

# Zusammenhang zwischen der Dynamik des optischen Rückstromeßgerätes und der messbaren Streckenlänge

## 1 Aufgabenstellung

Ein wichtiger Parameter des optischen Rückstromeßgerätes ist die [Dynamik](#). Sie kann je nach Hersteller, zu messendem Fasertyp und Wellenlänge bis zu 50 dB betragen. Doch können wirklich 50 dB Faserdämpfung überbrückt werden und welcher Streckenlänge entspricht das?

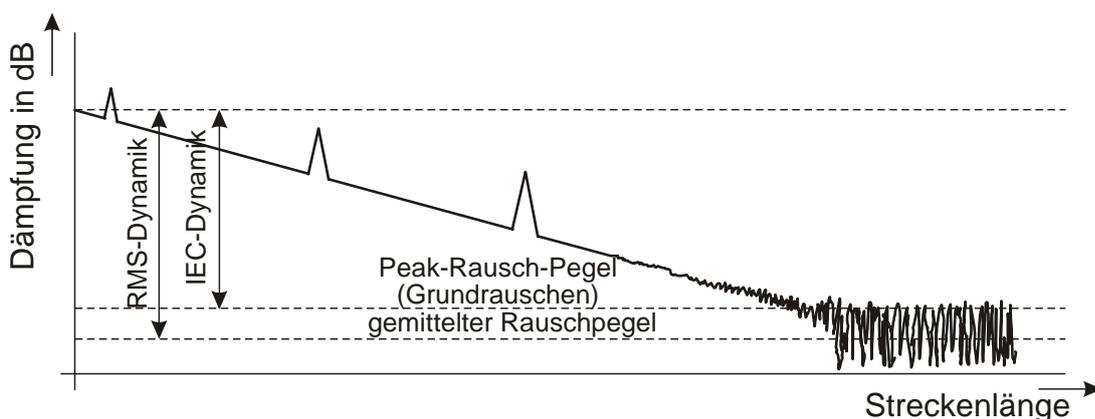
Ausgehend von der Definition der Dynamik wird die tatsächlich nutzbare Dynamik abgeleitet. Dabei ist zu unterscheiden, ob eine kleine Spleißdämpfung am Ende der Strecke zu messen ist oder nur das Streckenende lokalisiert werden muss.

In Abhängigkeit vom optischen Fenster der Übertragung lassen sich die überbrückbaren Streckenlängen abschätzen. Die Überlegungen beziehen sich auf die optische Rückstromeßung an Singlemode-LWL.

## 2 Dynamik des Rückstromeßgerätes und Streckendämpfung

Die Dynamik des optischen Rückstromeßgerätes ist die Differenz in Dezibel zwischen der eingekoppelten Leistung und der Leistung, bei der der Empfänger ein Signal-Rausch-Verhältnis von 1 zu 1 misst (gemittelter Rauschpegel: [RMS-Dynamik](#)) bei einer Messzeit von drei Minuten. Die Angabe bezieht sich auf die maximale spezifizierte Impulsbreite. Das ist die übliche Definition, nach der die Hersteller ihre [OTDR](#)-Module spezifizieren.

Alternativ gibt es eine [IEC](#)-Dynamik, die sich auf 98 % des Rauschbandes bezieht (Peak-Rausch-Pegel: Grundrauschen). Dieser Pegel liegt etwa 2 dB höher [1] (Bild 1).

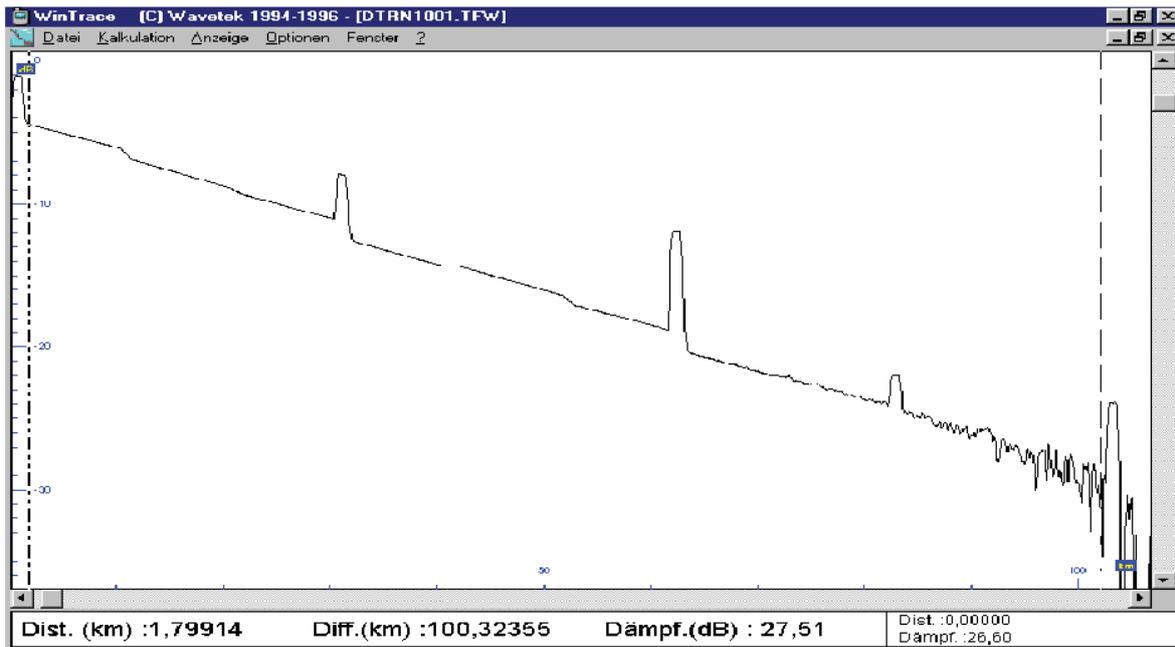


**Bild 1: Zwei verschiedene Definitionen der Dynamik**

### 3 Erforderliche Dynamik zur Messung kleiner Spleißdämpfungen

Entsprechend RMS-Definition sind am Ende der Strecke Signal und Rauschen gleich groß. Die Messkurve ist stark verrauscht. Um eine kleine Spleißdämpfung noch messen zu können, muss tatsächlich das Signal deutlich größer als das Rauschen sein.

**Beispiel:** In Bild 2 geht am Ende der Strecke bei etwa 100 km das Signal fast nahtlos in das Rauschen über. Kleine Spleiße können weder erkannt noch gemessen werden. Bei etwa 65 km ist der Einfluss des Rauschens auf die optische Rückstreu- kurve so gering, dass kleine Spleißdämpfungen exakt messbar sind.

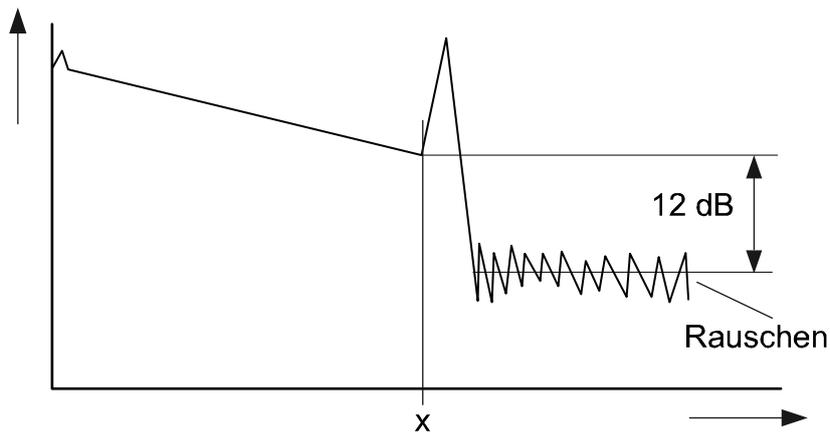


**Bild 2: Ergebnis der Rückstreuungsmessung an einer langen Strecke**

Um eine Spleißdämpfung von 0,02 dB noch nachweisen zu können, muss das Signal **12 dB über dem Rauschen** liegen [2] (Bild 3). Die nutzbare Dynamik  $D_{\text{Spleiß}}$  des Messgerätes ist also 12 dB geringer als die spezifizierte RMS-Dynamik:  $D_{\text{Spleiß}} = \text{RMS} - 12 \text{ dB}$ .

**OTDR, Spleißgeräte,  
Reinigungstools & mehr**

**ANEDIS®** So einfach ist Breitband.  
Aktuelle Informationen & Angebote:  
[www.anedis.de](http://www.anedis.de)



**Bild 3: Signal-zu-Rausch-Abstand am Streckenende x**

Bei der optischen Rückstreuung wird das Verfahren der Mittelwertbildung zur Rauschunterdrückung angewandt. Die Summe der korrelierten Signale geht linear mit der Anzahl der Messungen  $N$ . Die unkorrelierten Rauschanteile summieren sich proportional  $\sqrt{N}$  [3].

Wird die Messzeit reduziert, verringert sich die Dynamik proportional zur Wurzel aus der Anzahl der Messungen  $\sqrt{N}$  und damit aus dem Verhältnis der Messzeiten. Misst man anstelle mit 180 Sekunden (entsprechend Definition der Dynamik) mit 30 Sekunden verringert sich die Dynamik um  $10 \lg \sqrt{180/30} = 3,9 \text{ dB}$ .

Allgemeiner gilt für die nutzbare Dynamik bei Messung kleiner Spleißdämpfungen ( $T$  Messzeit in Sekunden):

$$D_{\text{Spleiß}} = \text{RMS} - 12 \text{ dB} - 10 \lg \sqrt{\frac{180 \text{ s}}{T}} \text{ in dB} \quad (1)$$

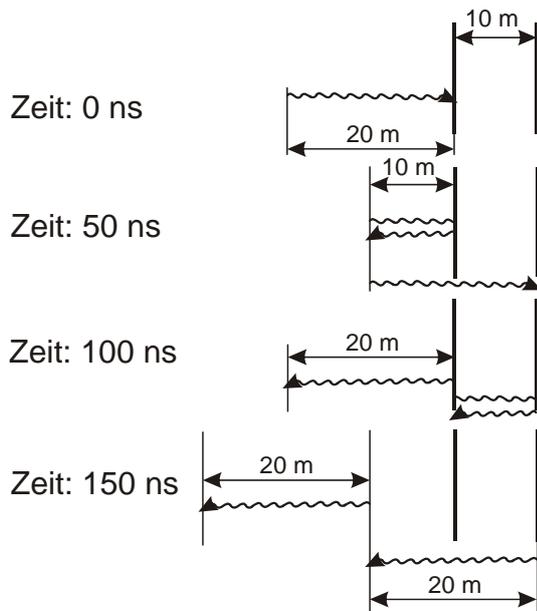
#### 4 Zusammenhang zwischen Impulsbreite und Auflösungsvermögen

Die Impulsbreite bestimmt das Auflösungsvermögen der Messung. Das Auflösungsvermögen ist der Abstand zwischen zwei Ereignissen, bei dem diese gerade noch räumlich getrennt werden können.

Als Beispiel wird ein Impuls von  $t = 100 \text{ ns}$  Dauer betrachtet. Die Faser wird  $100 \text{ ns}$  lang beleuchtet. Daraus ergibt sich ein Impulszug der Länge  $l$ . Es gilt:

$$\frac{l}{t} = v = \frac{c}{n} \approx \frac{300.000 \text{ km/s}}{1,5} = 200.000 \text{ km/s} \Rightarrow l \approx 20 \text{ m} \quad (2)$$

Dabei ist  $c$  die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit,  $n$  die Gruppenbrechzahl des LWL-Kernes und  $v$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts in der Faser.



Der Impuls trifft zum Zeitpunkt 0 ns auf das erste Ereignis. Nach 50 ns trifft ein Teil des Impulses auf das zweite Ereignis. Nach 100 ns hat der erste Teilimpuls am ersten Ereignis seine Richtungsumkehr vollzogen. Nach 150 ns trifft das auch auf den zweiten Teilimpuls zu.

Obwohl die Ereignisse einen Abstand von nur 10 m haben, überlappen sich die beiden doppelt so langen Teilimpulse nach der Reflexion nicht. Das ergibt sich daraus, weil der Abstand zwischen den beiden Ereignissen **doppelt** durchlaufen wird. Das Auflösungsvermögen ist deshalb halb so groß wie die Länge des Impulszuges.

**Bild 4: Zusammenhang zwischen Impulsbreite und Auflösungsvermögen**

Gewöhnlich wird die Impulsbreite  $t$  als Zeit und das Auflösungsvermögen  $l$  als Länge angegeben. Tabelle 1 stellt einige typische Werte gegenüber.

<b>Impulsbreite</b>	<b>100 ns</b>	200 ns	500 ns	1 $\mu$ s	2 $\mu$ s	5 $\mu$ s	<b>10 <math>\mu</math>s</b>
<b>Auflösungsvermögen</b>	<b>10 m</b>	20 m	50 m	100 m	200 m	500 m	<b>1000 m</b>

**Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Impulsbreite und Auflösungsvermögen**

# VIAVI MTS- & OTDR-Messgeräte

**ANEDIS**<sup>®</sup>  
So einfach ist Breitband.

Aktuelle Informationen & Angebote:  
[www.anedis.de](http://www.anedis.de)



## 5 Nutzbare Dynamik

Mit einer Impulsbreite von 10  $\mu\text{s}$  kann man ein Auflösungsvermögen von 1 km erzielen (fett hervorgehoben). Zwei Ereignisse (zum Beispiel Spleiße) im Abstand von 1 km können gerade noch getrennt werden.

Reduziert man die Impulsbreite auf 1  $\mu\text{m}$  verbessert sich das Auflösungsvermögen auf 100 m aber die Dynamik verringert sich, da eine geringere Leistung in die Faser eingekoppelt wird. Die Verringerung an Dynamik ergibt sich aus dem Verhältnis der maximal spezifizierter Impulsbreite  $t_{\text{max}}$  und der eingestellten Impulsbreite  $t$ :

$$\Delta D_{\text{Spleiß}} = -10 \lg \frac{t_{\text{max}}}{t} \text{ in dB} \quad (3)$$

Das negative Vorzeichen kennzeichnet die Verringerung. Mit Gleichung (1) folgt daraus:

$$D_{\text{Spleiß}} = \text{RMS} - 12 \text{ dB} - 10 \lg \left( \frac{t_{\text{max}}}{t} \cdot \sqrt{\frac{180 \text{ s}}{T}} \right) \text{ in dB} \quad (4)$$

### Beispiel 1:

- spezifizierte Dynamik: RMS = 45 dB
  - Erkennung eines kleinen Spleißes am Streckenende (-12 dB)
  - Messzeit: T = 30 Sekunden
  - spezifizierte maximale Impulsbreite:  $t_{\text{max}} = 10 \mu\text{m}$
  - eingestellte Impulsbreite:  $t = 1 \mu\text{m}$  (Auflösungsvermögen 100 m)
- => **nutzbare Dynamik:  $D_{\text{Spleiß}} = 19 \text{ dB}$ .**

### Beispiel 2:

- spezifizierte Dynamik: RMS = 45 dB
  - Erkennung eines kleinen Spleißes am Streckenende (-12 dB)
  - Messzeit: T = 5 Sekunden
  - spezifizierte maximale Impulsbreite:  $t_{\text{max}} = 10 \mu\text{m}$
  - eingestellte Impulsbreite:  $t = 100 \text{ ns}$  (Auflösungsvermögen 10 m)
- => **nutzbare Dynamik:  $D_{\text{Spleiß}} = 5 \text{ dB}$ .**

Beispiel 2 zeigt, obwohl ein sehr gutes optisches Rückstremessgerät zum Einsatz kam (RMS = 45 dB) verbleibt eine sehr geringe nutzbare Dynamik, wenn man eine geringe Messzeit wählt und ein hohes Auflösungsvermögen fordert.

Eine geringe Messzeit ist ein wichtiger Kostenfaktor (Arbeitszeit des Messingenieurs) und schlägt insbesondere bei hochfasrigen Kabeln zu Buche. Ein hohes Auflösungsvermögen ist wünschenswert, um möglichst viele Ereignisse zu erkennen.

**Empfehlung: Messgerät mit möglichst hoher Dynamik einsetzen, auch bei relativ geringen Streckendämpfungen.**

Um das Streckenende zu lokalisieren (zum Beispiel Faserbruch bei Baggerschaden) oder die Streckenlänge zu messen kann das Signal am Ende der Strecke stärker

verrauscht sein. Eine **Stufe von 3 dB** ist ausreichend. Dann ist in Gleichung (4) -12 dB durch -3 dB zu ersetzen (Gleichung (5)):

$$D_{\text{Stufe}} = \text{RMS} - 3 \text{ dB} - 10 \lg\left(\frac{t_{\text{max}}}{t} \cdot \sqrt{\frac{180 \text{ s}}{T}}\right) \text{ in dB} \quad (5)$$

Liegt der mittlere Rauschpegel (RMS-Definition) 3 dB unter der Rückstreckkurve, liegen die Rauschspitzen (IEC-Definition) etwa 1 dB unter der Rückstreckkurve. Das Streckenende ist deutlich erkennbar.



## 6 Messbare Streckenlänge

Der typische Dämpfungskoeffizient des Kabels (einschließlich Spleißdämpfungen und Systemreserven) beträgt entsprechend [4]:

- Wellenlängenbereich: 1260 nm bis 1360 nm:  $\alpha_2 = 0,5 \text{ dB/km}$
- Wellenlängenbereich: 1530 nm bis 1565 nm:  $\alpha_3 = 0,275 \text{ dB/km}$
- Wellenlängenbereich: 1565 nm bis 1625 nm:  $\alpha_4 = 0,35 \text{ dB/km}$

Die Indizes  $i$  an den Dämpfungskoeffizienten stehen für das jeweilige optische Fenster. Die überbrückbare Streckenlänge  $L$  berechnet sich dann mit  $D$  aus Gleichung (4) bzw. (5) folgendermaßen:

$$L = \frac{D}{\alpha_i} \quad (6)$$

## 7 Zusammenhang zwischen Impulsbreite und Dynamik

Die Dynamik moderner optische Rückstremmessgeräte wird für die maximale Impulsbreite und einer Messzeit von drei Minuten spezifiziert. Eine Dynamik für kürzere Impulse wird nicht angegeben. Aus diesem Grund wurde in Abschnitt 5 Gleichung (3) zwischen Impulsbreite und Dynamik **linear umgerechnet**:

### Beispiel:

Wird mit einem Zehntel der spezifizierten Impulsbreite gemessen, wird nur ein Zehntel Leistung in die Faser eingekoppelt und die Dynamik verringert sich um 10 dB.

Tatsächlich hängt der Leistungsinhalt nicht nur von der Impulsbreite, sondern auch von der Impulsform ab. Bei langen Impulsen kann es zur Sättigung kommen, die bei kurzen Impulsen nicht mehr vorhanden ist. Weiterhin sind nichtlineare Effekte der Elektronik denkbar.

Bei älteren optischen Rückstremessgeräten wurde die Dynamik für unterschiedliche Impulsbreiten angegeben. Aus den Datenblättern ist ersichtlich, dass sich die Dynamik nicht linear, sondern schwächer, mit der Impulsbreite verringert.

**Beispiel:** Modul Agilent N3910AL,  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ :

- Impulsbreite 20  $\mu\text{s}$ : spezifizierte Dynamik 43 dB
- Impulsbreite 10 ns: spezifizierte Dynamik 22 dB

Das heißt, eine Verringerung der Impulsbreite um einen Faktor

$\frac{20.000 \text{ ns}}{10 \text{ ns}} = 2000$  (entspricht 33 dB) bewirkt eine Verringerung der Dynamik um lediglich 21 dB (12 dB weniger).

Die Gleichungen (4) bzw. (5) berechnen Worst-Case-Werte, die nutzbare Dynamik kann bei Messung mit kürzeren Impulsbreiten tatsächlich höher als berechnet ausfallen.

**FACH- & ANWENDERSCHULUNGEN**

**#docsis3.1**  
DOCSIS 3.1  
Live-Messungen

**#spleiss**  
LWL Spleißen  
& Reinigen

**#optic**  
Optische Grundlagen  
& Messgeräte

**ANEDIS®**  
So einfach ist Breitband.

Aktuelle Schulungen und Termine:  
[www.schulung.anedis.de](http://www.schulung.anedis.de)

**Hygienekonzept**  
Maßnahmen für Schulungen & Seminare

## 8 Zusammenfassung

Es wurde die nutzbare Dynamik bei der optischen Rückstremessung in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern abgeschätzt. Dabei ist zu unterscheiden, ob eine kleine Spleißdämpfung am Ende der Strecke zu messen ist oder nur das Streckenende lokalisiert werden muss.

Aus der nutzbaren Dynamik lassen sich die maximal messbaren Streckenlängen überschlagen. Es empfiehlt sich, auch wenn die zu messenden Streckendämpfungen relativ gering sind, ein Modul hoher RMS-Dynamik anzuschaffen.

Die Angaben in den Datenblättern sind unvollständig. Die Dynamik der Module wird nur für die maximale Impulsbreite spezifiziert. Die Dynamik für kürzere Impulsbreiten ist nicht bekannt.

## 9 Literatur

- [0] Allgemeiner Literaturhinweis zur Optischen Rückstreuung: Generic Requirements for Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) Type Equipment. Telcordia, GR-196, September 2010.
- [1] Exaktere OTDR-Messung. HP Messtechnik News, Oktober 1998, Seite 12...13.
- [2] Peter Schweiger: Optical testing: field engineers connect if they know the facts. FibreSystems Europe, September 2002, Seite 51, 53, 54.
- [3] J. Beller: A High-Performance Signal Processing System for the HP 8146A Optical Time-Domain Reflectometer. Hewlett-Packard Journal, February 1993, Seite 63...68.
- [4] ITU-T G.652, November 2016: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. Tabelle I.1, Seite 12.

**Dr. Dieter Eberlein, Lichtwellenleiter-Technik**  
**D-01219 Dresden, Barlachstraße 11**  
**Tel.: +49-351-3129945, Fax: +49-351-3129947**  
**E-Mail: [LWLTechnik@t-online.de](mailto:LWLTechnik@t-online.de), Internet: [www.LWLTechnik.de](http://www.LWLTechnik.de)**  
**Dresden 29.06.2020**