

**Praktikum**  
**Optische Nachrichtentechnik**  
**Versuch 3**  
**OTDR-Messtechnik**

Versuchsdatum:.....  
Semester:.....Gruppe:.....  
Teilnehmer:.....  
.....  
Email:.....

**Inhalt und Ziel:** Sie sammeln vielfältige Erfahrungen mit dem wohl wichtigsten Messgerät der LWL-Technik. Anhand typischer Messaufgaben für Gradienten- und Einmoden-LWL lernen Sie die Praxis der Technik kennen. Sie können deren Grenzen in Bezug auf Ortsauflösung, Dynamik und Linearität einschätzen.

**Themenbereich und Motivation:**

Neben der Bandbreite ist die Dämpfung die wichtigste Kenngröße einer optischen Übertragungsstrecke. In der Praxis wird zur Dämpfungsmessung meistens ein Rückstreumessgerät (Optical Time Domain Reflectometer) benutzt, weil dafür nur eine Seite der Strecke zugänglich sein muss, die Dämpfung lokal - also auch an Spleißstellen - bestimmt werden kann und zusätzlich eine Fehlerortung möglich ist.

Diese großen praktischen Vorteile müssen allerdings mit zwei Problemen erkaufte werden:

- Die Gerätetechnik ist sehr komplex; insbesondere müssen sowohl kleinste Signalamplituden (und hohe Rauschpegel) als auch sehr große, den Empfänger stark übersteuernde Pulse verarbeitet werden. (Die optische/elektrische Dynamik ist größer als 40/80 dB!)
- Die Glasfaserdämpfung wird nur indirekt aus der Rückstreuleistung bestimmt; diese ist aber zusätzlich von bestimmten Fasereigenschaften wie der Numerischen Apertur bzw. dem Modendurchmesser abhängig (und damit vom Kerndurchmesser). Dadurch kann es zu Fehlmessungen bis hin zu scheinbaren Verstärkungen kommen.

**Einführung in die Gerätetechnik:**

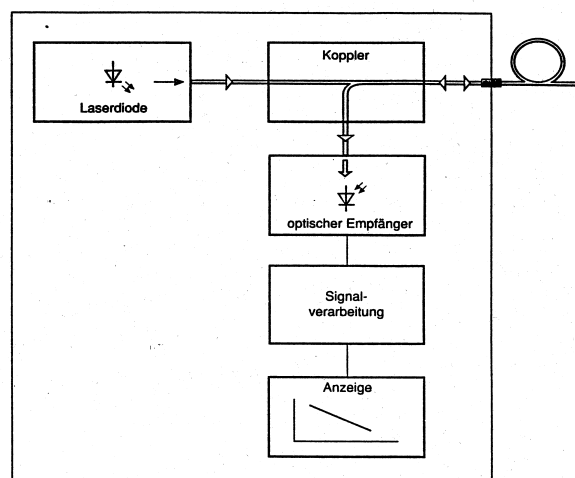


Abbildung 1: OTDR-Blockschaltbild

Die Laserdiode erzeugt einen kurzen Lichtpuls (einige ns bis  $\mu\text{s}$ ), der über den Y-Koppler in den LWL gelangt und diesen mit  $c_0/n_{\text{LWL}}$ , d.h. mit ca.  $2 \cdot 10^8$  m/s durchläuft. Rückgestreutes bzw. reflektiertes Licht von einem bestimmten Faserort kommt nach der entsprechenden Laufzeit zurück und erreicht über den Koppler den optischen Empfänger, eine APD (Avalanche Photo Diode).

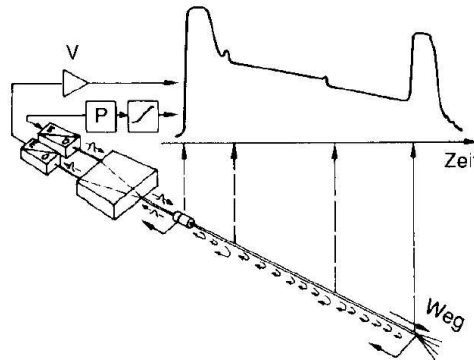


Abbildung 2: Zuordnung von zeitlichem Verlauf des Rückstreusignals zum Faserort  
(Hinweis: untypisch langer Lichtimpuls, vgl. Anfangs- und Endreflex!)

Die Signalverarbeitung trennt das Nutzsignal vom Rauschen durch vielfache elektrische Integration, und zwar simultan in den Zeitfenstern, die den Messorten entsprechen. Außerdem erfolgt eine Logarithmierung, so dass der exponentielle Leistungsverlust als Gerade angezeigt wird. Deren Steigung liefert den Dämpfungsbelag  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{10}{L} \cdot \log \frac{P_1}{P_2} \left[ \frac{\text{dB}}{\text{km}} \right] \quad \text{direkt als:} \quad \alpha = \frac{a}{L} \quad \text{mit: } a = P_1 - P_2$$

Alle im Praktikum eingesetzten OTDRs ermöglichen eine Cursor-Auswertung für beliebige Längenabschnitte  $\Delta L$  bzw. Dämpfungsintervalle  $\Delta P$ , auch mit Regression („Least Square Approximation“). Dämpfungsbehaftete Spleiße, Stecker oder Faserfehler bewirken einen messbaren Versatz der Geraden nach unten, gegebenenfalls mit „Reflektionspeak“. Ihre Ortung erfolgt mit der entsprechenden Pulslaufzeit  $t_{\text{Puls}}$  gemäß:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \frac{c_0}{n_{\text{LWL}}} \cdot t_{\text{Puls}}$$

### Testfragen und Vorbereitung:

1. Welche Leistungsverluste durch *Absorption* treten in Quarzglasfasern auf? Wie kann die durch *Streuung* verursachte Dämpfung berechnet werden?
2. Welche typischen *Dämpfungskoeffizienten* besitzen GI-LWL im 1. und 2. optischen Fenster, welche SMF im 2. und 3. Fenster?
3. Was ist die *Totzone* eines OTDR?
4. Bereiten Sie ein *tabellarisches* Kurzprotokoll für die unten aufgelisteten Messaufgaben vor! Wie könnte eine *Histogramm-Darstellung* der Stecker-Koppeldämpfungen aussehen?
5. Welchen Einfluss hat die Impulsbreite auf:
  - a) den maximalen Messbereich?
  - b) die Ortsauflösung?
6. Wie wirkt sich die Verschmutzung an Steckverbindungen auf:
  - a) die Koppeldämpfung
  - b) die Reflexionen
  - c) die Totzone des Empfängers aus?

**Allgemeine Hinweise:**

- Sie arbeiten mit modernsten Messgeräten der Firma Yokogawa, die aus Ihren Studienbeitragsmitteln beschafft wurden. Bitte gehen Sie sorgsam mit den Geräten um, damit auch künftige Studenten aus dieser Anschaffung großen Nutzen ziehen können.
- Lesen und beachten Sie die ausliegenden Sicherheitshinweise für den Umgang mit Lasern!
- Lesen Sie die Bedienungsanleitungen der Rückstreuungsmessgeräte (OTDR)! Probieren Sie alle Einstellungen aus!
- Notieren Sie sich jeweils alle wichtigen Parameter (Wellenlänge, Pulsbreite, Vordämpfung/Verstärkung, )!
- Die Geräte verfügen über einen Echtzeitmodus (REAL TIME) der Ihnen erlaubt, alle Einstellungen während des Betriebs zu ändern und Veränderungen an der Messanordnungen sofort zu beobachten. In diesem Modus ist keine automatische Auswertung möglich.
- Im Modus Mittelung (AVG) werden über einen bestimmten Zeitraum die Messwerte gemittelt und damit der Rauschabstand vergrößert. Dieser Modus liefert auch eine automatische Messauswertung und ein Messprotokoll
- Sie können am Gerät sämtliche Parameter von Hand ändern. Besonders wichtig bei der Längenmessung ist die korrekte Einstellung der Brechzahl, den Sie bitte aus dem Datenblatt entnehmen
- Das OTDR erlaubt auch eine Speicherung der Messkurve als jpg-Bild über den USB PORT. Bitte speichern Sie alle markanten Messergebnisse und fügen sie die Kurven Ihrem Protokoll hinzu.
- Die Faserstrecken bestehen aus je einer Faser der Länge 500m und 10000m. Zur exakten Bestimmung der Faserlänge muss ein kurzer Messimpuls benutzt werden. Begründung?

Messfaser	SM 1310	SM 1550	MM 850	MM 1300
Brechzahl n	1,467	1,467	1,483	1,478

**Versuchsdurchführung und -auswertung:**

**1. Messung der Dämpfungen und Faserlängen**

Bestimmen Sie die Leitungslängen, die Leitungsdämpfungen, die Gesamtdämpfung und jeweils die Dämpfungsbeläge von zwei Faserstrecken (Spulen), die mit Steckern verbunden sind!

Messen Sie bei zwei Wellenlängen und vergleichen Sie!

Um den Dämpfungsbelag des kurzen Faserstücks zu messen, ist es nötig, die Cursor zu verwenden, da eine automatische Messauswertung bei der Vorschaltfaser nicht möglich ist:

Wählen Sie hierzu → Marker → ZweiPointMarker

<u>Singelmode:</u>	500m			10000m			
Wellenlänge	Länge	Dämpfung	dB/km	Länge	Dämpfung	dB/km	Stecker
1310 nm							
1551 nm							
<u>Multimode</u>	500m			10000m			
Wellenlänge	Länge	Dämpfung	dB/km	Länge	Dämpfung	dB/km	Stecker
850 nm							
1300 nm							

Schätzen Sie die Messfehler ab! Vergleichen Sie Ihre Messwerte mit den Spezifikationen der Glasfasern!

Dämpfungsbelag nach Datenblatt bitte eintragen:

	SM- 1310nm	SM – 1550nm	MM – 850nm	MM - 1300nm
dB / km				

## 2. Einfluss der Pulsbreite auf Messbereich und Ortsauflösung

Das OTDR stellt je nach gewähltem Messbereich die Pulslänge automatisch ein. Gehen Sie in den Echtzeitmodus und stellen sie Pulsweite → AUTO ein. Wählen Sie jetzt verschiedene Messbereiche und lesen Sie ab, welche Pulsweite das Gerät einstellt.

Berechnen Sie für die verwendeten Laser-Pulsbreiten jeweils die räumlichen Pulslängen in der Faser! Schätzen sie die *Ortsauflösung* für die verschiedenen Pulsbreiten ab und vergleichen Sie diese mit den berechneten Pulslängen! Tragen Sie in die Tabelle Ihre gemessenen und berechneten Werte ein.

Messbereich	Pulsweite / $\mu$ s	Pulslänge /m (Rechnung)	Pulslänge /m (Messung)
20km			
100km			
400km			

## 3. Ermittlung des maximalen Messbereichs bei 850nm (Multimode-Faser) im Echtzeitmodus.

Da der Dämpfungsbelag einer Multimodefaser bei 850nm ca. 2-3dB/km ist, kommt ein OTDR relativ schnell an seine Grenzen, was den Messbereich bei kleinen Pulsbreiten betrifft. Aus diesem Grund wird nun bei 850 nm untersucht, welcher maximale Messbereich, bei gegebener Pulsbreite möglich ist.

Wählen Sie folgende Einstellungen und tragen Sie Ihre Beobachtungen in die Tabelle ein. Speichern Sie je ein Bild für jeden signifikanten Fall. Messen Sie dazu einmal im Echtzeitmodus und im Mittelungsmodus (AVG)

Impulsbreite / ns	Beobachtung bei Echtzeit	Beobachtung bei Mittelung	Bild
20			
100			
500			

Bei welcher Einstellung ist eine sinnvolle Messung möglich?

Welche Ergebnisse liefert die automatische Messauswertung bei 100ns und welche bei 500ns ?

Welchen Pegel zeigt der „Rauschboden“ der Messkurve?

## 4. Erfassen von Macrobending in der Faser – Demonstrationsversuch

Durch kleine Krümmungsradien bei der Verlegung von Lichtwellenleitern kann es zu zusätzlichen Dämpfungen des Lichts in der Faser kommen. Dieser Effekt ist stark wellenlängenabhängig. So tritt beispielsweise bei 1550nm eine deutlich höhere Dämpfung auf, als bei 1310nm obwohl in beiden Fällen, die gleiche Krümmung vorliegt.

Diesen Umstand kann man nutzen, um mit dem OTDR zu unterscheiden, ob die lokale Dämpfung aufgrund eines Spleißes oder durch Macrobending aufgetreten ist. Bei einem Spleiß bleibt die Dämpfung bei Veränderung der Wellenlänge nämlich nahezu konstant.

Der Betreuer wird in einem Versuch demonstrieren, wie durch das Umwickeln eines Stabes mit einer SM-LWL eine deutliche Zusatzdämpfung entsteht. Diese Zusatzdämpfung wird bei der Messwellenlänge 1550nm deutlich stärker ausgeprägt sein als bei 1310nm.

Anschließend wird er denselben Versuch mit einer biegeunempfindlichen Faser der Firma Corning durchführen. Diese Faser zeigt aufgrund ihrer besonderen Struktur selbst bei sehr kleinen Biegeradien nahezu keine Dämpfung durch Macrobending und ist damit für die Verlegung in Gebäuden besonders geeignet.

Notieren Sie sich die Messergebnisse des Demonstrierungsversuches in Ihrem Protokoll und werten Sie diese aus.

### 5. **Ermittlung der Steckerdämpfung**

Bestimmen Sie die *Dämpfung einer Steckverbindung* bei zwei Wellenlängen und mit zwei Pulsbreiten. Vergleichen Sie die Gesamtdämpfung mit der Summe von Steckerdämpfung und den Faserdämpfungen der einzelnen Abschnitte.

6. **Messen Sie die Koppeldämpfung** der Steckverbindung zwanzigmal (jeweils erneut stecken)! Werten Sie die Ergebnisse statistisch aus (inklusive Histogramm)!

Die Ausarbeitung zu diesem Versuch besteht aus Skizzen der jeweiligen Messanordnungen, der Tabelle Ihrer Messergebnisse, dem Histogramm und einer ausführlichen Diskussion der Ergebnisse und ihrer Genauigkeit.