

# **1 Vorbereitungsaufgaben**

## **1.1 Funktionsweise einer BER-Messung**

Ein Pattern(Muster-)generator generiert Signal-Zufallsfolgen mit einer bestimmten Periodenlänge und Datenrate. Diese Zufallsbitfolgen werden auf den Eingang des DUT/SUT gegeben. Am Empfänger ist die Zufallsfolge ebenfalls bekannt (z.B. durch eigene Berechnung), sodass die Fehlerbits gezählt und daraus die BER berechnet werden kann. Zur Synchronisation von Sender- und Empfänger ist dafür eine Taktleitung notwendig. Optimalerweise sind Sender- und Empfängereinheit in einem gemeinsamen Gerät vorhanden. Dies ist jedoch z.B. bei der Messung von bereits installierten Strecken nicht gegeben, weshalb zusätzlich auf die Qualität (Zeitverzögerung) des Taktsignals geachtet werden muss.

## **1.2 Auswirkung einer Erhöhung der Streckendämpfung auf die BER**

Eine höhere Dämpfung der Strecke führt zu einer Verringerung der Empfangsleistung und somit des Abstandes zwischen den vom Empfänger zu unterscheidenden Logikpegeln. Das Empfangsauge verkleinert sich in vertikaler Richtung und die Bitfehlerrate erhöht sich.

## **1.3 Auswirkung einer vergrößerten Dispersion auf die BER**

Die Dispersion wirkt sich allgemein über unterschiedliche Gruppenlaufzeiten im Lichtwellenleiter durch eine Impulsverbreiterung am Empfänger aus und verkleinert somit das Empfangsauge in horizontaler Richtung, wodurch die BER erhöht (ISI) und eine niedrigere Übertragungsrate für die gleiche BER erforderlich wird.

## **1.4 Dominierende Dispersionsart bei SM-Strecken**

Die Dispersion kann unterschieden werden in Materialdispersion und Modendispersion. Da sich die Lichtausbreitung im SM-LWL auf eine einzige Mode beschränkt (Grundmode) tritt dort auch keine Modendispersion auf, wodurch nur die Materialdispersion verbleibt.

## **1.5 Richtungsabhängigkeit der BER-Messung**

Eine Richtungsabhängigkeit der Messung liegt vor. Da der Laser einen bestimmten Modenfeldradius besitzt, wird bei schlechter Kopplung (Offset) das Signal am Anfang des Systems stärker negativ beeinflusst.

## 1.6 Maximale BER

Die maximal mögliche BER ist 0.5. Unter der Annahme von gaussverteiletem Rauschen lässt sich die BER aus dem Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR) über

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc}\left(\frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}}\right)$$

berechnen. Im worst case Fall strebt das Signal-Rauschverhältnis gegen 0, wodurch die BER zu 0.5 wird.

## 1.7 Systemreserve

Bei der Planung einer LWL-Strecke müssen mögliche Fehlerquellen im späteren Betrieb berücksichtigt werden, um auch im Fall der erhöhten Dämpfung die vorgesehene BER nicht zu überschreiten. Dämpfungserhöhungen können auftreten durch z. B.

- Alterungsprozesse der Spleiße
- Bauelementalterung (Empfänger, HL-BE etc.)
- Senderalterung (Laser)

Um solche Dämpfungserhöhungen abzufangen, dimensioniert man die LWL-Strecke mit einer zusätzlichen Systemreserve, d.h. die zulässige Dämpfung wird künstlich verringert und die Anforderungen an die Strecke somit erhöht. Eine heute gängige Systemreserve ist 2 dB.

## 1.8 Dispersion Power Penalty

Der Einfluss der Dispersion in einem vom idealen System abweichenden (zero-length) System führt dazu, dass die Sendeleistung erhöht werden muss, um gegenüber dem zero-length System die gleiche BER zu erreichen. Diese Leistungserhöhung / Verschiebung ist die Dispersion Power Penalty (DPP).

## 2 Versuchsaufgaben

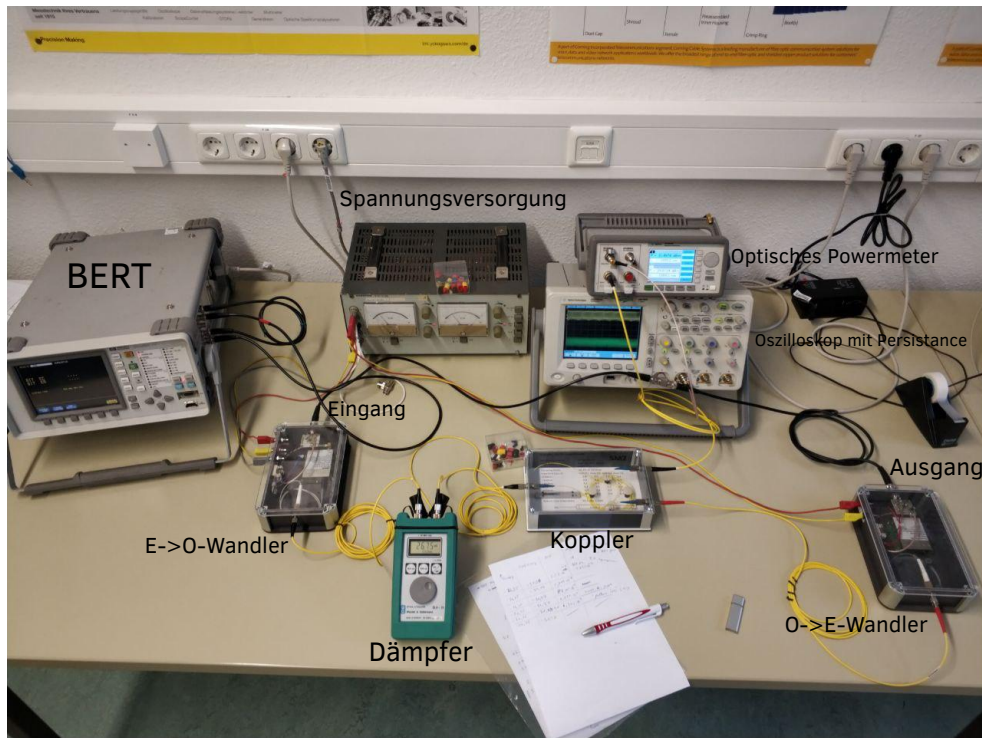


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur BER-Messung

Der Versuch wurde bei einer Datenrate von  $34 \text{ Mbit s}^{-1}$  und einer Wellenlänge von  $1550 \text{ nm}$  durchgeführt. Ein Optical Attenuator (Dämpfer) sollte dabei die Leitungslänge simulieren, indem er eine einstellbare Dämpfung in den Signalpfad einbringt. Der Nachteil dieser Methode ist jedoch, dass der Einfluss der Dispersion auf die BER nicht untersucht werden konnte. Der komplette Versuchsaufbau ist in Abb. 1 zu sehen.

Das BER-Testgerät sendet zufällige Bitfolgen im Frame von 15 bit mit TTL-Pegeln an einen elektrisch-optischen Wandler, welche dann über die Strecke (und weiteren in Abb. 1 zu sehende Elementen) an das Testgerät zurückgelangen und nach einer Messdauer von 30 s ausgewertet werden. Zusammen mit der Bitrate ergibt das eine Gesamtbitzahl von

$$b = 34 \text{ Mbit s}^{-1} \cdot 30 \text{ s} = 1.02 \text{ Gbit}$$

Auf der Ausgabe erscheint dann die Fehlerzahl sowie die berechnete BER.

### 2.1 Bestimmung der Ausgangsleistung des Sendermoduls

Als Referenzpunkt für alle folgenden Messungen wurde eine Dämpfung von 3 dB am Attenuator eingestellt. Die hinter dem 3dB- Koppler gemessene Leistung ist

$$P_{\text{empf}}(a = 3\text{dB}) = -8.239 \text{ dBm}$$

Dies entspricht der Leistung, die auch am Eingang des optisch-elektrischen Wandlers anliegt und hier als grundlegende Sendeleistung angenommen wird.

## 2.2 Bestimmung der minimalen Empfangsleistung des Empfängermoduls

Die Dämpfung wurde so lange erhöht, bis die Bitfehlerrate am Empfänger den Grenzwert von  $10^{-9}$  erreicht hat, welcher einen gewöhnlichen Grenzwert für Telekommunikationsanwendungen darstellt<sup>1</sup>. Die folglich gemessene Empfangsleistung beträgt

$$P_{\text{empf}} = -27.08 \text{ dBm}$$

In Bezug auf die Referenz-Sendeleistung aus 2.1 ergibt sich ein Abfall von

$$\Delta = -8.239 \text{ dBm} - (-27.08 \text{ dBm}) = 18.841 \text{ dB}$$

Dieser kann als zulässige Dämpfung der Strecke zur Einhaltung der BER von  $10^{-9}$  gedeutet werden.

## 2.3 Bestimmung der BER in Abhängigkeit der optischen Empfangsleistung

Beginnend bei einer BER von  $10^{-9}$  wurde die Dämpfung in Schritten von 0.1 dB erhöht und die korrespondierende Empfangsleistung aufgenommen.

---

<sup>1</sup><https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95047174-what-is-ber-bit-error-ratio-and-bert-bit-error-ratio-tester>