

Umfassende, reproduzierbare, fehlerfreie Abnahmemessungen von High Bitrate DWDM/ROADM Glasfasernetzen

Meßverfahren und Praxis für Abnahmemessungen bei der
Errichtung hochleistungsfähiger Glasfasernetze

Inhaltsverzeichnis

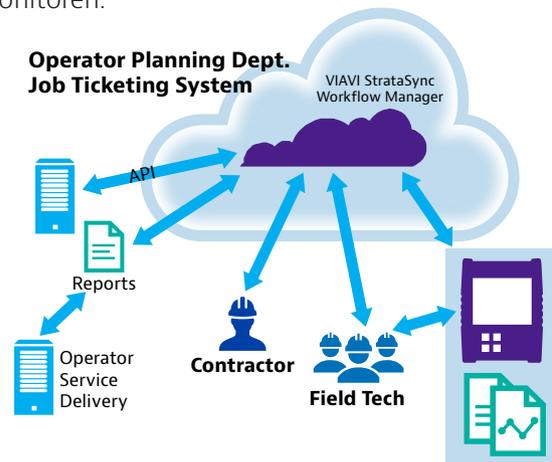
1.0	Einleitung – von der Glasfaserabnahme bis hin zum Betrieb des Netzes	2
2.0	Die normative Situation, Standardisierung im LWL Weitverkehr	5
2.1	Fasertypen Standards	5
2.2	Steckertypen Standards	6
2.3	Standards für Optische Stecker- Qualitätsbeurteilung	8
2.4	Dämpfungsmessungen: Blick auf Standards	9
2.5	Standards für OTDR- Messungen	10
2.6	Chromatische & Modendispersion	14
3.0	Weitere Details zu den Anforderungen an Abnahmemessungen	15
3.1	Details zu LWL Endflächenreinigung und Sauberkeit	15
3.2	Details zum Prüfen der Referenz Messkabel und Vorlauffasern	16
3.3	Details zur IL / RL Messung uni- und bidirektional	17
3.4	Details zu OTDR Messungen uni- und bidirektional	20
3.5	Details zu Chromatischen Dispersion und zur CD- Messung	24
3.6	Details zur Polarisationsmodendispersion und zur PMD-Messung	26
4.0	Checkliste / Empfehlungen für konsistente, umfassende Abnahmemessungen	29
4.1	Qualitätssicherung bei Abnahmemessungen	31
5.0	Glossar	33
6.0	Literatur	34

1.0 Einleitung – von der Glasfaser Abnahme bis hin zum Betrieb des Netzes

Diese Applikationsschrift soll den Blick schärfen für die Anforderungen an Abnahmemessungen für hoch performante, großflächig verlegte High- Bitrate Glasfaser Backbone & Access Infrastruktur. Zum Abschluß werden Hinweise für eine strukturierte Vorgehensweise und Qualitätssicherung gegeben. Neben den eigentlichen Messaufgaben werden dem Planer und Projektleiter basierend auf langjährigen Erfahrungen viel praktische Hinweise für die grundsätzliche Vorgehensweise zur Abnahme neu installierter Fasern gegeben. Ferner darf man auch nicht das Thema Laser Sicherheit und Arbeitsplatzsicherheit sowie den Umgang mit Arbeitsmaterial, Sauberkeit beim Spleißen und Faser-Restmüll beim Spleißen unterschätzen. Der Umgang mit Messtechnik und Arbeitsmaterial vor Ort auf der Baustelle gibt schon einen guten Anhaltspunkt für Professionalität des Installateurs. Messgeräte sowie Vorlauf- und Patchfasern ohne Schutzkappen sollte man sofort von der Baustelle entfernen. Es wurden schon neu installierte Anlagen „totgemessen“.

Die Anforderungen an die Performance und Dauerhaftigkeit der Eigenschaften eines hochbitratigen Glasfaserbackbone und -Access Netzwerks gehen einher mit steigenden Anforderungen an die vorausschauende Planung, an die benötigte Messtechnik sowie an den Personenkreis, der diese Abnahme-messungen durchführt. Korrekte und standardkonforme Messungen erfordern hierfür geschultes Personal auf der Contractorseite oder stringente fehlervermeidende Prozesse durch automatisierte Abnahmeverfahren. Blindflug kann nur vermieden werden durch zwingend standardisierte Messvorschriften unter Verwendung von Equipment mit gültiger Kalibration sowie durch Sicherung der festgelegten Messprozeduren. Heute verfügbare Cloudbasierte Test Process Automation (TPA) Tools mit vorab geplanten Messkonfigurationen und Messplänen verhindern systematische Fehlmessungen und sichern die Echtheit der ausgeführten Messungen. Bild- und Geo-Dokumentation helfen bei späteren Störungen bei der schnellen Lokalisierung und Fehlereingrenzung. Der konsequente Einsatz von TPA und dafür geeigneten Messgeräten ermöglicht Einsparungen für Netzbetreiber und Installateur, da auch auf die Weise keine Spezialisten benötigt werden, um reproduzierbar, hohe Qualität abzuliefern. Im Gegensatz zum früheren Vorgehen müssen keine Messspezialisten vor Ort die Abnahmemessungen durchführen, und der Auftraggeber kann quasi in real-time den Fortschritt der Abnahmemessungen monitorieren.

Bild 1 Test Process Automation TPA: Abnahme Mess-Jobs vom Ticket System / Operator über API Interfaces zum Installer



Eine TPA Strategie erfordert die stringente vorherige Planung aller anstehenden Messungen. Neben der manuellen Konfiguration von Messungen setzt sich heute mehr und mehr der API-gestützte Import von Infrastrukturdaten aus Job-Ticket Systemen und Planungstools für die anstehenden Messungen durch. Auf einem Cloud Server werden die Konfigurationen bereitgestellt, vom Projektmanager auf die Smartphones der Monteure verteilt sowie per BT/Wifi auf die Messgeräte gebracht (Bild 1). Per Smartphones werden die Messergebnisse zurück an den Cloud Server geleitet, um aus den Reports die Dokumentation zu generieren und um zudem Statistiken zu gewinnen und den Projektstand jederzeit abzubilden. Falls der Monteur am Messort keinen Empfang hat, werden Ergebnisse zwischengespeichert, bis wieder Netzzugang besteht und dann automatisch hochgeladen. VIAVI verwendet

hierzu das Messmittelmanagement Portal VIAVI Stratasync und den Job Manager zur Steuerung der Messungen. Natürlich können die nötigen Messungen auch direkt per API aus dem Kunden Job-Ticketing System geladen werden.

High-Bitrate Systeme unterliegen weiteren physikalischen Beeinflussungen als nur der Dämpfung und Reflexion. Die häufig als ausreichend betrachtete Erfassung der LWL- Streckensignatur mit IL- und OTDR- Messung reicht zur Streckenbeschreibung nicht aus, wenn hochbitratige, vielkanalige DWDM- / CWDM- / ROADM- Systeme in CL-Band (DWDM) und OESCL- Band (CWDM) auf der Faserinfrastruktur betrieben werden sollen. Hier kommen bei großen Streckenlängen faseroptische Parameter wie PMD und CD ins Spiel. Weiterer Diskussionspunkt: bei knappen Dämpfungsbudgets ist die IL (Insertion Loss) -Messung mit Gleichlicht genauer als die Messung des IL anhand der Rückstreckkurve des OTDR´s. Die bi-direktionale Messung ist im Weitverkehr unumgänglich, um die richtungsabhängigen Unterschiede der Spleißdämpfungen arithmetisch auszumitteln und das tatsächliche IL des Spleißes zu ermitteln. Dies erledigt eine VIAVI PC-Auswertesoftware Fibercable automatisch. VIAVI OTDR´s mit BiDir Messmodulen können aber schon auf dem Messgerät eine Mittelwertbildung vornehmen. Im Installationsfall ist bei Einschaltung von WDM Systemen auch die Spektrumanalyse der aufgeschalteten Kanäle von Interesse. Darauf wird hier nicht eingegangen: Inbetriebnahme der aktiven Systeme mit Analyse der DWDM Kanalpegel sowie OSNR Messung. Zum Installationszeitpunkt kann bei kohärenten Signalen die On-Off Methode zur OSNR-Messung angewendet werden. Im späteren Betrieb bietet VIAVI als einziger Messgerätehersteller eine unterbrechungsfreie OSNR- Messung für kohärente High Bitrate Signale am Monitorpunkt (OSCA-710). Wenn eine in Betrieb befindliche passive WDM-Infrastruktur auf einem nicht belegten Kanal verifiziert werden soll, bietet sich der Einsatz von wellenlängenselektiven VIAVI CWDM- und DWDM-OTDR Modulen an. In dieser Applikationsschrift wird aber nur die Abnahme der reinen Faseranlage (G.652.D, G.657.A1) ohne die Messtechnik für daran angeschlossene passive / aktive xWDM- Systeme beschrieben.

Die Gesamt-RL (Return Loss) Messung kann mit dem Gleichlichtverfahren genauer ausgeführt werden als mit dem OTDR, bietet aber nicht die Ortsauflösung wie das OTDR. Diese Messung ist heute dem Labor vorbehalten und im Feld nicht mehr so verbreitet wie früher, als das RF Fernseh-Overlay Signal 1550nm mit analog modulierten Lasern übertragen wurde und man die im Vergleich zum OTDR schnellere Gesamt-RL Messung mit dem VIAVI ORL-55 / ORL-85 standardisiert hatte. Heute wird der per Integration gewonnene Gesamt ORL Wert einer OTDR Messung als ausreichend angesehen. Die in Bild 2 dargestellte aufwendige Referenzierung ist bei Streckenmessungen im Feld unpraktisch und nicht erforderlich. In Kapitel 2.5 wird auf die OTDR Messungen näher eingegangen.

Die Referenzierung links in Bild 2 mit Mandrels ist aufwendiger als die Referenzierung rechts für die Puls-

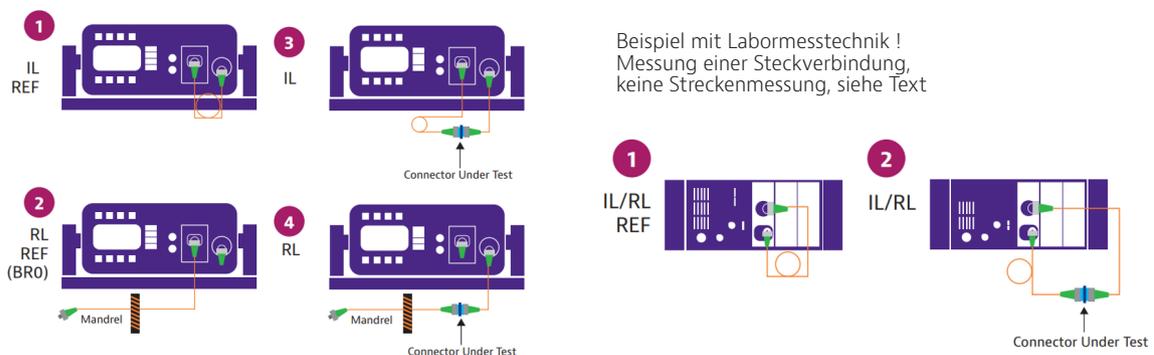


Bild 2 IL & Return Loss Messung eines Steckers mit Gleichlichtverfahren gegen ortsauflösende IL/RL-Messung mit OTDR

messung. Bei der OTDR- Messung rechts kann per SW im Zeitbereich die Referenzebene vor und hinter dem Prüfobjekt gesetzt werden. Bei der Gleichlichtmethode links müssen die beiden Referenzpunkte mit den Mandrels gesetzt werden. Bei Strecken Return Loss Messung mit einem Feldtester ORL-85 (Gleichlicht) erfolgt die Referenzierung ohne Mandrel und entfällt bei der OTDR- Streckenmessung komplett. In beiden Fällen wird alles rückreflektierte Licht in Bezug zum Sendelicht verglichen und als Return Loss Dämpfungswert angezeigt.

Die weiter oben genannte PMD Messung war in Zeiten der On-OFF (NRZ-) Modulation das Angst-Thema der Netzbetreiber. In ITU-T sind die mit steigender Bitrate schärferen PMD Grenzwerte numerisch aufgeführt und haben ab der Einführung von STM-64 / 10G Ethernet zu einer starken Verbreitung der PMD Messtechnik geführt. Die im Vergleich zu OTDR Messtechnik teure PMD/CD Messtechnik war ein reines Mietgeschäft, bis diese Messung zur täglichen Messung der LWL Installateure wurde und auch Installationsfirmen die Geräte selbst kauften. Mit einem Schlag war man dann aber bei kohärenten 100G Systemen scheinbar das Problem los. Mit der kohärenten Dual-Polarisation Systemtechnik werden streckenbedingte PMD Verzerrungen auf der elektrischen Signalseite mittels Digital Signal Processing kompensiert, aber man ist dennoch daran interessiert, zu verstehen wie weit man von einer Schwelle entfernt ist, bei der die Kompensation versagt und das Signal im Empfänger schlagartig aussetzt. Daher kann bei kohärenten Systemen nicht einfach vollständig auf die PMD Qualifizierung verzichtet werden.

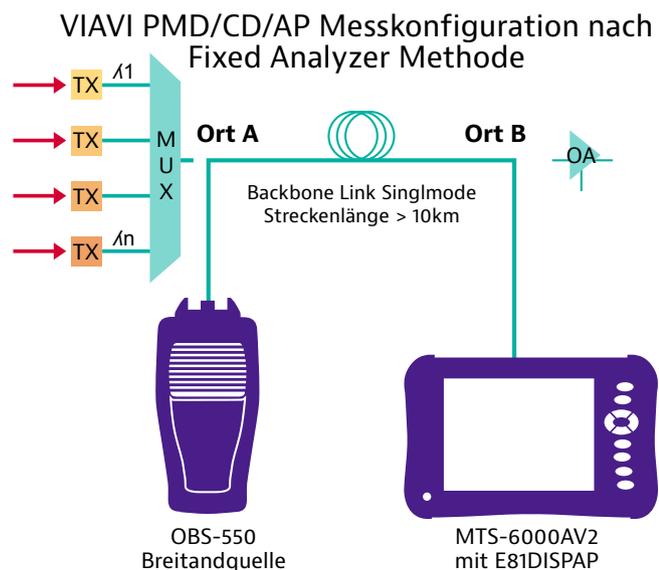


Bild 3 Messkonfiguration für PMD- und CD-Messungen nach der Fixed Analyzer Methode

An Faserstrecken mit starken thermischen oder mechanischen Beeinflussungen wird bei kritischen PMD Abnahmemesswerten eine Langzeit PMD-Messung empfohlen, da der zu einem Zeitpunkt x gemessene PMD Wert rein statistischer Natur ist und schon 1 Minute später und bei jeder neuen Messung starken Änderungen unterliegt. Dies betrifft vor allem z.B. in Freileitungen verlegte Glasfasern (Energieversorger) oder starken mechanischen Beanspruchungen und Vibration ausgesetzte Trogleitungen (z.B. entlang Bahntrassen). Bei Betrachtung von mechanischen Beeinflussungen liegt der Gedanke nicht fern, die Brillouin -Eigenschaften einer Glasfaser auch für Dehnungs- und Temperaturmessungen einzusetzen. Mit dem B-OTDR von VIAVI (Bild 4) können solche Langzeiteinwirkungen auf Glasfasern kontinuierlich protokolliert werden. VIAVI ist der einzige Messtechnik Hersteller, dem es gelungen ist, die Temperatur & Dehnungsbelastungen mit dem Brillouin- Verfahren getrennt und ortsauflösend aufzuzeichnen. Dehnungsaussagen sind außerordentlich wichtig für die Lebensdauerabschätzung einer Glasfaseranlage nach Bild 4, rechts. Wenn es gelingt, die Faserdehnungsbelastung von $\frac{1}{4}$ des Grenzwerts auf $\frac{1}{5}$ zur reduzieren, vergrößert sich die geschätzte Lebensdauer von 10 Jahren auf 40 Jahre. Diese Art der Messungen sind bei Abnahmemessungen von Faseranlagen kaum bekannt, aber für den späteren Faseranlagen Betrieb an Freileitungen oder Fasern in „harsh environment“ sehr aufschlussreich. Zur Dauerüberwachung können

diese Messungen parallel zum OTDR-basierten Faser Continuity – und QoS- Monitoring in die VIAVI ONMSi Plattform integriert werden.

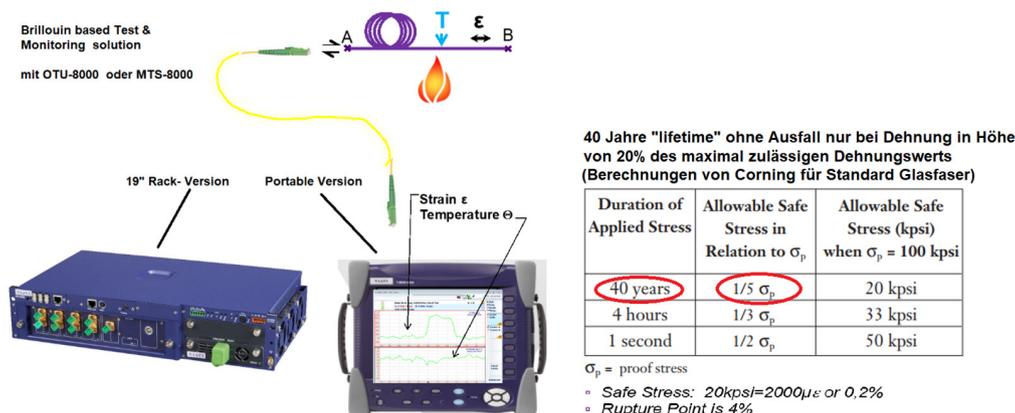


Bild 4 Brillouin OTDR für Dehnungs- und Temperaturmessungen an Glasfaserlinien

2.0 Die normative Situation, Standardisierung im LWL Weitverkehr:

Im Umfeld der lokalen Netze (LAN) gibt es ein einschlägiges Normungswerk nationaler und internationaler Klassen, da in einem lokalen Netz strikte Längenbegrenzungen und Dämpfungsgrenzwerte einer Faseranlage festgeschrieben sind. Diese Standards und darin verankerte Grenzwerte (z.B. ISO 11801 und EN-50173) können nicht in gleicher Weise auf den Weitverkehr übertragen werden, da es hier z.B. keine normativen Längenbeschränkungen gibt, wohl aber physikalisch bedingte Dämpfungs- / PMD- / CD- Einschränkungen.

Die folgenden Ausführungen zur normativen Situation für Weitverkehrs LWL-Netze beschränken sich auf die Stichpunkte und Verfahren, welche relevant für LWL Abnahmemessungen von Long Distance Weitverkehrs-Glasfaser Anlagen sind und zu den entsprechenden Messvorgaben führen.

2.1 Fasertypen Standards

In der Praxis werden heute nur noch vereinzelt andere als die nachfolgend beschriebenen Kabeltypen eingesetzt. Bei Mehrfachnutzung einer Glasfaser mit DWDM hat sich die Standard Singlemodefaser G.652 in der weiterentwickelten Form G.652.D für den erweiterten Wellenlängenbereich und für die Long Distance Streckenverkabelung als am besten geeignet erwiesen. Auf herstellereigenspezifische Singlemode Faser-Sonderentwicklungen wie Pure Guide, LEAF, True Wave, Allwave usw. wird hier nicht eingegangen. Im Access- und Anschlußbereich wird die gegenüber G.652.D um Faktor 10 biege-resistentere Singlemodefaser z.B. nach G.657.A1 verwendet. Diese verfügt über den gleichen Modenfelddurchmesser wie die G.652.D Faser und ist somit kompatibel verspleißbar. Die ITU-T Dämpfungsvorgabe aus 2016 ist heute konservativ und wird nun immer unterschritten.

Die Vorgabe für CD Kennwerte wird beim Herstellen der Faser „eingestellt“ und ist im Gegensatz zur PMD nicht installationsabhängig, kann also anhand der geplanten Längen vorausberechnet werden. Die PMD Verzerrung dagegen gibt ein Abbild der Installationsqualität und Umgebungsbeeinflussungen. Zudem werden schlechte PMD-Werte i.d.R. bei der OTDR- oder Dämpfungsmessung nicht sichtbar. Daher ist die PMD Messung bei großen Streckenlängen und hohen Bitraten auch beim Betrieb mit kohärenten Systemen dringend empfohlen.

LWL Dämpfungsbelag	ITU-T Vorgabe für 1550nm 11/2016	Betreiber Vorgabe für 1550 nm
ITU-T G.652.D	< 0,3 dB/km	BoL 0,22 dB/km EoL 0,25 dB/km
ITU-T G.657.A1 (biegeoptimiert)	< 0,3 dB/km	BoL 0,22 dB/km EoL 0,25 dB/km
LWL Chromatische Dispersion	ITU-T Vorgabe für 1550nm 11/2016	Betreiber Vorgabe für 1550 nm
= maximale zulässige CD in ps/nm	< 0,3 dB/km	BoL 0,22 dB/km EoL 0,25 dB/km
ITU-T G.652.D	13,3-18,6 ps/(nm x km)	?
ITU-T G.657.A1 (biegeoptimiert)	13,3-18,6 ps/(nm x km)	?
LWL Polarisations Dispersion	ITU-T Vorgabe für 1550nm 11/2016	Betreiber Vorgabe für 1550 nm
= maximale erlaubte PMD in ps	< 0,3 dB/km	BoL 0,22 dB/km EoL 0,25 dB/km
ITU-T G.652.D	PMDQ < 0,2 ps / km	?
ITU-T G.657.A1 (biegeoptimiert)	PMDQ < 0,2 ps / km	?

Bild 5 ITU-T Vorgaben und kundenspezifische Grenzwerte für IL, CD, PMD BoL = begin of life, EoL = end of life

2.2 Steckverbinder Standards

- IEC 61753: Klassifizierung von LWL- Steckverbindern
 IEC 61300-3-34: IL Dämpfungsmessungen an Steckverbinder
 IEC 61300-6: RL Rückflußdämpfungsmessungen an Steckern
 IEC 61754-x und EN 186000: Formulierung allgemeiner Aussagen zum Aufbau der Steckverbinder

Die Steckverbinder sind das neuralgische Element in einer LWL Verkabelungsanlage. An jedem Patchfeld wird die homogene Faserstruktur unterbrochen und im ungünstigsten Fall durch Verschmutzungen und Beschädigungen sogar ein Luftspalt erzeugt. Die am Glas/Glas oder Glas/Luft Übergang erzeugten Reflexionen führen zu einer Abschwächung des vorwärts laufenden Nutzsignals. APC- Schrägschliffstecker verringern die Reflexionen und verkleinern den Dämpfungsverlust gegenüber PC-Geradschliffsteckern. In lokalen Netzen sind Steckverbinderverluste streng limitiert. Im Weitverkehr werden heute je nach Anforderungen Stecker in verschiedenen Güteklassen eingesetzt: führen zu einer Abschwächung des vorwärts laufenden Nutzsignals. APC- Schrägschliffstecker verringern die Reflexionen und verkleinern den Dämpfungsverlust gegenüber PC-Geradschliffsteckern. In lokalen Netzen sind Steckverbinderverluste streng limitiert. Im Weitverkehr werden heute je nach Anforderungen Stecker in verschiedenen Güteklassen eingesetzt:

	Durchschnittliche Steckerdämpfung	Maximale Steckerdämpfung
IEC Steckerqualität Grade A	>= 0,07 dB	< 0,15 dB
IEC Steckerqualität Grade B	>= 0,12 dB	< 0,25 dB
IEC Steckerqualität Grade C	>= 0,25dB	< 0,50 dB
IEC Steckerqualität Grade D	>= 0,50 dB	< 1,00 dB

Bild 6 LWL-Stecker Klassifizierung nach IEC 61753

Der Autor empfiehlt für ein High- Performance LWL Verkabelungssystem, mindestens Stecker vom Grade C. Besser wäre, auf Grade B zu gehen (eine Preisfrage....). Im Falle von Grade B sind auch teurere Referenz Messfasern zu verwenden! Bei Grade C sind Referenz Messfasern mit 0,2 dB Dämpfung ausreichend, bei Grade B muß man „formell“ auf 0,1 dB als Referenzsteckerdämpfung bestehen. Diese Klassifizierungen entstammen aus der Planung für LAN- Systeme, bei denen man im Wesentlichen die Dämpfung zweier gegenüberliegender Patchfelder mit 2 Spleißen der Pigtails mißt (Faserdämpfung bei kurzen Längen vernachlässigbar).

Im Weitverkehr (Bsp. 80km Streckenlänge) dagegen ist es müßig, bei ca. 18dB Streckendämpfung über 0,1 oder 0,2 dB Referenzkabel Steckerdämpfung zu diskutieren. Wenn auf einem Link jedoch mehr als 2 Patchungen existieren, ist für den Planer der eingesetzte Stecker Grade in der Anlage dennoch von Interesse.

Die große Zahl der heute verfügbaren LWL-Steckverbinder kann nicht in einer knappen Form umfassend dargestellt werden. Bild 7 beschreibt in knapper Form die für ein hochperformantes Weitverkehrs - LWL Netzwerk primär in Frage kommenden 2021 hauptsächlich verwendeten Steckverbinder.

	Ferrule	typ. IL	Labor RL	Praxiswerte	Standard	Besonderes Merkmal
E-2000HRL Stecker	2,5 mm	0,2 dB, 0,1 dB Variante	80 dB	>60 dB	IEC 61754-15, CECC 86275	Auto-Staubschutzkappe
SC-APC Stecker	2,5 mm	0,2 dB < 0,2 dB Variante	65 dB	>55 dB	IEC 61754-4 CECC 86265	Geringe Packungsdichte
LC-APC Stecker	1,25 mm	0,1 dB	65 dB	>50 dB	IEC 61754-20	Hohe Packungsdichte
(MPO/MTP® -SM-APC Stecker)	MPO 8/12/16/24	< 0,3 dB	55 dB	>45 dB	IEC 61754-7	Sehr hohe Packungsdichte

Bild 7 Kennwerte von Singlemode LWL Steckertypen. Quelle: FOC, Berlin

Die häufigsten Streitfälle und Funktionsprobleme von LWL Faseranlagen treten an den Patchfeldern in Bezug auf Steckersysteme auf. Kaum einer ist sich z.B. dessen bewusst, dass der Stift eines MTP- Steckers elliptisch, aber der eines MPO Steckers rund ausgeführt ist. Jeder, der Kupfer- und LWL- Infrastruktur aufgebaut hat, und dabei verschiedene Hersteller gemischt eingesetzt hat, hat auch bei standardisierten Simplex Steckverbindern Reinfälle erlebt. Passprobleme bei E2000, Ungenauigkeiten bei Verwendung billiger LC- Importware etc. sind bekannt. Rein äußerlich sehen die Steckverbinder kompatibel aus. Größter Feind der LWL Steckertechnik sind aber Beschädigungen und Verschmutzungen an der Kontaktfläche, wie in Bild 8 beispielhaft dargestellt.



Bild 8 Typische Störungsbilder von Glasfaser Steckern (gemessen und bewertet mit normgerechten Fasermikroskop)

Hinzu kommen bei Billigware auch Stecker mit schlechter Ferrulen Zentrierung, nicht planer Kontaktfläche, Fehlwinkel / Schielwinkel, Verschmutzung ab Werk (eingeschweißt in Folie heißt nicht automatisch: klinisch rein). Im Labor können erweiterte, auch 3-dimensionale Steckerendflächenanalyse durchgeführt werden (Bild 9)

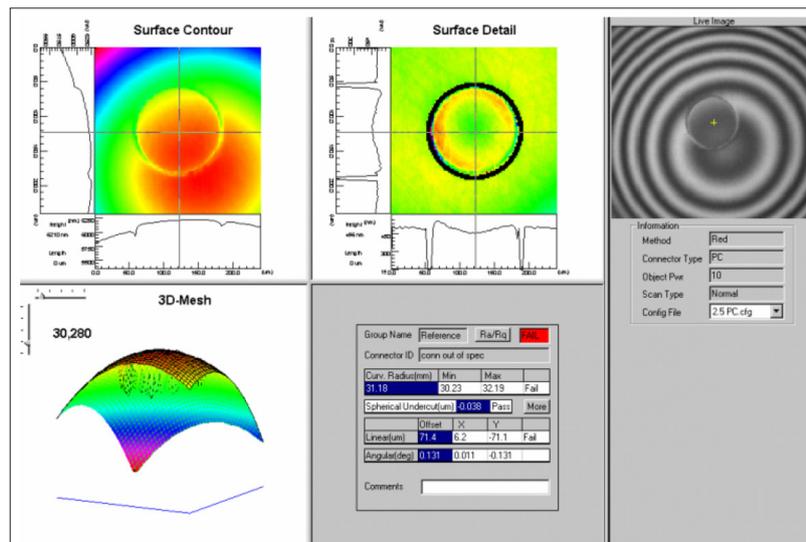


Bild 9 3-dimensionale Messung der geometrischen Stecker Performance (nach Unterlagen von Tyco). Beispiel eines schlecht zentrierten Faserkerns. Messung mit Interferometer

Bei der Erstellung einer hoch performanten LWL Kabelanlage müssen klare Verarbeitungsvorgaben für den Installateur existieren, um eine einheitliche Qualität der Installation und eine reibungslose Faserabnahme zu ermöglichen. Hierzu gehören klare Vorgaben, wie der Installateur mit den Pigtails, Patchfeldern, Patchkabeln umzugehen hat. Zur 100% Sicherheit gehört eine Faserstecker- Grenzflächen Inspektion vor dem Stecken oder vor dem Aufbringen eines Schutzdeckels. Grobe geometrische Fehler der verwendeten Steckersysteme können im Feld auch mit dem Fasermikroskop erkannt werden. Praxistipp: Qualitäts-Check vor Baugruppenfreigabe. Der Verfasser hat eng gepackte LC-Patchfelder erlebt, bei denen sich die rückseitig verbauten LC-Pigtails einer Buchse am äußeren Rand des Rahmens bei Bewegung des frontseitig gesteckten LC-Patchkabels gelöst haben, weil der Verriegelungs-Clip gegen die seitliche Wand gestossen ist und sich damit der rückseitige Stecker löste.

2.3 Standards für Optische Stecker- Qualitätsbeurteilung

IEC-61300-3-35 ed. 2: Beurteilung von Steckverbindern in der LWL Übertragungstechnik

In dem oben genannten IEC- Standard sind objektive Bewertungsrichtlinien und Grenzwerte definiert und später in Edition 2 an die praktischen Bedürfnisse angepasst worden. Die heute verfügbaren Video-Mikroskope helfen mit automatischer Gut-/Schlecht Analyse incl. einem PDF Report bei der Abnahme von Faseranlagen. Die Stecker-Fotos können idealerweise in die zur Streckenqualifizierung erstellten OTDR-Reports integriert werden.

Viele Systemhersteller und Netzbetreiber fordern bei dem Aufbau und Inbetriebnahme von Anlagen mit Bitraten ab 100G zwingend die Einhaltung des in Bild 10 abgebildeten Workflows: kein Steckvorgang, ohne vorher inspiziert und ggfs. gereinigt zu haben. Nachlässigkeiten an dieser Stelle führen später zu der ausweglosen Situation, in Betrieb befindliche, störbehaftete Faserwege zur Kontrolle aufzutrennen, um die Patchungen zu kontrollieren. Pönale und Kundenabwanderung sind die Folge, da die Wartungsfenster für solche Aktionen immer kleiner werden.



Eingesetzte Messtechnik: VIAVI P-5000i, FC-Probe, Sidewinder

Bild 10 Qualitäts-Sicherung bei der Installation durch einen definierten IBYC- Prozeß für das Stecken von Pigtails in Patchfelder rückseitig und für das frontale Stecken von Patchkabeln

2.4 Dämpfungsmessungen: Blick auf Standards

ITU-T G.650 Serie
 EN 188000 Dokumente
 EN 61280-4
 DIN EN 50346

Lichtwellenleitersysteme erfordern auf der Empfangsseite das Einhalten eines sogenannten Empfangspegelfensters. Zu hohe Leistungen am Empfänger führen zu Übersteuerung und Bitfehlern, zu geringe Leistung führen zu Signalverlust, AIS-Meldungen und Abschaltung auf der Sendeseite. Daher ist der Planer aufgefordert, beim Weitverkehr in Abhängigkeit von den eingesetzten Sendeleistungen (Transceiver Klassen medium range, long range, extended range, ...) maximale Dämpfungsbudgets zu definieren, aber in Einzelfällen auch Zusatzdämpfung einzubauen, wenn trotz Kurzstrecke aus verschiedenen Gründen ein „extended range“ Transceiver eingesetzt wird.

Die IL Messung nach dem Gleichlicht Prinzip ist eine sehr genaue Messung mit den sehr günstig erhältlichen Laser-Handsendern und Pegelmessern. Höherwertige Geräte dieser Art beinhalten Quelle und Pegelmesser in einem Gehäuse und können ohne Umstecken eine bidirektionale Messung ausführen, und kommunizieren zu dem Zweck über die Messfaser miteinander.

Aus dem LAN- Umfeld bekannt sind die Referenzierungen nach 1-Jumper Methode (gleiche Steckverbinder links/rechts) und 3-Jumper Methode (wenn links und rechts unterschiedliche Steckverbinder eingesetzt sind). Im Weitverkehr hat sich die 2-Jumper Methode etabliert, und auch im LAN wird häufig so gearbeitet, dort unter Beachtung der EF- Kompatibilität für Multimodemessungen – letzteres ist bei Singlemode nicht definiert:

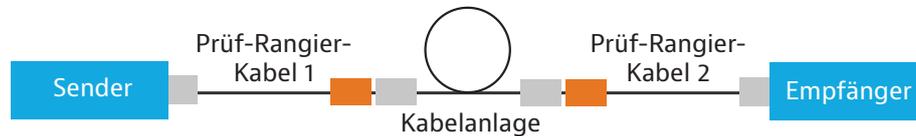


Bild 11 Referenzierung einer IL-Messung mit der 2-Jumper Methode (2 Mess-Referenzkabel hoher Güte)

Wie im Kapitel „Steckverbinder“ aufgeführt, sind die rot markierten Referenzstecker in Bild 11 möglichst in höherer Qualität ausgeführt als die grau markierten Steckverbinder im Patchfeld der Anlage (= der Link). Typische Referenzfaser Steckerdämpfungen für Singlemode sind 0,2dB (für Grade C) oder 0,1 dB (für Grade B).

Auf die für LAN-Netze detailliert festgelegten Standards für Dämpfungsmessungen wird hier nicht eingegangen, da sich diese Applikationsschrift primär an Planer von Weitverkehrsnetzen richtet. In Kapitel 3.3. finden sich Details zu IL-Messungen und dazugehörige Messgeräte.

2.5 Standards für OTDR- Messungen

Für Singlemode Weitstrecken-OTDR Messungen gibt es nicht die Vielzahl an Standards wie für Multimode/LAN.

Die LAN-Abnahmemessungen wurden mit Vorgaben für OTDR Messungen an MM und SM Anlagen standardisiert z.B. in IEC 14763-3. Darin sind auch Singlemodemessungen beschrieben, wie sie im Weitverkehr erforderlich sind (Bild 14).

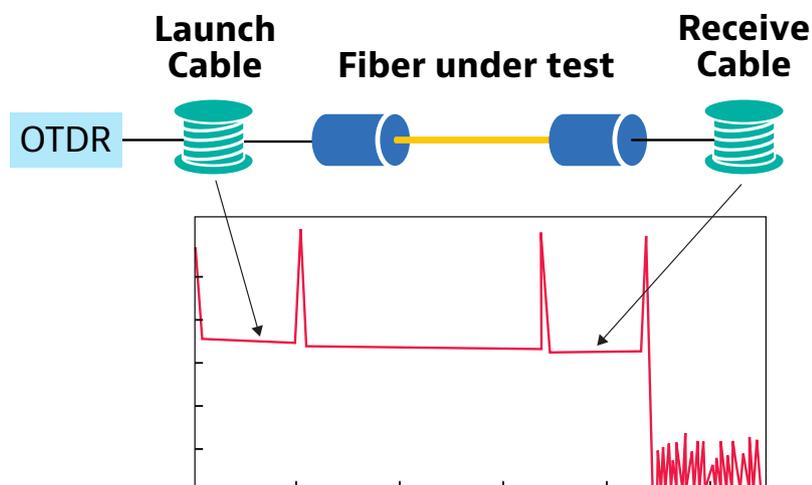


Bild 12 Messaufbau zur normgerechten OTDR Messung mit Vor- und Nachlauffaser

Neben dem Einsatz von Vor- und Nachlauffaser ist im Standard auch die regelmäßige Kontrolle der Steckverbinder vorgeschrieben. Je nach Qualität der Steckverbinder an VL-/NL-Faser sind diese Stecker aber nach der vom Hersteller vorgeschriebenen Zyklenzahl auszutauschen. Ein nachträgliches mechanisches Polieren der Faserendflächen der VL- / NL- Faser ist nicht zulässig, nur eine Reinigung. Erfahrungsgemäß werden aber Zyklen von 2000 – 3000 Steckvorgängen regelmäßig überschritten. Dementsprechend verschlechtert sich die Qualität von OTDR Messungen bei lange nicht gewechselten VL- /NL- Pigtails.

Vorlauf Fasern und Referenz Messkabel unterliegen einem Verschleiß. Es muß unbedingt verhindert werden, dass neue Anlagen mit alten, verbrauchten Vorlauf Fasern kaputtgemessen werden (praktische Beispiele sind bekannt).

Ohne VL-Faser kann der letzte Patchfeldstecker nicht präzise gemessen werden! In der Praxis wird aber meistens nur mit VL-Faser gemessen, da man die Strecke anschließend getrennt aus der anderen Richtung qualifiziert (Bild 13). Man hat beide entfernten Endpunkte dann je über eine VL- Faser gemessen, aber den Dämpfungswert der Endpunktstecker nur aus einer Richtung erfasst. Per PC- Auswertesoftware werden die beiden Kurven zusammengeführt und Mittelwerte aus beiden Richtungen errechnet.

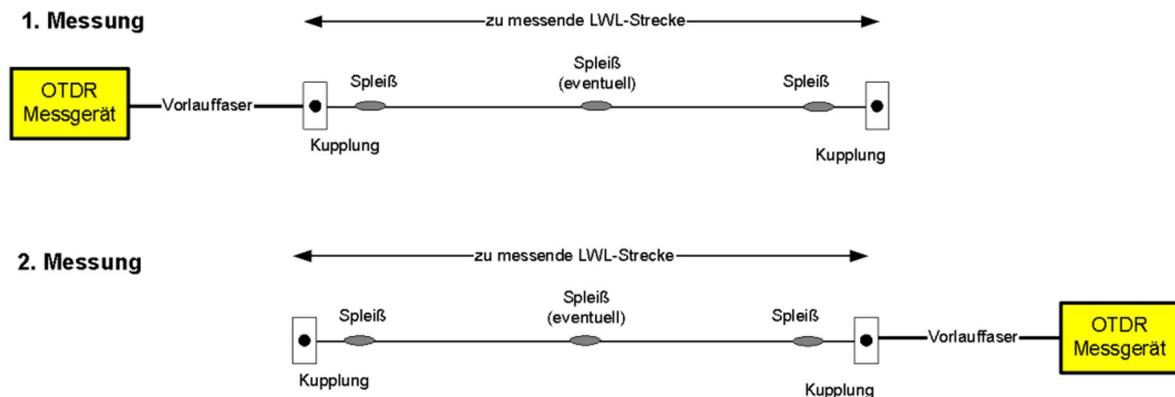


Bild 13 Konventionelle OTDR Messung in 2 Schritten (beide Richtungen nacheinander gemessen)

Da der Glasfaserlink zur normgerechten Qualifizierung nach IEC beidseitig erfasst werden muß, gibt es heute OTDR- Geräte, die über die Messfaser miteinander kommunizieren und im Rahmen einer vollautomatischen Sequenz die bidirektionale IL- / RL- / OTDR-Messung miteinander ausführen und eine gemeinsame Doku auf dem Mastergerät bereitstellen (Bild 14). Hiermit entfällt der Zusatzaufwand, nachträglich die Ergebnisse von 2 unabhängigen Messungen für Return Loss und Streckenprofil zusammenzuführen und schon bei der Messung wird die polaritätsrichtige Faserbeschaltung gesichert – sonst finden sich die beiden Geräte nicht. Bild 16 zeigt ein OTDR Messergebnis der bidirektionalen Messung.

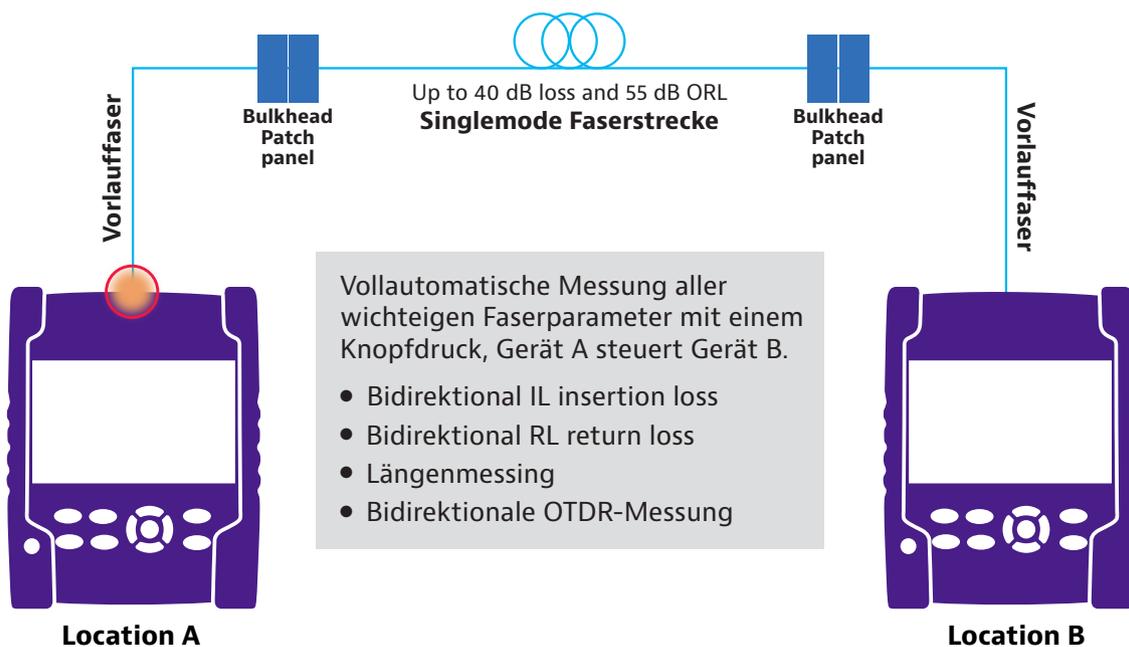


Bild 14 Messaufbau der bidirektionalen OTDR- / IL- / RL- Messung in einem Messdurchlauf. Ein Gerät steuert das andere In-Band über die Messfaser. Ergebnisse werden auf dem Mastergerät konsolidiert

Im Vorfeld interessiert bei OTDR Messungen auch das Protokollformat und die Möglichkeit der Weiterverarbeitung. Die Hersteller bieten heute neben dem standardisierten File Format *.sor auch proprietäre Formate an (Bsp. VIAVI: *.msor für Multi-Lambda oder *.csor für bidirektionale Messungen). Wer keine weitergehende Analyse und Statistikberechnungen mit den OTDR Ergebnissen durchführen möchte, erhält bei VIAVI z.B. auch direkt auf dem OTDR einen PDF- Report mit Kurve, Symboldarstellung und Ereignisliste sowie Gut/Schlecht Aussage (siehe Bild 17). Wer OTDR Rohdaten weiterverarbeiten und in eine Datenbank einlesen möchte, wird sich an dem anerkannten, standardisierten SOR- Format orientieren. SOR wurde ursprünglich von Bellcore entwickelt und später von Telcordia als SR-4731 zu dem heute in der Telekommunikation anerkannten *.SOR OTDR Report-Format weiterentwickelt. Jedes professionelle OTDR unterstützt heute dieses Format, neben diversen proprietären Varianten. Aus diesem Traceformat können Ergebnisprotokolle wie in Bild 15 dargestellt erzeugt werden. Mit modernen OTDR´s wie MTS-4000 oder ONA-800 kann die Schmetterlingsdarstellung der beiden bidirektionalen Messkurven A B und B A direkt auf dem Messgerät angezeigt werden.

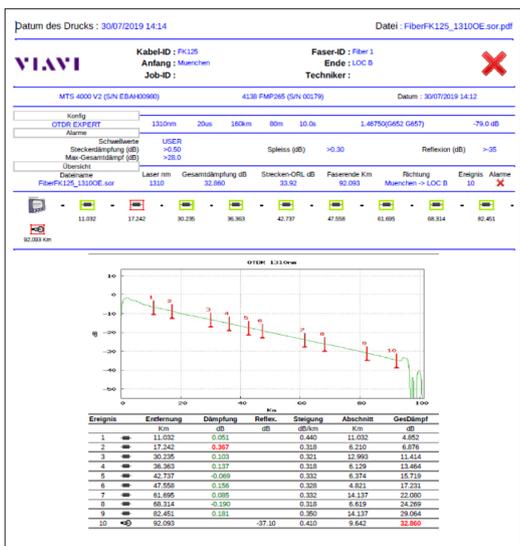


Bild 15 Beispiel für eine unidirektionale Singlemode Abnahmemessung mit Symboldarstellung: Ein Spleiß hat die zulässige IL überschritten

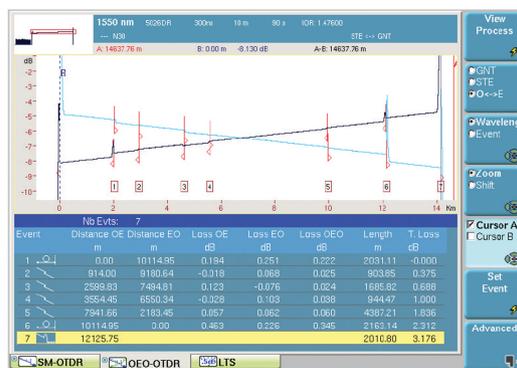


Bild 16 Beispiel für die bidirektionale OTDR Messung mit Überlagerung beider Kurven und Mittelwertbildung der Dämpfungswerte

Die penible Genauigkeitsbetrachtung der Steckerverluste bei den kurzen LAN- Strecken ist im Falle von Weitverkehrstrecken mit Entfernungen im 2-stelligen Kilometerbereich zwar nicht so bedeutsam, aber dennoch sollen die Vorlauffaserstecker Referenz- Steckerqualität aufweisen, um den zu messenden Übergang am Patchfeld (Link-Messung) möglichst fehlerfrei abzubilden, siehe Abschnitt Steckverbinder.

Da der Auftraggeber die zu messenden Streckenfeldlängen kennt, könnte er feste Einstellungen für die Pulslänge vorgeben. Heutige OTDR´s verfügen aber über gute Automatikfunktionen, um Pulslänge, Entfernungsbereich, Messzeit/ Mittelungszeit optimal einzustellen. Am Ende des Tages obliegt es dem Auftraggeber, seine vielen Dienstleister auf eine einheitliche Messkonfiguration einzustimmen (Konfigurationsvarianten für verschiedene Streckenlängen).

Wichtig ist eine dedizierte Nomenklatur für die eindeutige Benennung der Report Files. Bei Verwendung des TPA Verfahrens ist das schon im Vorfeld korrekt und eindeutig definierbar. Der Verfasser empfiehlt, neben einer heute üblichen Symboldarstellung des Streckenverlaufs unbedingt auch den OTDR-Trace im Meßprotokoll einzufordern. Nur aus dem Trace mit den zugehörigen Einstellparametern kann man im Fehlerfall eindeutige Schlüsse ziehen.



VIAVI Smart OTDR 1310/1550/1650F



VIAVI MTS-4000v2 1310/1550/1625



MTS-6000Av2 1310/1550/1625 + PMD,CD,OSA



ONA-800 1310/1550/1625 planned: PMD,CD,OSA



VIAVI MTS-5800 Durchsatztester mit OTDR Modul 1310/1550/1625

Bild 17 Beispiele für heute verfügbare OTDR's für den Feldeinsatz

OTDR Messung für die Dauerüberwachung (Inbetrieb Faser- oder Kabel-Überwachung)

Für die nach erfolgter Abnahme mittels OTDR empfohlene Glasfaser- Dauerüberwachung werden 2 Messprinzipien angewendet: die reine Pegel- Dauerüberwachung am Ende einer Strecke oder das OTDR-Messprinzip mit fest verbauten OTDR- Modulen in einem 19" Chassis. VIAVI bietet auch „embedded-OTDR“ Messtechnik an, die ein Systemhersteller in seinem Übertragungssystem integrieren kann. Bei Dauerüberwachung spielen immer Optische Umschalter eine Rolle, um nicht für jede Faser ein eigenes Messmodul vorzuhalten. Im Falle der Überwachung einer einzigen unbenutzten Faser eines Vielfaser-Kabels spricht man von Kabelüberwachung und setzt dabei voraus, dass eine auf dieser Faser erkannte Störung sich auf allen anderen Fasern auch auswirkt (Kabelbruch, grober Kabelschaden). Im Unterschied dazu kann auch jede beliebige in Betrieb befindliche Faser „live“ überwacht werden. Hier spricht man von echter In-Service Faserüberwachung. Die in Bild 18 unten dargestellte Variante überwacht individuell eine einzige in Betrieb befindlicher Faser des Bündels mit einer Out-of-Band Wellenlänge. Für diese Art der Live Fiber Überwachung ist schon bei der Planung der zusätzliche Aufwand und das Dämpfungsbudget für Kopplern und Filtern zu beachten.

Kabel- oder Faserüberwachung ?

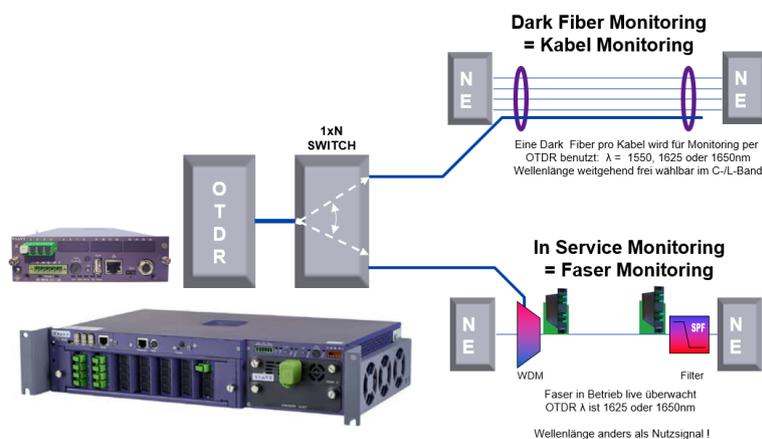


Bild 18 OTDR Dauerüberwachung mit OTU-5000 und OTU-8000 und integrierten optischen Umschaltern

2.6 Chromatische & Modendispersion

Im Zuge immer höherer Bitraten auf Glasfaserinfrastruktur sind neben IL und RL auch die störenden Einflüsse von CD und PMD messtechnisch zu erfassen, wenn es um Streckenlängen > 10km und um Bitraten ab 10Gbit geht. Diese Störungen führen zur Pulsverbreiterung mit daraus resultierender Pulsüberlappung und Bitfehlern, bis hin zum Ausfall der Übertragung. Die dazu nötigen Abnahmemessungen können mit unterschiedlichen Methoden durchgeführt werden und sind in Standards festgeschrieben.

Standards für Messung der Chromatischen Dispersion:

Standards	Description
IEC 60793-1-42	Measurement methods and test procedures—chromatic dispersion
ITU-T G.650.1	Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fiber and cable
TIA FOTP-175-B	CD measurement of single-mode optical fibers
GR-761-CORE	Generic criteria for chromatic dispersion test sets

PMD Einflüsse sind das größte Hindernis beim Upgrade bestehender Übertragungssysteme auf Bitraten bis 40G. Eine Kenntnis über die DGD (Differential Group Delay) ist unabdingbar bei konventioneller ON-OFF oder NRZ-Modulation. PMD Verzerrungen können bei kohärenter Signalübertragung auf der elektrischen Signalebene bis zu einem gewissen Grad herausgerechnet und kompensiert werden. Dennoch ist man sich in der Fachwelt einig, dass eine Kenntnis über den PMD Wert einer Faser für High Performance Übertragungsnetze sinnvoll ist und deshalb nicht völlig auf diese Messung verzichtet werden kann.

Standards zur Messung der Polarisationsmodendispersion:

Standards	Description
FOTP-113 TIA-455-113	PMD for single-mode optical fibers by the Fixed Analyzer method – Extrema counting (EC) – Fourier transform (FT)
FOTP-122 TIA-455-122A	PMD measurement for single-mode optical fibers by Stokes parameter measurements – Jones-matrix-Eigen analysis (JME) – Poincaré sphere analysis (PSA)
FOTP-124 TIA-455-124A	PMD measurement for single-mode optical fibers and cable assemblies by interferometry – Traditional interferometry (TINTY) – General interferometry (GINTY)
FOTP-196 TIA-455-196	Guideline for PMD and DGD measurement in single-mode fiber optic components and devices
IEC 60793-1-48	Measurement methods and test procedures—polarization mode dispersion – Fixed Analyzer measurement method (EC / FT) – Stokes evaluation method (JME / PSA) – Interferometry method (TINTY)
GR-2947-CORE	GR-2947-CORE refers to portable PMD test sets used for analyzing single-mode fiber
ITU-T G.650.2	Definitions and test methods for statistical and nonlinear attributes of single-mode fiber and cable – Stokes parameter evaluation technique (JME & PSA) – State of polarization method (SOP) – Interferometric methods (TINTY & GINTY) – Fixed Analyzer technique (EC / FT / cosine Fourier analysis)

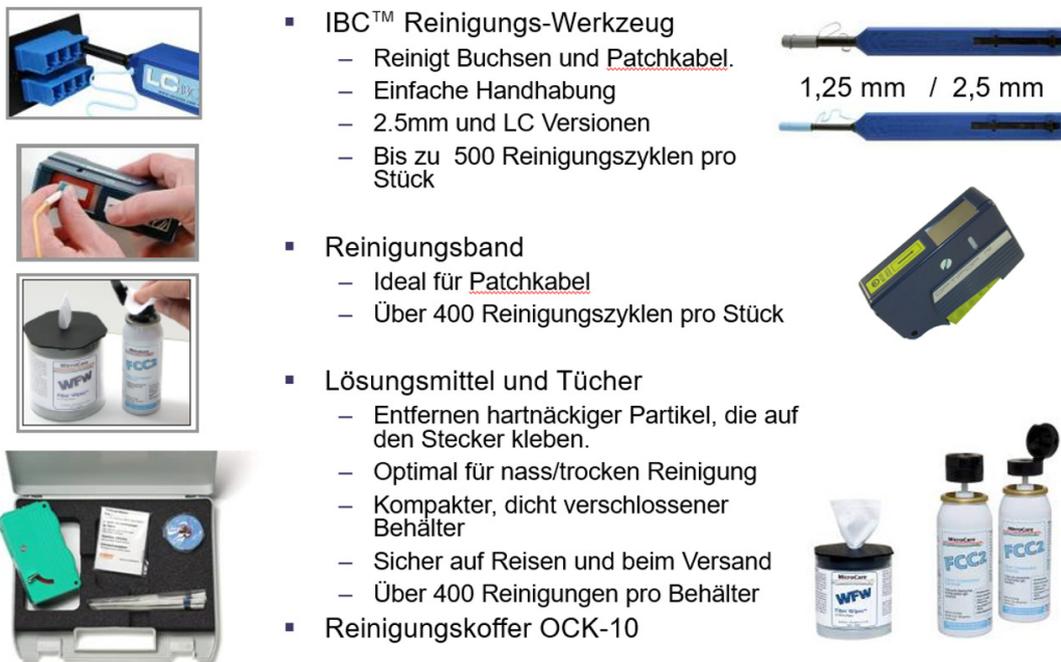
In Kapitel 3.5 und 3.6 werden die für Abnahmezwecke im Feld benutzten Verfahren näher beschrieben.

3.0 Weitere Details zu den Anforderungen an Abnahmemessungen

3.1 Details zu Faser Endflächen Reinigung und Sauberkeit

Wie schon einleitend bemerkt, müssen klare Handlungsanweisungen für den Umgang mit Faserschnittmaterial beim Spleißen vorliegen. Faser- und Coating Lackreste im μm -Durchmesser können in die Haut eindringen und stellen ein hohes gesundheitliches Risiko dar. Ein weiteres Risiko ist das (unbewusste ?) Arbeiten an Fasern, die an einer aktiven Anlage hängen. Bei Havarie und Reparaturarbeiten kann es sein, dass am entfernten Ende ein Laser nicht abgeschaltet hat. Nur bei der Spleißkontrolle im Durchlichtverfahren erkennt man dieses Risiko sofort beim Abschluß des Spleißvorgangs. Unter Umständen hat man sich schon beim Absetzen des Coatings versehentlich die Netzhaut mit 1550nm Laserlicht verletzt. Auch hier muß der Grundsatz in den Arbeitsanweisungen stehen: keine Arbeiten unter Licht auf der Faser.

Wie schon dargestellt ist bei der Installation von High Bitrate Glasfaseranlagen das Thema Sauberkeit von höchster Priorität. Neu gelieferte Komponenten können verschmutzt sein, in Folie eingeschweißte Komponenten sind nicht per se „klinisch rein“. Beim Einbau können zudem Beschädigungen auftreten oder sich Schmutzpartikel allein durch elektrostatische Effekte auf Faserendflächen niederschlagen. Daher ist eine Inspektion und in Folge auch eine Reinigung nötig. Bei 100G Strecken Installation schreiben viele Provider den Einsatz der Steckermikroskope und ggfs. Reinigung vor dem Stecken zwingend vor. Das Bild 19 zeigt eine Auswahl verschiedener Reinigungstools für den Feldeinsatz.



- **IBC™ Reinigungs-Werkzeug**
 - Reinigt Buchsen und Patchkabel.
 - Einfache Handhabung
 - 2.5mm und LC Versionen
 - Bis zu 500 Reinigungszyklen pro Stück
- **Reinigungsband**
 - Ideal für Patchkabel
 - Über 400 Reinigungszyklen pro Stück
- **Lösungsmittel und Tücher**
 - Entfernen hartnäckiger Partikel, die auf den Stecker kleben.
 - Optimal für nass/trocken Reinigung
 - Kompakter, dicht verschlossener Behälter
 - Sicher auf Reisen und beim Versand
 - Über 400 Reinigungen pro Behälter
- **Reinigungskoffer OCK-10**

Bild 19: Reinigungstools für Stecker- / Buchsenreinigung im Feldeinsatz

In der Wareneingangskontrolle hat sich bei Konfektionären und Systemherstellern der Einsatz von Reinigungsautomaten etabliert. Hier wird in Naßreinigung mit anschließender automatischer Trocknung eine reproduzierbar gute Reinigung bei nicht zu starker Verschmutzung erreicht. Diese Lösung rechnet sich bei großer Zahl an Reinigungen in stationärer Umgebung. Es gibt auch Netzbetreiber, die aufgrund schlechter Erfahrungen beispielsweise optische Transceiver und Patchkabel für 100G Backbone Patchfasern nicht ohne Mikroskop – Analyse und eventueller Reinigung bei der Wareneingangsprüfung im Feld verbauen.

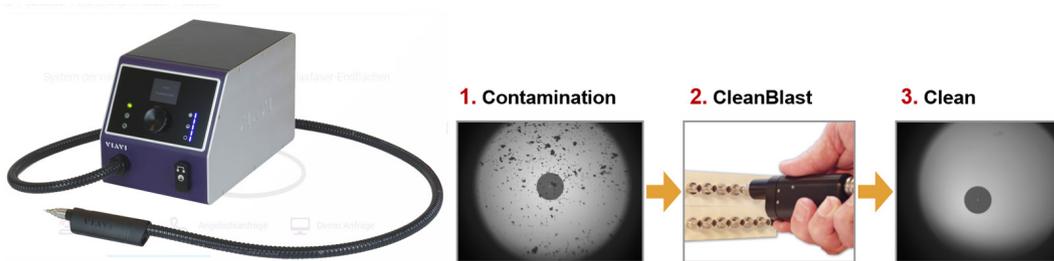


Bild 20: VIAVI Cleanblast Pro zur professionellen 100% Reinigung von LWL- Steckern / Buchsen

Der Auftraggeber muß seinem Contractor Richtlinien an die Hand geben, wie der professionelle Umgang mit den Komponenten von statten geht, welche mit frei zugänglichen Faserendflächen ausgepackt und montiert werden. Auf die durchgängige Verwendung von Faserschutzeinrichtungen (Steckerkappen, Buchsenverschlüsse) ist hinzuweisen. Der Auftraggeber muß entscheiden, ob er die Kontrolle von Faserendflächen bei der Abnahme auf Stichproben beschränkt oder jeden Anschluß per Fiber Scope dokumentieren möchte. Faserverbindungen bei Bitraten mit $n \times 100G$ sind sehr störanfällig auf Verschmutzungen. In Einzelfällen haben Verschmutzungen an Steckverbindern in DWDM Anlagen mit hoher Kanalzahl (= hoher Leistungsdichte auf $9\mu m$) in der Vergangenheit nicht nur Systemausfälle sondern Schmorbrände ausgelöst.

3.2 Details zum Prüfen der Referenz Messkabel und Vorlauffasern

In regelmäßigen Abständen muß der Installateur Referenzfasern prüfen, tauschen oder die Konnektoren an den Vorlauffasern ersetzen. Je nach Qualität und Umgang mit den Steckverbindern können bis zu mehrere Tausend Steckvorgänge ausgeführt werden, bis die Dämpfung und Rückreflexion zu groß werden.

Im Bild ist die Prüfung einer Referenz- oder Vorlauffaser dargestellt. Zunächst wird ein Pegelsender mittels High-End Referenzkabel mit einem Pegelmesser verbunden. Beide Konnektoren, insbesondere der rot dargestellte Konnektor sollen absolut sauber und eine Grade- Klasse besser sein als das zu messende Kabel. Der Empfänger (Pegelmesser) wird auf Referenz „0“ gesetzt. Nun wird das Prüfobjekt eingefügt. Auf keinen Fall darf der referenzierte Stecker am Sender abgezogen werden. Der nun angezeigte IL Messwert mit eingefügtem Prüfobjekt (das zu testende Referenz Messkabel) sollte kaum größer als der IL Nennwert eines neuwertigen Referenz Steckers sein. Im mittleren Bild wird praktisch nur der Stecker S1 gemessen, weil der Stecker S2 auf eine großflächige Fotodiode schaut und Verschmutzungen somit nahezu keine Dämpfung verursachen. Im dritten Bild wird Stecker S2 gemessen. Diese Messprozedur kann man grundsätzlich verwenden, um von einer Patchfaser den schlechteren von beiden Steckern zu bestimmen.

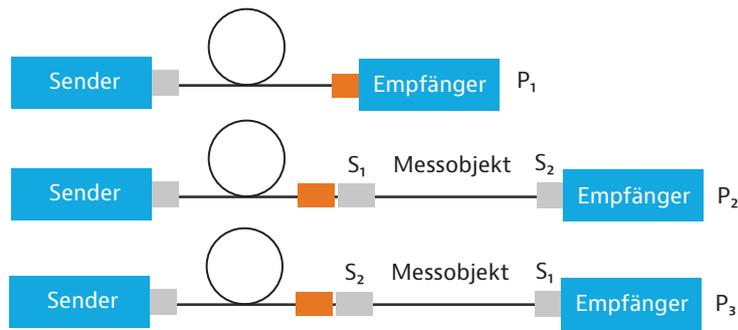


Bild 21 Kontrollmessungen für Referenz- Patchfaser oder VL-/NL-Faser

3.3 Details zur IL / RL Messung uni- und bidirektional

Für Weitverkehrs- LWL Anlagen finden sich naturgemäß in den ITU Richtlinien keine Grenzwerte für Dämpfungen, da ein jeder Hersteller versucht, sich durch noch höhere Link Reichweiten vom anderen Anbieter zu unterscheiden. Für den Planer sind die Kennwerte der aktiven Systemkomponenten wichtig, um die Grenzwerte der Link Dämpfungen zu definieren und seine Span-Längen festzulegen, die links und rechts mit aktiver Technik bestückt sind.

Die Erfahrungswerte beruhen auf den verwendeten optischen Transceiver TX- Leistungen (typ. $< -5 \dots > +20$ dBm) und den Receiver Fenstern (typ. $-28 \dots 0$ dBm). Das führt zu praktikablen Link Dämpfungsbudgets von bis zu $IL > 35$ dB. Im Falle von nicht steckbaren, integrierten Optiken der LINE- Seite sind auch andere Werte möglich. Für den maximal zulässigen IL- Wert kann bei WAN Infrastruktur gibt es keine normativen Vorgaben.

Zum Nullabgleich (Referenzieren der Messkabel) wird bei WAN Netzen mit großer Streckenlänge und somit gegenüber LAN auch merklicher Streckendämpfung üblicherweise das 2-Jumper Verfahren (Bild 11) benutzt, zumal i.d.R. links & rechts gleichartige Steckverbinder vorliegen. Das 3- Jumper Verfahren wird eingesetzt, wenn links & rechts unterschiedliche Steckverbinder existieren.

Noch komplizierter wird es nur, wenn auf einer Seite MPO-Singlemode Steckverbinder und auf der anderen Simplex Steckverbinder (LC-APC, SC-APC, E2000HRL) vorhanden sind. Es gibt zwar Dämpfungstester, die mit einem Knopfdruck die IL- Messung für alle x MPO Fasern durchführen können (z.B. VIAVI MPOLP/MPOLS), aber eine 2-Jumper Referenzierung ist nur für gleichartige Steckverbinder links/rechts durchführbar. Bei dem in Bild 22 gezeigten Link (links MPO, recht LC) kommen sogenannte Fan-Out oder Breakout- Kabel für IL-Abnahmemessungen zum Einsatz, beispielsweise 12x LC-APC auf MPO / MTP® -APC (siehe Bild 22). Die Referenzierung kann nur mittels eines eingefügten Fan-Out Kabels nach 3- Jumper Methode erfolgen, in dem Bild nicht dargestellt.

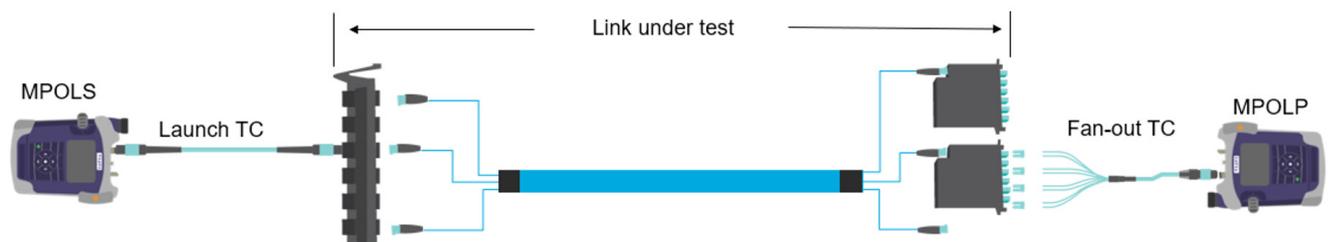


Bild 22 Messung eines Links mit MPO Multifaserstecker auf der linken Seite und LC- Simplex auf der rechten Seite

Bild 23 zeigt beispielhafte Testlösungen und das Messprotokoll für uni- oder bi-direktionale IL Messungen, überwiegend in LAN Umgebung verwendet und als „Tier 1 Messung“ bezeichnet. Im Unterschied zu Messungen an Weitverkehrsstrecken existieren für LAN- Messungen eine Vielzahl an Messvorschriften (EN 50173-x, ISO 11801, EIA/TIA-xxxx....). Bei genauem Studium erkennt man, dass die Kontrolle der Steckverbinder mit Fasermikroskopen zunehmend Eingang in die Standardisierung findet. Jeder Praktiker weiß, das über 90% aller Unzulänglichkeiten und Störungen in Faseranlagen durch die Steckverbinder verursacht werden. Diese stellen das schwächste Glied in der Übertragungsstrecke dar, wenn die Längenanforderungen und Dämpfungsbudgets (Fasertyp OM-3/4/5 oder OS-1/2) eingehalten werden.

Mehr & mehr wird deshalb zur Dokumentation auch das Bild der verbauten Steckerendflächen eingefordert. Moderne IL- Testlösungen liefern die Möglichkeit, per eingebautem Steckermikroskop die Patchkabel oder per externem USB- Mikroskop die Patchfeld Ferrulen zu fotografieren und diese Bilder in das IL- Protokoll einzubinden. Workflow Lösungen mittels Smartphone App und Cloud Speicher/Management sowie automatisiert zugefügte Metadaten der Mikroskopbilder unterstützen beim reibungslosen Durchführen der einzelnen Messschritte.

Duplex Dämpfungsmesser (= Tier 1 LAN)



VIAVI OLTS-85P



VIAVI OMK-35Pv2

Dämpfungstester (WAN)



IL Bidirektional: MTS-2000FCOMP

Tier 1 Fiber Certification Report										
Project:	Molly									
Cable Label:	april.2									
Cable Name:	OM3									
Tier 1 Data										
Date/Time:	2016-08-17 12:09:58	Local Ser. No.:	C-0048							
Limit:	TIA 568.3	Remote Ser. No.:	C-0047							
Cable Type:	MMF	Device Name:	OLTS-85P							
Operator Name:	mmf	Device Software:	V01.28.3							
Calibration Date:	2015-10-14	Connector Name:	MM LC							
Remote Calibration Date:										
Length:	4.69(m)	Connectors:	0							
Length Limit:	304.8(m)	Splices:	0							
Propagation Delay:	6794.74	Measurement:	MM/Remote-Uni							
Refraction Index:	1.493									
Reference Scheme:	1 Jumper									
Wavelength:	850				1300					
	Fiber 1		Fiber 2		Fiber 1		Fiber 2			
Result:	PASS	RL	LR	RL	PASS	PASS	RL	LR	PASS	
Loss (dB)	0.44			0.57	0.38				0.43	
Limit (dB)	1.51			1.51	1.51				1.51	
Margin (dB)	1.07			0.95	1.13				1.07	
Absolute (dBm)	-22.65			-22.72	-22.77				-23.22	
Fiber End Faces										
	Fiber:	april.2.000001		Fiber:	april.2.000002					
	Profile Name:	MM (IEC-61300-3-35)		Profile Name:	MM (IEC-61300-3-35)					
	Result:	PASS		Result:	PASS					
	Timestamp:	2016-08-17 11:58:03		Timestamp:	2016-08-17 11:58:28					
	Fiber:	april.2.000005		Fiber:	april.2.000006					
	Profile Name:	MM (IEC-61300-3-35)		Profile Name:	MM (IEC-61300-3-35)					
	Result:	PASS		Result:	PASS					
	Timestamp:	2016-08-17 11:55:08		Timestamp:	2016-08-17 11:55:34					
Printed	2016-08-22 11:13:50				Signature					
Reporting Software	FiberChekPRO 1.9.0.4448									

VIavi		Berichtsdatum: Tuesday, 11. February 2020					
OLP-34/35/38 Bericht - mein Bericht 01							
Techniker-Information							
Firmenname:	KTV Friedrich						
Technikname:	Th. Friedrich						
Anschrift:	Arbachtalstrasse 5						
PLZ:	72800						
Stadt:	Eningen						
Kreis / Land:	BW						
Staat:	D						
Telefon:	+49 7121 86 1658						
E-Mail:	thomas.friedrich@viviolutions.com						
Vertragspartner-Information							
Firmenname:	Elektro Huber						
Kontaktperson:	Hermann Stiegler						
Anschrift:	Sudetenstraße 5						
PLZ:	72111						
Stadt:	Niederhausen						
Kreis / Land:	BW						
Staat:	D						
Telefon:	+49 7134 111						
E-Mail:	hermann.stiegler@huber.de						
Kunden-Information							
Firmenname:	Data World 2100						
Kontaktperson:	Ms. Scotty						
Anschrift:	Edison Street						
PLZ:	3333						
Stadt:	Hilary Village						
Kreis / Land:	Wyoming						
Staat:	USA						
Telefon:	+001 12345						
E-Mail:	Scotty@dataworld.com						
	Gerätetyp:	OLP-38/13	Kalibriert am:	2010/JUN/17			
	Serien-Nummer:	B-0228	Software Version:	V02.21			
Messergebnisse							
Faser ID	λ [nm]	Pegel [dBm]	Pegel [µWatt]	Referenz [dBm]	LOW = [dBm]	HIGH = [dBm]	Mod.Freq. [Hz]
1	1310			-2.71	-7.65		
2	1550			-2.84	-7.18		
4	1511	-37.06					270
5	1310	0.00		-10.36			1000
6	1310	0.00		-10.36			1000
7	1310	0.00		-10.36			1000
8	1310	-7.89					
9	1310	-7.91					
10	1550		LOW			-50	
11	1310			-0.05	-7.26		
12	1310			-0.04	-7.26		
13	1310			-0.03	-7.26		

Bild 23 Dämpfungsmessungen mit Gleichlichtgeräten verschiedener Bauformen für LAN & WAN incl. Steckerfotos

Eine Fragestellung für den Planer ist immer wieder: welche Wellenlängen werden zur Dämpfungsmessung benutzt? Die früher im Weitverkehr eingesetzten SDH Systeme verwendeten überwiegend 1310nm (Kurz- / Mittelstrecke). Heutige CWDM Systeme können theoretisch von 1271 ... 1611 nm bestückt werden, in der Praxis bestückt man aus Dämpfungsgründen zuerst Wellenlängen aus dem oberen Bereich (S-C-L Band), typisch mit bis zu 8 Wellenlängen von 1471 nm ... 1611 nm. In DWDM Systemen wird vorwiegend das C-Band (1530-1565 nm) benutzt, weil es für diesen Wellenlängenbereich bezahlbare EDFA Verstärker gibt. Das L-Band wird erst dann benutzt, wenn das C- Band voll ist. Systemsteuer- und Control- Signale liegen in allen Bereichen, auch oberhalb von 1600nm. Primär interessiert der IL- Wert für die Nutzsignale. Derzeit werden die IL- Abnahmemessungen deshalb meistens bei 1310/1550nm durchgeführt. Eine Dämpfungsmessung dazwischen (Bsp. 1490nm, PON) ist nur im PON-Access sinnvoll. Da eventuelle Fiber Bending Effekte erst bei hohen Wellenlängen deutlich sichtbar sind, wird immer wieder die IL- Messung bei 1625 nm gefordert, denn ein starker Dämpfungsunterschied zwischen 1550nm und 1625 nm deutet auf Makrobending hin.

Der Verfasser empfiehlt in dem Falle, wenn zukünftig auch das L-Band benutzt werden soll, eine 3-Wellenlängen Dämpfungsmessung mit 1310/1550/1625nm. Wenn nur C-Band DWDM auf den Fasern läuft, würde rein theoretisch eine Dämpfungsmessung bei 1550nm reichen, aber allein mit der Messung auf einer Wellenlänge kann kein Makrobending erkannt werden. Makrobending ist erkennbar an sehr unterschiedlichen Werten für mindestens 2 Wellenlängen. Man kann aber mit der IL- Messung nicht den Ort des Bending lokalisieren. Hierzu ist eine OTDR Messung erforderlich. Die Dämpfungsmessung eines Links erfasst alle im Bild 24 dargestellten Störungseinflüsse in Summe und bietet aber leider nicht die zahlenmäßige, geographische Zuordnung der unterschiedlichen individuellen Einflußfaktoren. Eine OTDR Messung (Kapitel 3.4) kann beispielsweise die Koppelverluste von Steckern, die Dämpfung von Spleißen und das Makrobending einzeln lokalisieren.

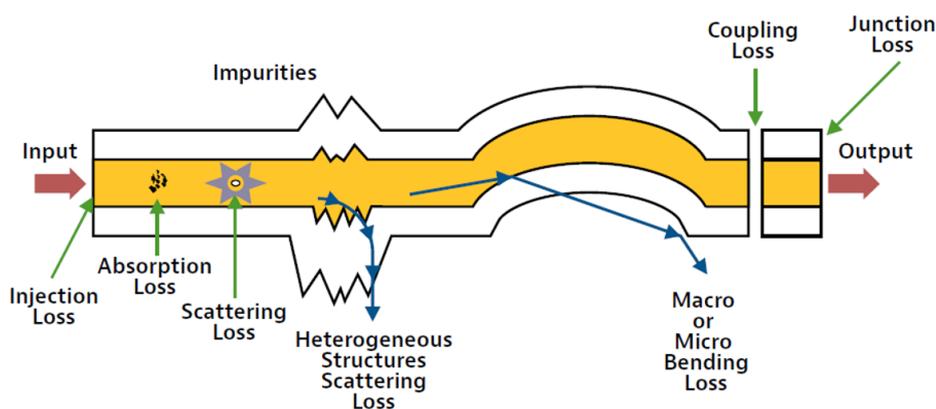


Bild 24: Störungen im Verlauf einer LWL Glasfaserstrecke. Die IL Messung erfasst all diese Werte mit einem Zahlenwert [dB]

Auf die viel gestellte Frage „wozu benötigt man denn einen ORL-85 für RL (OCWR-) Messung mit Gleichlicht, wenn es auch mit dem OTDR geht?“ gibt die nachstehende Tabelle eine eindeutige Antwort. Wenn es auf Genauigkeit ankommt, nimmt man den ORL-85, wenn es auf orts aufgelöste RL- Messung ankommt, ist nur das OTDR geeignet. Die hohe Genauigkeit der OCWR Methode ist im Feld weniger wichtig als die Ortsauflösung. Dies führt zum überwiegenden Einsatz von OTDR´s für Abnahmemessungen im Feld (nächstes Kapitel 3.4).

Characteristics	OCWR	OTDR
Spatial resolution	No	Yes
Accuracy (typical)	± 0.5 dB	± 2 dB
Dynamic range	Up to 70 dB	---
Typical applications	Total link ORL and isolated event reflectance measurements during fiber installation and commissioning	<ul style="list-style-type: none"> Spatial characterization of reflective events and estimation of the total ORL during installation Perfect tool for troubleshooting when discrete elements contributing to the ORL must be identified
Strengths	<ul style="list-style-type: none"> Accurate Fast Provides real-time results Simple and easy (direct result) 	<ul style="list-style-type: none"> Locates reflective events Single-ended measurement
Weaknesses	Manipulations (reference measurements required)	<ul style="list-style-type: none"> Accuracy Long acquisition times



ORL-85 (OCWR)



MTS-4000 (OTDR)

Bild 25 2 Arten der amit zugehörigen Elgenschaften

3.4 Details zu OTDR Messungen uni- und bidirektional

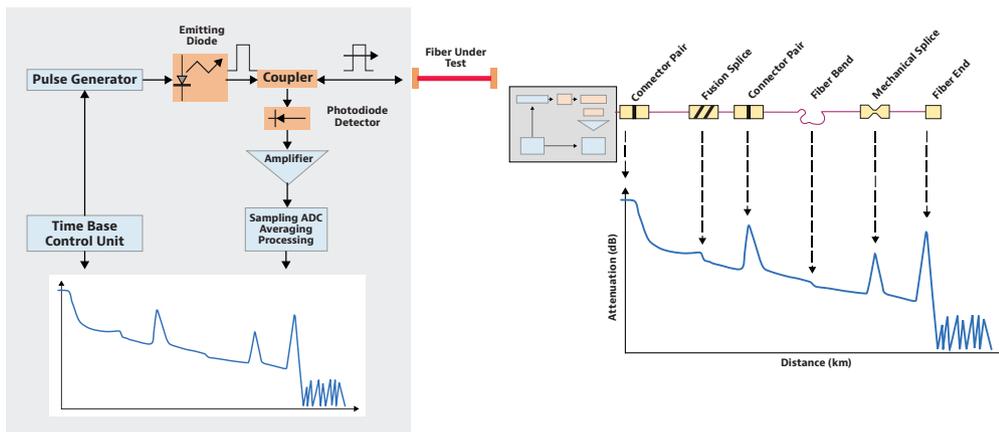


Bild 26 Blockschaltbild OTDR mit beispielhaftem Ergebnis- Trace

Das OTDR kann mit einem Pulssignal einen Glasfaser- Link in Form eines Streckenprofils (Streckensignatur) aufzeichnen und abbilden. Es ist in der Lage, mit Mehrwellenlängenmessung Bending automatisch zu erkennen und kann sehr große Entfernungen überbrücken aber auch Spleiße sichtbar machen und alles grafisch und in Tabellenform darstellen. Neu ist heute die Symboldarstellung der Ereignisse Interpretation „Gut/Schlecht“.

Der Auftraggeber muß sich darüber im Klaren sein, dass eine professionelle OTDR – Abnahmemessung trotz aller Automatikfunktionen großen Sachverstand erfordert. Autofunktionen helfen bei einem OTDR heute, Fehleinstellungen der verwendeten Pulslänge zu vermeiden. Die abgelieferten Messprotokolle können von dem Auftraggeber mit Sachverstand einzeln kontrolliert werden, aber eine klare Vorgabe für Einstellparameter oder gar ein TPA – Prozeß mit Messaufgabenverteilung samt Konfiguration über ein Cloud Portal verhindern multiple Fehlmessungen oder Fake- Ergebnisse wie in Bild 27.

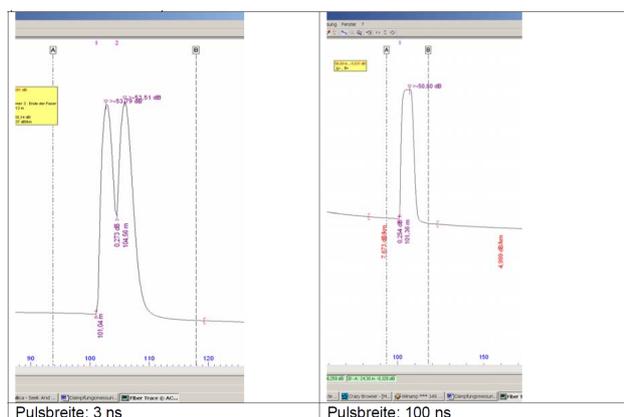


Bild 27: Fehlmessung rechts: durch zu große Pulsbreite werden 2 Steckverbinder als ein Ereignis dargestellt. Beide Messkurven am selben Objekt ermittelt. Die große Pulslänge rechts überdeckt den 2. Stecker

Der Auftraggeber kann durch klare Vorgaben für die Durchführung einer OTDR Messung dafür sorgen, daß er die Streckenqualität in genügend genauer und reproduzierbarer Weise dokumentiert bekommt. In Bild 12 ist nur die prinzipielle OTDR Anschaltung dargestellt, aber in der Praxis sind 5 verschiedenen Varianten der OTDR-Messung darstellbar.

OTDR- Messmethode 1:

- siehe Bild 13

Bei der konventionellen Methode wird mit einem OTDR von A B und anschließend von B A gemessen.

Offline oder auf dem Gerät werden die Messkurven in Schmetterlingsdarstellung zusammengeführt und per Auswertesoftware kann dann jedes Ereignis (Stecker/Spleiße/Koppler) per Mittelwert aus Hin- und Rückrichtung charakterisiert werden.

Optional wird mit einem getrennten Dämpfungstester das IL und/oder mit einem Return Loss Messgerät das Gesamt ORL per Gleichlicht Messung verifiziert. Die Gleichlicht Testmethode ist genauer als die OTDR Messung, damit kann aber nicht die Lokalisierung von Fehlern vorgenommen werden, es wird nur der Summenwert für IL/ ORL angegeben. Das OTDR bietet die Ortsauflösung aller Ereignisse auf dem Link. Viele Ingenieurbüros erachten die OTDR Messung für IL / Gesamt-IL / ORL / Gesamt ORL als ausreichend und bewerten die geringere Genauigkeit der Dämpfungsaussage aus dem OTDR-Trace als nicht störend. Eine beidseitige Messung wird immer empfohlen.

OTDR- Messmethode 2:

- siehe Bild 14

Die beidseitige Messung von IL und Streckenprofil (OTDR) kann heute unter Verwendung von VIAVI BiDir IL/RL/ OTDR Messgeräten mit der Kombination einer OTDR- und Gleichlicht Messung in einem Gerät zusammengefasst werden. Auf beiden Seiten ist so ein Gerät notwendig, um automatisierte BiDir Reports zu generieren. Bei diesem Messverfahren wird jede Faser manuell beidseitig über Vor- und Nachlauf Fasern angeschlossen. Diese sind nötig, um den ersten und letzten Patchfeld Konnektor vollständig zu charakterisieren (im LAN- Fachjargon: „Link“-Messung). Am Ort A und B wird je eine Person und ein Messgerät benötigt. Vorteil dieser Methode ist, dass mit einer Referenzmessung allein und ohne Umstecken die beidseitige Gleichlicht-IL/RL Messung als auch die beidseitige OTDR Messung ohne Verwendung verschiedener Messgeräte (OLP/OLS/ORL/OTDR) durchgeführt wird. Das ist eine enorme Zeitersparnis gegenüber den Einzelmessungen mit verschiedenen Messgeräten und erhöht auch die Genauigkeit der Ergebnisse, da jeder Steckvorgang Unsicherheiten mit sich bringt. Diese Methode ist für eine umfassende Dokumentation großer Zahl an Messungen empfohlen, wenn die OTDR- Messung allein als nicht ausreichend erachtet wird.

OTDR- Messmethode 3:

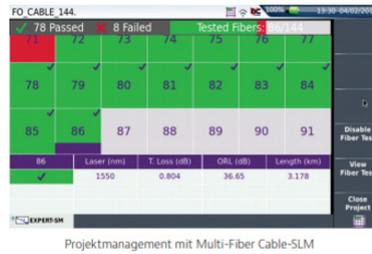


Bild 28 VIAVI Cable-SLM: ein interner oder externer optischer Umschalter zusammen mit einer Kabel Management App auf dem Messgerät erlaubt per 1 x Knopfdruck n x 12 OTDR- Messungen

In Weitverkehr Backbones werden heute Kabel mit hoher Faserzahl verlegt. Bei Microduct Rohrverbund (7x16/12) mit Kabeln bis zu 288-Fasern ist auch eine neue Vorgehensweise der OTDR Messung möglich: mittels optischen Schalter 1x12 werden 12 Fasern sequentiell automatisch auf das OTDR geschaltet. Ein im OTDR befindlicher optische Umschalter in Verbindung mit MPO-SM (APC) Fan-out Kabeln schafft die gleichzeitige Verbindung zu den 12 Fasern eines Röhrchens. Mit nur einem Knopfdruck werden dann alle 12 Fasern gemessen und so ist eine Zeiteinsparung bei der OTDR-Abnahmemessung erzielbar, weil man in Ruhe während einer 12-er Messung bereits die nächsten 12 Fasern mit einem Fanout-Kabel anschließen kann. Nach heutigem Stand ist aber bei dieser Messung ein gegenüber liegender optischer Schalter nicht synchron steuerbar, und diese Messung muß somit nacheinander von beiden Seiten erfolgen. Es ist aber kein großer Zeitverlust, da bei der zuvor beschriebenen BiDir-Messung ohne 1x12 Umschalter auch sequentiell von A B und dann von B A gemessen wird. Nachteilig von Methode 2 ist allerdings, dass eine IL (Dämpfungsmessung) mit Gleichlicht getrennt ausgeführt werden muß, wenn die Genauigkeit der Link-Dämpfungsaussage aus der OTDR Streckentabelle nicht ausreicht.

Diese Methode wird empfohlen, wenn es um die OTDR- Dokumentation von Kabel mit hoher Faserzahl handelt (z.B. n x 144 Fasern) geht. Die Zeitersparnis gegenüber Einzelmessung ist enorm, weil man die Messzeit nutzt, um schon die weiteren 12 Messungen vorzubereiten. Natürlich können auch Umschalter mit höherer Portzahl als 12 angesteuert werden. Das Non-Plus Ultra stellt dann die Messung über robotic switches dar, die fest in der Infrastruktur verbaut sind.

OTDR- Messmethode 4:

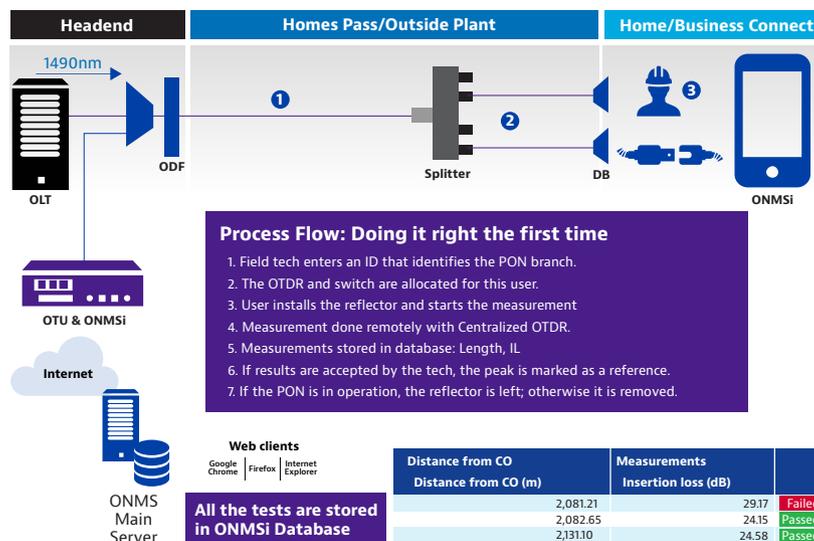


Bild 29 zentrale PON / FTTH OTDR Abnahmemessung ganz ohne Messgerät am Endpunkt. Der Monteur steckt den Durchgangsreflektor auf und startet per App die zentralisierte Abnahmemessung

Die in Bild 29 dargestellte Variante der Faserabnahme arbeitet ganz ohne Feldmessgeräte und ist im PON-Installationsumfeld (nicht: WAN-Backbone) in landesweiten großflächigen Installationsprojekten eingeführt. Hierbei wird das VIAVI ONMSi-PON System von VIAVI verwendet, ein Derivat des kontinuierlichen Glasfaserüberwachungssystems ONMSi. Das System wird als Messkopf an OLT- Standorten positioniert und der Installateur fährt nach Installation der Splitterstruktur die einzelnen Endpunkte ab und macht nichts anderes als einen Referenzreflektor anzuschließen und per Smartphone eine zentrale Messung zu aktivieren. Hiermit wird Endpunkt für Endpunkt eingemessen und in der ONMSi-PON Datenbank abgelegt. Wenn der Durchgangsreflektor am Endanschluß verbleibt, ist das der Demarkationspunkt für zukünftige Entstörungsmessungen. Diese VIAVI-TPA Lösung mit dem Reflektor ist heute sinnvoll nur für Splitterstrukturen einsetzbar, da man bei P-P Verbindungen x optische Umschalter für jede Faserstrecke benötigt und weil man zur vollständigen Link Qualifizierung nicht allein einen Reflektor, sondern auch eine Nachlauffaser am Ende oder beidseitigen Zugang für ein OTDR benötigt. Wenn sich der Aufwand für die vielen Messköpfe und optischen Umschalter rechnet oder letztere für Robotik- Ersatzwegschaltung mitgeplant werden, wird eine neu zu entwickelnde Steuer- / Auswerte- Software benötigt. Die weiter unten beschriebenen auch nötigen PMD/CD Messungen lassen sich mit solch einem Konzept aber nicht wirtschaftlich abbilden und müssen nach wie vor an frei geschalteten Fasern getrennt ausgeführt werden.

OTDR- Messmethode 5:

Führende Systemhersteller integrieren verschiedene Varianten des „embedded OTDR“ von VIAVI. VIAVI bietet dafür Lösungen wie das μ - oder Nano-OTDR. Hierbei wird konventionelle OTDR Messtechnik auf ein System-Modul integriert. Messmöglichkeiten und Grenzen sind mit der zuvor beschriebenen OTDR Feld-Messtechnik oder dem Faserüberwachungssystem identisch.

Im Unterschied dazu existierende SFP- basierte Lösungen haben den Nachteil der sehr bescheidenen Ortsauflösung und mangelnder Reichweite. Sie bieten kaum Vorteile gegenüber der standardmäßigen RX- Pegelüberwachung eines Übertragungssystems. Bessere Resultate und die vom Feldtester gewohnte hohe Auflösung und große Reichweite erzielt die zuvor genannte echte OTDR-Modultechnik. Deshalb werden in zunehmender Menge die zuvor genannten integrierten OTDR-Systemlösungen von VIAVI bei namhaften und weltweit tätigen Systemherstellern eingesetzt. Die Anschaltung erfolgt intern im System und die Messung ist eine Einseitenmessung nach Methode 1.



Bild 30 Embedded OTDR in transmission system

.... oder.....



SFP-based OTDR (also integrated in system)

Zusammenfassung OTDR

Abschließend ist der Planer gefragt, die für sein Projekt strategisch und kommerziell am besten passende Methode der OTDR- Abnahmemessung auszuwählen. Bei kleinen Projekten ist die Messmethode 1 oder 2 völlig ausreichend. In großen Projekten muß systematisch gearbeitet werden und es müssen viele Monteure gesteuert werden. Hier greifen die TPA- Lösungen mit cloud-basierten Prozessen, um Einsparungen bei der Abnahme zu realisieren.

Wenn es zudem um Kabel mit hoher Faserzahl geht, ist die Methode 3 unbedingt zu berücksichtigen. Die Methoden 1,2,3 können in ein TPA Konzept integriert werden. Messaufgaben werden über API- Interfaces mit einem Messgeräte- Cloud Management System aus Kundendatenbanken Richtung Messgeräte verteilt.

Methode 4 (zentrale aufgestelltes Mess-OTDR) ist Stand heute nur für PON/FTTH Installationen verfügbar und würde für den Einsatz bei E-E Verbindungen von WAN Leitungen auf Seiten des Messgeräteherstellers zusätzlichen Entwicklungsaufwand bedingen. Fraglich ist mangels zentralisierter Netzstruktur, wie viele fest verbaute OTDR´s denn nötig wären. Zudem stellt sich dann die Frage, ob die Demarkation mit den Durchgangsreflektoren kommerziell abbildbar ist.

Die Methode 5 mit im System integrierter Pulsmesstechnik gibt es in verschiedener Technologie:

a) echte OTDR Module im Übertragungssystem

Wenn die im System integrierte OTDR Messtechnik vergleichbare Genauigkeit wie ein Feldmessgerät bereitstellt, kann der Ort einer Störung sehr genau lokalisiert werden und die für Entstörung zuständigen Servicekräfte können zielsicher zum richtigen Einsatzort geleitet werden.

b) SFP-basierte Puls-Dauermessung. Dieses Verfahren ist für Abnahmemessungen nicht tauglich, aber preislich interessant für den Betriebsservice. Leider verfügt diese integrierte Lösung mangels Dynamik über eine geringe Genauigkeit der Fehlerortsanzeige, da sie mit großen Pulslängen arbeitet und dann z.B. bei einer 50km- Strecke die Faserbeschädigung nur mit einer Genauigkeit von mehreren Kilometern angeben kann. Praktische Fälle belegen, dass man dann doch zum Feldmessgerät greifen muß, um den genauen Ort der Störung zu identifizieren.

3.5 Details zur Chromatische Dispersion und zur CD- Messung

Die verwendeten Übertragungssysteme haben stets eine Grenze, bis zu der auf Fasern auftretende CD-Verzerrungen akzeptiert werden. Anschaulich gesprochen handelt es sich um physikalisch bedingte Laufzeitdifferenzen verschiedener Wellenlängen mit Einfluß auf das Spektrum von Pulssignalen. Die durch CD verbreiterten Pulse können sich gegenseitig überlagern und führen dann zu Bitfehlern. Diese Fasereigenschaft betrifft natürlich vor allem breitbandige, hochbitratige Signale bei großer Streckenlänge und weniger schmalbandige, niederbitratige Signale und geringe Streckenlängen.

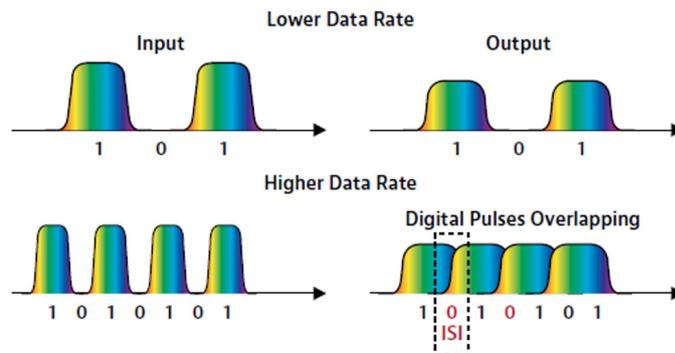


Bild 31 Vergleich von chromatischer Dispersion (Pulsaufweitung) für nieder- und hochbitratige Signale. Eine Inter Symbol Interferenz ISI ist wahrscheinlicher bei hohen Bitraten

Bei der Herstellung von optischen Fasern kann der Wert der chromatischen Dispersion bewusst „eingestellt“ werden. Je nach verwendeter Übertragungstechnologie wurden über die Jahre diverse Typen auf den Markt gebracht, die sich im frequenzabhängigen Nulldurchgang der CD und in der Steigung der CD unterscheiden (Bild 32). Es gibt ein Vielzahl dispersionsverschobener Fasern verschiedener Bauarten. Die blaue Kurve in dem Bild stellt die Chromatische

Dispersion CD über der Wellenlänge für die heute überwiegend verwendete G.652.D Faser dar. Der Normwert liegt bei etwa 17 ps/(nm x km) bei 1550 nm (siehe Standard darunter).

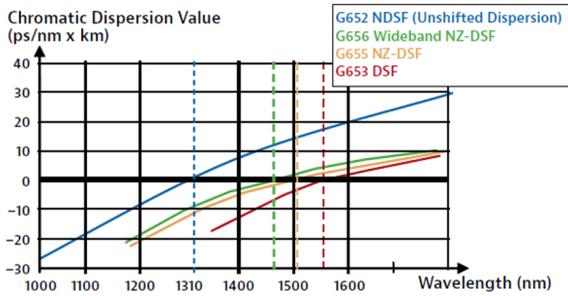


Table 2: ITU-T G.652 CD specifications

Table 2: ITU-T G.652 CD specifications

λ_{0min}	1300 nm
λ_{0max}	1324 nm
S_{0max}	0.092 ps/(nm ² x km)
D_{1550} (typical value)	17 ps/(nm x km)
S_{1550} (typical value)	0.056 ps/(nm ² x km)

Bild 32 ITU-T Spezifikationen für das Standard LWL Kabel nach G.652C und D

Die Grenzwerte für chromatische Dispersion und damit die maximal erzielbaren Entfernungen in Abhängigkeit von der Bitrate wurden zunächst nur für SDH/SONET Systeme standardisiert, aber später auch auf Ethernet ausgedehnt. Ethernet Signalübertragung reagiert auf CD empfindlicher als SDH/SONET Signale. Aber in der jüngeren Vergangenheit wurden die Systeme in Bezug auf CD-Toleranz stark verbessert. Somit sind auch wesentlich größere Längen möglich als im Standard verankert. Hier muß ein Blick in die technischen Herstellerspezifikationen des Übertragungssystems geworfen werden. Die Tabelle unten zeigt den ITU- Standard 2016. Zu hohe Strecken-CD Werte können durch Einfügen von Fasern mit gegenläufiger CD kompensiert werden. Nachteilig ist hier nur die zusätzliche eingefügte Länge & Dämpfung. Es gibt auch FBG-Filter Kompensatoren mit geringer Dämpfung, aber die arbeiten nur schmalbandig- kein Einsatz für DWDM Systemausrüstung.

Eine CD Kompensation kann berechnet und im Feld per Messung verifiziert und auf der Faserstrecke installiert werden. Ganz im Gegensatz dazu können PMD Verzerrungen nicht vorab berechnet und auch nicht so wie CD Verzerrungen mit optischen Komponenten kompensiert werden.

Maximum theoretical allowable CD for a 10 Gbps Ethernet transmission at 1550 nm

Bit Rate/Channel (Gbps)	Transmission	CD Tolerance at 1550 nm (ps/nm)
10	Ethernet	738

Maximum theoretical distance reach for G.652 and G.655 fiber types

Bit Rate/Channel (Gbps)	CD Tolerance at 1550 nm (ps/nm)	Max. Distance (km) for ITU-T G.652 Fiber Type	Max. Distance (km) for ITU-T G.655 Fiber Type
2.5	18817	>1100	>4700
10	1176	~70	~290
40	73.5	~5	~20

Bild 33 ITU Standardwerte für CD-Toleranz mit daraus abgeleiteten maximalen Längen der LWL Faser
Diese Werte sind für SDH- Systeme festgeschrieben und gelten für Ethernet in ähnlicher Weise.
Heutige Systeme sind aber viel toleranter für Chromatische Dispersion und 100G Ethernet Strecken könne bis über 100 km Länge aufweisen.

CD Messtechnik:

Aus den standardisierten Verfahren (Kapitel 2.6) haben sich 2 Verfahren im praktischen Einsatz bei Faserabnahmen etabliert (beim 2. Verfahren ist eine 0-Referenzierung nötig, die bei 1. entfällt):

1. Pulse Delay Methode (Messung mit 4-Wellenlängen OTDR)
2. Pulse Shift and differential shift Methode (Messung mit Empfänger und modulierter Breitbandquelle)

Diese Verfahren haben Vor- und Nachteile:

Anforderung an CD Messungen	Phase Shift Differential Phase Shift	Pulse Delay (4 OTDR)
Eignung für Mix an Fasertypen	✓	–
Kurzstreckenmessung < 10km	✓	–
Metronetze 10-80km	✓	✓
Long Distance Netze > 80km	✓	–
Messung mit EDFA Verstärkern in der Linie	✓	–
APC Abschluß / hohe RL-Dämpfung	✓	–
Einseitenmessung	–	✓
Ortsaufgelöste Messung	–	✓
Genauigkeit	besser	schlechter
Faserlänge manuell angeben für CD Koeffizient Messung	notwendig	nicht notwendig

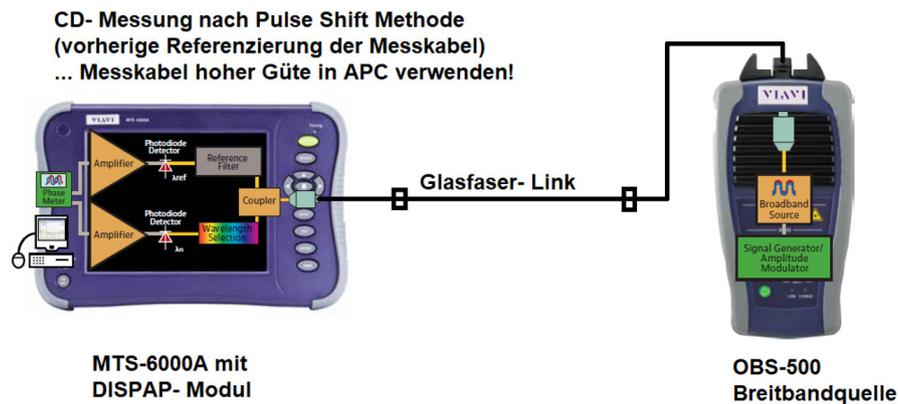
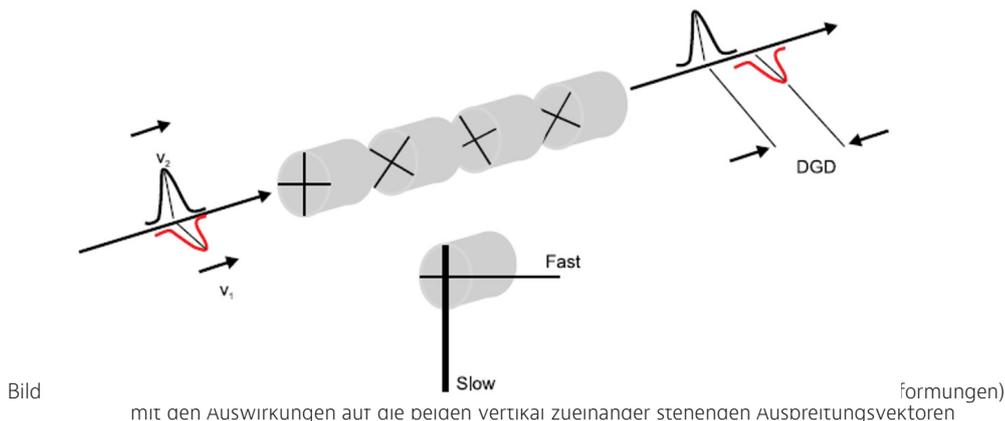


Bild 34 CD- Messung nach Pulse-Shift Methode

3.6 Details zur Polarisationsmodendispersion und PMD- Messung

Im Unterschied zu der CD ist die PMD sehr stark von vielen physikalischen Parametern im Verlauf der verlegten Faser abhängig, aber auch von mechanischem Streß beim Einblasen / Einziehen von Kabeln in ein Leerrohr-system. Anders als die CD kann PMD nicht auf einfache Weise „gegenläufig“ kompensiert werden. Der zahlenmäßige Wert der PMD ist statistischer Natur und deshalb bei aufeinanderfolgenden Messungen selten identisch. Kleinste Temperaturänderungen, mechanische Vibrationen, geringste Frequenzänderungen bewirken Änderungen des PMD-Wertes und damit der Differential Group Delay DGD.

Diese schwankt auch statistisch in Abhängigkeit der Wellenlänge, was bei hochbitratigen Signalen erschwerend hinzukommt. Die beiden in Bild 34 dargestellten senkrecht zueinander ausgerichteten Polarisationsrichtungen eines Lichtwellenleitersignals sind bei G.652x, G.657x Fasern stark gekoppelt und verändern prinzipiell die gemeinsame Ausrichtung über den Verlauf der Strecke (nicht polarisationserhaltende Fasern!). Wenn nun die Faser Bending oder mechanischen Schwingungen ausgesetzt ist, führen geometrisch unterschiedlich hohe Ausbreitungsgeschwindigkeiten zu einer Pulsverbreiterung. Ab einer gewissen Größe (Daumenwert 5-10ps bei 10Gbit Ethernet bei 10 km Länge) wird die Übertragung der Pulssignale massiv gestört. Man erlaubt bis zu 1/10 der Bitrate als Polarisationswert. 10Gbit entspricht 100ps, daher der Wert „10 ps“ für RZ- Signale.



Die PMD- Störempfindlichkeit von Ethernet-Signalen ist aus 2 Gründen stärker als bei SDH:

1. Schwächere FEC Fehlerkorrektur bei Ethernet als bei SDH.
2. SDH ist mit zulässigen Bitfehlerraten bis 10^{-5} standfester als Ethernet (nur zugelassen bis 10^{-7})

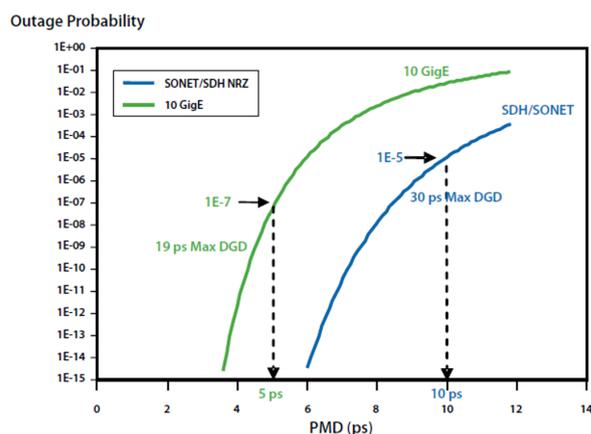


Bild 36 Grenzwertkurven für zulässige PMD Verzerrung bei 10Gbit Signalen (Ethernet IEEE 802.3ae-2002) und SDH Signalen 10G, STM-64

Der Vollständigkeit halber darf nicht unerwähnt bleiben, dass moderne kohärente Ethernet System bei 100G und darüber ein starkes Digital Signal Processing einsetzen und auf der elektrischen Signalverarbeitungsseite in der Lage sind, PMD in großem Umfang herauszurechnen. Doch man sollte sich nicht in Sicherheit wiegen. Auch hier ist ein Limit vorhanden, ab dem die Signalverarbeitung nicht mehr kompensieren kann und schlagartig der Link zusammenbricht. Daher ist es immer sinnvoll, bei High Bitrate Transmission die PMD seiner Strecke zu kennen

– denn keiner sollte sein System im Blindflug betreiben, und bei Systemen ab $n \times 10G$ reicht die Kenntnis von Dämpfung und Return Loss alleinig bei großen Streckenlängen nicht aus: eine Kenntnis der PMD Verzerrungen des Links ist wichtig, um abzuschätzen, wie groß noch die verbleibende Marge der Auto-Kompensation ist.

PMD- Messtechnik:

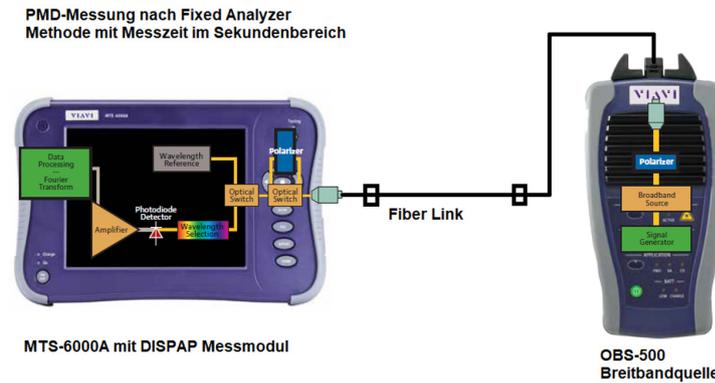


Bild 37 Messkonfiguration für PMD- Messung mittels Kombitester und Breitbandquelle

Die in Bild 36 dargestellte PMD-Messung ist eine von mehreren standardisierten Verfahren zur Bestimmung der PMD Verzerrung (Standards siehe Kapitel 2.6). Der Vorteil dieser Methode ist die sehr kurze Messzeit, hohe Dynamik/Reichweite bei hoher Messauflösung. Die nachfolgende Tabelle bewertet die 4 grundsätzlichen Verfahren in Bezug auf verschiedene Messaufgaben. Die beste Lösung für Feldeinsatz ist die Methode mit Fixed Analyzer (Bild 37).

	JME	Fixed Analyzer	TINTY	GINTY
Faser- / Kabelhersteller	✓	✓	✓	✓
Fasern ohne Faserverstärker				
Metro, Dämpfungsbudget < 30dB	- 1	✓	✓	✓
Long Haul, Dämpfung > 30 dB	- 1	✓	✓	- 2
Faserstrecken mit EDFA	✓	✓	✓	✓
Submarine Faserstrecken	✓	✓	✓	✓

1: erfordert eine Labor Breitbandquelle / für Feldeinsatz nicht geeignet
 2: eingeschränkter Dynamikbereich mit batteriebetriebener Lichtquelle

4.0 Checkliste / Empfehlungen für konsistente, umfassende Abnahmemessungen

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Projekt Pre-Work / PoC
Sicherheitsunterweisung, Zertifizierung	✓	✓	✓	
Schulungsaufwand für Techniker	hoch	niedrig	minimal	
Umgang mit Verbrauchsmaterial	✓	✓	✓	
Reinigungsvorschriften	✓	✓	✓	
Inspektion (Scope)	✓	✓	✓	
IL	✓	✓	✓	
RL	✓ ¹	✓		
OTDR	✓	✓		
BiDir IL/RL/OTDR	✓	✓		
PMD	✓			
CD	✓ ²			
Vollautomatisierte Messpunkt-aufschaltung. Remote Messung	–	–	✓ ³	umfangreich
API- Entwicklung, Anpassung an Kunden Ticket System erfordert Zusatzentwicklung	–	✓ ⁴	✓ ⁴	umfangreich
Erfordert VIAVI interne ONMSi Software Entwicklung für Workflow Management	–	–	✓ ⁵	sehr umfangreich
„out of the shelf“ Feldtester Abnahmemessungen ohne Cloud TPA	✓	–	–	Keine Extra Entwicklung

Fußnoten:

- 1: RL kann auch aus OTDR Messung ermittelt werden (Gesamt-ORL)
- 2: CD kann bei Neubau i.d.R. errechnet werden. Falls weit unter Grenzwerten, kann Messung entfallen
- 3: SOW erforderlich für die Adaption eventueller externer Schalter an ONMSi zur Faserumschaltung im Havariefall
- 4: SOW erforderlich für die API- Entwicklung einer Schnittstelle an Kunden Ticketing System
- 5: SOW erforderlich für ONMSi SW- Entwicklung zur Realisierung des geforderten Workflow Management

Variante 1 konventionelle Abnahmemessungen ohne Durchgriff bis auf die Messgeräte des Contractors

1. Namenskonventionen für die Infrastruktur Messungen definieren
2. Ausgabeformate der Dokumentation: PDF Files. OTDR Ergebnisse zusätzlich al SOR Datei
3. Einigung darüber, ob Real-Fotos und Geo-Daten für die Doku erforderlich sind
4. Klare Vorgaben für das Handling der faseroptischen Komponenten, die verbaut werden.
Konzept: „Inspect before connect“
5. Einigung über den Einsatz von Fasermikroskopen an Backbone Patchungen
6. Klare Grenzwertvorgaben für IL, RL, Strecken-Events (Go/No Go Bewertung von OTDR Kurven)
7. BiDir- Messung (automatisierte Messung mit BiDir Messgeräten oder offline Zusammenfassung der beiden Messungen A B und B A)
8. PMD Messungen bei Streckenlängen > 10km zwingend durchführen
9. Einigung darüber, ob CD Messungen notwendig sind oder rein rechnerische Bestimmung ausreicht
10. Optional (Inbetriebnahme / Abnahme): OSA Messung an beschalteten Faserstrecken (DWDM OSA-Messungen im C- Band bzw. CWDM OSA-Messungen im OESCL Band)

Variante 2 TPA Verfahren mit Vorgabe aller Messschritte und Sammeln der Ergebnisse über Cloud

Wie Variante 1, aber entweder manuelles Erstellen oder Importieren von Work-Order Files als json-Files unter Nutzung der VIAVI - Stratasync Management Oberfläche. Zuweisen der Messaufgaben (Variante 1, Punkte 5,6,7) über Cloud auf die Contractors / Subcontractors. Einsammeln der Messergebnisse über Cloud. Jederzeit online kontinuierliche Projekt-Fortschrittskontrolle. Systematisierung der Messaufgaben

Notwendig: API- Entwicklung für die Interaktion mit Kunden Work-Order System - not Plug & Play.

Vorteil: Prozeßsicherheit, Einsparungen darstellbar, weil beim Contractor weniger teures Fachpersonal eingesetzt werden kann, Contractor- Bewertung im Prozeßverlauf (wer arbeitet wie schnell und wie gut)

Herausforderung: PMD / CD / OSA Messungen nicht direkt in TPA eingebunden

Variante 3 Voll integrierte zentralisierte Abnahme bezüglich Streckenprofil / Dämpfung (ohne PMD/CD Messung)

Diese Variante stellt einen disruptiven Ansatz dar. Abnahmemessung ohne Feldmessgeräte,

Verwendung der ONMSi Messplattform sowohl für Abnahme als auch den anschliessenden Service

als auch für QoS Monitoring. Dies entspricht der OTDR- Messmethode 4 in Kapitel 3.4

Die VIAVI ONMSi Plattform wird zu diesem Zweck nachhaltig von der Installation/Abnahme bis in die anschliessende Betriebsphase dauerhaft betrieben. Schon begleitend mit der Faserinstallation werden an vorher in einer Planungsrunde definierten Standorten die ONMSi OTU-Einheiten und optische Umschalter (interne oder externe Schalter) für Abnahmemessungen installiert. Nach Auflegen der fertig installierten Fasern kann das Streckensegment per Remote OTDR Messung qualifiziert werden. Nach der Aufschaltung von Kunden auf der betreffenden Faser werden mit VIAVI ONMSi kontinuierliche QoS Parameter Statistiken erstellt und Glasfaserbeeinträchtigungen kontinuierlich erfasst. Die ONMSi Überwachungseinrichtung wird in einen Alarming

Prozeß des Operators oder Faserbetreibers mit automatischer Linienumschaltung eingebunden. Der Betreiber kann dem Kunden als Mehrwert QoS Statistiken anbieten. Die OTU Messköpfe können mittels der optischen Umschalter im Fehlerfall auf jeder zugänglichen Faser zielgenau und zeitsparend detaillierte Entstörungsmessungen ausführen.

Für die QoS Messungen / Monitoring wird eine zyklische Remote gesteuerte Out-of-band OTDR Messung über optische Umschalter auf allen betreffenden Fasern ausgeführt. Die maximale Entfernung von M-CCP zu C-CCP in Höhe von 90 km kann mühelos überbrückt werden. Bei kürzeren Abständen können mit einer OTU auch mehrere Segmente überbrückt werden. Dies ist eine Designfrage.

Diese vollautomatisierte Lösung bietet für den Abnahmefall (Installation) eine Dämpfungsmessung und das Streckenprofil sowie Gesamt Return Loss bis vor den letzten Patchfeldstecker. Dieser kann mangels Nachlauffaser (manuelle OTDR Abnahmemessung) nicht qualifiziert werden. Durch bidirektionale Messung kann der Nachteil beseitigt werden.

Zur Anpassung an vorhandene Kunden Ticketing Systeme und zur Anpassung an evtl. beim Kunden vorhandene Robotik LWL-Umschaltersysteme ist eine Zusatzentwicklung seitens VIAVI notwendig. Dies bedingt ein gemeinsam abgestimmtes SOW. Nicht enthalten in diesem Konzept sind automatisierte PMD- und CD- Messungen. Wegen des hohen Preises dieser Messlösung ist eine Verteilung der PMD/CD Messgeräte im gesamten Netz nicht wirtschaftlich darstellbar. Modulare OSA-Messlösungen von VIAVI könnten mit Zusatzentwicklung auch integriert werden, sind aber auch teurer als die in VIAVI OTU-Einheiten integrierte OTDR Messtechnik. Die Integration von Faserstress-Analyse ist möglich.

4.1 Qualitätssicherung bei Abnahmemessungen

Die Konformität der Glasfaser Installation mit der projektierten Spezifikation kann bei den Abnahmemessungen nur an Hand eines Qualitätsplans rückführbar sichergestellt werden. Dieser Qualitätsplan muß zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer kommuniziert und verabschiedet werden. Der Qualitätsplan muß die Installations-Spezifikationen berücksichtigen und folgende Gesichtspunkte beschreiben:

- Eindeutige Lagepläne
- Eindeutige Testmethoden
- Projektablaufplan mit Meilensteinprinzip
- Mindestausrüstung des Installateurs (LWL Reinigungs- & Verarbeitungstools, Mikroskope, Messgeräte)
- Abnahmekriterien (Messparameter, Grenzwerte)
- Fotografische Dokumentation der Installation
- Geografische Dokumentation der Installation (Geo-tagged test results)
- Kalibrationsanforderungen: Nachweis der Messmittelkalibrierung
- Umgang mit ergebniskritischen Messmittel- Zubehöerteilen wie Vorlauf- und Referenzfasern
- Vorgaben für die Art der Dokumentation
- Dokumentationsformate, Vorlagen
- Bezeichnungsschema
- Fachkompetenz des Installateurs (Sicherheitsschulung im Umgang mit LWL, LWL-Fachkraft Schulung)
- Überwachungs- / Audit- Maßnahmen
- Benennung von Sachverständigen

Alle in dieser Applikationsschrift beschriebenen Abnahmemessungen betreffen die reine Physik.

Still schweigend wird vorausgesetzt, wenn die normgemäßen Grenzwerte für PMD, CD, Stecker Grenzflächenqualität sowie die Netzbetreiber spezifischen Grenzwerte für IL, RL, Bending etc, eingehalten wurden, wird die beabsichtigte Bandbreite fehlerfrei zur Verfügung gestellt. Salopp gesagt: wenn die Physik (OSI Layer 1) passt, ist die Funktion der darüber liegenden Schichten gesichert. Dies ist aber eine Annahme und kein Beweis. Insbesondere im Bitratenbereich ab 100G ist man deshalb gut beraten, auch Abnahmemessungen mit aktiver Messtechnik durchzuführen, auf der nackten Faseranlage und/oder über die DWDM- Systemtechnik. Erst dann ist der protokollierte Beweis für den in der Praxis erreichten Durchsatz erbracht. Messgeräte wie der MTS-5800 / ONA-1000 von VIAVI sind hierfür geeignet, standardkonforme Bandbreitemessungen auszuführen:

- RFC-2544 Durchsatztest L2, L3

Weiterführende „aktive“ Messungen machen nur Sinn, wenn über aktive Systemtechnik gemessen wird und Dienste / Services mit Grenzwerten für Bandbreite, Laufzeit, Paket Jitter, Committed Burst Size etc. bekannt sind:

- Y.1564 Multistream Servicetest L2, L3
- RFC-6349 Layer 4 TCP/IP Truespeed Test
- TWAMP Two Way Active Measurement Protocol (Dauer Hintergrund-Messung zur Laufzeitüberwachung)

5.0 Glossar

AP	Attenuation Profile (wellenlängenabhängige Faserdämpfung)
APC	Angled Physical Contact
API	Application Programmable Interface
BiDir	bidirectional (test)
BT	Bluetooth interface
C-CCP	Core-CCP
CD	Chromatics Dispersion
CL	Fiber Optics C&L-Band
CWDM	Coarse wavelength division multiplex
DGD	Differential Group Delay
DWDM	Dense wavelength division multiplex
FEC	forward error correction
FOC	Hersteller von faseroptischen Komponenten, Berlin/D
IBYC	Inspect before you connect
IEC	International electrotechnical commission
IL	Insertion Loss (Dämpfung)
ISO	International Organization for Standardization
ITU-T	international telecommunications union
LAN	local area network
LEAF	type of optical singlemode fiber
LWL	Lichtwellenleiter
M-CCP	Main-CCP
MM	Multimode
MSOR	Multi-trace OTDR format (proprietary VIAVI)
NRZ	Non Return Zero
OCWR	Optical Continuous Wave Return Loss Messung
OECSL	Optischer Bänder von 1271 – 1611nm
OLP	Optical Level Power Meter
OLS	Optical Laser Source
ONMSi	Optical Network Monitoring System Version 2
ORL	Optical Return Loss
OSA	Optical Spectrum Analyzer
OSCA-710	Optical Spectrum Analyzer mit OSNR Messung nach Kohärenzanalyse
OSNR	Optical Signal to Noise Ratio
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer
OTU	Optical Transport Unit (Übertragungstechnologie nach ITU)
OUT	Optical Test Unit
PC	Physical Contact (Optischer Geradschliff Stecker)
PMD	Polarisations Moden Dispersion

PON	Postal Optical Network. Andere Bezeichnung für FTTx Splitterstrukturen
RL	Return Loss (Rückreflektion)
ROAM	Remote Optical Add-Drop Multiplexer
SDH	Synchronous Digital Hierarchy – synchrones Übertragungsverfahren
SM	Singlemode
SM-APC	Single Mode Angled physical contact
SONET	Synchronous Optical Network Technologie (wie SDH, kleiner Header-Unterschied)
SOR	Standard Optical Result Format für OTDR Messergebnisse
Stratasync	VIAVI Messmittel und Work-Order Management System
TIA/EIA	Amerikanische Normungsorganisation auf privater Herstellerbasis
TPA	Test Process Automation = Workflow Lösung
WAN	Wide Area Network – Weitverkehrssystem
WDM	Wellenlängen- Multiplexing
Wi-Fi	Wireless fidelity, lizenziertes Markenname, Organisation gebildet von Unternehmen zur Zertifizierung von Produkten nach dem IEEE802.11 Standard
xWDM	Allgemeine Bezeichnung von Wellenlängen Multiplex Systemen (CWDM, DWDM)

6.0 Literatur

Fiberguide 1	VIAVI
https://comms.viavisolutions.com/Fiber-Optics-Test-Guide-Volume-1-vi96906	
Fiberguide 2	VIAVI
https://comms.viavisolutions.com/Fiber-Optics-Test-Guide-Volume-2-vi17188	
Produkt Datenblätter	VIAVI
Schulungsunterlagen LWL Abnahme, Fehlersuche	VIAVI
Diverse Vorträge aus Fachkonferenzen	VIAVI (Friedrich, Winterling, andere)
Faserstandards	ITU-T G.6xx
Klassifizierung von LWL- Steckverbindern	IEC 61753
IL Dämpfungsmessungen an Steckverbindern	IEC 61300-3-34
RL Rückflußdämpfungsmessungen an Steckern	IEC 61300-6
Formulierung allgemeiner Aussagen zum Aufbau der Steckverbinder	IEC 61754-x und EN 186000
-Dämpfungsmessungen	ITU-T G.650 Serie
-Dämpfungsmessungen	EN 188000 Dokumente
-Dämpfungsmessungen	EN 61280-4
-Dämpfungsmessungen	DIN EN 50346
-Lichtwellenleitertechnik	Dr. Dieter Eberlein
OTDR-Messungen	IEC 14763-3
OTDR Fileformat	Telcordia SR-4731
Chromatische Dispersionsmessung	IEC60793-1-42

Messmethoden für lineare Verzerrungen SM-Faser
CD- Messungen an SM Fasern
Generic Criteria for CD test sets
PMD Messung nach Fixed Analyzer Methode
PMD Messung nach Stokes Parameter Methode
PMD Messung per Interferometrie (TINTY/GINTY)
Zusammenfassung der 3 Methoden der PMD Messung
Portable Test Sets für PMD Messung
ITU Zusammenfassung PMD Test + State of Pol Methode
Grenzwerte für PMD Verzerrungen
Publikation Standards Optische Messtechnik LAN
Planungsrichtlinien für Kommunikationsnetze

ITU-T G.650.1
TIA FOTP-175-B
GR-761-CORE
FOTP-113, TIA-455-113
FOTP-122, TIA-455-122A
FOTP-124, TIA-455-124A
IEC 60793-1-48
GR-2947-CORE
ITU-T G.650.2
IEEE 802.3ae-2002
Tyco Feb. 2008
BayITR 03, Stand 2010



Kontakt +49 7121 86 2222

Sie finden das nächstgelegene
Viavi-Vertriebsbüro auf
viavisolutions.com/contacts

© 2021 VIAMI Solutions Inc.
Die in diesem Dokument enthaltenen Produktspezifikationen und Produktbeschreibungen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden.
Fiber-test-procedure-wp-fop-nse-de
30193192 900 0821