,6 und 0,8 verwendet werden.

Das früheste verwendete Kabel war ein PULP-Kabel. Es bestand aus mit Papier isolierten Kupferleitern, um die Leiter elektrisch isoliert zu halten. Später wurden kunststoffisolierte Kabel (PIC) eingeführt. Diese wurden zunächst eng zu einem Bündel geschnürt und später mit Gel versiegelt, um das Eindringen von Wasser zu verhindern. Manche nennen diese Art von Kabel „Icky-Pic“ (engl.

für „ekliges PIC“), da beim Aufschneiden Gel heraustritt.

Manche Kabelbündel werden mit Druckluft beaufschlagt. Durch den Überdruck wird verhindert, dass Wasser eindringt, falls das Kabel beschädigt werden sollte. Ferner kann eine positive Veränderung des austretenden überwachten Luftstroms auf einen Defekt im Mantel des Kabelbündels hinweisen.

Beim Verfahren zur Installation neuer Kabel können kleine Einschnitte im Außenmantel entstehen – und somit auch Einschnitte in der jeden Leiter umgebenden Isolierung. Bei der Herstellung des Kabels im Wert können bei diesem Verfahren winzig kleine Löcher in der Isolierung entstehen. Der Alterungsprozess, die Prüfung von Kabeln mit Nagelbetten, Blitze und sonstige Faktoren können Fehler verursachen, die erst im Laufe der Zeit zum Vorschein kommen.

Kabelbündel sind normalerweise Grundwasser ausgesetzt. Der gepanzerte und versiegelte Mantel soll für Wasser undurchdringlich sein. Wenn jedoch Wasser in das Kabelbündel gelangt, entstehen Probleme. Bei PULP-Bündeln macht sich dies sofort bemerkbar. Das Papier saugt sich mit dem Wasser voll und erhöht die Leitfähigkeit zwischen den Leitern. Diese Art von Fehler ist leicht zu beobachten, da mehrere Dutzend (vielleicht sogar Hunderte) Kunden sofort betroffen sind.

Bei kunststoffisolierten Kabeln – und insbesondere bei mit Gel gefüllten kunststoffisolierten Kabeln – macht sich der Fehler erst im Laufe der Zeit bemerkbar. Oft entsteht ein Riss in der Isolierung eines einzelnen Leiters. Durch die Differenzialspannung zwischen dem Leiter (Spitze oder Ring) und der Abschirmung des Kabelbündels binden sich Ionen aus dem Wasser an den Leiter, und eine Elektrolyse findet statt. Das Endergebnis ist der Aufbau eines relativ hohen Widerstandes zwischen dem Kabelmantel und dem Leiter.

Diese Art von Fehler ist oft nur schwer zu erkennen/ausfindig zu machen und zu beheben. Das erste Symptom des Fehlers macht sich als Veränderung des Längenausgleichs (kapazitiver Ausgleich) bemerkbar. So steigen das Differenzialrauschen und das Nebensprechen bei der betroffenen Doppelader an. Dies führt zu einem hörbar stärkeren Rauschen, zu einer eingeschränkten DSL-Geschwindigkeit und einem Ausfall des DSL-Dienstes.

4.10 Widerstandsfehlerortung

Um hochohmige Fehler zu orten, sollte eine Widerstandsfehlerortung (RFL) durchgeführt werden. Die erste Aufgabe ist, zu bestimmen, ob der Fehler zwischen Spitze und Erde, Ring und Erde oder zwischen Spitze und Ring auftritt. Ein gutes Prüfgerät schafft dies automatisch durch Messung des Widerstandes zwischen allen drei Leitern. In einem Kabelbündel wird die Abschirmung oder ein mit dem Bündel verbundenes Erdungsgeflecht im Schaltschrank für die Erdverbindung verwendet.

Sobald der Fehler identifiziert ist, weist das Prüfgerät den Techniker automatisch an, bestimmte „Brücken“ am anderen Ende der Leitung zu erstellen. Normalerweise isoliert ein Techniker einen Abschnitt eines Kabelbündels, das den Fehler enthält, ehe die endgültige Ortung durchgeführt wird. Dadurch lässt sich nicht nur die Genauigkeit der Ortung verbessern, sondern in den meisten Fällen ist der Gehweg bis zum Installationsort der Brücke so außerdem kürzer. In der Regel sind Brücken (d. h. Kurzschlüsse) zwischen beiden Leitern eines Ersatzpaares im Bündel, Spitze oder Ring der defekten Doppelader und der Erde nötig.

RFL-Messungen verwenden einen Leiter des zusätzlichen (Ersatz-)Kabelpaars, um Spannung zum anderen Ende der defekten Leitung zu führen. Der andere Leiter des Ersatzkabelpaars wird für die Herstellung einer gemeinsamen Verbindung und einer Spannungsmessung verwendet.

Das Ergebnis einer RFL-Messung ist die Entfernung vom Messgerät zum Fehler, die Entfernung zur Brücke und die Entfernung von der Brücke zum Fehler.

Es sollte beachtet werden, dass für eine RFL-Messung der Widerstand bestimmt werden muss. Die Entfernungen werden vom Messinstrument durch eine Berechnung von Widerstand zur Entfernung bestimmt. Da sich der Widerstand des Kabels mit der Temperatur ändert, muss für eine genaue Entfernungsmessung die Temperatur des Kabels bestimmt werden.

Bei Erdleitungen wird am besten eine Temperatursonde bis in die normale Kabeltiefe geführt. Ist dies nicht möglich, kann der Techniker die Temperatur anhand der Kabeltiefe, dem örtlichen Klima und der Jahreszeit abschätzen. Normalerweise liegen Wasserrohre ähnlich tief unter der Erde wie Telefonkabel; daher ist eine Messung der Temperatur des Leitungswassers ein guter Hinweis.

Bei Freileitungen schwankt die Temperatur in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und davon, wie viel des Kabels der Sonne ausgesetzt ist, stark. An warmen Tagen können die Kabel leicht eine Innentemperatur von über 50 °C erreichen.

4.11 Defekte Spleiße

TALs sind nur selten gerade verlaufende Strecken an Kabelbündeln. In der Regel setzt sich eine TAL aus verschiedenen Abschnitten zusammen, die mithilfe von Spleißen miteinander verbunden sind. Spleiße neigen dazu, im Laufe der Zeit zu rosten (korrodieren), durch Elektrolyse Schaden zu nehmen oder sich physisch zu teilen.

In der Regel wird aus einem Spleiß ein teilweise offener Stromkreis, bevor aus ihm ein ganz offener Stromkreis wird. Ein Bruch oder eine Abnutzung im Pfad zweier Leiter einer Doppelader führt zum Versagen

der DSL-Leitung. Ein fehlerhafter Spleiß kann mithilfe eines TDR ganz leicht ausfindig gemacht werden.

4.12 Isolationswiderstand

Vor der Erfindung von RFL-Prüfgeräten wurde häufig Hochspannung (Durchschlagspannung) eingesetzt, um hochohmige Fehler in mehrere Fehler umzuwandeln, die mithilfe eines TDR oder anhand einer anderen Methode einfacher erfasst werden konnten.

Diese Prüfgeräte konnten bei PULP-Kabeln, bei denen ein hochohmiger Fehler zwischen Spitze und Ring identifiziert wurde, am effizientesten eingesetzt werden. Zwischen Spitze und Ring wurde kurzfristig eine 100–10k VDC-Stromversorgung angeschlossen. Der hohe Strom der Batterie würde an diesem Punkt entweder zum Verschweißen der beiden Kabel miteinander oder zur Verdunstung des Fehlers führen.

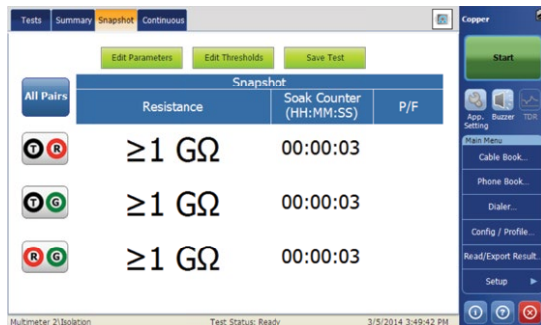


Abbildung 39. Isolationsprüfung

Leider haben Hochspannungsgeräte in der Vergangenheit oft zu Verletzungen oder zu Schäden an zuvor unbeschädigten Kabelabschnitten geführt oder waren bei der Suche von Fehlern zwischen Leiter und Abschirmung unzuverlässig. Darüber hinaus vervollständigten sie oft vorübergehend den Elektrolyseprozess und sorgen so nur für den Eindruck, dass der Fehler behoben würde. Nach

einiger Zeit trat der Fehler jedoch wieder auf, wenn erneut Wasser oder Feuchtigkeit eindrang.

Viele Telefonunternehmen haben Durchschlag-Prüfgeräte verbannt. Im schlimmsten Fall kam es Bränden – manchmal sogar direkt beim Kunden.

4.13 Spektrum-Management

Ein Bündel an TALs kann alle Signale für ein Stadtviertel oder ein Industriegebiet übertragen. Sache ist, dass Kabelbündel auf der Mehrzahl der verwendeten Leitungen POTS-Signale führen. Sie können zudem herkömmliche Signale, wie z. B. Signale für Sicherheitssysteme, T1/E1-Übertragungen, digitale Datendienste (DDS), Basis-ISDN und HDSL, führen. Wenn ADSL2+ oder VDSL2 hinzukommen soll, müssen die im Bündel bereits vorhandenen Signale berücksichtigt werden. In den meisten Fällen ist ein B8ZS-kodiertes T1- oder ein HDB3-kodiertes E1-Signal spektral nicht mit ADSL2+ oder VDSL2 in ein und demselben Bündel kompatibel. Der Pegel und die Frequenz des von diesen Signalen ausgehenden Nebensprechens können die DMT-kodierten Signale in der Downstream-Richtung außer Kraft setzen.

Abgesehen von der Art der Signale im Bündel sind auch die übertragenen Leistungspegel von Bedeutung. In den USA hat die staatliche Kommission für Kommunikation (FCC; Federal Communications Commission) die Leistung, die über eine Leitung übertragen werden kann, begrenzt. In der Europäischen Gemeinschaft und in vielen anderen Ländern gibt es ähnliche Einschränkungen. Da Kabelbündel zwischen den zuständigen Telefonunternehmen und den konkurrierenden Telekommunikationsunternehmen (CLECs) geteilt werden, ist im Rahmen der Richtlinien zum Line-Sharing und zur Entbündelung ein gewisses Maß an Spektrumskontrolle erforderlich. Hierfür geeignete Prüfgeräte bieten die Möglichkeit, Brücken mit aktiven

Leitungen herzustellen, um die Übertragungspegel der TAL zu bestimmen. Es sollte beachtet werden, dass Signale entweder am oder in unmittelbarer Nähe des Modems oder DSLAM gemessen werden sollten, um die korrekten Pegel zu erfassen. Signale, die irgendwo in der Mitte der Leitung gemessen werden, sind bereits um einen von der Menge an Kabel bis zu diesem Punkt bedingten Grad gedämpft worden.

Die spektrale Leistungsdichte (PSD) eines T1- oder E1-Signals schwankt je nach Art der Leitungskodierung, der Art des Rahmens und den tatsächlich beförderten Daten. Wird angenommen, dass aktiver Datenverkehr zufälligen Daten relativ ähnlich ist, dann ähnelt das obige Spektrum basierend auf einem quasi zufälligen Signal dem, was beim aktiven Datenverkehr zu sehen wäre.

4.14 Interoperabilität von DSL-Ausrüstung

DSL ist eine Technologie, die es dem Teilnehmer ermöglicht, Endgeräte (CPE; Customer Premises Equipment) bei einer Reihe verschiedener Hersteller zu erwerben und sicher sein zu können, dass diese Geräte mit dem Netzwerk kompatibel sind. Aber auch wenn eine gute Interoperabilität gegeben ist, ist es für eine echte DSL-Interoperabilität immer noch am besten, ein DSL-Chipgerät desselben Herstellers im DSLAM und im Modem beim Kunden zu verwenden. So wird die größtmögliche Interoperabilität gewährleistet und die Datengeschwindigkeit maximiert. Werden

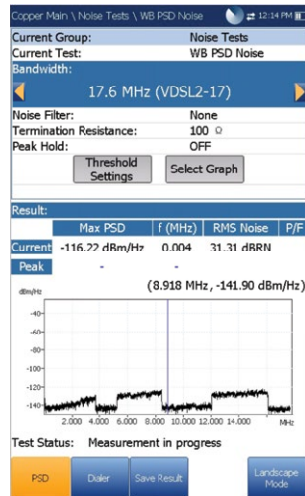


Abbildung 40. Test PSD-Rauschen

Geräte verschiedener Hersteller verwendet, ist die Datengeschwindigkeit unter Umständen geringer, und es können gelegentlich Probleme auftreten.

Derzeit sind tragbare Handprüfgeräte zur Bestimmung der Upstream- und Downstream-Verbindungsgeschwindigkeit bei ADSL2+ und VDSL2-Einzeladern sowie ADSL2+- und VDSL2-Bonded-Pair-Installationen im Handel erhältlich. Dieser „Golden Modem“-Ansatz ist weitläufig als gängige Praxis für Telekommunikationsdienstleister akzeptiert. Alle führenden Betreiber von Ortsnetzen (ILECs) und viele der konkurrierenden Ortsnetzbetreiber (CLECs) stützen sich in erster Linie auf diesen Ansatz. Auch für die Fehlerbehebung der Internetverbindung durch die ATM-Schicht und die IP-Schichten, für die Prüfung von VoIP und MPEG2- oder H.264 (MPEG4)-Video-over-IP auf ADSL2+ und VDSL2 (IPTV-Tests) sind Prüfgeräte erhältlich.

Je nach Datengeschwindigkeit und vom Kunden benötigten Dienst haben viele Telefonanbieter eine Preisskala – je höher die benötigte Geschwindigkeit, desto teurer wird der Dienst für den Benutzer. Mithilfe eines einseitigen Vorqualifikationstests von der Vermittlungsstelle des Telefonunternehmens aus kann die Qualität der TAL beurteilt werden. Nur durch tatsächliche Messungen kann bestimmt werden, ob die Leitung zu lang ist oder Behinderungen vorhanden sind, die die vom Betreiber angebotene und vom Kunden gewünschte DSL-Geschwindigkeit drosseln könnten.

Viele Telefonunternehmen setzen auf Dienstbestätigungstests, um Informationen für ein entsprechendes Leistungsangebot an den Kunden zu erheben. Wünscht der Kunde einen günstigen Datendienst mit niedriger Bitrate, hat jedoch die Option eines teureren Dienstes, könnte die Vertriebs- und Marketingabteilung des Diensteanbieters versuchen, einen besseren Dienst zu vermitteln.

Immer mehr Dienstanbieter bieten ihren Teilnehmern nun auch Videodienste an. Dabei kann es sich um Video-on-Demand oder um das öffentliche Fernsehprogramm handeln. Die meisten Unternehmen wählen auf dem Internet Protocol basierende Programme – auch bekannt als IPTV. Für diese Dienste ist normalerweise ein recht schneller DSL-Dienst erforderlich, der zudem sehr stabil und fehlerfrei laufen muss. Für einen Fernsehkanal in Standard Definition werden um die 2 bis 4 Mbit/s in der Downstream-Richtung benötigt. Für HDTV mit H.264 MPEG4 sind 6 bis 8 Mbit/s erforderlich. Für die Bereitstellung mehrerer IPTV-Kanäle gleichzeitig wird die erforderliche Bandbreite erheblich erhöht – mal ganz abgesehen von den zusätzlichen Internet- und VoIP-Anforderungen. Angesichts der Migration der Dienstanbieter von der bestmöglichen Bereitstellung von Internet- und E-Mail-Diensten hin zu Triple-Play-Angeboten mit HDTV, VoIP und Internet-Diensten wird die Prüfung einzelner Leitungen immer unerlässlicher.

4.15 Abschirmung, Bündelung und Erdung

Kabelbündel sind mit einer metallischen Abschirmung ausgestattet, um eine Störung der Signale durch elektromagnetische Störungen zu vermeiden. Es ist wichtig, die Frequenz und den Pegel der Störung zu bestimmen, um die Quelle zu identifizieren. Es sollte beachtet werden, dass DSL-Modems bei Vorhandensein von Rauschen zwar funktionieren, jedoch mit angemessener Abschirmung, Bündelung und Erdung leicht eine höhere Datengeschwindigkeit liefern können.

Theoretisch sollte sich die TAL aus Kabelbündeln zusammensetzen, die angemessen installiert und gewartet werden. Kabelspleiße sollten sehr solide und gut versiegelt sein, damit kein Wasser eindringen kann. Die Abschirmung sollte in der Verteilerstelle und beim Kundenanschluss elektrisch gut geerdet sein (mit dem gleichen Erdleiter wie der elektrische Dienst). Die Abschirmung sollte für einen sehr niedrigen Widerstand durch Schaltschränke und Trägermasten mithilfe eines Erdleiters

aus Kupfergeflecht sowohl innen als auch außen angemessen geerdet sein.

Die Abschirmungen sollten über die gesamte Anlage hinweg angemessen geerdet sein. Doppeladern auf Trägersäulen, in Schaltschränken und beim Kundenanschluss sollten auf die angemessene Länge gestutzt und bis zum Kabelende verdreht sein. In manchen Fällen funktionieren die DSL-Dienste ganz einfach nicht, weil beim Kunden 6 m (20 Fuß) unverdrehtes Kabel mit einem normalen Telefonanschluss oder dem DSL-Modem verbunden sind.

Anhand von Prüfgeräten kann der Erdwiderstand durch einen Schaltschrank gemessen werden, um eine Lücke in der Abschirmung zu erkennen (in der Regel durch einen umgekippten Trägersäule, dessen Erdkabelgeflecht sich gelöst hat) oder einen Schirmbruch unter der Erde (mithilfe von TDR vom T zu R zur Abschirmung) zu orten.

DSL-Dienste sind wesentlich anfälliger als Sprachdienste. Aus diesem Grund sollte in der TAL heutzutage mit größerer Sorgfalt vorgegangen werden.

4.16 Wasser im Bündel

Wasser im Bündel kann einen Sprachdienst beeinflussen oder auch nicht. Häufig geben sich die Teilnehmer mit einem geringfügigen Grad an Rauschen und Summen in der Telefonleitung zufrieden. Genau dieses Rauschen kann den DSL-Dienst jedoch beeinträchtigen oder gänzlich verhindern. Das Exponieren, Trocknen und Neuversiegeln von Spleißen ist heute nötiger denn je. In manchen Fällen müssen nasse Kabelabschnitte ausgetauscht werden. Das Orten dieser Abschnitte ist mit einem RFL-Test möglich (wie in den vorangehenden Abschnitten dieses Leitfadens erläutert).

4.17 Wartung der Stromleitungen

Häufig verlaufen Telefon- und Stromkabel über gemeinsame Masten oder durch gemeinsame Erdleitungen. Wenn Stromversorgungsunternehmen Lastausgleichsschaltungen vornehmen, können enorme Stöße elektromagnetischer Störungen ausgelöst werden. Eine Spektralanalyse der Auswirkungen dieser Ereignisse auf die Telekommunikation ist ein wirksamer Faktor im Kampf für Korrektur-/Präventionsmaßnahmen.

Eine der größten Störungsquellen stammt bei Stromleitungen von Abzweigungen auf dem Strommast. In vielen Fällen werden Kunden des Stromversorgungsunternehmens mithilfe von umwickelten Abzweigungen der Stromleitung bedient. Dabei wird ganz einfach ein Kabel um einen kurzen freiliegenden Kupferabschnitt in der Hauptleitung gelegt. Wenn der Wind solche Abzweigungen bewegt, kommt es häufig zu Mikrolichtbögen. Wie bei den ersten Funkenstreckenradios entsteht während der Entstehung solcher Lichtbögen erhebliches Hochfrequenzrauschen. Die meisten DSL-Modems verwenden ausschließlich DMT-Carrier, von denen erwartet wird, dass sie für saubere und störungsfreie Signale sorgen. Jedes Mal, wenn es zu einem Lichtbogen in der Stromleitung kommt, gehen manche Signale des DMT-Carriers verloren. An einem windigen Tag kann sich der DSL-Dienst verschlechtern oder ganz ausfallen. Bis vor Kurzem war die einzige Methode zur Wiederherstellung des Dienstes, das Modem aus- und wieder einzuschalten (Zurücksetzen des Carriers). Heute gibt es Modems, die diese Funktion routinemäßig durchführen.

Manche Telefonunternehmen überwachen das Breitband-Rauschspektrum einer Einzigen Leitung im Bündel an einem windstillen Tag. Dann senden sie ein Reparaturteam von Mast zu Mast, welche jeweils geschüttelt werden. Wenn der Mast mit der losen elektrischen Abzweigung geschüttelt wird, erhöht sich das Rauschspektrum erheblich. An diesem Punkt kann das Stromversorgungsunternehmen angerufen werden, damit der lose Abzweigung repariert wird.

Andere elektrische Rauschquellen verlaufen zwischen dem Stromversorgungsnetz und dem DSL-Dienst. In vielen Fällen handelt es sich um eine direkte Kopplung durch den Netzstromadapter, der das Modem am Kundenanschluss mit Strom versorgt. Elektrische Geräte, Fotokopierer, Laserbeschriftungsgeräte, Neonsignale und Lichtbogenschweißgeräte sind einige der größten Übeltäter.

Mithilfe eines Prüfgeräts kann der Zusammenhang zwischen dem Ereignis (zum Beispiel Lichtbogenschweißen) und einem Rauschstoß in der TAL nachgewiesen werden. Häufig ist von einer solchen Störung nicht nur der jeweilige Teilnehmer, sondern jeder Teilnehmer im Bündel betroffen.

5. ADSL2+- und VDSL2-Tests

Die am häufigsten eingesetzte Methode zur Überprüfung der Datengeschwindigkeit einer ADSL2+- oder VDSL2-Doppelader oder einer gebündelten Leitung ist ein Prüfgerät mit integriertem Modem-Chipgerät. Der Hersteller des Chipgerätes könnte z. B. Broadcom© sein. Beim Test wird eine Verbindung mit dem DSLAM hergestellt und die maximale Datengeschwindigkeit der geprüften Doppelader im Upstream und im Downstream bestimmt. Das im Prüfgerät integrierte Modem bietet eine schnelle und einfache Methode zur Bestimmung der maximalen Datengeschwindigkeit einer Doppelader.

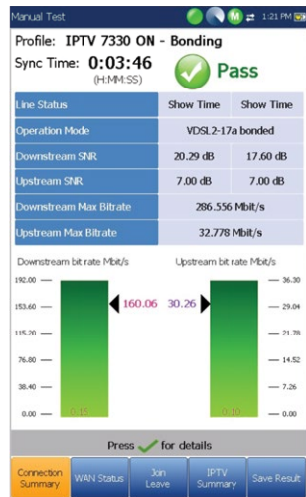


Abbildung 41. Dienstprüfung

Diese Methode ist mit einigen Einschränkungen verbunden, da sie nur dann durchgeführt werden kann, wenn der DSLAM ordnungsgemäß installiert und eingerichtet ist.

Darüber hinaus verwendet diese Art Prüfgerät eine Reihe von Frequenzen, um während der Trainings-/Synchronisationsphase mit dem xTU-C zu kommunizieren. Wenn eine Leitung starkes Rauschen aufweist, insbesondere im Hochfrequenzbereich, sind Modem und Prüfgerät möglicherweise nicht in der Lage, eine Verbindung herzustellen. Notfalls können Sie in dieser Situation Kupfermessungen durchführen, um zu bestimmen, woher das Rauschen kommt.

In den nachfolgenden Abschnitten wird angenommen, dass die Prüfleitung relativ rauscharm und ein ordnungsgemäß installierter DSLAM mit dem Leitungsende verbunden ist.

5.1 DSL-Leistungsprüfung

Bei der Installation oder Fehlerbehebung des Dienstes muss zunächst am Markierungspunkt zwischen dem Telefonunternehmen und dem Verbraucher geprüft werden. Dieser Markierungspunkt befindet sich am Netzwerkabschlußgerät (NID). Je nachdem, welcher Dienst der Kunde bezieht, wie z. B. IPTV plus Hochgeschwindigkeitsinternet oder nur Hochgeschwindigkeitsinternet, muss zunächst eine Verifizierung der DSL-Schicht in Bezug auf die Leistung vorgenommen werden.

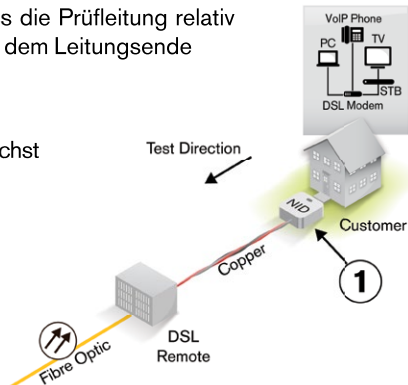


Abbildung 42. Die Verifizierung der DSL-Schicht beginnt beim NID (Punkt 1)

In dieser Situation würde der Techniker eine Prüfung am NID und in Richtung DSLAM durchführen (gemäß Punkt 1 in Abbildung 42).

Zunächst würde ein Techniker sicherstellen, dass die Testkonfiguration korrekt ist. Dann würde er mit der Verifizierung verschiedener Aspekte, wie z. B. der tatsächlich vorhandenen Datengeschwindigkeit im Upstream und im Downstream, dem Signal-/Rausch-Abstand, dem CRC-Wert und dem FEC-Wert beginnen.

Wenn die Ergebnisse der DSL-Verifizierung alles andere als wünschenswert sind, wird dringend empfohlen, den Test näher am oder direkt am DSLAM durchzuführen, da der DSLAM-Port unter Umständen falsch konfiguriert oder defekt war (gemäß Punkt 2 in Abbildung 43). Bevor am DSLAM getestet wird, kann der Techniker das NID im Leerlaufzustand belassen, so dass nach der Analyse des DSL-Upstreams und -Downstreams ein Kupfertest durchgeführt werden kann.

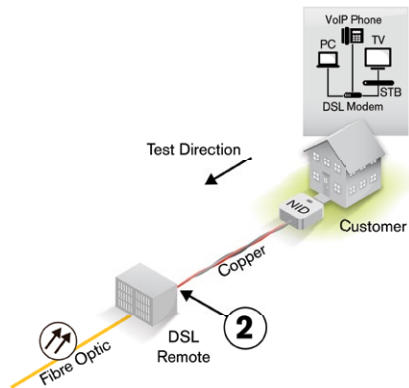


Abbildung 43. Prüfung des DSLAM-Ports (Punkt 2)

Tabelle 5. DSL-Tests – Empfohlene Werte

Messung	Schwellwert	Beschreibung
Ist-DSL-Bitrate	> Ziel gemäß DSLAM oder was vom Kunden bezahlt wird (d. h. 25 Mbit/s)	Ist-DSL-Bitrate Die Ist-Bitrate ist der aktuelle verhandelte Wert zwischen dem DSL-Modem (oder Prüfgerät) und dem DSLAM-Port. Dieser Wert muss größer sein als das im DSLAM gesetzte Ziel oder im Bereich des vom Kunden bezahlten Geschwindigkeitspakets liegen. Liegt die Ist-Bitrate unter dem Ziel, ist die TAL möglicherweise zu lang (hohe Dämpfung), es ist starkes Rauschen vorhanden, es besteht ein Kabelfehler (d. h. Kurzschluss, Erdung, Abzweigung, unangemessener Kabelausgleich usw.) oder es ist ein Fehler am DSLAM-Port/Modem vorhanden.
Rauschabstand	> 6 dB für Internet > 8 dB für IPTV	Signal-/Rausch-Abstand Der Signal-/Rausch-Abstand bietet eine gute Möglichkeit, herauszufinden, ob die Leitung anfällig für Rauschen und somit für Bitfehler ist. In der Regel beträgt der Ziel-Signal-/Rausch-Abstand (im DSLAM festgelegt) 6 dB für Internet und > 8 dB für IPTV. Mit dem vorgegebenen Signal-/Rausch-Abstand versucht das System, eine Bitfehlerrate von 10^{-7} beizubehalten. Fällt der Signal-/Rausch-Abstand unter das Ziel, erhöht sich die Fehlerrate erheblich und kann einen DSL-Frameverlust oder einen Verlust der Synchronisation verursachen.
CRC	< 5 CRC	Zyklische Redundanzprüfung Der CRC-Zähler befasst sich mit nicht korrigierbaren Fehlern. Diese werden in der Regel durch Kabelfehler, Nebensprechen oder Impulsrauschen verursacht. Treten in einem 15-minütigen Zeitraum mehr als 5 CRC-Fehler auf, fängt der Kunde unter Umständen an, Probleme zu bemerken.
FEC	< 200	Vorwärtsfehlerkorrektur Der FEC (Forward Error Counter)-Zähler bietet eine Analyse der korrigierbaren Fehler. Treten in einem 15-minütigen Zeitraum mehr als 200 FEC-Fehler auf, verbringt das System (DSLAM und CPE) möglicherweise mehr Zeit mit der Übertragung/dem Empfang von FEC als mit tatsächlichen Daten. Normalerweise lässt sich die FEC-Zahl durch Senkung der Bitrate im DSLAM reduzieren.

Je nach Ergebnis des DSL-Tests ist ein Kupfertest erforderlich, wenn die DSL-Leistung nicht optimal ist. Selbst wenn die DSL-Leistung akzeptabel zu sein scheint, ist das Kupferkabel unter Umständen von einem gelegentlich auftretenden Fehler betroffen. In beiden Fällen wird eine Kupferprüfung nahegelegt, um sicherzustellen, dass die Qualität des Kupfers angemessen ist (fehlerfrei, minimales Rauschen usw.).

5.2 Basisdienstprüfung

Da der Dienst in Sachen Komplexität variieren kann, ist es von Vorteil, mit grundlegenden Tests zur Überprüfung des Netzwerks zu beginnen. Ein Pingtest (ICMP-Pingtest) ist die einfachste Methode, um zu bestimmen, ob der Kunde nach der Herstellung einer DSL-Verbindung mit dem DSLAM mit dem Internet verbunden ist. So wird sichergestellt, dass der DSLAM-Port aktiv ist, der Anbieter den Benutzer authentifizieren kann und ein aktives Gateway für den Datenverkehr zum Internet vorhanden ist.

Ein Pingtest kann nicht nur Aufschluss über die Konnektivität geben, sondern auch darüber, ob das Netzwerk zu langsam ist. Wenn vermutet wird, dass das Netzwerk zu langsam sein könnte, kann

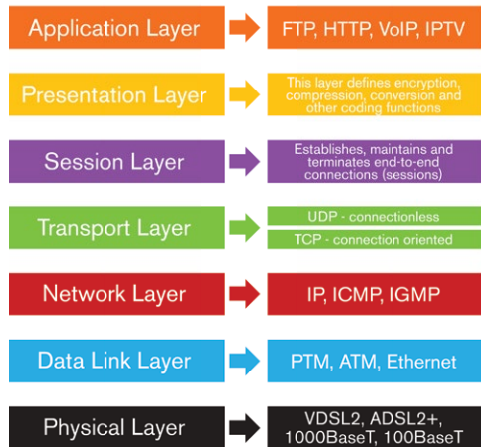


Abbildung 44. OSI-Modell

der Techniker mithilfe eines Traceroute-Tests den fehlerbehafteten Teil des Netzwerks (welcher Router oder Switch) anzeigen oder starken Netzwerkdatenverkehr identifizieren.

In der Regel kann ein Problem, das über den DSLAM hinausgeht, von einem DSL-Installationstechniker nicht behoben werden, aber zumindest kann sich der Techniker so vergewissern, dass das Problem außerhalb seiner Kontrolle liegt. Je nachdem, wo das Problem liegt, werden sich entweder wenige oder eine große Anzahl an Teilnehmern über eine zu langsame Internetgeschwindigkeit beschweren.

5.3 IPTV/VoIP-Dienstprüfung

Bei IPTV- und VoIP-Diensten müssen am meisten Tests durchgeführt werden. Da Anwendungen wie E-Mail und Internetbrowser automatisch die Retransmission von Paketen (über TCP) mit Fehlern anfordern, können Leitungen, die ausschließlich für Internet genutzt werden, einiges an Problemen aushalten. IPTV und VoIP hingegen basieren auf dem User Datagram Protocol (UDP), welches keine Retransmission von verlorenen oder in falscher Reihenfolge gesendeten Paketen bietet.

Man kann durchaus sagen, dass Benutzer Geschwindigkeiten über 1 Mbit/2 normalerweise als gutes Internet-Surferlebnis betrachten (mit Ausnahme von Online-Gamern). In den meisten Fällen ist eine DSL-Leitung zu mehr in der Lage. Die Bereitstellung eines IPTV-Dienstes jedoch, insbesondere Mehrkanal-HDTV, braucht häufig die gesamte Downstream-Leistung der DSL-Verbindung auf. Daher kann eine relativ geringfügige Einschränkung der DSL-Verbindungsgeschwindigkeit die Leistung Ihres IPTV-Dienstes erheblich beeinflussen.

Darüber hinaus erfordert Video einen relativ konstanten Kommunikationskanal. Die Teilnehmer tolerieren nicht, wenn ein Video stockend angezeigt wird oder das Bild „einfriert“; daher muss sichergestellt werden, dass genug Geschwindigkeit beim Downstream-Kanal vorhanden ist, um die

geplante maximale Nutzung der DSL-Verbindung zu ermöglichen. Die Mindestanforderung für einen angebotenen ADSL2+-Dienst könnten beispielsweise 15 Mbit/s im Downstream sein; damit werden ein MPEG4-kodierter HDTV Kanal und zwei Kanäle in Standarddefinition unterstützt. Jeder MPEG4-Kanal kann so eingerichtet werden, dass er 8 Mbit/s nutzt, und jeder Kanal in Standarddefinition so, dass 3 Mbit/s genutzt werden. In der Summe sind das $8 + 3 + 3$, streichen dazu kommt noch ein wenig für Internetdaten und für VoIP. Bei einer solchen Installation liegt die Gesamtanforderung nahe der DSL-Verbindungsgeschwindigkeit (14 Mbit/s vs. 15 Mbit/s). Mit den Prüfgeräten soll sichergestellt werden, dass die tatsächliche DSL-Verbindungsgeschwindigkeit erreicht wird und die gesamte Leitung fehlerfrei mit allen drei Kanälen gleichzeitig läuft.

Die Qualität von IP-Netzwerke und DSL-Verbindungen kann sich im Laufe der Zeit ändern. Die Techniker sollten eine Installation eines IPTV-Dienstes 15 Minuten lang überwachen, um die Stabilität des Kundenerlebnisses insgesamt zu prüfen – insbesondere in Hinsicht auf Paketverluste. Der Verlust von IP-Paketen (letztendlich der Pakete, die MPEG-Informationen tragen) kann mehrere Ursachen haben – Einschränkungen bezüglich der Bandbreite, eine Netzwerküberlastung, fehlerhafte Verbindungen und Übertragungsfehler. Je nach Art des für das Streamen von Video verwendeten Transportprotokolls beeinflusst ein Paketverlust die Qualität der erhaltenen Videodaten auf unterschiedliche Art und Weise. Wird UDP verwendet, beeinflussen die verlorenen Pakete das Bild direkt, da die Informationen nicht wiederhergestellt werden können und das Bild entweder beschädigt oder gar nicht verfügbar ist. Wird das Transmission Control Protocol (TCP) verwendet, generiert ein Paketverlust eine Retransmission, welche zu einer Pufferunterschreitung und zum Einfrieren des Bildes führen kann.

6. Zusammenfassung

Basierend auf dem bislang Besprochenen folgt eine Zusammenfassung der Maßnahmen zur Perfektionierung von TAL-Prüfverfahren. Das schwächste Glied in der DSL-Kette ist die lokale Kupferleitung. Jede lokale Leitung unterscheidet sich leicht von der Nächsten. Die Leitungen unterscheiden sich in Bezug auf Länge, Qualität und Rauschpegel. Wenn ein DSL-Dienst nicht funktioniert oder die Verbindungsgeschwindigkeit verbessert werden muss, ist es an der Zeit, angemessene Kupferkabel-Fehlerbehebungswerkzeuge einzusetzen.

Tabelle 6. TAL-Prüfverfahren

Selbsttests können als Abschlusstests durchgeführt werden, und die Ergebnisse dieser Tests können zur Datengewinnung durch die Anbieter auf Cloud-basierte Server hochgeladen werden.

Der Kunde verfügt über keine Verbindung	Die dem Kunden zur Verfügung stehende Datengeschwindigkeit ist zu langsam	Beim Kunden treten gelegentlich Probleme auf
Kupfer-Selbsttests ermöglichen eine schnelle Bestanden/Nicht bestanden-Analyse der Leitungsqualität. TDR, Leitungswiderstand und/oder Leitungskapazität können mit vorhandenen Aufzeichnungen der Anlage verglichen werden, um zu sehen, ob größere physikalische Fehler vorliegen. TDR-Messungen oder Smart-Fehlerortungen wie der FaultMapper von EXFO bieten die beste Lösung, da die Benutzer so Fehler „sehen“ können, die in Widerstands- und Kapazitätstests nicht angezeigt werden.	Kupfer- und DSL-Selbsttests bieten einen schnellen Hinweis auf die Leitungs- und DSL-Qualität. TDR, Leitungswiderstand und/oder Leitungskapazität können mit vorhandenen Aufzeichnungen der Anlage verglichen werden, um zu sehen, ob größere oder kleinere physikalische Fehler vorliegen. TDR-Messungen oder Smart-Fehlerortungen wie der FaultMapper von EXFO bieten die beste Lösung, da die Benutzer so Fehler „sehen“ können, die in Widerstands- und Kapazitätstests nicht angezeigt werden. Die Spektralanalyse (PSD) und Impulsrauschtests sind bei der Isolierung von Rauschproblemen nützlich. Nebensprechen, REIN und SHINE können zu langsamen Datengeschwindigkeiten führen.	Kupfer- und DSL-Selbsttests bieten einen schnellen Hinweis auf die Leitungs- und DSL-Qualität. TDR, Leitungswiderstand und/oder Leitungskapazität können mit vorhandenen Aufzeichnungen der Anlage verglichen werden, um zu sehen, ob größere oder kleinere physikalische Fehler vorliegen. TDR-Messungen oder Smart-Fehlerortungen wie der FaultMapper von EXFO bieten die beste Lösung, da die Benutzer so Fehler „sehen“ können, die in Widerstands- und Kapazitätstests nicht angezeigt werden. Die Spektralanalyse (PSD) und Impulsrauschtests sind bei der Isolierung von Rauschproblemen nützlich. Nebensprechen, REIN und SHINE können zu langsamen Datengeschwindigkeiten führen.

7. Informationen zum Autor

7.1 Über den Autor

Chris Dunford ist Produktleiter der EXFO-Geschäftseinheit Access und beschäftigt sich seit über 17 Jahren mit Kupfer-, DSL-Test und Meßsystemen. Herr Dunford hat mehrere Artikel zu Technologien wie IPTV, VDSL2 und Vectoring verfasst, die in Publikationen wie OSP Magazine und auf dem EXFO-Blog veröffentlicht wurden, und war Präsentator bei von OSP EXFO und Light Reading durchgeführten Veranstaltungen.

7.2 Den Autor kontaktieren

EXFO Inc. und der Autor dieses Buches begrüßen Vorschläge und Feedback. Bitte richten Sie Kommentare und Fragen an:

EXFO Inc., 160 Drumlin Circle , Concord (Ontario) L4K 3E5 KANADA

Tel.: +1 905 738-3741 Dw. 27076 • Fax: +1 905 738-3712 • E-Mail: chris.dunford@EXFO.com

Sie können Herrn Dunford auch auf Twitter folgen: @VA3CRD.

8. Literaturhinweise

8.1 Empfehlungen der ITU-T

8.1.1 Empfehlungen zu DSL

Nummer	Titel
--------	-------

G.991.1 (10/98)	High-bit-rate digital subscriber line (HDSL) transceivers
-----------------	---

G.991.2 (12/03)	Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers
G.992.1 (07/99)	Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers
G.992.2 (07/99)	Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers
G.992.3 (04/09)	Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2)
G.992.5 (01/09)	Asymmetric digital subscriber line 2 transceivers (ADSL2) – Extended bandwidth DSL2 (ADSL2+)
G.993.2 (12/11)	Very-high-speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)
G.993.5 (04/10)	Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers
G.994.1 (06/12)	Handshake procedures for digital subscriber line transceivers
G.996.1 (02/01)	Test procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers
G.996.2 (05/09)	Single-ended line testing for digital subscriber lines (DSL)
G.997.1 (06/12)	Physical-layer management for digital subscriber line transceivers
G.998.1 (01/05)	ATM-based multi-pair bonding
G.998.2 (01/05)	Ethernet-based multi-pair bonding
G.998.4 (06/10)	Improved impulse noise protection for DSL transceivers

8.1.2 Copper Testing Recommendations

Nummer	Titel
O.9 (03/99)	Measuring arrangements to assess the degree of unbalance about earth
O.41 (10/94)	Psophometer for use on telephone-type circuits
O.71 (11/88)	Impulsive noise measuring equipment for telephone-type circuits

Danksagung

Mein Dank gilt all denjenigen, die auf irgendeine Art und Weise, sei es mit größeren oder kleineren Beiträgen, zur Entstehung dieser neuesten Ausgabe des *Leitfadens zu TAL- und DSL-Tests beigetragen haben*. Ich hoffe sehr, dass die aktualisierte Anleitung für Sie, den Leser, als wichtige Informationsquelle dient.

Spezieller Dank gilt dem Team von EXFO Access – Eric Honig, Andrew Long, Paul Marr und Alfonso Domesi – für die wertvollen Beiträge und Hilfestellungen.

Sollten Sie weitere Informationen benötigen, zögern Sie bitte nicht, sich an mich zu wenden (Kontaktinformationen siehe Kapitel 8).

Diese Anleitung darf ohne vorheriges schriftliches Einverständnis von EXFO weder ganz noch teilweise oder in irgendeiner Form reproduziert werden.

Gedruckt und gebunden in Kanada

ISBN 978-1-55342-108-5

Pflichtexemplar-Nationalbibliothek von Kanada 2014

Pflichtexemplar-Nationalbibliothek von Quebec 2014



Wenn Sie weitere Einzelheiten zu unseren Produkten und Dienstleistungen wünschen oder technische und Anwendungshinweise herunterladen möchten, besuchen Sie unsere Website auf www.EXFO.com.



EXFO

