

Die Dämpfung begrenzt die Reichweite der LWL-Strecke und damit deren Leistungsfähigkeit. Deshalb gehört die Dämpfung zu den wichtigsten Parametern in der LWL-Technik. Die Dämpfung ergibt sich aus dem Verhältnis zweier Leistungen. Diese müssen fehlerfrei und reproduzierbar gemessen werden (Kapitel 2).

Meist wird bezüglich der Anforderungen an den Empfänger nicht mehr unterschieden, ob dieser für Leistungs- oder Dämpfungsmessungen verwendet wird. Es werden die gleichen hohen Anforderungen an den Empfänger gestellt (hohe absolute Genauigkeit), auch wenn er nur für eine Dämpfungsmessung zum Einsatz kommt.

Während für die Leistungsmessung nur ein optischer Empfänger erforderlich ist, wird für die Dämpfungsmessung sowohl ein Sender als auch ein Empfänger gebraucht.

Zur Dämpfungsmessung an verlegten Lichtwellenleitern werden zwei Personen benötigt. Es wird zunächst eine Normierung und dann die Messung durchgeführt. Zwischen Normierung und Messung muss die Leistung des Senders konstant bleiben.

Es gibt folgende Dämpfungsmess-Methoden:

- Dämpfungsmessung an Leitungen: Abschnitt 3.1
- Dämpfungsmessung an Steckverbindern: Abschnitt 3.2
- Dämpfungsmessung mit einem Rückstremmessgerät: Abschnitt 3.3

3.1 Dämpfungsmessung an Leitungen

Man unterscheidet zwischen der Rückschneidemethode (Abschnitt 3.1.1) in Anlehnung an ITU-T G.650-1 {3.1} Abschnitt 5.4.1 bzw. DIN EN 61300-3-4 Bauart 1 und 2 {1.7} und der Dämpfungsmessung (Abschnitt 3.1.2 bis Abschnitt 3.1.5).

Für die Dämpfungsmessung an Leitungen gibt es verschiedene Normen, die parallel gelten:

- DIN EN 61280-4-1 {1.9}: Dämpfungsmessung an Multimode-LWL (Abschnitt 3.1.3)
- DIN EN 61280-4-2 {3.2}: Dämpfungsmessung an Singlemode-LWL (Abschnitt 3.1.4)
- DIN ISO/IEC 14763-3 (Entwurf) {3.3}: Dämpfungsmessung an Multimode- und Singlemode-LWL (Abschnitt 3.1.5)
- ISO/IEC 14763-3 {3.4}: Dämpfungsmessung an Multimode- und Singlemode-LWL (Abschnitt 3.1.5)
- Die neueste Version von DIN EN 50346 {3.5} bezieht sich auf ISO/IEC 14763-3.

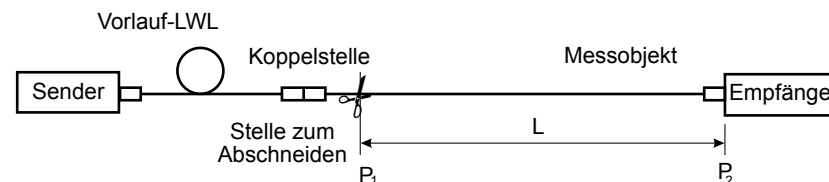
3.1.1 Rückschneidemethode

Bei der Rückschneidemethode (Cutback Technique) wird die Leistung eines optischen Senders über einen Vorlauf-LWL in das Messobjekt eingekoppelt.

Es wird zunächst die optische Leistung P_2 am Ende der Übertragungsstrecke gemessen (Messung).

Danach wird kurz hinter der Koppelstelle (1 m bis 3 m) der Lichtwellenleiter durchgeschnitten, der Empfänger an dieser Stelle angekoppelt und die Leistung P_1 ermittelt (Normierung) (Bild 3.1).

Bild 3.1: Rückschneidemethode



Die Dämpfung a des abgeschnittenen Stückes Lichtwellenleiter der Länge L ergibt sich aus:

$$a \text{ in dB} = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} \quad (3.1)$$

Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass das Messergebnis nicht durch die senderseitige Koppelstelle beeinflusst wird, da diese zwischen den beiden Messungen unverändert bleibt und in gleicher Weise in das Messergebnis eingeht.

Es ist unerheblich, ob diese Koppelstelle gut oder schlecht ist, eine geringe oder hohe Dämpfung hat. Durch die Bildung des Verhältnisses aus Normierung und Messung entsprechend Gleichung (3.1) kürzt sich die Dämpfung der Koppelstelle.

Es wird nur die empfängerseitige Koppelstelle verändert, die aber unkritisch ist, da am Empfänger großflächig gemessen wird, es also keine Probleme mit der Reproduzierbarkeit der Messung gibt. Nachteilig bei dieser Methode ist, dass das Messobjekt zerstört wird. Ein solches Verfahren kommt vorzugsweise im Prüffeld oder im Labor bei der Messung an primärgeschützten unkonfektionierten Lichtwellenleitern zum Einsatz.

3.1.2 Dämpfungsmessverfahren

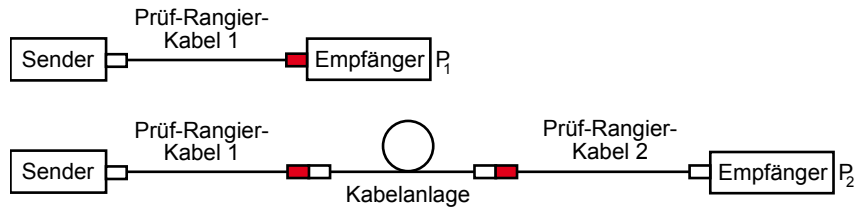
Es gibt drei Verfahren, die Dämpfung zu messen: **Normierung** mit einem, zwei oder drei Rangierkabeln. Der Unterschied zwischen den Verfahren besteht darin, wie die Normierung aufgefasst wird. Die **Messung** erfolgt immer mit der gleichen Anordnung.

Normierung mit einem Rangierkabel

Generell ist zu beachten, dass nach der Normierung das Prüf-Rangier-Kabel 1 am Sender gesteckt bleibt, da diese Kopplung kritisch ist. Bei dieser Variante wird zur Messung an das Ende des Prüf-Rangier-Kabels 1 die Kabelanlage und das Prüf-Rangier-Kabel 2 gekoppelt.

Die Dämpfung ergibt sich aus der Kabelanlage selbst, dem ersten und letzten Stecker der Kabelanlage und dem Prüf-Rangier-Kabel 2. Dieses muss kurz sein (wenige Meter), um das Messergebnis nicht zu verfälschen.

Um den ersten und letzten Stecker der Kabelanlage exakt zu messen, müssen die Steckverbinder der Rangierkabel **Referenzqualität** haben (Abschnitt 1.3). Die Referenzstecker in den Bildern wurden **rot** gekennzeichnet.

Bild 3.2: Oben: Normierung mit einem Rangierkabel; unten: Messung.

Das heißt, sie müssen mit engeren Toleranzen gefertigt werden als die normalen Steckverbinder. Toleranzen dieser Steckverbinder würden zur fehlerhaften Messung des ersten und letzten Steckers der Kabelanlage führen.

Die hohe Qualität dieser Stecker muss auch während ihrer gesamten Einsatzdauer gewährleistet werden. Die Steckerstirnflächen sind regelmäßig zu reinigen und mit einem Fasermikroskop zu überprüfen. Verschlossene Stecker müssen rechtzeitig ausgetauscht werden.

Das hintere Ende des Prüf-Rangier-Kabels 1 wird einmal an den Empfänger (Normierung) und einmal an die zu messende Kabelanlage gekoppelt.

Das funktioniert nur, wenn der Stecker des Prüf-Rangier-Kabels 1 und damit der Stecker der Kabelanlage mit der Kupplung am Empfänger übereinstimmt.

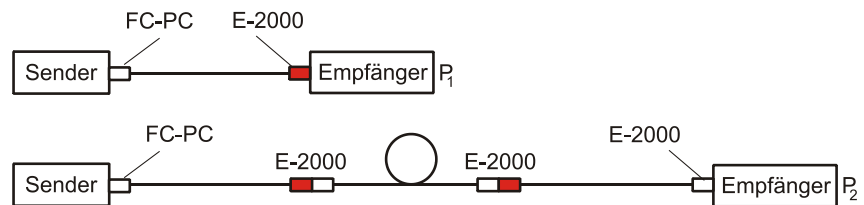
Beispielsweise müssen alle Stecker der Prüf-Rangier-Kabel und der Kabelanlage sowie alle Kupplungen FC-PC sein.

Ist der Empfänger für das Anschließen eines optischen Adapters geeignet, kann dieser ausgetauscht werden, so dass eine Kabelanlage mit einem anderen Stecker gemessen werden kann.

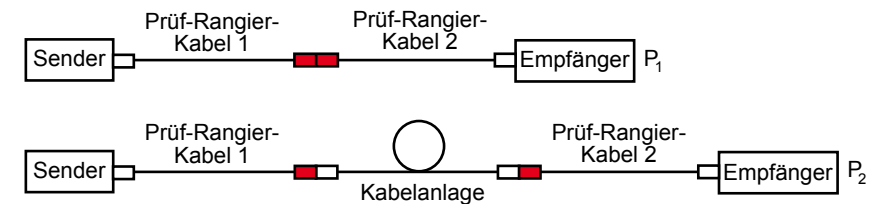
Beispiel:

Sender und Empfänger haben ursprünglich FC-PC-Stecker, die Kabelanlage aber E-2000-Stecker. Der optische Adapter am Empfänger muss von FC-PC auf E-2000 ausgetauscht werden. Außerdem benötigt man andere Prüf-Rangier-Kabel.

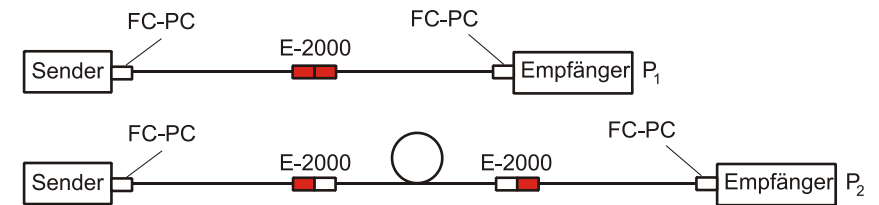
Die ursprünglichen Prüf-Rangier-Kabel hatten an allen Enden FC-PC-Stecker. Jetzt sind ein Prüf-Rangier-Kabel mit einem FC-PC und einem E-2000-Stecker sowie ein Prüf-Rangier-Kabel mit E-2000-Steckern an beiden Enden erforderlich (Bild 3.3).

Bild 3.3: Normierung und Messung mit einem Rangierkabel bei unterschiedlichen Steckertypen**Normierung mit zwei Rangierkabeln**

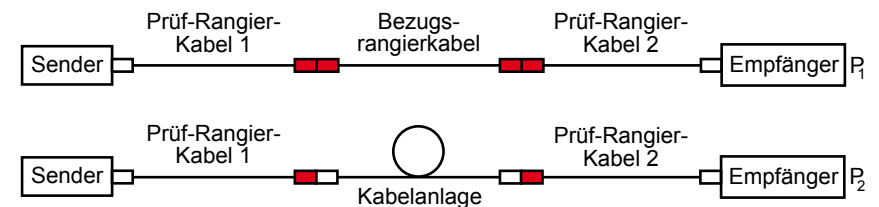
Ist die Kupplung am Empfänger unveränderlich, muss die Messung mit zwei Prüf-Rangier-Kabeln erfolgen, sofern sich die Stecker unterscheiden. Diese Art der Messung entspricht der alten Methode 6 (Bild 3.4).

Bild 3.4: Oben: Normierung mit zwei Rangierkabeln; unten: Messung.**Beispiel:**

Am Sender und Empfänger FC-PC-Kupplungen, an der Kabelanlage E-2000-Stecker. Zum Adaptieren werden zwei Prüf-Rangier-Kabel mit einem FC-PC-Stecker auf der einen und einem E-2000-Stecker auf der anderen Seite benötigt (Bild 3.5).

Bild 3.5: Normierung und Messung mit zwei Rangierkabel zum Adaptieren auf unterschiedliche Steckertypen**Normierung mit drei Rangierkabeln**

Bei Normierung mit drei Rangierkabeln, ist darauf zu achten, dass das Bezugsrangierkabel kurz ist (wenige Meter), um die Dämpfung nicht zu beeinflussen (Bild 3.6).

Bild 3.6: Oben Normierung mit drei Rangierkabeln; unten: Messung

Generell ist zu beachten, dass die Normierung mit Referenzadaptern zu erfolgen hat (Bild 3.4 und Bild 3.6), damit die Steckerdämpfungen möglichst gering sind. Die Messung der Kabelanlage hat mit den dort vorhandenen Adaptern zu erfolgen.

Vergleich der drei Varianten

Die drei Varianten unterscheiden sich dadurch, dass bei Normierung mit einem Rangierkabel keine, bei Normierung mit zwei Rangierkabeln eine und bei Normierung mit drei Rangierkabeln zwei Steckerdämpfungen enthalten sind.

Auch wenn diese Steckerdämpfungen sehr klein sind (es werden zwei Referenzstecker über eine Referenzkupplung verbunden), unterscheiden sich die Normierungen.

Bei Normierung mit nur einem Rangierkabel erhält man eine größere Leistung P_1 als bei Normierung mit zwei Rangierkabeln. Und bei Normierung mit zwei Rangierkabeln ergibt sich eine größere Leistung als bei Normierung mit drei Rangierkabeln.

Die Dämpfung zwischen zwei Referenzsteckern beträgt etwa 0,0 dB bis 0,1 dB. Um diesen Betrag unterscheiden sich jeweils die Normierungen. Verschlossene Referenzstecker haben jedoch eine größere Dämpfung, die Normierungen unterscheiden sich stärker und der Messfehler wird noch größer.

Verwendet man keine Referenzstecker, können die Unterschiede zwischen den Normierungen und damit der Messfehler weiter anwachsen.

Werden verschiedenen Normierungen jeweils auf das gleiche Messergebnis P_2 bezogen, so ergeben sich unterschiedliche Dämpfungen: Bei Normierung mit einem Rangierkabel die größte und bei Normierung mit drei Rangierkabeln die geringste Dämpfung.

Die Genauigkeit der Messung hängt stark von der Güte des Steckers am Rangierkabel und von der Kupplung ab.

Wegen der sehr einfachen Anordnung bei der Normierung mit einem Rangierkabel (keine unbekannte Steckerdämpfung) sind die Fehlerquellen minimal und es ergeben sich genaueste Ergebnisse.

Im Messprotokoll ist anzugeben, nach welchem Verfahren die Prüfung erfolgte. Unabhängig welches Verfahren ausgewählt wurde, sollte es für die gesamte Anlage konsequent benutzt werden.

In den im Folgenden beschriebenen Normen werden gleiche Verfahren unterschiedlich bezeichnet. Tabelle 3.1 vergleicht die verschiedenen Normen.

Tabelle 3.1: Vergleich der Bezeichnungen der verschiedenen Messverfahren

Norm	Anzahl der Rangierkabel bei der Normierung		
	1	2	3
DIN EN 61280-4-1, MM-LWL	Verfahren 2	Verfahren 1	Verfahren 3
DIN EN 61280-4-2, SM-LWL	Verfahren 1a	Verfahren 1b	Verfahren 1c
DIN ISO/IEC 14763-3 MM-LWL, SM-LWL	-	-	3-Jumper-Messung
ISO/IEC 14763-3, MM-LWL, SM-LWL; DIN EN 50346	1-Jumper-Messung	-	3-Jumper-Messung
Darstellung	Bild 3.2	Bild 3.4	Bild 3.6

Die Prüf-Rangier-Kabel müssen die gleichen optischen Parameter (Kerndurchmesser/Modenfelddurchmesser, Manteldurchmesser, numerische Apertur, Brechzahlprofil) wie der zu prüfende Lichtwellenleiter haben. Als typische Längen werden 3 m bis 5 m angegeben.

3.1.3 Dämpfungsmessung an Multimode-LWL nach DIN EN 61280-4-1

DIN EN 61280-4-1 unterscheidet drei Verfahren zur Dämpfungsmessung (Tabelle 3.1):

- Verfahren 1: Normierung mit zwei Rangierkabeln (Bild 3.4).
- Verfahren 2: Normierung mit einem Rangierkabel (Bild 3.2).
- Verfahren 3: Normierung mit drei Rangierkabeln (Bild 3.6).

3.1.4 Dämpfungsmessung an Singlemode-LWL nach DIN EN 61280-4-2

Für die LWL-Kabelanlage gilt entsprechend DIN EN 61280-4-2, dass sie aus LWL-Kabeln, Steckverbindern, Montagefeldern, Rangierkabeln, usw. besteht.

Sie darf jedoch keine aktiven Komponenten enthalten. Vor der Messung sind alle Anschlüsse an den optischen Prüfpunkten zu reinigen.

Für die Begutachtung der Qualität der installierten Strecke ist eine Dämpfungsmessung nur für kurze Strecken mit wenigen Ereignissen akzeptabel. Andernfalls ist eine Rückstreuungsmessung nötig.

Umgekehrt ergibt sich die Frage, wenn ohnehin eine Rückstreuungsmessung erforderlich ist, die eine Vielzahl von Informationen über die Strecke liefert, braucht man dann noch eine Dämpfungsmessung? Wie zuverlässig sind die Dämpfungswerte, die sich aus der Rückstreuukurve ergeben?

In der Deutschen Norm DIN EN 61280-4-2 {3.2} wird die Möglichkeit eingeräumt, auf eine Dämpfungsmessung zu verzichten und die Dämpfung der Strecke dem Rückstreudiagramm zu entnehmen. Die Norm unterscheidet zwei Verfahren zur Dämpfungsmessung:

- Verfahren 1: Optische Leistungsmesseinrichtung
- Verfahren 2: Optisches Zeitbereichs-Reflektometer. Dieses Verfahren ist ungenauer als Verfahren 1 (Abschnitt 3.3).

Bei Verfahren 1 ist Folgendes zu beachten:

- Der Sender muss eine Wellenlänge haben, die im zu prüfenden System benutzt wird und er muss während der Messdauer hinreichend stabil sein.
- Der Empfänger muss eine hinreichende Dynamik haben und eine gute Linearität über den gesamten Messbereich aufweisen.
- Die Prüf-Rangier-Kabel müssen physikalische und optische Eigenschaften haben, die denen der Kabelanlage gleichen (Vermeidung intrinsischer Verluste).
- Messung mit Mantelmoden abstreifendem Rangierkabel (Länge 2 m bis 5 m).
- Die Rangierkabel werden mit einem Durchmesser von 80 mm in zwei Schleifen verlegt.
- Die Steckverbinder müssen Referenzqualität haben.

Verfahren 1 unterscheidet drei Varianten zur Dämpfungsmessung:

- Verfahren 1a: Normierung mit einem Rangierkabel (Bild 3.2).
- Verfahren 1b: Normierung mit zwei Rangierkabeln (Bild 3.4).
- Verfahren 1c: Normierung mit drei Rangierkabeln (Bild 3.6).

3.1.5 Dämpfungsmessung nach ISO/IEC 14763-3

Die Norm DIN ISO/IEC {3.3} liegt seit November 2005 als Entwurf vor. Sie ist hervorgegangen aus der ISO/IEC 14763-3. Letztere wurde mittlerweile aktualisiert und ist seit Juni 2006 verbindlich {3.4}. Das heißt, die deutsche Version (DIN) basiert auf

einer älteren ISO/IEC-Norm, die nicht mehr aktuell ist. Deshalb wurde sie wahrscheinlich noch nicht verabschiedet.

ISO/IEC 14763-3 beschreibt die Dämpfungsmessung und die Rückstreuung sowohl für Multimode- als auch für Singlemode-LWL sowie Anforderungen an die Modenverteilung bei Messung von Multimode-LWL.

Die deutsche Version {3.3} lässt für die Dämpfungsmessung nur eine Normierung mit drei Rangierkabeln zu (3-Jumper-Messung).

Die aktuelle internationale Norm {3.4} erlaubt zusätzlich eine Normierung mit nur einem Rangierkabel (1-Jumper-Messung). Das ist das genaueste Verfahren und immer möglich, wenn der Steckeradapter am Empfänger austauschbar ist (Abschnitt 3.1.2).

Die Genauigkeit der Messung hängt von der Qualität der Steckverbinder, insbesondere der Kern-Mantel-Exzentrizität ab. Die geänderten Steckerkombinationen bei der 3-Jumper-Messung bewirken einen Messfehler. Dieser ist bis zu zweimal so groß, wie die maximale Ungenauigkeit einer einzigen Steckverbindung.

Durch Verwendung von Prüfsteckern mit exakter Zentrierung (minimale Kern-Mantel-Exzentrizität), das heißt durch Verwendung von Referenzsteckern, wird der Messfehler reduziert. Die Norm {3.4} setzt Obergrenzen entsprechend Tabelle 3.2 für verschiedene Steckerkombinationen an.

Tabelle 3.2: Maximale Einfügedämpfung verschiedener Steckerkombinationen

Multimode-LWL, zufällig gesteckt	0,75 dB
Multimode-LWL, gegen Referenz gesteckt	0,3 dB
Singlemode-LWL, zufällig gesteckt	0,75 dB
Singlemode-LWL, gegen Referenz gesteckt	0,5 dB

Entsprechend {3.4} ist die so genannte LSPM-Messung (Light Source and Power Meter), das heißt die normale Dämpfungsmessung mit Sender und Empfänger für den spezifizierten Anwendungsbereich (Standortverkabelung) ausreichend.

Eine Rückstreuungsmessung kann zusätzlich durchgeführt werden. Sie ist aber nicht vorgeschrieben.

Zur Gewährleistung einer hohen Messgenauigkeit werden entsprechend {3.4} folgende Forderungen gestellt:

- Brechzahlangepasste Materialien zwischen den Steckerstirnflächen dürfen nicht verwendet werden.
- Sichtprüfung der Steckerstirnfläche erfolgt mit einem Mikroskop mit einer Vergrößerung von typisch 200fach.
- Handmikroskope müssen mit geeigneten Infrarotfiltern ausgestattet sein, um Augenverletzungen zu vermeiden.
- Alternativ Prüfung mit einem Videomikroskop.
- Reinigung mit hochreinem Alkohol, fusselfreien Tüchern und staubfreier Druckluft.
- Steckverbinder und Adapter (Kupplungen) müssen vor jedem Stecken gereinigt werden.
- Empfänger mit ausreichender Temperaturstabilität und optischer Linearität verwenden.

- Zur Realisierung einer Modengleichgewichtsverteilung bei Einkopplung in den Multimode-LWL sind Wickeldorne mit geeignetem Durchmesser zu verwenden (Abschnitt 1.7).
- Zur Modenanregung im Singlemode-LWL muss das Rangierkabel mit mindestens zwei Windungen mit einem Durchmesser von 35 mm bis 50 mm gewickelt werden.

3.2 Dämpfungsmessung an Steckverbindern

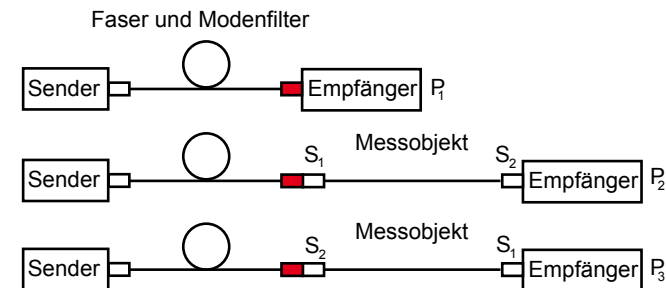
Die Norm DIN EN 61300-3-4 {3.2} beschreibt verschiedene Methoden zur Dämpfungsmessung an Steckverbindern und passiven Bauteilen. Es gibt acht verschiedene Messanordnungen in Abhängigkeit von den Anschlüssen der optischen Tore.

Das Referenzverfahren für die Dämpfungsmessung ist die Messung mit einem optischen Leistungsmesser. Messungen mit einem optischen Rückstreuungsmessgerät wurden als Alternativ-Messverfahren angegeben.

Bei der Messung von Multimode-Bauteilen wird die Genauigkeit der Messung durch die Modenverteilung beeinflusst (Abschnitt 3.4). Es ist mit Lumineszenzdioden, nicht mit Laserdioden (auch nicht mit OTDR-Quellen) zu messen.

Die Messung einzelner Steckverbinder erfolgt mit Bauart 6 (früher Messmethode 7). Für die Normierung benötigt man eine Faser, ein Modenfilter und einen Referenzstecker (Bild 3.7). Das Modenfilter dient der Eliminierung unerwünschter Moden höherer Ordnung und damit der Beseitigung von Messfehlern.

Bild 3.7: Bauart 6 (oben: Normierung; Mitte und unten: Messung)



Modenfilter für Multimode-Messungen: Die Faser wird fünfmal auf einen Dorn mit folgendem Durchmesser gewickelt: 18 mm (50 μm -Faser), 20 mm (62,5 μm -Faser), 25 mm (100 μm -Faser) (Tabelle 1.2).

Modenfilter für Singlemode-Messungen: Die Faserlänge von mindestens zwei Metern wird in zwei Schleifen in einem Durchmesser von 50 mm gewickelt.

Zur Messung wird an den Referenzstecker das Messobjekt angekoppelt. Diese Anordnung ermöglicht die Messung des Steckers S_1 und die Dämpfung der Faser. Wird eine kurze Faserlänge gewählt, ist deren Dämpfung vernachlässigbar. Durch die große Fläche der Empfängerdioden wird die Dämpfung des zweiten Steckers S_2 am Empfänger vernachlässigbar.

Anschließend werden die Anschlüsse des Messobjektes vertauscht und die Messung wird wiederholt (Bild 3.8 unten). So misst man die Dämpfung des Steckverbinders S_2 .