

# 5 Bidirektionale Messung

## 5.1 Positive Stufen im Rückstreudiagramm

Werden zwei Lichtwellenleiter mit **identischen** Parametern miteinander gekoppelt (Spleiß oder Stecker), so ist aus der Stufe im Rückstreudiagramm unmittelbar die Dämpfung ablesbar.

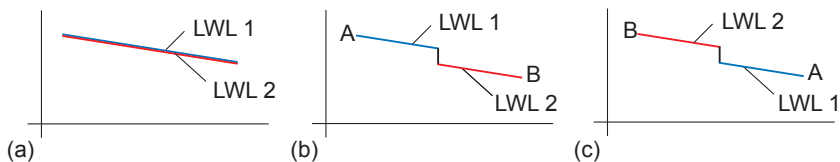
Weisen die miteinander gekoppelten Lichtwellenleiter **unterschiedliche** Parameter auf, so addieren sich zu der negativen Stufe durch einen Koppelverlust positive oder negative Stufen bedingt durch Toleranzen der LWL-Parameter. Die Stufe zeigt also mehr als nur die Dämpfung, das heißt die Qualität des Spleißes oder des Steckers!

Dieser Effekt tritt insbesondere bei der Kopplung von Multimode-LWL mit unterschiedlichen Dotierungen (unterschiedliche Dämpfungsklassen) auf. Besonders deutlich sind die Stufen, wenn ein 50 µm-LWL mit einem 62,5 µm-LWL verbunden wird. Beim Singlemode-LWL entstehen die Stufen vor allem durch Toleranzen der Modendurchmesser (Abschnitt 5.2).

Zur Veranschaulichung werden zwei idealisierte Fälle betrachtet.

Bild 5.1 (a) zeigt zwei Lichtwellenleiter mit identischen Parametern und folglich identischem Rückstreuverhalten. Diese beiden Lichtwellenleiter werden über einen schlechten Spleiß miteinander verbunden. Es ergibt sich ein Koppelverlust zwischen beiden Lichtwellenleitern, der als negative Stufe im Rückstreudiagramm erscheint, sowohl wenn von A nach B (Bild 5.1 (b)) als auch wenn von B nach A (Bild 5.1 (c)) gemessen wird.

**Bild 5.1: Kopplung zweier Lichtwellenleiter mit identischer Rayleighstreuung, schlechter Spleiß**

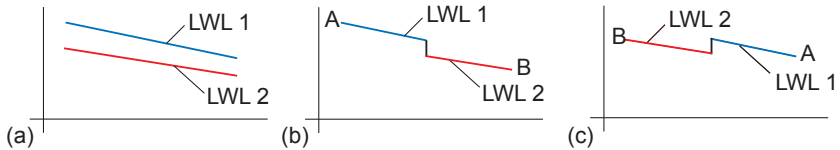


Der zweite idealisierte Fall veranschaulicht zwei Lichtwellenleiter mit unterschiedlichen Rayleighstreuungen. Der Lichtwellenleiter 1 hat eine größere Rayleighstreuung als der Lichtwellenleiter 2. Entsprechend liegt die Rückstreukurve des ersten Lichtwellenleiters höher als die des zweiten Lichtwellenleiters (Bild 5.2 (a)). Alle anderen Parameter sind identisch (keine intrinsischen Verluste), und die Verbindung ist ideal (keine extrinsischen Verluste).

Beim Übergang vom Lichtwellenleiter 1 zum Lichtwellenleiter 2 (A nach B) (Bild 5.2 (b)) entsteht eine negative Stufe infolge der unterschiedlichen Rayleighstreuungen.

Misst man in entgegen gesetzter Richtung von B nach A (Bild 5.2 (c)), entsteht eine gleich große positive Stufe, da der Unterschied der Rayleighstreuungen in entgegen gesetzter Richtung gemessen wird.

**Bild 5.2: Kopplung zweier Lichtwellenleiter mit unterschiedlicher Rayleighstreuung, idealer Spleiß**



In der Realität überlagern sich beide Fehlerquellen (Parametertoleranzen und Koppelverlust). Folglich addieren sich auch die Effekte von Bild 5.1 und Bild 5.2.

Wie können diese Einflüsse getrennt werden? Wie können die Effekte durch Parametertoleranzen, die eigentlich nicht interessieren, eliminiert werden?

Das wird möglich durch Messung von A nach B, von B nach A und Mittelwertbildung: Durch Mittelwertbildung der Ereignisse von Bild 5.1 (b) und Bild 5.1 (c) addiert man eine negative Stufe zu einer negativen Stufe und dividiert durch 2: Es bleibt eine negative Stufe als Ergebnis.

Durch Mittelwertbildung der Ereignisse von Bild 5.2 (b) und Bild 5.2 (c) addiert man eine positive zu einer gleich großen negativen Stufe: Diese kompensieren sich zu Null, es bleibt kein beobachtbares Ereignis übrig.

Daraus wird anschaulich klar, dass Einflüsse, die Koppelverluste auf der Strecke verursachen, durch die Mittelwertbildung erhalten bleiben. Einflüsse, die durch unterschiedliche Rayleighstreuung verursacht werden, kürzen sich und können auf diese Weise eliminiert werden.

Bild 5.3 zeigt als Beispiel ein Ereignis, das in Vorwärts- und in Rückwärtsrichtung gemessen wurde (rote Pfeile „Spleiß“). Dabei wurde angenommen, man könnte am Ende der Strecke schleifen und in die gleiche Faser wieder einkoppeln. Die scheinbare Dämpfung in Vorwärtsrichtung beträgt  $a_{12} = 0,32$  dB. Die scheinbare Dämpfung in Rückwärtsrichtung beträgt  $a_{21} = -0,28$  dB. Mittelwert:  $\bar{a} = 0,5 \cdot (a_{12} + a_{21}) = 0,02$  dB.

Die scheinbare Dämpfung setzt sich aus zwei Anteilen zusammen:

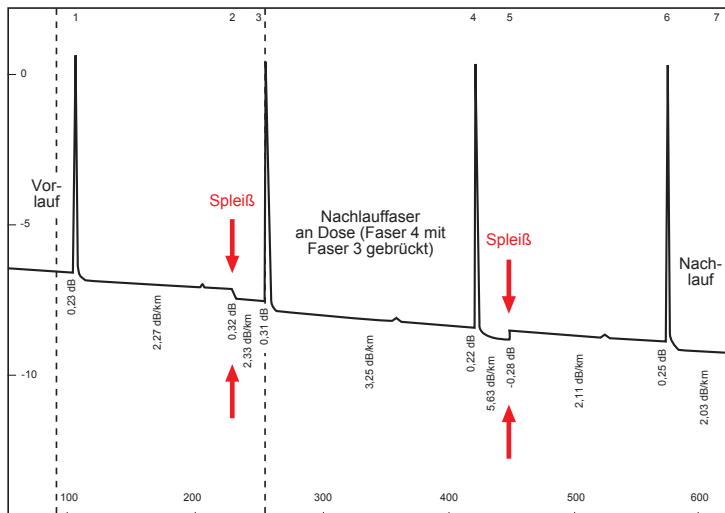
- tatsächliche Dämpfung (0,02 dB): in Bild 5.4 blau dargestellt; wirkt in beiden Richtungen negativ
- Parametertoleranz (0,30 dB): in Bild 5.4 rot dargestellt; wirkt in Vorwärtsrichtung negativ und in Rückwärtsrichtung positiv.

Die scheinbaren Dämpfungen ergeben sich dann folgendermaßen:

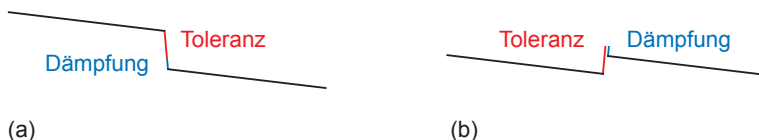
- Vorwärtsrichtung:  $a_{12} = 0,02$  dB + 0,30 dB = 0,32 dB
- Rückwärtsrichtung:  $a_{21} = 0,02$  dB - 0,30 dB = -0,28 dB

Prinzipiell ist es möglich, dass eine positive Stufe an der Koppelstelle, bedingt durch unterschiedliche Rayleighstreuungen, durch einen gleich großen Koppelverlust (zum Beispiel Spleißdämpfung) kompensiert wird und das Rückstreuendiagramm an dieser Stelle keine Stufe zeigt.

**Bild 5.3: Negative bzw. positive Stufe in Hinwärts- bzw. Rückwärtsrichtung**



**Bild 5.4: Entstehung negativer (a) und positiver (b) Stufen**



Misst man in entgegen gesetzter Richtung, entsteht an dieser Stelle eine große negative Stufe. Diese ergibt sich aus der Summe einer negativen Stufe infolge unterschiedlicher Rayleighstreuungen und einer negativen Stufe durch den Koppelverlust.

## 5.2 Kopplung von Singlemode-LWL mit unterschiedlichen Modenfelddurchmessern

Der Modenfelddurchmesser wird mit einer bestimmten Toleranz spezifiziert. So gilt für den Modenfelddurchmesser des Standard-Singlemode-LWL bei 1310 nm:  $2w = 8,6 \mu\text{m}$  bis  $9,5 \mu\text{m}$ .

Unterscheiden sich die Modenfelddurchmesser der beiden Lichtwellenleiter an der Koppelstelle, können Koppelverluste und Stufen im Rückstredidiagramm entstehen. Der Koppelverlust berechnet sich folgendermaßen:

$$a = 20 \lg \left( \frac{w_1^2 + w_2^2}{2w_1 \cdot w_2} \right) \text{ in dB} \quad (5.1)$$

Aus Gleichung (5.1) ist ersichtlich, dass der Koppelverlust zwischen Singlemode-LWL von der Richtung **unabhängig** ist. Das heißt, beim Übergang vom kleineren zum größeren Modenfelddurchmesser als auch umgekehrt, entsteht ein gleich großer Koppelverlust. Man spricht von einer Fehlanpassung von Gaußschen Strahlen.

Nur wenn die Modenfelddurchmesser identisch sind, ist die Dämpfung Null. Das hat weit reichende Konsequenzen, insbesondere wenn es um die Frage geht, ob aus dem Rückstreudiagramm auf die Dämpfung der Strecke geschlossen werden kann ([A.1] Abschnitt 3.8).

Bei Kopplung eines Lichtwellenleiters mit einem Modenfeldradius  $w_1$  und einer Brechzahl  $n_1$  an einen Lichtwellenleiter mit einem Modenfeldradius  $w_2$  und einer Brechzahl  $n_2$  berechnet sich die Stufe  $a_{12}$  im Rückstreudiagramm nach der Gleichung [5.1]:

$$a_{12} = a + 10 \lg \frac{n_2}{n_1} + 10 \lg \frac{w_2}{w_1} \quad \text{in dB} \quad (5.2)$$

Dabei ist  $a$  der Koppelverlust entsprechend Gleichung (5.1). Die Brechzahlunterschiede sind meist so gering, dass der zweite Summand vernachlässigt werden kann. In entgegen gesetzter Richtung entsteht eine Stufe nach folgender Gleichung:

$$a_{21} = a + 10 \lg \frac{n_1}{n_2} + 10 \lg \frac{w_1}{w_2} \quad \text{in dB} \quad (5.3)$$

Aus (5.2) und (5.3) folgt, dass sich der Koppelverlust aus dem Mittelwert von positiver und negativer Stufe ergibt (Abschnitt 5.1):

$$\frac{1}{2} \cdot (a_{12} + a_{21}) = a \quad (5.4)$$

Für einen Singlemode-LWL mit einem mittleren Modenfelddurchmesser von  $2w = 9,2 \mu\text{m}$  (bei 1310 nm) ergeben sich in Abhängigkeit von der Toleranz Koppelverluste und Stufen entsprechend Tabelle 5.1.

**Tabelle 5.1: Koppelverluste  $a$  und Stufen  $a_{12}$ ,  $a_{21}$  in Abhängigkeit von den Modenfelddurchmessern bei 1310 nm**

| Toleranz $2w = 9,2 \mu\text{m}$ | $w_1$             | $w_2$             | $a$      | $a_{12}$ | $a_{21}$ |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| $\pm 0,1 \mu\text{m}$           | 9,1 $\mu\text{m}$ | 9,3 $\mu\text{m}$ | 0,002 dB | 0,10 dB  | -0,09 dB |
| $\pm 0,2 \mu\text{m}$           | 9,0 $\mu\text{m}$ | 9,4 $\mu\text{m}$ | 0,008 dB | 0,20 dB  | -0,18 dB |
| $\pm 0,3 \mu\text{m}$           | 8,9 $\mu\text{m}$ | 9,5 $\mu\text{m}$ | 0,018 dB | 0,30 dB  | -0,27 dB |
| $\pm 0,4 \mu\text{m}$           | 8,8 $\mu\text{m}$ | 9,6 $\mu\text{m}$ | 0,033 dB | 0,41 dB  | -0,35 dB |
| $\pm 0,5 \mu\text{m}$           | 8,7 $\mu\text{m}$ | 9,7 $\mu\text{m}$ | 0,051 dB | 0,52 dB  | -0,42 dB |

Für einen Singlemode-LWL mit einem mittleren Modenfelddurchmesser von  $2w = 10,4 \mu\text{m}$  (bei 1550 nm) ergeben sich in Abhängigkeit von der Toleranz Koppelverluste und Stufen entsprechend Tabelle 5.2.

**Tabelle 5.2: Koppelverluste  $a$  und Stufen  $a_{12}$ ,  $a_{21}$  in Abhängigkeit von den Modenfelddurchmessern bei 1550 nm**

| Toleranz $2w = 10,4 \mu\text{m}$ | $w_1$              | $w_2$              | $a$      | $a_{12}$ | $a_{21}$ |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|----------|----------|----------|
| $\pm 0,1 \mu\text{m}$            | 10,3 $\mu\text{m}$ | 10,5 $\mu\text{m}$ | 0,002 dB | 0,09 dB  | -0,08 dB |
| $\pm 0,2 \mu\text{m}$            | 10,2 $\mu\text{m}$ | 10,6 $\mu\text{m}$ | 0,006 dB | 0,17 dB  | -0,16 dB |
| $\pm 0,3 \mu\text{m}$            | 10,1 $\mu\text{m}$ | 10,7 $\mu\text{m}$ | 0,014 dB | 0,27 dB  | -0,24 dB |
| $\pm 0,4 \mu\text{m}$            | 10,0 $\mu\text{m}$ | 10,8 $\mu\text{m}$ | 0,026 dB | 0,36 dB  | -0,31 dB |
| $\pm 0,5 \mu\text{m}$            | 9,9 $\mu\text{m}$  | 10,9 $\mu\text{m}$ | 0,040 dB | 0,46 dB  | -0,38 dB |

---

Die Stufe, die bei der Messung mit dem Rückstreumessgerät aus jeweils einer Richtung angezeigt wird ( $a_{12}$ ), unterscheidet sich stark von der wahren Dämpfung. Wird nur in einer Richtung gemessen, deutet man die Stufe als Spleißdämpfung.

Bei einer Toleranz von  $2w = 10,4 \mu\text{m} \pm 0,3 \mu\text{m}$  ergibt sich beispielsweise eine negative Stufe von 0,27 dB, wohingegen der Koppelverlust nur 0,014 dB beträgt. Deshalb ist für die Messung der Dämpfung eines Steckers oder Spleißes in jedem Fall eine bidirektionale Rückstreuung mit anschließender Mittelwertbildung notwendig!

Kleine Toleranzen äußern sich in vernachlässigbaren Koppelverlusten aber in deutlichen Stufen im Rückstreudiagramm. Noch größere Stufen als in den Tabellen angegeben, weisen auf die Mischung von verschiedenen Fasertypen mit deutlich unterschiedlichen Modenfelddurchmessern hin.

### 5.3 Vorteile der bidirektionalen Messung

Die bidirektionale Messung hat folgende Vorteile:

1. Bestimmung der wahren Dämpfung diskreter Ereignisse (Abschnitt 5.1).

*Anmerkung:* Diese Aussage gilt exakt für Singlemode-LWL. Im Multimode-LWL hängen die intrinsischen Verluste (unterschiedliche Kerndurchmesser, unterschiedliche numerische Aperturen, unterschiedliche Brechzahlprofile) von der Richtung ab.

Existieren derartige Parametertoleranzen, dann ergibt die bidirektionale Mittelung beim Multimode-LWL den Mittelwert der Dämpfung aus Hin- und Rückrichtung. Einflüsse durch Parametertoleranzen werden wie beim Singlemode-LWL eliminiert.

Die bidirektionale Messung und Mittelwertbildung hat sich in den Abnahmevorschriften (insbesondere im Singlemode-Bereich) weitgehend durchgesetzt.

2. Vergrößerung des messbaren Bereichs (Abschnitt 7.4).

3. Erkennung von Ereignissen, die sonst in der Totzone liegen. Sind ein reflektierendes Ereignis (Stecker) und ein nicht reflektierendes Ereignis (Spleiß) eng benachbart, kann die Totzone (Abschnitt 4.3) des Steckers so groß sein, dass der Spleiß innerhalb der Totzone liegt und nicht messbar ist.

Das kann vermieden werden, wenn die Richtung der Messung so gewählt wird, dass erst der Spleiß und dann der Stecker durchlaufen werden. Misst man aus beiden Richtungen, kann das für alle Kombinationen Spleiß/Stecker gewährleistet werden.

### 5.4 Vorlauf- und Nachlauf-Lichtwellenleiter

Vorlauf-LWL (Vorlauffaser, Vorlauflänge, Vorschalt-LWL, Vorschaltfaser, Vorschaltlänge) werden vor und Nachlauf-LWL (Nachlauffaser, Nachlauflänge, Nachschalt-LWL, Nachschaltfaser, Nachschaltlänge, Empfangsfaser) hinter der zu messenden Strecke angeordnet.

Die Verwendung eines **Vorlauf-LWL** hat folgende Vorteile:

1. In der Multimodetechnik kann der Vorlauf-LWL dazu dienen, eine angenäherte Modengleichgewichtsverteilung zu realisieren, wodurch reproduzierbare Dämpfungsmessungen möglich werden ([A.1] Abschnitt 3.3).

2. Durch Reflexionen an der Einkoppelstelle am Streckenanfang übersteuert der Empfänger. Ereignisse am Anfang der Strecke, die innerhalb der Gerätetotzone liegen, können nicht gemessen werden. Ohne Vorlauf-LWL wäre der erste Stecker

nicht messbar. Um diesen messen zu können, muss der Vorlauf-LWL länger als die Totzone sein.

3. Der Gerätestecker wird geschont. Während der Messungen bleibt der Vorlauf-LWL mit dem Rückstreumessgerät verbunden. Es wird jeweils nur zwischen Vorlauf-LWL und zu messender Strecke neu gesteckt.

Zwar unterliegt der hintere Stecker des Vorlauf-LWL auch einem Verschleiß, aber die Nacharbeit dieses Steckers oder das Tauschen des Vorlauf-LWL ist einfacher und preiswerter, als den Gerätestecker zu erneuern.

4. Meist ist das Rückstreumessgerät auf einen bestimmten Steckertyp festgelegt. Eine Anpassung an unterschiedliche Steckertypen der zu messenden Strecke ist nur mit einem geeigneten Adapterkabel möglich, wobei der Vorlauf-LWL die Funktion des Adapter-LWL übernehmen kann.

5. Innerhalb gewisser Grenzen ermöglicht der Vorlauf-LWL eine Anpassung an unterschiedliche Parameter des zu messenden Lichtwellenleiters.

Ist beispielsweise das Rückstreumessgerät für 50  $\mu\text{m}$ -LWL ausgelegt und ein 62,5  $\mu\text{m}$ -LWL zu messen, so wird für den Vorlauf-LWL ein 62,5  $\mu\text{m}$ -LWL gewählt.

Dann entsteht zwar zwischen Messgerät und Vorlauf-LWL ein Koppelverlust, der auf Kosten der Dynamik geht, aber zwischen Vorlauf-LWL und Messobjekt sind die LWL-Typen identisch, so dass bereits ab dem ersten Stecker richtig gemessen werden kann.

Die Verwendung eines **Nachlauf-LWL** hat folgende Vorteile:

1. Vertauschungen können festgestellt werden.
2. Der letzte Stecker der Übertragungsstrecke kann gemessen werden.

Der Nachteil bei Einsatz eines Nachlauf-LWL besteht darin, dass zwei Personen zum Messen erforderlich sind.

Die gleichzeitige Verwendung eines Vorlauf- und eines Nachlauf-LWL hat folgenden Vorteil:

Bei bidirektionaler Messung mit Vorlauf- und Nachlauf-LWL kann die Einfügedämpfung des ersten und des letzten Steckers durch Mittelwertbildung (Abschnitt 5.1 und 5.5) exakt bestimmt werden.

Generell ist beim Einsatz von Vorlauf- und Nachlauf-LWL folgendes zu beachten:

1. Die Steckverbinder von Vorlauf- und Nachlauf-LWL müssen **Referenzqualität** haben. Das sind Stecker mit besonders engen Toleranzen. Der Stecker darf an den Vorlauf- bzw. Nachlauf-LWL nicht angespleißt werden. Der Spleiß würde zu einer scheinbar erhöhten Steckerdämpfung führen.

2. Es ist ein hoher Reinigungsstandard zu gewährleisten (Abschnitt 1.1). Vor allem Referenzstecker müssen regelmäßig gereinigt und bei Verschleiß rechtzeitig ausgewechselt werden.

3. Der Vorlauf- bzw. Nachlauf-LWL muss die gleichen optischen Parameter wie die zu messende Strecke haben. Insbesondere ist im Multimode-Bereich darauf zu achten, ob eine 50  $\mu\text{m}$ -Faser oder eine 62,5  $\mu\text{m}$ -Faser zu messen ist. Entsprechend ist

---

ein Vorlauf- und gegebenenfalls Nachlauf-LWL mit 50  $\mu\text{m}$ - bzw. 62,5  $\mu\text{m}$ -Kerndurchmesser zu verwenden.

4. Typische Längen für Vorlauf- und Nachlauf-LWL liegen für Multimode-Messungen bei 100 m. Diese Länge ist beim Multimode-LWL mindestens erforderlich, um die Modengleichgewichtsverteilung zu realisieren.

5. Bei Singlemode-Messungen sind größere Längen erforderlich, damit bei einer Rückstreuung mit langem Impuls das Ende der Gerätetotzone noch innerhalb des Vorlauf-LWL liegt und nicht über den ersten Stecker reicht. Dieser wäre ansonsten nicht messbar.

Die meisten Rückstreuungsmessgeräte haben eine maximale Impulslänge von 10  $\mu\text{s}$ . Das entspricht einem Auflösungsvermögen von etwa 1000 m. Daraus ergibt sich eine Länge für den Vorlauf- bzw. Nachlauf-LWL von mindestens 1000 m.

Entsprechend DIN ISO/IEC 14763-3 {2.1} werden folgende Forderungen an die Vorlauf- und Nachlauf-LWL für Rückstreuungsmessungen gestellt:

1. Muss Modengleichgewichtsverteilung bei Messung von Multimode-LWL realisieren (betrifft nur Vorlauf-LWL).
2. Muss länger als die Dämpfungstotzone des OTDR sein (diese ist besonders groß bei starken Reflexionen am Gerätestecker sowie bei langen Impulsen).
3. Muss an der Schnittstelle zur Verkabelung einen Referenzstecker haben, der mit dem Stecker der Kabelanlage kompatibel ist.
4. Muss in einem geeigneten Schutzgehäuse sein.

## 5.5 Exakte Messung des ersten und letzten Steckers

Der erste Stecker der zu messenden Strecke wird mit dem Vorlauf-LWL und der letzte Stecker mit dem Nachlauf-LWL verbunden.

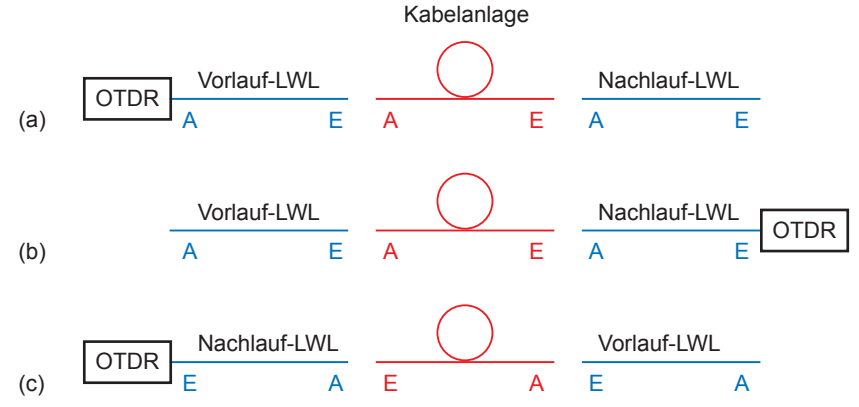
Während davon ausgegangen werden kann, dass entlang der Strecke meist Fasern gleicher Charge oder zumindest vom gleichen Hersteller zum Einsatz kommen, ist nicht gewährleistet, dass auch Vorlauf- bzw. Nachlauf-LWL exakt die gleichen optischen Parameter wie die Fasern der Strecke haben.

Abweichende optische Parameter verursachen zwar meist nur eine kleine Dämpfung aber deutliche Stufen im Rückstreudiagramm (Abschnitt 5.2). Wird nur unidirektional gemessen, deutet man die Stufe fälschlicherweise als einen Koppelverlust. Deshalb ist vor allem eine bidirektionale Messung des ersten und des letzten Steckers der Strecke erforderlich.

Bei bidirektionaler Messung nur mit Vorlauf-LWL (aber ohne Nachlauf-LWL), wird beim Messen in Vorwärtsrichtung nur der erste Stecker und beim Messen in Rückrichtung nur der letzte Stecker gemessen. Eine bidirektionale Mittelung der Steckerdämpfungen ist nicht möglich.

Um das zu erreichen, muss sowohl mit Vorlauf-LWL als auch mit Nachlauf-LWL gemessen werden. Außerdem muss die Steckerkombination am Anfang und am Ende der Strecke unverändert bleiben.

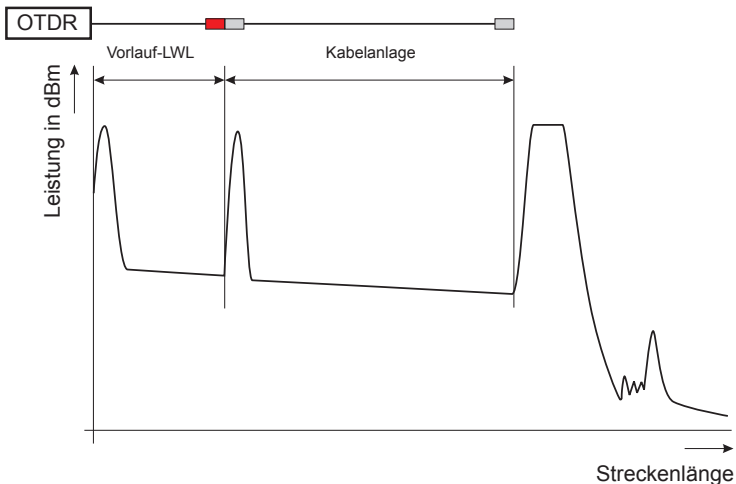
Bild 5.5 (a) zeigt die Messung in Vorwärtsrichtung. Bild 5.5 (b) zeigt die Messung in die Rückrichtung: Das Rückstreuungsmessgerät befindet sich am anderen Ende der Strecke. Alle Steckerkombinationen bleiben unverändert.

**Bild 5.5: Bidirektionale Messung mit Vorlauf- und Nachlauf-LWL**

Das heißt Vor- und Nachlauf-LWL sind **nicht** mit „gewandert“. Der Nachlauf-LWL ist zum Vorlauf-LWL geworden und umgekehrt. Auch die Enden der Vorlauf- und Nachlauf-LWL dürfen nicht vertauscht werden!

Die Anordnung von Bild 5.5 (c) ist identisch mit Bild 5.5 (b). Die Darstellung erfolgte nur in entgegengesetzter Richtung.

Bezüglich der Vorlauf- und Nachlauf-LWL gelten die Anforderungen entsprechend Abschnitt 5.4. Die Steckverbinder an diesen Fasern müssen Referenzqualität haben und es ist auf höchste Sauberkeit zu achten.

**Bild 5.6: Einseitige Messung mit Vorlauf-LWL**

Nach DIN ISO/IEC 14763-3 {2.1} gilt für eine einseitige Messung nur mit Vorlauf-LWL (Bild 5.6):

1. Keine zuverlässige Aussage möglich.
2. Kann nur angewandt werden, wenn ein durchgehendes Kabel installiert wird (keine Stecker oder Spleiße auf der Strecke) und wenn der Vorlauf-LWL ein identisches Streuverhalten wie der zu messende Lichtwellenleiter hat.

Entsprechend DIN ISO/IEC 14763-3 {2.1} gilt für eine beidseitige Messung mit Vorlauf- und Nachlauf-LWL (Bild 5.7):

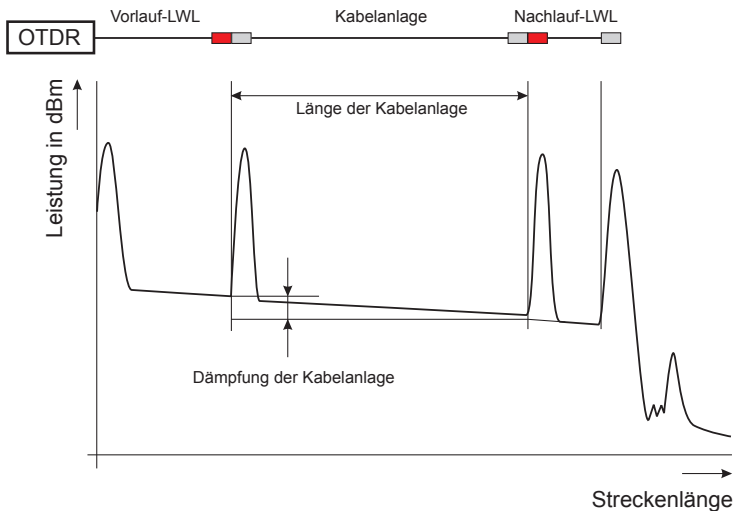
1. Ermöglicht eine verlässliche Messung der Kabelanlage.
2. Exakte Messung des ersten und letzten Steckers und aller Ereignisse (Stecker/Spleiße) auf der Strecke.

Bild 5.7 zeigt die Dämpfung der Kabelanlage sowie des ersten und letzten Steckers. Die Dämpfung des letzten Steckers ergibt sich durch rückwärtige Verlängerung der Rückstreukurve des Nachlauf-LWL (Schnittpunkt mit dem Ort am Ende der Kabelanlage).

Die dargestellte Streckendämpfung entspricht **nicht** der tatsächlichen Streckendämpfung, da Vorlauf/Nachlauf-LWL und die Kabelanlage unterschiedliches Streuverhalten haben können. Den exakten Wert erhält man durch Messung in beiden Richtungen und Mittelwertbildung (Abschnitt 5.1).

Das Rückstromeßgerät wertet alle Ereignisse vollautomatisch aus. Aus der Ereignistabelle können entnommen werden: Dämpfung des ersten und letzten Steckers, Dämpfungskoeffizient und Dämpfung der Kabelanlage.

**Bild 5.7: Beidseitige Messung mit Vor- und Nachlauf-LWL**



## 5.6 Zusammenfassung

- Stufen im Rückstreudiagramm ergeben sich nicht nur durch Dämpfung, sondern auch durch Toleranzen der Faserparameter.
- Um die Dämpfung von Steckern und Spleißen aus dem Rückstreudiagramm zu ermitteln, muss bidirektional gemessen und gemittelt werden.
- Besonders deutlich sind die Stufen bei Toleranzen der Modenfelddurchmesser von Singlemode-LWL.
- Eine bidirektionale Messung mit Vor- und Nachlauf-LWL ist erforderlich, um den ersten und letzten Stecker exakt messen zu können.
- Eine bidirektionale Messung hat weitere Vorteile: Vergrößerung des messbaren Bereiches (Erhöhung der Dynamik) und Erkennung von Ereignissen, die sonst in der Totzone liegen.