

4 Parameter des Rückstremmessgerätes

4.1 Impulsbreite und Auflösungsvermögen

Der eingekoppelte Laserimpuls hat stets eine endliche Dauer. Das bewirkt eine endliche Breite des Impulszuges. Eine Impulsdauer von 5 ns entspricht einer Impulsbreite von etwa einem Meter. Das heißt, es wird immer gleichzeitig ein 1 m langer Abschnitt im Lichtwellenleiter beleuchtet.

Trifft der Impulszug auf ein diskretes Ereignis, beispielsweise eine Reflexion, benötigt er eine endliche Zeit um es zu durchlaufen. So wird dieses diskrete Ereignis im Rückstredigramm nicht als Nadelimpuls dargestellt, sondern es hat stets eine endliche Flankensteilheit (Bild 2.3; Ereignisse 3, 4 und 5).

Die Breite der Fresnelreflexion wird durch die Impulsbreite beeinflusst. Die endliche Dauer des Laserimpulses begrenzt das Auflösungsvermögen. Kurze Impulse ermöglichen ein hohes Auflösungsvermögen. Eng beieinander liegende Ereignisse können gut voneinander getrennt werden.

Da der Impuls hin- und zurückläuft, wird der Abstand zwischen zwei Ereignissen doppelt wirksam. Der Wegunterschied zwischen den beiden Teilimpulsen, die an zwei benachbarten Ereignissen reflektiert werden, ist doppelt so groß wie der Abstand zwischen den beiden Ereignissen.

Deshalb können zwei Ereignisse gerade noch getrennt werden, deren Abstand **halb so groß** wie die Impulslänge ist.

Beispiel: Impulsdauer $t = 5 \text{ ns}$; Impulsbreite $s = v \cdot t = c \cdot t/n \approx 1 \text{ m}$.
Auflösungsvermögen 0,5 m.

Tabelle 4.1: Zusammenhang zwischen Impulsbreite und Auflösungsvermögen

Impulsbreite	5 ns	10 ns	100 ns	1 μs	2 μs	10 μs	20 μs
Auflösungsvermögen	0,5 m	1 m	10 m	100 m	200 m	1000 m	2000 m

4.2 Einfluss der Dynamik des Messgerätes

Mit kurzen Impulsen gelangt nur eine geringe Leistung in den Lichtwellenleiter: Die Dynamik und damit die messbare Streckenlänge ist gering. Durch Vergrößerung der Impulsbreite lässt sich auf Kosten des Auflösungsvermögens die Dynamik erhöhen.

Denn dann ist die Rayleighstreuung größer (jeder Impuls trägt eine höhere Energie) und die messbaren Strecken sind länger.

Bild 4.1 zeigt ein reales Rückstreuendiagramm. Die gemessene Strecke beträgt mehr als 100 km und die gemessene Dämpfung mehr als 27 dB. Man erkennt, dass am Ende der Strecke das Messgerät an die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit stößt: Der Einfluss des Rauschens macht sich zunehmend bemerkbar, so dass die Auswertung am Streckenende erschwert wird.

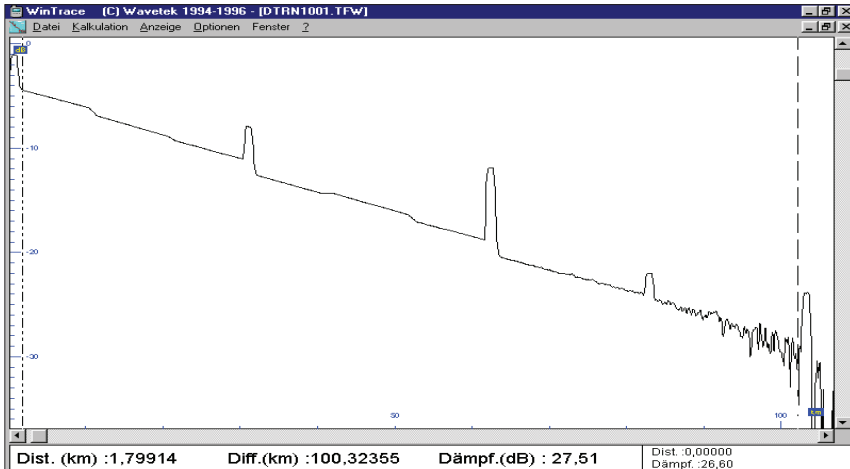


Bild 4.1: Ergebnis der Rückstreuungsmessung an einer langen Strecke

Durch Erhöhung der Messzeit (das heißt der Anzahl der Mittelungen) kann die Messkurve geglättet werden. Allerdings ist die Messzeit ein wichtiger Kostenfaktor.

Eine große Messzeit ist sinnvoll, wenn ein Fehler gesucht wird und besonders viele Informationen aus der Messkurve herausgeholt werden müssen. Für eine routinemäßige Messung ist eine kurze Messzeit sinnvoll, insbesondere wenn viele Fasern innerhalb des Kabels zu messen sind.

Allerdings bedeutet eine kurze Messzeit Verlust an Dynamik. In den Datenblättern wird die Definition der Dynamik stets auf eine Messzeit von drei Minuten bezogen.

Eine weitere Möglichkeit, die Messkurve am Ende der Strecke zu glätten, ist die Messung mit einer größeren Impulsbreite, was aber auf Kosten des Auflösungsvermögens geht (Abschnitt 4.1).

Die beste Lösung ist, mit einem OTDR-Modul möglichst hoher Dynamik zu messen. Vor allem für die Singlemode-Technik werden diese Module mit unterschiedlicher Dynamik (ca. 25 dB bis 45 dB mit 10 μ s Impulsbreite bzw. 48 dB mit 20 μ s Impulsbreite) und entsprechend unterschiedlichen Preisen angeboten. Für die Messung sollte ein Modul mit deutlich höherer Dynamik als die Dämpfung der zu messenden Strecke zum Einsatz kommen.

Unter der Dynamik versteht man die Differenz in Dezibel zwischen der eingekoppelten Leistung und der Leistung, bei der der Empfänger ein Signal-Rausch-Verhältnis von 1 zu 1 bei einer Messzeit von drei Minuten misst.

Beispiel: Modul mit hoher Dynamik: **45 dB bei 10 μ s** Impulsbreite.

Zur Erkennung eines Faserbruchs muss das Signal mindestens 3 dB über dem Rauschen liegen. Zur Erkennung einer Spleißdämpfung von 0,1 dB, 0,05 dB bzw. 0,02 dB **am Ende der Strecke** muss das Signal mindestens 8,5 dB, 10 dB bzw. 12 dB über dem Rauschen liegen.

Die nutzbare Dynamik reduziert sich um diesen Betrag. Um einen Spleiß mit 0,02 dB am Ende der Strecke noch erkennen zu können, beträgt die nutzbare Dynamik:

$$45 \text{ dB} - 12 \text{ dB} = 33 \text{ dB.}$$

Wird die Messzeit von drei Minuten auf 10 Sekunden reduziert, verringert sich die Dynamik um weitere 3 dB. Verbleibende Dynamik:

$$33 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 30 \text{ dB.}$$

Dieser Wert bezieht sich auf die maximale Impulsbreite (10 μ s). Bei Verringerung der Impulsbreite zur Erhöhung des Auflösungsvermögens auf 1 μ s bzw. 100 ns reduziert sich die Dynamik um weitere 10 dB bzw. 20 dB. Die **verbleibende Dynamik** liegt dann bei **20 dB bzw. 10 dB**.

Daraus ist erkennbar, dass ein Modul mit höchster Dynamik, insbesondere bei Messungen an Singlemode-Fasern, erforderlich ist: Dieses ermöglicht die geringste Messzeit, die höchste Genauigkeit, das größte Auflösungsvermögen und den größten Messbereich.

Ist die Dynamik festgelegt bleiben zwei Einstellmöglichkeiten am Messgerät: Messzeit und Impulslänge. **Diese sind so einzustellen, dass am Ende der Strecke die Rückstreckkurve noch mindestens 12 dB über dem Rauschen liegt** (Bild 4.2). Dann ist die Rückstreckkurve auch am Ende der Strecke noch hinreichend glatt.

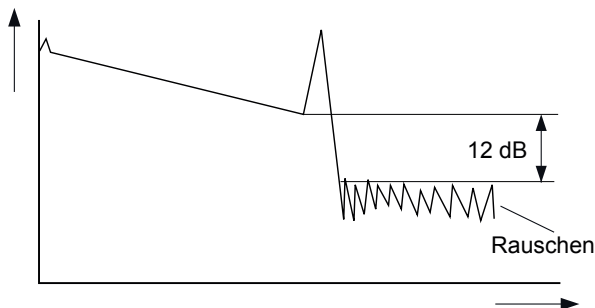


Bild 4.2: Rückstremessung mit optimal eingestellten Parametern

Bei Messung mit zu geringer Dynamik ist die gemessene Kurve am Ende der Strecke verrauscht. Kleine Ereignisse (Spleiße) können nicht erkannt werden. Oder umgekehrt: Rauschen täuscht Ereignisse vor. Das macht sich zuerst bei der Wellenlänge 1310 nm wegen des größeren Dämpfungskoeffizienten bemerkbar.

Hat man Schrägschliffstecker (APC/HRL-Stecker) am Ende der Strecke kann unter Umständen das Streckenende nicht erkannt haben, da diese Stecker nur eine kleine Reflexion bewirken, die im Rauschen verschwinden kann. Das Messgerät wählt das letzte signifikante Ereignis als Streckenende: Es wird eine zu kurze Streckenlänge erkannt.

Zurück zu Bild 4.1: Deutlich sind die Steckerreflexionen (Spitzen) und die Spleiße (Stufen) zu erkennen. Etwa in der Mitte der Messkurve ist andeutungsweise eine positive und eine negative Stufe zu erkennen. Dabei handelt es sich um Lichtwellenleiter mit unterschiedlichen Parametern (Abschnitte 5). Der Abschnitt, der wie ein Sockel herausragt, wird durch stärkere Streuung des Lichtwellenleiters verursacht.

Die Breite der Spitzen auf der Rückstreucurve wird durch die Impulsbreite beeinflusst. Misst man mit einer Impulsbreite von $10\ \mu\text{s}$ beträgt die Totzone (Abschnitt 4.3) 1000 m. Ereignisse innerhalb von 1000 m hinter dem Spleiß werden nicht erkannt.

Am Ort des Spleißes erfolgt der Abfall schräg und nicht senkrecht: Ursache hierfür ist auch die endliche Impulsbreite.

Bild 4.3 zeigt ein Beispiel für eine fehlerhafte Einstellung: Die Messzeit bzw. die Impulsbreite wurde zu gering eingestellt. Die Kurve ist von Anfang an verrauscht. Die nutzbare Dynamik (Abstand zwischen eingekoppelter Leistung und Rauschpegel jenseits der Strecke) liegt lediglich bei 8 dB. Verwendet wurde ein Messgerät mit einer Dynamik von 26 dB bei $10\ \mu\text{s}$ Impulsbreite. Gemessen wurde mit 100 ns.

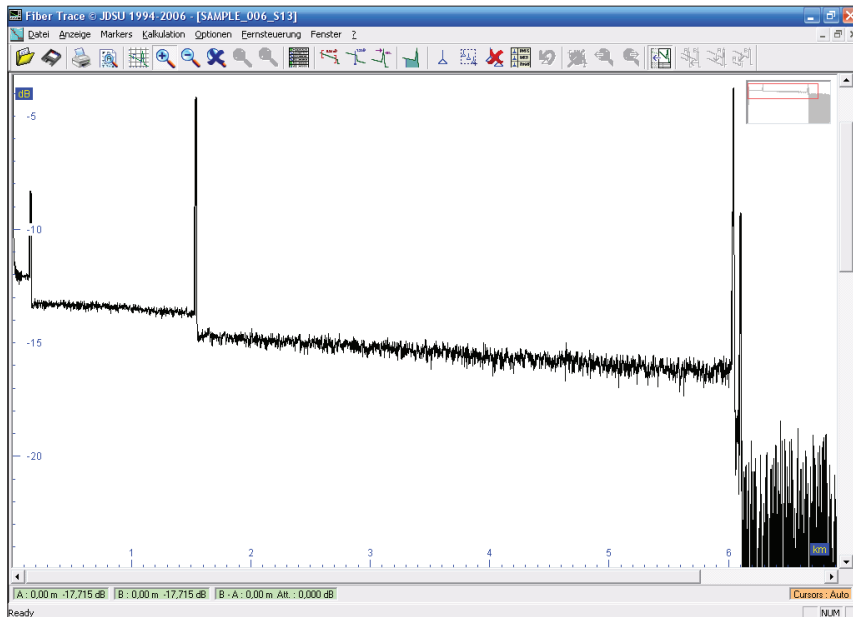


Bild 4.3: Messung mit zu geringer Dynamik

4.3 Totzonen

Totzonen sind Strecken, in denen wegen der Übersteuerung des Empfängers des Rückstremessgerätes keine Auswertung der Rückstreckkurve möglich ist. Sie werden durch Reflexionen auf der Strecke verursacht. Man kann sie als eine temporäre Blendung des Messgerätes auffassen. Je länger der Detektor und der angeschlossene Verstärker zur Erholung benötigen, umso größer ist die Totzone.

Gerätetotzone ist der Abstand vom Fußpunkt bis zum Ende der Abfallflanke am Anfang der zu messenden Strecke (Bild 4.4). Ereignisse innerhalb der Gerätetotzone können nicht gemessen werden. Die Länge der Totzone hängt von der Reflexionsdämpfung, der Impulsbreite und der Qualität des Empfängers ab.

Die **Ereignistotzone** gibt den minimalen Abstand zwischen zwei reflektierenden Ereignissen an, so dass diese noch getrennt wahrgenommen werden können (Bild 4.5 (a)). Als Kriterium für das Erkennen des zweiten reflektierenden Ereignisses wird angenommen, dass das erste reflektierende Ereignis um mindestens 1,5 dB bezüglich seines Spitzenwertes abgefallen sein muss.

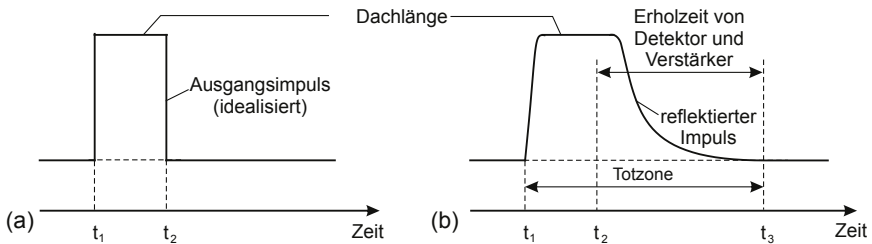


Bild 4.4: (a) Ausgangsimpuls und (b) Gerätetotzone

Zwar kann man jenseits der Ereignistotzone die beiden Reflexionen voneinander trennen, die Dämpfungen der beiden Ereignisse lassen sich jedoch im Einzelnen nicht ermitteln, sondern nur deren Summe. Grund: das erste Ereignis ist noch nicht bis auf den Rayleighstreupegel abgefallen. Hierfür muss der Abstand zwischen den beiden Ereignissen größer sein.

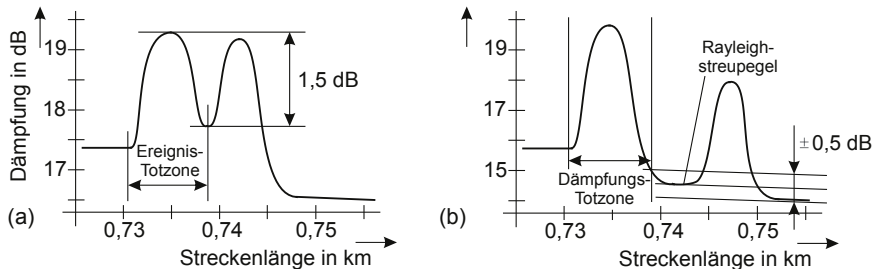


Bild 4.5: (a) Ereignistotzone, (b) Dämpfungstotzone

Die **Dämpfungstotzone** ist der minimale Abstand, hinter welchem eine zweite Reflexion bezüglich ihrer Dämpfung **ausgemessen** werden kann (Bild 4.5 (b)). Die erste Reflexion muss bis auf die Rückstreucurve abgefallen sein (erstmaliges Erreichen einer 0,5 dB-Toleranzmaske), ehe das zweite Ereignis beginnt.

Die Ereignis- und Dämpfungs-Totzonen hängen von der Reflexionsdämpfung und der Impulsbreite ab. Ereignis- und Dämpfungstotzonen verschiedener Anbieter sind nur bei gleicher Reflexionsdämpfung und Impulsbreite vergleichbar!

Je höher die Reflexionsdämpfung des Ereignisses (je geringer die Reflexion) und je kürzer der Impuls, umso geringer sind die Totzonen. Die (theoretisch) minimale Totzone wird durch die Impulsbreite gegeben (Tabelle 4.1). Sie entspricht dem Auflösungsvermögen.

4.4 Parametereinstellungen vor Beginn der Messung

Die meisten Messgeräte haben eine Automatikfunktion. Diese ermöglicht eine automatische Bestimmung des optimalen Messbereiches und der optimalen Impulsbreite. Falls man Erfahrung mit dem Rückstremessgerät hat empfiehlt es sich, diese Parameter manuell einzustellen.

Messbereich: Der eingestellte Messbereich wirkt sich unmittelbar auf die Impulswiederholrate des Messgerätes aus. Diese wird so bemessen, dass der Impuls genügend Zeit hat, die Faser in Hin- und Rückrichtung zu durchlaufen, ehe der nächste Impuls ausgesandt wird. Ist die Impulswiederholrate zu groß, kommt es zu Überlagerungseffekten, die zu einem verfälschten Rückstreudiagramm führen.

Deshalb darf der Messbereich nie kleiner als die zu messende Strecke eingestellt werden!

Ein richtig eingestellter Messbereich ist daran erkennbar, dass sich hinter der Rückstreucurve immer noch Rauschen anschließt. Endet die Rückstreucurve abrupt, ohne nachfolgenden Rauschanteil, deutet das auf einen zu kurz eingestellten Messbereich hin.

Sind Geisterreflexionen vorhanden (Abschnitt 6.1), kann das Signal die Strecke zweimal durchlaufen. Dann muss der Messbereich mindestens **doppelt** so groß wie die zu messende Strecke sein.

Impulsbreite: Im Interesse eines hohen Auflösungsvermögens (Abschnitt 4.1) sollte eine minimale Impulsbreite eingestellt werden. Das ist bei Messung von (kurzen) Multimode-LWL meist möglich. Bei der Messung längerer Strecken begrenzt eine zu kurze Impulsbreite die Dynamik der Messung und es muss ein geeigneter Kompromiss zwischen Dynamik (messbarer Streckenlänge) und Impulsbreite gefunden werden (Abschnitt 4.2).

Brechzahl: Die Gruppenbrechzahl des Faserkerns hängt vom LWL-Typ und der Wellenlänge ab. Die richtige Brechzahleinstellung ist wichtig für die exakte Lokalisierung des Fehlerortes und für die Ermittlung des Aufmaßes (Abschnitt 3.1).

Rückstredämpfung: Die Rückstredämpfung (Rückstrekoeffizient) hängt ebenfalls vom LWL-Typ und der Wellenlänge ab. Die richtige Einstellung zu Beginn der Messung ist erforderlich, um die Reflexionsdämpfungen der Ereignisse entlang der Strecke (insbesondere Stecker) messen zu können [4.1].

4.5 Zusammenfassung

- Die Impulsbreite bestimmt das Auflösungsvermögen der Messung. Im Interesse eines hohen Auflösungsvermögens sollte mit möglichst kurzen Impulsen gemessen werden.
- Bei der Messung von Singlemode-Strecken ist ein OTDR-Modul mit höchster Dynamik einzusetzen. Dieses ermöglicht die geringste Messzeit, die höchste Genauigkeit, das größte Auflösungsvermögen und den größten Messbereich.
- Leistungsfähige Rückstremesstechnik ist in der Lage, die Strecke in bis zu 512.000 Punkte aufzulösen und eine Dynamik im Singlemodebereich von bis zu 48 dB zu realisieren.
- Totzonen durch reflektierende Ereignisse führen zu einer Verschlechterung des Auflösungsvermögens. Man unterscheidet Gerätetotzonen, Ereignistotzonen und Dämpfungstotzonen.