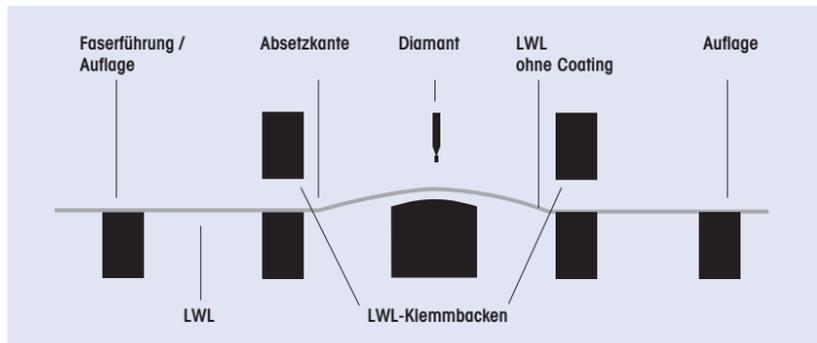


# Messtechnik zur Güteprüfung lichtwellenleiterbasierender Kommunikationsnetzwerke



Wir sorgen mit Sicherheit  
für die Funktion Ihrer  
Kommunikationsnetze



Prinzip eines LWL-Trenngerätes:

## Lichtwellenleiterbasierende Kommunikationsnetzwerke

### Die Messtechnik

Wenn auch Lichtwellenleitersysteme in der Praxis eine sehr betriebssichere, langlebige und somit störunanfällige Technik darstellen ist doch gerade die Qualität der aufgebauten LWL Strecken von entscheidender Bedeutung für den langfristigen, vor allem aber störungsfreien Betrieb von Datenetzen. Aussagefähige Streckenprotokolle sind daher die Basis für Übergabe-/Abnahmeprüfungen und sollen verdeckte Fehler wie etwa vorgeschädigte Fasern oder Verarbeitungsmängel an Stecksystemen ausschließen. Diese Streckenprotokolle dienen als Grundlage zum Betrieb einer Strecke und bilden zugleich eine Basis bei der Planung von Netzerweiterungen. Zur Beurteilung der Funktionsbereitschaft und Betriebssicherheit ist jede Faser eines Kabels zu messen, die Systemqua-

lität zu prüfen, sind Fehlerquellen zu finden und gegebenenfalls zu beseitigen. Die Beseitigung eines Streckenfehlers ist durch erneute Messungen zu überprüfen. Die Streckenprotokolle dienen auch bei einer eventuellen Fehlersuche im Betrieb als Grundlage für vergleichende Messungen.

### Die Messverfahren

Alle Komponenten einer Strecke wie Kabel, Stecker, Spleiße oder Beschädigungen an diesen Bauteilen verursachen eine Abschwächung (Dämpfung) bzw. eine Teilreflexion des zu übertragenden Signals. Die entscheidenden Testparameter in optischen Netzen sind damit Dämpfung und Reflexion.

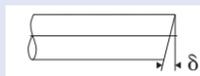
Das Ermitteln anderer Faser- oder Streckenparameter wie beispielsweise des Bandbreiten-Längenproduktes oder

die Grenzfrequenz werden typischerweise beim Hersteller durchgeführt. Beispielsweise ist beim Wechsel auf Systeme mit höheren Übertragungsfrequenzen wie Gigabit-Ethernet die Kenntnis über das Bandbreiten-Längenprodukt für die Auswahl geeigneter Komponenten von entscheidender Bedeutung.

Zur Bestimmung der Dämpfung stehen zwei Messverfahren zur Verfügung, das Einfüge- und das OTDR (Rückstreuemesverfahren). Für qualifizierte Messergebnisse mit grafischer Darstellung des Dämpfungsverlaufes sowie Angaben z.B. zur Rückflussdämpfung ist allein das OTDR Messverfahren geeignet. Da Laserquellen durch Reflexe empfindlich gestört, oder sogar ganz ausfallen können, empfehlen wir den Einsatz der OTDR Messtechnik zur Streckenzertifizierung. Zu empfeh-

### Kriterien zur Beschreibung / Beurteilung der Faserendqualität sind:

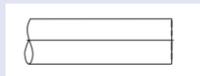
=> Schnittwinkel  $\delta$



=> Ebenheit



=> Rauigkeit



=> Schmutz



Endflächenqualität

### Ergebnis:

Bei optimalem Biegeradius und optimaler Zugspannung entsteht

- eine spiegelglatte Endfläche
- mit einem Neigungswinkel zur Faserachse  $< 1^\circ$

### Analyse der Endflächenqualität: mittels Interferenzmikroskopie

Beispiel:



len ist das in den optischen Fenstern 850, 1300 bzw. 1550 nm gemessen wird damit die Strecken für Lichtquellen verschiedener Anwendungen oder Hersteller geeignet sind. Oft war es üblich, die Messung nur in dem Fenster durchzuführen, das auch die vorgesehenen Anwendungen nutzen. Diese kurzfristige Denkweise ist heute nicht mehr sinnvoll. Statt dessen sollte in allen von der gewählten Faser unterstützten Fenstern gemessen werden. Außerdem ist zu empfehlen die Strecken immer in beiden Richtungen zu messen. Beispielsweise ist beim Übergang von einer Faser mit kleinerem Kerndurchmesser auf eine Faser mit größerem Kerndurchmesser kein Anstieg der Dämpfung festzustellen. In Gegenrichtung können hier jedoch durchaus mehrere dB Verlust gemessen werden.

Vor der Durchführung von Messungen an LWL-Strecken sollte zuerst die Aufgabenstellung festgelegt werden. Ob ein rein qualitativer Meßwert über die gesamte Strecke ausgegeben werden oder eine möglichst genaue Aussage über Teilabschnitte einer Strecke ermittelt werden soll. Bei langen Strecken, eventuell sogar mit zusätzlichen Spleißverbindungen ist jedoch eine Messung über die gesamte Strecke vorzuziehen. Entscheidend für die Qualität einer Faser ist die Dämpfung im Bereich der vorgesehenen Wellenlänge (Fenster). Diese Werte werden als Faserparameter für jedes Fenster angegeben. In den einzelnen Fenstern können diese

Werte je nach verwendetem Fasertyp sehr unterschiedlich sein. Die Übertragungstechnischen Eigenschaften einer LWL-Strecke werden z.B. durch die Normen EN 50173, ISO 11801 beschrieben. Für das Durchmessen einer vorhandenen LWL-Strecke benötigt man folgende Angaben:

- Welcher Fasertyp wurde verlegt: 9/125  $\mu\text{m}$ , 50/125, 62.5/125  $\mu\text{m}$  oder 100/140  $\mu\text{m}$ .
- Welche spektrale Dämpfung besitzt die verwendete Glasfaser?

- Welche numerische Apertur hat die Glasfaser?
- Welcher Steckertyp wird verwendet, wie ist die typische Steckerdämpfung.
- Wie lang ist die verlegte Strecke etwa. Hier und auch zur späteren Fehlersuche hilft eine Metrierung (Längenaufdruck) des Kabels.

Mit diesen Angaben können die zu erwartenden Messwerte (Minimum und Maximum der Dämpfung je Fenster) ausgerechnet und mit den tatsächlichen Ergebnissen verglichen werden.

### Optimale Faserendflächen

„Jede Verbindung ist nur so gut wie die Faserpräparation“

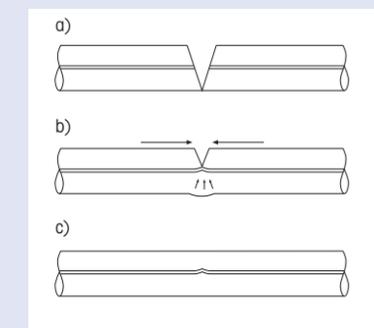
### Mögliche Folgen nicht optimal präparierter Faserenden

=> Blasenbildung

=> Materialverschiebung

=> Kerndeformation

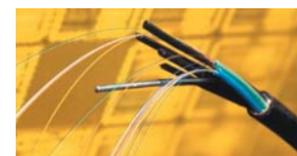
➡ Dämpfungserhöhung

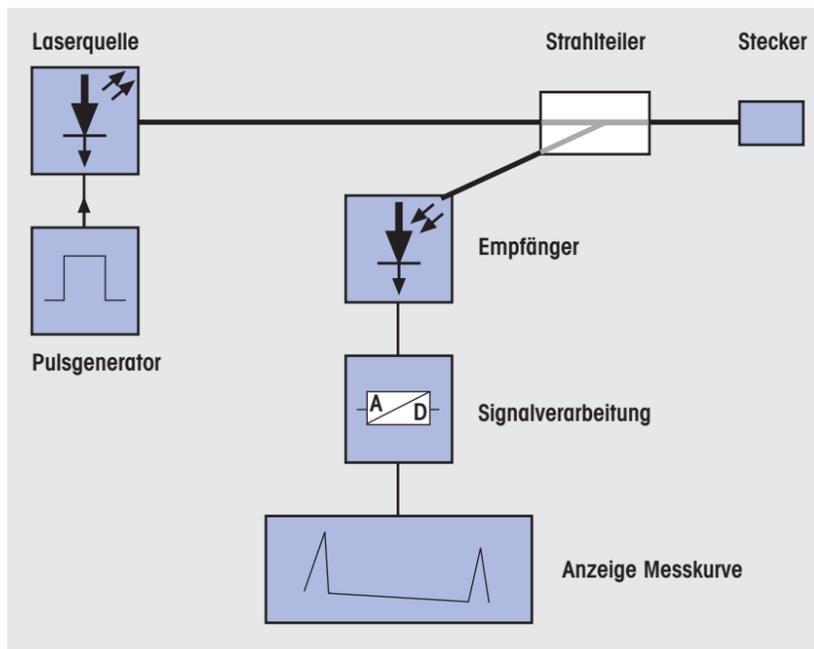


Thermische Spleißtechnik: Faserendflächen

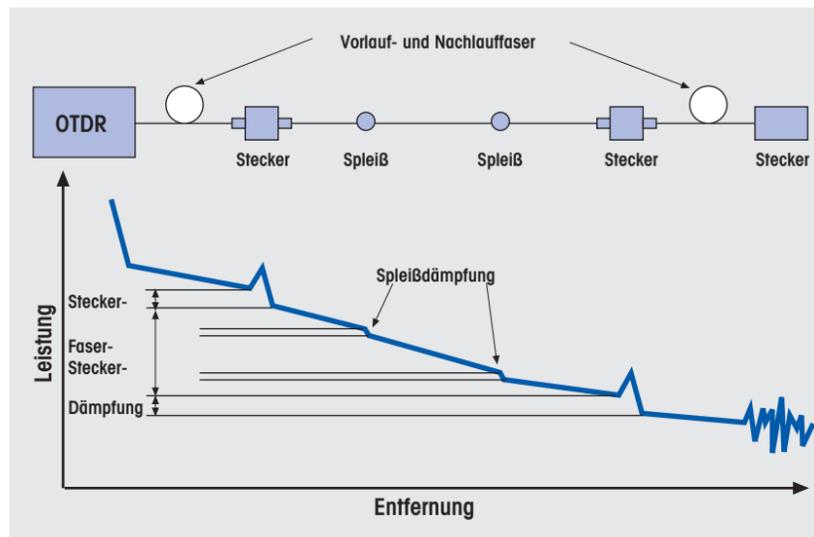
Tabelle 1. Optische Fenster

Fasertyp	1. Fenster	2. Fenster	3. Fenster
Mehrmodenfaser	850 nm	1300 nm	- - - -
Einmodenfaser	- - - -	1300 nm	1550 nm

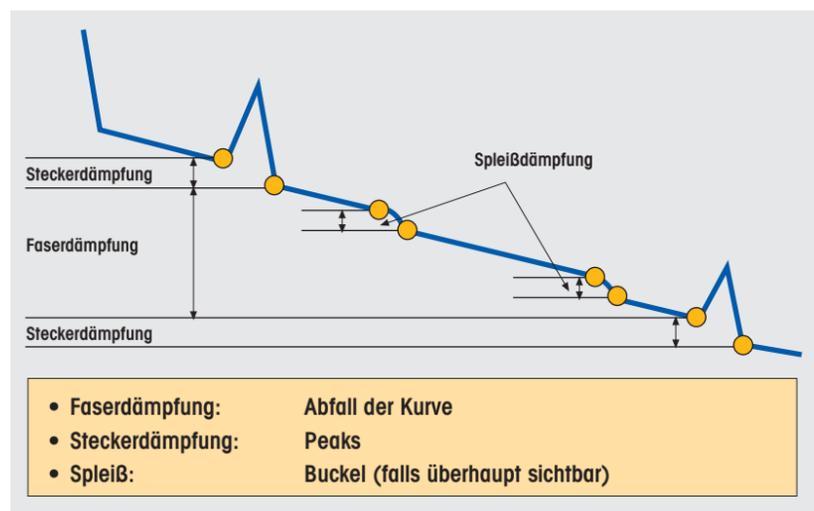




1: Meßverfahren OTDR



2: OTDR-Meßkurve mit detaillierter Aussage über den Dämpfungsverlauf der Strecke



3: Interpretation der OTDR-Meßkurve

### Rückstreuverfahren OTDR

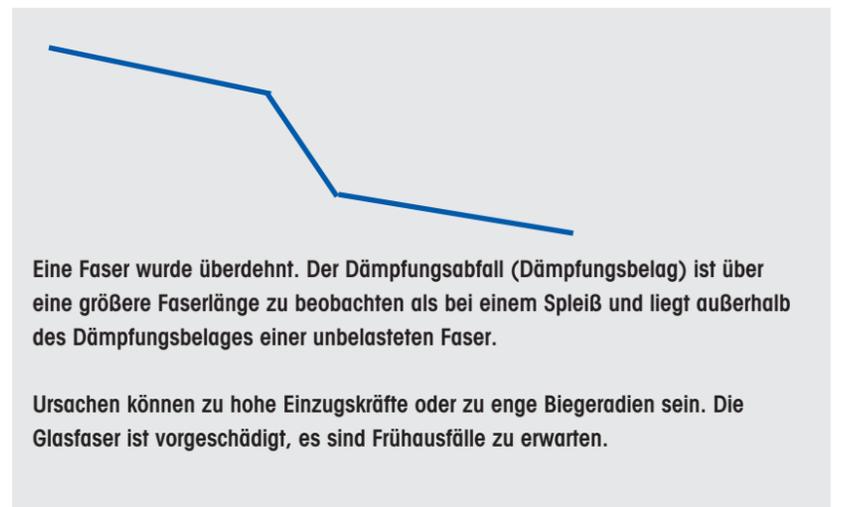
Bei der OTDR-Messung (Optical Time Domain Reflectometry) wird an einem Faserende das Licht in Form eines Lichtimpulses in die Faser eingespeist und auch wieder empfangen. Der Hauptteil der Lichtleistung bewegt sich in Vorwärtsrichtung durch die Faser. Ein kleiner Anteil wird jedoch zum Sender zurückgestreut und beim rückwärtigen Durchlaufen nochmals durch die Dämpfung abgeschwächt. Dieses reflektierte Signal wird über einen Strahlteiler (z.B. teildurchlässiger Spiegel) ausgekoppelt und gemessen. Die Pegelabschwächung des Lichtimpulses ist das direkte Maß für die Dämpfung, und aus der Laufzeit des Impulses kann direkt auf den Ort der Reflexion rückgeschlossen werden.

Das Ergebnis dieser Messung ist eine Messkurve, die eine detaillierte Aussage über den Dämpfungsverlauf der Strecke liefert. Bei konstantem Dämpfungskoeffizient und Rückstrefaktor entlang der Faser ergibt sich eine vom Anfang des LWL exponentiell abfallende Kurve. In der Vertikalen ist der Pegel (Dämpfung) in dB aufgetragen und in der Horizontalen die Entfernung. Jede Störung des Dämpfungsverlaufes durch Stecker, Spleiße, Mikrobiegungen, Kerben usw. kann anhand der Abweichung des Dämpfungsverlaufes identifiziert und entlang der Faser positioniert werden. Beispielsweise entstehen an Spleißen Pegelabschwächungen, an Ker-

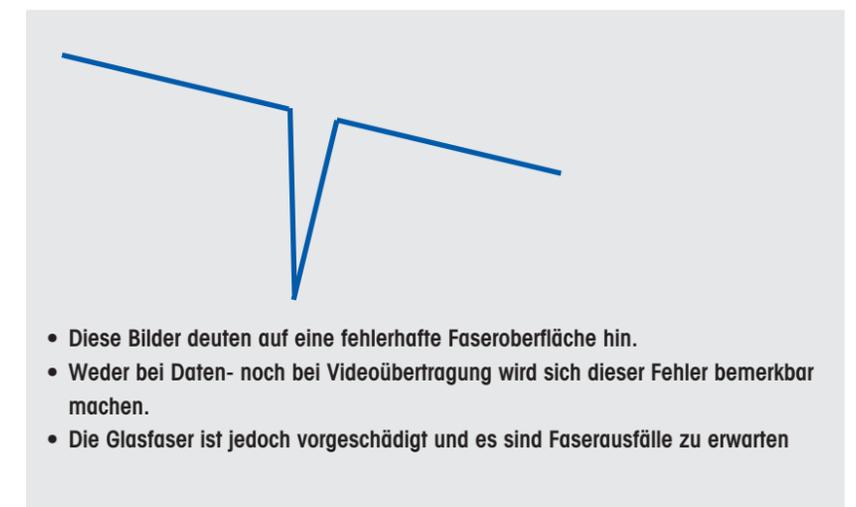
ben oder Verbindungselementen jedoch höhere Reflexion, die als Peaks mit anschließender Pegelabschwächung in der Messkurve erkennbar sind. Beim Einfügen des Lichts in die Faser entsteht eine Totzone z.B. durch Reflexionen. Damit hier aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden, wird mit einer Vorlauf-faser gearbeitet. Andernfalls verschwindet der erste Steckverbinder in der Totzone und die Messung ist quasi wertlos.

Am offenen Ende der Faser sind zwei Fälle zu unterscheiden: Wurde die Faser gebrochen, gelangt der Strahl ohne Reflexion in die Luft. Es kommt zu einem Dämpfungssprung, gefolgt von Rauschen. Der zweite Fall ist ein poliertes Faserende, wie es typischerweise an einem Stecker und somit bei den meisten installierten Strecken vorkommt. Hier wird der Lichtstrahl reflektiert und es wird eine positive Spitze, gefolgt von Rauschen, angezeigt. Im ungünstigsten Fall kann es hier durch Mehrfachreflexionen zur Anzeige von nicht vorhandenen Steckverbindungen, sogenannten Ghosts, kommen. Durch die Verwendung von Nachlauf-fasern mit gebrochenem Faserende kann dieser Effekt vermieden werden.

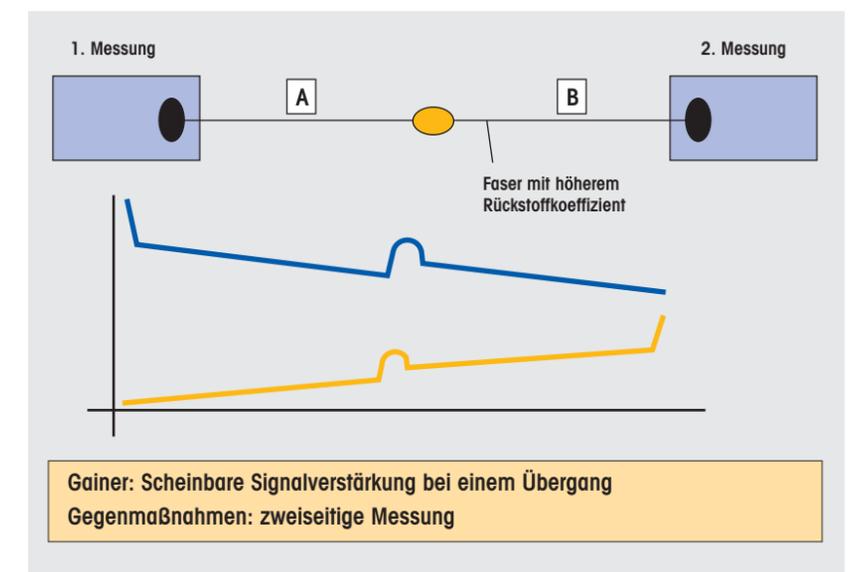
Ein weiterer Vorteil bei der Verwendung von Nachlauf-fasern ist, daß Faserver-tauschungen erkannt und beseitigt werden können. Bei den heute üblichen Duplex Steckern können diese Faserver-tauschungen den Inbetriebnehmer erheblich Nerven



4: Überdehnte Faser



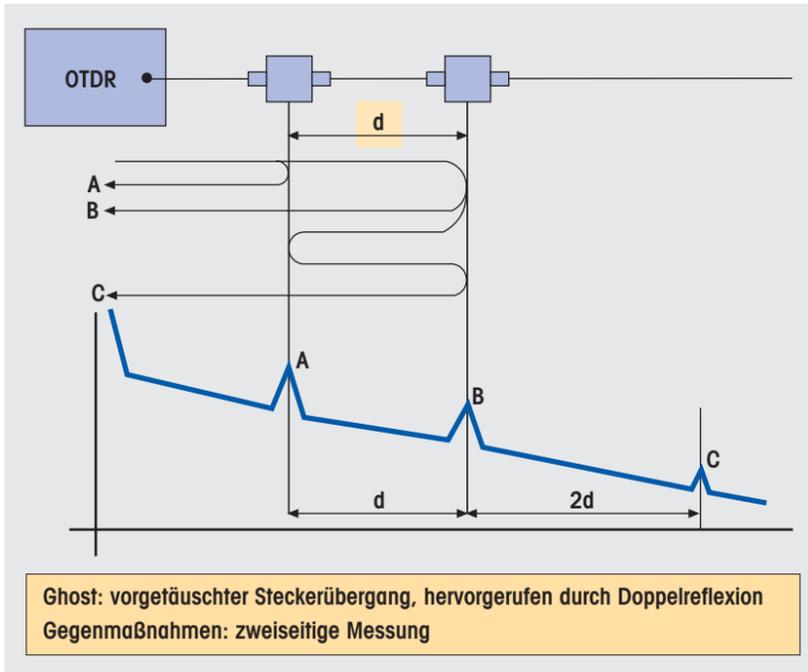
5: Beschädigte Oberfläche



6: Gainer-Effekt

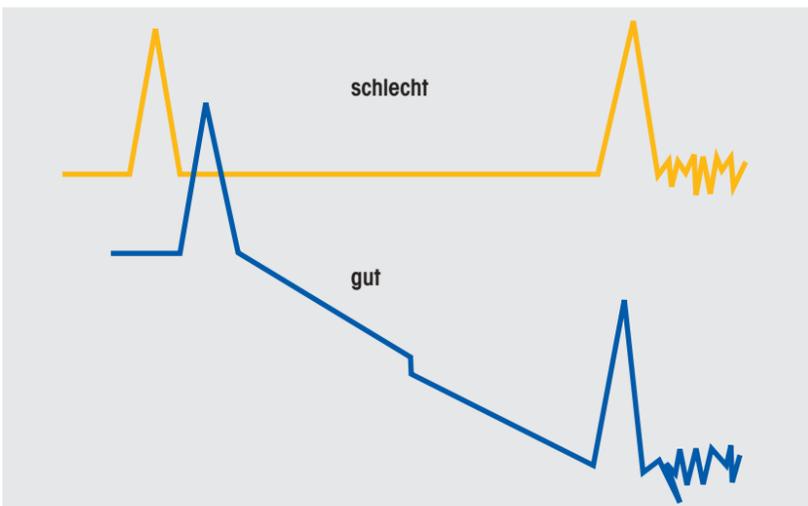
kosten. Im laufenden Betrieb eine fast voll belegte Spleißbox auszubauen und zwei Pigtaills umzustecken ist, wenn man den Fehler nach Studieren der Messprotokolle und Prüfen der Fasern dann gefunden hat, wirklich kein Vergnügen. Ein weiterer entscheidender Faktor für aussagekräftige Messkurven ist die richtige Skalierung. Es macht keinen Sinn, eine Strecke mit beispielsweise 2 dB Gesamtdämpfung in einem 10-dB-Raster darzustellen. Das Ergebnis ist eine waagerechte Linie, aus der anhand der Peaks nur Anfang und Ende der Strecke entnommen werden. Störungen auf der Strecke - wie schlechte Spleißverbindungen - bleiben dem Betrachter verborgen. Die Wahl eines 0,5-dB Rasters würde eine wirklich aussagekräftige Kurve liefern. Optimal ist, wenn die Messergebnisse nicht nur auf Papier, sondern, zusammen mit der notwendigen Analysesoftware, auf Datenträger bereitgestellt werden.

Ein weiterer Parameter, den es zu optimieren gilt, ist die Breite des Lichtimpulses. Mit der Pulsbreite kann das zeitliche und das pegelmäßige Auflösungsvermögen beeinflusst werden. Durch die höhere Energie breiterer Impulse erhöht sich die Pegelauflösung und damit die Reichweite. Kleinere Pulsbreiten mit hoher ortsbezogener Auflösung sind daher gut geeignet für kurze Strecken, große Pulsbreiten mit geringer ortsbezogener Auflösung eignen sich daher eher für WAN-Strecken.



7: „Ghost“-Phänomen bei OTDR-Meßkurve

Pulsbreite	1 ns	100 ns	10 µs
Ortsbezogene Auflösung	10 cm	10 m	1 km



8: Beispiele zur Auflösung einer OTDR-Meßkurve

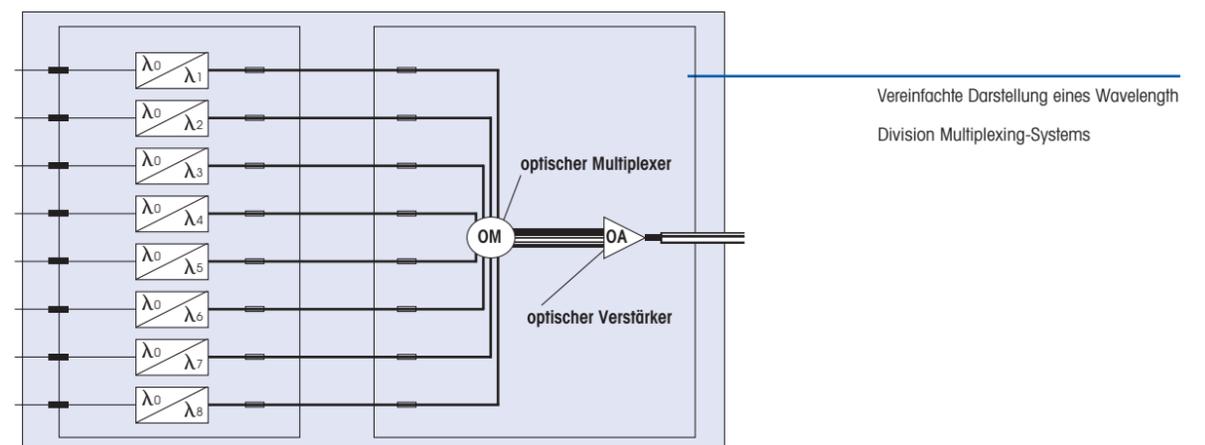
LAN:				
10 GBASE-LX4	300 m	1310 nm / WWDM LAN	Multimode (•)	Singlemode bis 10 km
10 GBASE-SR	65 m	850 nm / seriell LAN	Multimode	Low cost-Version
10 GBASE-LR	10 km	1310 nm / seriell LAN	Singlemode	
10 GBASE-ER	40 km	1550 nm / seriell LAN	Singlemode	
WAN:				
10 GBASE-SW	65 m	850 nm / seriell WAN	Multimode	Low cost-Version
10 GBASE-LW	10 km	1310 nm /seriell WAN	Singlemode	
10 GBASE-EW	40 km	1550 nm / seriell WAN	Singlemode	

(•) = Kabel wie für Gigabit Ethernet definiert (160/500 MHz · km für 62,5 m)

### Ausblick in die Zukunft

Nach dieser Kurzzusammenfassung der aktuellen Messtechniken mit den dazugehörigen Problematiken noch ein Ausblick in die Zukunft. Wellenlängenmultiplexen (WDM oder DWDM) benötigt neue Messverfahren, die bereits mit der Einführung von 10-Gigabit-Ethernet auch für den LAN-Bereich interessant werden. Beim Wellenlängenmultiplexen werden mehrere Signale gleichzeitig über eine Faser übertragen. Die einfachste Variante ist, hierfür verschiedene optische Fenster zu benutzen. Die Zahl der Kanäle ist bei diesem Verfahren naturgemäß begrenzt. Aus diesem Grund wurde mit DWDM (Dense

Wavelength Division Multiplexing) ein Verfahren entwickelt, bei dem in einem optischen Fenster mit einem Wellenlängenabstand von wenigen Nanometern Signale übertragen werden. Hier tauchen plötzlich Störungen auf, die bisher bei Lichtwellenleitern kein Thema waren, wie beispielsweise das Nebensprechen oder die Zerstörung des Modenfeldes auf der Stirnfläche durch eine Leistungsdichte von rund 14400 Watt/mm<sup>2</sup>. Zur Prüfung der Tauglichkeit von Fasern für DWDM-Techniken und auch zur permanenten Überwachung des DWDM-Netzes sind einige wenige Messgeräte am Markt und neue Messtechniken in Entwicklung.





13.09.2002 11:27:08

Meßkurve: K:\PROJEKTE\2002XX~1\120429~1\MESSUN~1\LWL\IM01.SOR

Meßdatum und -zeit: 11.09.2002 10:30:15  
 AUFTRAGGEBER: Marx & Müller OHG  
 ORT: Kiel  
 START: Lagerhalle 1b  
 ZIEL: Rechenzentrum 3  
 MONTEUR/ FASER: F. HILBRECHT /50/125  
 Hauptgerät: E6000A, DE37601258, 4.3  
 Modul: E6009A, DE37300294, A3914-0679 (Multimode)

Standard  
 31.30 cm  
 0:30  
 1.49600

Bereich:  
 Pulsbreite:  
 Wellenlänge:  
 Streukoeff.:

0.0-0.5 km  
 30 ns  
 850 nm  
 36.000 dB

Optimiere:  
 Abtast-Abstand:  
 Mittelungszeit:  
 Brechungsindex:



Position:  
 Einf.verlust bei #4  
 Reflexion bei #4  
 Kum. Verl. bis B:

Marker A/B	Value
A-B:	275.2 m
2P-Verlust:	0.852 dB
2P-Dämpfung:	3.096 dB/km
LSA-Dämpfung:	6.656 dB/km
2P ORL:	25.279 dB

Ereignis-Tabelle					
Nr.	Typ	Position km	Schwellwerte: Nichtrefl.: -- dB, Reflexiv: -- dB, Faserende: -- dB		Kum.v. dB
			Ref. dB	Einf.v. dB	
		0.0000	-26.617	0.000	0.481
		0.1083	-28.111	-0.189	0.79
		0.2925	-27.966	0.168	1.34
		0.3930	-13.684	4.482	
				2.714	
				2.714	

- 1 Reflexiv
- 2 Reflexiv
- 3 Reflexiv
- 4 Reflexiv

Faser Information	
Faserlänge:	--- km
Faserverlust:	--- dB
Faserdämpfung:	--- dB/km
Faser ORL:	15.533 dB
Anzahl Ereignisse:	4



Spiering Partner Elektrotechnik OHG  
 Königstraße 6A • D-23847 Rethwisch  
 Tel. 0 45 39/18 01-01 • Fax 18 01-30  
 E-mail: mail@spieringpartner.de  
 www.spieringpartner.de