

DIN EN 61746-1



ICS 33.180.99

Mit DIN EN 61746-2:2011-09
Ersatz für
DIN EN 61746:2005-10
Siehe Anwendungsbeginn

**Kalibrierung optischer Rückstreuungsmessgeräte (OTDR) –
Teil 1: OTDR für Einmodenfasern (IEC 61746-1:2009);
Deutsche Fassung EN 61746-1:2011**

Calibration of optical time-domain reflectometers (OTDR) –
Part 1: OTDR for single-mode fibres (IEC 61746-1:2009);
German version EN 61746-1:2011

Étalonnage des réflectomètres optiques dans le domaine temporel (OTDR) –
Partie 1: OTDR pour fibres unimodales (CEI 61746-1:2009);
Version allemande EN 61746-1:2011

Gesamtumfang 84 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2011-01-02 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2011-10-01.

Daneben darf DIN EN 61746:2005-10 noch bis 2014-01-02 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 61746-1:2007-04.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 412 „Kommunikationskabel (Kabel, Leitungen, Wellenleiter, Faser, Komponenten, Zubehör und Anlagentechnik für die Nachrichten- und Informationsübertragung)“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 86 „Fibre optics“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61746:2005-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Einmoden-Kalibrierung wurde in DIN EN 61746-1 übernommen.
- b) Mehrmoden-Kalibrierung wurde in DIN EN 61746-2 übernommen.
- c) Durch diese Aufteilung konnte die Detaillierung verbessert werden.

Frühere Ausgaben

DIN EN 61746:2002-09, 2005-10

Deutsche Fassung

Kalibrierung optischer Rückstreuungsmessgeräte (OTDR) –
Teil 1: OTDR für Einmodenfasern
(IEC 61746-1:2009)

Calibration of optical time-domain
reflectometers (OTDR) –
Part 1: OTDR for single-mode fibres
(IEC 61746-1:2009)

Étalonnage des réflectomètres optiques dans le
domaine temporel (OTDR) –
Partie 1: OTDR pour fibres unimodales
(CEI 61746-1:2009)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2011-01-02 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2011 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 61746-1:2011 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 86/347/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61746-1, ausgearbeitet von dem IEC/TC 86 „Fibre optics“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2011-01-02 als EN 61746-1 angenommen-

Diese Europäische Norm ersetzt EN 61746:2005 teilweise.

Die Hauptänderungen zu EN 61746:2005 sind:

- die Anpassung von Abschnitt 4;
- die Löschung von Abschnitt 10;
- die Anpassung einiger Festlegungen und Berechnungen;
- die Änderung des Bezugs der graphischen Symbole auf IEC/TR 61930.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN und CENELEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2011-10-02
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2014-01-02

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61746-1:2009 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

[2] IEC 60793-1-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60793-1-1.
[3] IEC 60794-1-2:2003	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60794-1-2:2003 (nicht modifiziert).
[4] IEC 60825-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60825-1.
[5] IEC 60825-2	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60825-2.
[6] IEC 61280-1-3:1988	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61280-1-3:1999 (nicht modifiziert).
[7] IEC 61300-3-2	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61300-3-2.
[8] IEC 61300-3-6	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61300-3-6.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe und Symbole	7
4 Vorbereitung der Kalibrierung	13
4.1 Organisation	13
4.2 Rückverfolgbarkeit	13
4.3 Vorbereitung	13
4.4 Prüfbedingungen	13
4.5 Dokumentation	14
5 Abstandskalibrierung – Allgemeines	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 Ortsfehlermodell	14
5.3 Verwendung der Kalibrierergebnisse	16
5.4 Messung der Faserlänge	16
6 Verfahren der Abstandskalibrierung	17
6.1 Allgemeines	17
6.2 Verfahren mit externer Quelle	17
6.2.1 Kurzbeschreibung und Vorteil	17
6.2.2 Ausrüstung	17
6.2.3 Kalibrierung der Messausrüstung	18
6.2.4 Messverfahren	18
6.2.5 Berechnungen und Ergebnisse	19
6.2.6 Messunsicherheit	20
6.3 Verfahren mit verketteten Fasern	21
6.3.1 Kurzbeschreibung und Vorteile	21
6.3.2 Ausrüstung	22
6.3.3 Messverfahren	23
6.3.4 Berechnungen und Ergebnisse	23
6.3.5 Messunsicherheit	24
6.4 Verfahren mit rückgekoppelter Verzögerungsleitung	25
6.4.1 Kurzbeschreibung und Vorteile	25
6.4.2 Ausrüstung	25
6.4.3 Messverfahren	26
6.4.4 Berechnungen und Ergebnisse	27
6.4.5 Messunsicherheit	27
7 Dämpfungskalibrierung – Allgemeines	28
7.1 Allgemeines	28
7.2 Bestimmung des angezeigten Leistungspegels F	29
7.3 Wahl einer geeigneten Referenzdämpfung A_{ref}	29
7.4 Entwicklung eines Prüfplans	30
7.5 Polarisationsabhängigkeit	31
7.6 Berechnung der Kalibrierergebnisse	33
7.7 Verwendung der Kalibrierergebnisse	33
8 Dämpfungskalibrierverfahren	33
8.1 Allgemeines	33
8.2 Verfahren mit einem Fasernormal	33
8.2.1 Kurzbeschreibung und Vorteil	33
8.2.2 Ausrüstung	33
8.2.3 Messverfahren	35
8.2.4 Berechnungen und Ergebnisse	35
8.2.5 Messunsicherheit	35

	Seite
8.3 Verfahren mit externer Quelle	36
8.3.1 Kurzbeschreibung und Vorteil	36
8.3.2 Ausrüstung	37
8.3.3 Kalibrierung der Referenzdämpfung	38
8.3.4 Messverfahren	38
8.3.5 Berechnungen und Ergebnisse	39
8.3.6 Messunsicherheit	39
8.4 Spleißsimulator-Verfahren	40
8.4.1 Kurzbeschreibung und Vorteil	40
8.4.2 Ausrüstung	40
8.4.3 Messverfahren	41
8.4.4 Berechnungen und Ergebnisse	43
8.4.5 Messunsicherheit	43
8.5 Verfahren der Leistungsreduktion	44
8.5.1 Kurzbeschreibung und Vorteil	44
8.5.2 Ausrüstung	45
8.5.3 Messverfahren	46
8.5.4 Berechnungen und Ergebnisse	46
8.5.5 Messunsicherheit	47
9 Kalibrierung des Reflexionsgrads	47
9.1 Zweck	47
9.2 Messungen des Reflexionsgrads	47
9.3 Benutzung des Rückstreuparameters K	48
9.4 Messbereich des Reflexionsgrads	49
9.5 Entwicklung eines Prüfplans	50
9.6 Messausrüstung	51
9.7 Messverfahren	51
9.7.1 Vorbereitung	51
9.7.2 Durchführung der Messung des Reflexionsgrads	51
9.7.3 Berechnung und Ergebnisse	51
9.7.4 Messunsicherheit	51
Anhang A (normativ) Rückgekoppelte Verzögerungsleitung für die Abstandskalibrierung	53
Anhang B (normativ) Fasernormal für die Dämpfungskalibrierung	56
Anhang C (normativ) Spleißsimulatornormal für die Dämpfungskalibrierung	60
Anhang D (normativ) Mathematische Grundlagen	64
Anhang E (normativ) Reflexionsgradnormal	66
Anhang F (normativ) Einfache Form des Reflexionsgradnormal	72
Anhang G (informativ) OTDR-Grundlagen: Rückstreuungstheorie – Messungen des Reflexionsgrads mit dem OTDR – Bestimmung des Rückstreuparameters der Faser	76
Literaturhinweise	81
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	82
 Bilder	
Bild 1 – Definition der Dämpfungstotzone	8
Bild 2 – Darstellung des Ortsfehlers $\Delta L(L)$	15
Bild 3 – Ausrüstung für die Kalibrierung der Abstandsskala – Verfahren mit externer Quelle	17
Bild 4 – Aufbau zur Kalibrierung der Einfügeverzögerung des Systems	18
Bild 5 – Kalibrierung der Abstandsskala mit verketteten Fasern	22
Bild 6 – Abstandskalibrierung mit einer rückgekoppelten Verzögerungsleitung	25
Bild 7 – Durch die rückgekoppelte Verzögerungsleitung erzeugte OTDR-Kurve	26

Bild 8 – Bestimmung des Referenzpegels und des angezeigten Leistungspegels.....	29
Bild 9 – Messung der Dämpfungsproben des OTDR.....	30
Bild 10 – Bereich A, der empfohlene Bereich für Dämpfungsmessproben.....	31
Bild 11 – Mögliche Platzierung der Proben innerhalb von Bereich A.....	31
Bild 12 – Verfahren mit externer Quelle zur Prüfung der Polarisationsabhängigkeit des OTDR.....	32
Bild 13 – Reflexionsverfahren zur Prüfung der Polarisationsabhängigkeit des OTDR.....	32
Bild 14 – Dämpfungskalibrierung mit einem Fasernormal.....	34
Bild 15 – Platzierung des Anfangs von Abschnitt D_1 außerhalb der Dämpfungstotzone.....	34
Bild 16 – Dämpfungskalibrierung mit dem Verfahren mit externer Quelle.....	37
Bild 17 – Orte und Messungen bei dem Verfahren mit externer Quelle.....	39
Bild 18 – Messaufbau für die Dämpfungskalibrierung mit dem Spleißsimulator.....	40
Bild 19 – OTDR-Bildschirm mit Spleißsimulator.....	41
Bild 20 – Messung der Spleißdämpfung.....	42
Bild 21 – Dämpfungskalibrierung mit der Variante des „Faser-Endes“ des Verfahrens der Leistungsreduktion.....	45
Bild 22 – Dämpfungskalibrierung mit der Variante der „langen Faser“ des Verfahrens der Leistungsreduktion.....	45
Bild 23 – Bei der Messung des Reflexionsgrads anfallende Parameter.....	48
Bild 24 – Der gleiche Reflexionsgrad am Ende von drei Fasern mit unterschiedlichen Rückstreuparametern ergibt unterschiedliche Impulsamplituden.....	48
Bild 25 – Größt- und Kleinstwerte der Impulsamplitude ΔF	49
Bild 26 – Messbereich des Reflexionsgrads.....	50
Bild 27 – Bestimmung der Sollwerte für den angezeigten Leistungspegel und den Ort.....	50
Bild 28 – Messaufbau für die Kalibrierung des Reflexionsgrads.....	51
Bild A.1 – Rückgekoppelte Verzögerungsleitung.....	53
Bild A.2 – Messaufbau für die Messung der Schleifenlaufzeit T_b	54
Bild A.3 – Kalibrieraufbau für die Laufzeit T_a der Vorlauffaser.....	54
Bild B.1 – Bestimmung eines hochlinearen Leistungsbereichs.....	57
Bild B.2 – Prüfung der Längsgleichförmigkeit des Rückstreusignals des Fasernormals.....	58
Bild C.1 – Spleißsimulator und idealisierte OTDR-Signatur.....	60
Bild C.2 – Bestimmung der Referenzdämpfung A_{ref}	62
Bild E.1 – Beschreibung des Reflexionsgradnormals und Messkurve.....	66
Bild E.2 – Kalibrieraufbau und Referenzpunkte für die Kalibrierung.....	69
Bild F.1 – Beschreibung des Reflexionsgradnormals und Messkurve.....	72
Bild F.2 – Kalibrieraufbau und Referenzpunkte für die Kalibrierung.....	74
Bild G.1 – Zur Bestimmung des Reflexionsgrads benutzte OTDR-Signale.....	77
Bild G.2 – Aufbau zur Messung des Rückstreuoeffizienten.....	79

Tabellen

Tabelle 1 – Für die Definition des Bereichs A verwendete Dämpfungskoeffizienten.....	30
--	----

Einleitung

Als Voraussetzung für eine vollständige Kalibrierung nach den in dieser Norm beschriebenen Verfahren muss ein optisches Rückstreuemessgerät (en: optical time-domain reflectometers, OTDR) mindestens folgende Leistungsmerkmale besitzen:

- a) einen programmierbaren Brechungsindex oder einen äquivalenten Parameter;
- b) die Fähigkeit, eine Kurve mit einer logarithmischen Leistungsskala und einer linearen Abstandsskala darzustellen;
- c) zwei Markierungen, die die Dämpfung und den Abstand zwischen zwei beliebigen Punkten auf der Kurvendarstellung abbilden können;
- d) die Fähigkeit, den absoluten Abstand (Ort) zur Nullabstandsreferenz des OTDR zu messen;
- e) die Fähigkeit, den angezeigten Leistungspegel relativ zu einem Referenzpegel (z. B. dem Abschneidepegel) zu messen;
- f) die Fähigkeit den Rückstreuegrad eines reflektierenden Ereignisses zu untersuchen.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 61749 legt Verfahren für die Kalibrierung von optischen Rückstreuemessgeräten (en: optical time domain reflectometer, OTDR) für Einmoden-Fasern fest. Sie beschreibt nur Messfehler und Messunsicherheiten von OTDRs.

Diese Norm beschreibt nicht die Korrektur der OTDR-Übertragungsfunktion.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60793-1-40, *Optical fibres – Part 1-40: Measurement methods and test procedures – Attenuation*

IEC 60793-2-50, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

ITU-T Recommendation G.650.1: 2002, *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable*

ITU-T Recommendation G.650.2: 2002, *Definitions and test methods for statistical and non-linear attributes of single-mode fibre and cable*

3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die nachfolgenden Begriffe und Symbole.

ANMERKUNG Die genauen Definitionen sollten IEC 60050-731 entnommen werden.

3.1

Dämpfung Verlust

A

Rückgang der optischen Leistung in Dezibel (dB)

ANMERKUNG Wenn P_{Eingang} (W) die in ein Ende eines Faserabschnitts eintretende Leistung und P_{Ausgang} (W) die am anderen Ende austretende Leistung ist, dann ist die Dämpfung dieses Abschnitts gegeben durch:

$$A = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{Eingang}}}{P_{\text{Ausgang}}} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

[IEV 731-01-48, modifiziert]

3.2

Dämpfungskoeffizient

α

Dämpfung (3.1) einer Faser je Längeneinheit

[IEV 731-03-42, modifiziert]

3.3

Dämpfungstotzone

für ein reflektierendes oder dämpfendes Ereignis der Bereich nach dem Ereignis, für den die angezeigte Kurve von der ungestörten Rückstreuakurve um mehr als einen gegebenen vertikalen Abstand ΔF abweicht

ANMERKUNG Die Dämpfungstotzone (siehe Bild 1) hängt von den folgenden Ereignisparametern ab: dem Reflexionsgrad, der Dämpfung, dem angezeigten Leistungspegel und dem Ort. Sie kann auch von einem Faserbauteil vor dem Ereignis abhängen.

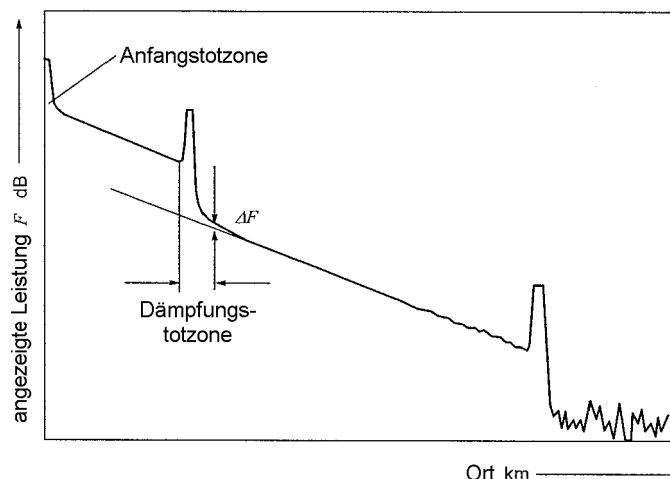


Bild 1 – Definition der Dämpfungstotzone

3.4

Rückstreuparameter

K

die rückgestreute Leistung je Einheit der eingekoppelten Leistung an einem gegebenen Punkt längs der Faser

ANMERKUNG 1 K ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$K = S \alpha_s \frac{v}{2} \text{ s}^{-1} \quad (2)$$

Dabei ist

α_s der Streukoeffizient, z. B. in m^{-1} ;

S das Rückstreu-Einfangverhältnis; es hängt von anderen üblichen Faserparametern ab, z. B. vom Modenfelddurchmesser in Einmoden-Fasern;

v die Gruppengeschwindigkeit, in m/s ,

= c/N , wobei c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und N die Gruppenbrechzahl der Faser ist.

ANMERKUNG 2 Siehe auch Anhang G.

3.5

Rückstreukoeffizient

C

für einen gegebenen Impuls das Verhältnis von rückgestreuter Leistung an der Eingangsseite der Faser zur einseitigen Impulsleistung

ANMERKUNG 1 Er repräsentiert den Rückstreuparameter für eine gegebene Impulsbreite. Der Rückstreukoeffizient ist durch den Rückstreuparameter (3.4) mit Hilfe der folgenden Gleichung definiert:

$$C(\Delta T) = K \Delta T \quad (3)$$

wobei ΔT die Impulsbreite ist, z. B. in s .

Normalerweise wird der Rückstreukoeffizient für eine gegebene Impulsbreite ΔT in dB angegeben:

$$C_{\text{dB}}(\Delta T) = 10 \log_{10}(K \Delta T) \quad (4)$$

ANMERKUNG 2 Die Impulsbreite ΔT in den vorherigen Gleichungen wird benutzt, um $C(\Delta T)$ zu normieren. Gebräuchliche Werte für ΔT sind 1 ns und $1 \mu\text{s}$. Siehe auch Anhang G.

3.6

Kalibrierung

Tätigkeiten zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen den ausgegebenen Werten eines Messgeräts und den zugehörigen bekannten Werten dieser Messgröße unter festgelegten Bedingungen

ANMERKUNG Siehe ISO/IEC Guide 99 [11] in den Literaturhinweisen.

3.7

Zentroidalwellenlänge

λ_{arg}

leistungsgewichtete mittlere Wellenlänge einer Lichtquelle im Vakuum

[IEC 61280-1-3, 2.1.4]

3.8

angezeigter Leistungspegel

F

Pegel, der auf der Leistungsskala des OTDR angezeigt wird

ANMERKUNG 1 Wenn es nicht anders festgelegt ist, wird F mit Bezug auf den Abschneidepegel definiert (siehe Bild 8).

ANMERKUNG 2 Gewöhnlich zeigt die OTDR-Skala den fünffachen logarithmischen Wert der empfangenen Leistung an zuzüglich eines konstanten Versatzes.

3.9

Abstand

D

Abstand zwischen zwei Merkmalen

ANMERKUNG Wird gewöhnlich in Meter angegeben.

3.10

Abstandsprobenfehler

ΔL_{Sample}

größter Fehler des Abstands (3.9), der dem Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Proben zugeordnet werden kann

ANMERKUNG 1 Wird gewöhnlich in Meter angegeben.

ANMERKUNG 2 Der Abstandsprobenfehler wiederholt sich von Natur aus dauernd; deshalb ist eine Möglichkeit seiner Quantifizierung die Angabe seiner Amplitude.

3.11

Abstandsskalenabweichung

ΔS_L

Differenz zwischen dem mittleren angezeigten Abstand (3.9) $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ und dem entsprechenden Referenzabstand (3.27) D_{ref} dividiert durch den Referenzabstand (3.27)

ANMERKUNG 1 Wird gewöhnlich in m/m angegeben.

ANMERKUNG 2 ΔS_L ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle - D_{\text{ref}}}{D_{\text{ref}}} = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1 \quad (5)$$

Dabei ist $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ der angezeigte Abstand auf der Faser gemittelt über mindestens einen Probenabstand.

3.12

Abstandsskalenfaktor

S_L

mittlerer angezeigter Abstand (3.9) dividiert durch den entsprechenden Referenzabstand (3.27)

ANMERKUNG S_L ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} \quad (6)$$

Dabei ist $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ der angezeigte Abstand zwischen zwei Merkmalen auf der Faser gemittelt über mindestens einen Probenabstand.

3.13

Unsicherheit der Abstandsskala

$u_{\Delta S_L}$

Unsicherheit der Abstandsskalenabweichung (3.11)

ANMERKUNG 1 Wird gewöhnlich in m/m angeben.

ANMERKUNG 2 $u_{\Delta SL}$ ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$u_{\Delta SL} = u \left(\frac{\langle D_{otdr} \rangle}{D_{ref}} - 1 \right) = u \left(\frac{\langle D_{otdr} \rangle}{D_{ref}} \right) \quad (7)$$

ANMERKUNG 3 In der obigen Gleichung ist $u()$ als die Standardunsicherheit von $()$ zu verstehen.

3.14

Dynamikbereich bei 98 % (Einweg-)

Betrag der Faserdämpfung (3.1), der ein Rückstreusignal von gleicher Größe wie der Rauschpegel bei 98 % (3.24) bewirkt

ANMERKUNG Er kann dargestellt werden durch die Differenz zwischen dem extrapolierten Punkt der Rückstreukurve (am Schnittpunkt mit der Leistungsachse) und dem in Dezibel ausgedrückten Rauschpegel, unter Benutzung einer Norm-Faser der Kategorie B (siehe IEC 60793-2-50).

3.15

Gruppenbrechzahl

N

Faktor, durch den die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum zu dividieren ist, um die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Lichtimpulsen in der Faser zu erhalten

3.16

Ort

L

Abstand zwischen der OTDR-Frontplatte und einem Merkmal auf einer Faserstrecke

ANMERKUNG Wird gewöhnlich in Meter angegeben.

3.17

Ortsabweichung

ΔL

angezeigter Ort (3.16) eines Merkmals L_{otdr} minus dem Referenzort (3.28) L_{ref}

ANMERKUNG 1 Gewöhnlich in Meter ausgedrückt.

ANMERKUNG 2 Dieser Fehler ist eine Funktion des Ortes.

3.18

Ortsversatz

ΔL_0

konstanter Term des Modells des Ortsfehlers (3.17)

ANMERKUNG 1 Wird gewöhnlich in Meter angegeben.

ANMERKUNG 2 Er entspricht ungefähr dem Ort des Steckverbinders der OTDR-Frontplatte auf der Abstandsskala des Geräts.

ANMERKUNG 3 Bei einem idealen OTDR ist der Ortsversatz gleich null.

3.19

Unsicherheit des Ortsversatzes

$u_{\Delta L_0}$

Unsicherheit des Ortsversatzes (3.18)

3.20

Unsicherheit der Ortsablesung

u_L Ablesung

Unsicherheit der Messproben des Ortes (3.16), verursacht sowohl durch den Abstandsprobenfehler (3.10) als auch die Unsicherheit Typ A der Messproben

3.21

Dämpfungsabweichung

ΔA

Differenz zwischen der angezeigten Dämpfung einer Faserkomponente A_{otdr} und der Referenzdämpfung (3.29), in dB

ANMERKUNG 1 ΔA ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$\Delta A = A_{\text{otdr}} - A_{\text{ref}} \quad (8)$$

ANMERKUNG 2 Die Dämpfungsabweichung hängt normalerweise vom angezeigten Leistungspegel F ab.

3.22

Dämpfungsunsicherheit

$u_{\Delta A}$

Unsicherheit der Dämpfungsabweichung (3.21), in dB

3.23

Dämpfungsskalenabweichung

ΔS_A

Differenz zwischen der angezeigten Dämpfung der Faserkomponente A_{otdr} und der Referenzdämpfung (3.29) A_{ref} dividiert durch die Referenzdämpfung (3.29), in dB/dB

ANMERKUNG 1 ΔS_A ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$\Delta S_A = \frac{A_{\text{otdr}} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad (9)$$

ANMERKUNG 2 Weitere Einzelheiten siehe 7.1.

3.24

Rauschpegel bei 98 %

obere Grenze eines Bereichs, der mindestens 98 % aller Rauschdaten enthält

3.25

Nichtlinearität

NL_{loss}

Differenz zwischen dem größten und dem kleinsten Wert der Dämpfungsabweichung (3.21) ΔA für einen gegebenen Bereich von Leistungspegeln, in dB

ANMERKUNG 1 Dies ist die Nichtlinearität einer logarithmischen Leistungsskala.

ANMERKUNG 2 Die Nichtlinearität ist ein Beitrag zur Dämpfungsabweichung; sie hängt normalerweise vom angezeigten Leistungspegel und vom Ort ab.

3.26

Empfangener Leistungspegel

P

Leistung, die am optischen Eingang des OTDR empfangen wird

3.27

Referenzabstand

D_{ref}

Abstand (3.9), dessen genaue Bestimmung mit Messgeräten erfolgt, deren Kalibrierung auf internationale oder nationale Normen rückführbar ist

ANMERKUNG Wird gewöhnlich in Meter angegeben.

3.28

Referenzort

L_{ref}

Ort (3.16), dessen genaue Bestimmung mit Messgeräten erfolgt, deren Kalibrierung auf internationale oder nationale Normen rückführbar ist

ANMERKUNG Wird gewöhnlich in Meter angegeben.

3.29

Referenzverlust

A_{ref}

Verlust einer Faserkomponente, deren genaue Bestimmung mit Messgeräten erfolgt, deren Kalibrierung auf internationale oder nationale Normen rückführbar ist

3.30

Reflexionsgrad

R

in dB angegebenes Verhältnis der reflektierten Leistung (in W) zur eingekoppelten Leistung (in W) an einer diskreten Stelle in einer Faserkomponente

ANMERKUNG 1 R ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$R = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{refl}}}{P_{\text{inc}}} \right) \quad (10)$$

Dabei ist

P_{refl} die reflektierte Leistung, z. B. in W;

P_{inc} die eingekoppelte Leistung, z. B. in W.

ANMERKUNG 2 In dieser Norm wird der Reflexionsgrad in Dezibel ausgedrückt.

ANMERKUNG 3 Werte des Reflexionsgrads sind negativ.

ANMERKUNG 4 Für die Zwecke dieser Norm ist das Reflexionsvermögen ρ als der lineare Wert des Reflexionsgrads definiert:

$$\rho = \frac{P_{\text{refl}}}{P_{\text{inc}}} \quad (11)$$

3.31

Reflexionsabweichung

ΔR

Differenz zwischen dem Reflexionsgrad (3.30) einer Faserkomponente R_{otdr} und dem Reflexionsgrad R_{ref} , in dB

$$\Delta R = R_{\text{otdr}} - R_{\text{ref}} \text{ dB} \quad (12)$$

3.32

effektiver Dynamikbereich (Einweg-)

Betrag der Faserdämpfung (3.1), der dazu führt, dass das Rückstreusignal gleich dem effektiven Rauschpegel (3.33) ist

ANMERKUNG Bei Annahme eines normalverteilten Rauschens kann der effektive Dynamikbereich berechnet werden, indem zum Einweg-Dynamikbereich 1,56 dB addiert werden.

3.33

effektiver Rauschpegel

quadratischer Mittelwert des Rauschens

ANMERKUNG 1 Der effektive Rauschpegel kann generell nicht am OTDR abgelesen werden oder aus den logarithmischen Daten des OTDR ermittelt werden. Der Grund dafür ist, dass die Umwandlung linearer Werte in logarithmische Werte für die Anzeige des Leistungspegels auf einer dB-Skala den negativen Teil des Rauschens beseitigt.

ANMERKUNG 2 Bei Annahme eines normalverteilten Rauschens gilt folgende Gleichung für die Beziehung zwischen Rauschpegel und effektivem Rauschpegel:

$$\text{noise}_{98} - \text{noise}_{\text{rms}} = 5 \times \log_{10} (2,053\,75) = 1,56 \text{ dB} \quad (13)$$

Dabei ist

noise_{98} der Rauschpegel bei 98 %, z. B. in dB;

$\text{noise}_{\text{rms}}$ der effektive Rauschpegel, z. B. in dB;

2,053 75 der Wert der umgekehrten Standardnormalverteilung für 98 %.

3.34

Probenabstand

Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden vom OTDR digitalisierten Datenpunkten

ANMERKUNG 1 Gewöhnlich in Meter ausgedrückt.

ANMERKUNG 2 Der Probenabstand kann möglicherweise den Informationen zur Geräteeinstellung entnommen werden. Der Probenabstand kann vom Messbereich und anderen OTDR-Einstellungen abhängen.

3.35

spektrale Breite

$\Delta\lambda_{FWHM}$

Halbwertsbreite (FWHM) des Spektrums der Quelle

[IEC 61280-1-3, modifiziert]

4 Vorbereitung der Kalibrierung

4.1 Organisation

Das Kalibrierlabor sollte die Anforderungen von ISO/IEC 17025 erfüllen.

Es sollte ein belegtes Messverfahren für jede durchgeführte Art der Kalibrierung mit schrittweisen Arbeitsanweisungen und der zu verwendenden Messeinrichtung aufgestellt werden.

4.2 Rückverfolgbarkeit

Die Anforderungen von ISO/IEC 17025 sollten erfüllt werden.

Alle für die Kalibrierung benutzten Normale müssen nach einem belegten Programm und rückverfolgbar auf nationale Labore oder akkreditierte Kalibrierlabore kalibriert werden. Es ist empfehlenswert, auf jeder hierarchischen Ebene mehr als ein Normal zu unterhalten, so dass das Verhalten des Normals durch Vergleich auf der gleichen Ebene überprüft werden kann. Es ist sicherzustellen, dass jede weitere Prüfeinrichtung, die einen wesentlichen Einfluss auf die Kalibrierergebnisse besitzt, kalibriert wird. Auf Anfrage sind diese Prüfeinrichtung und deren Stellung in der Rückverfolgbarkeitskette genau anzugeben. Die Neukalibrierungsperiode(n) ist (sind) festzulegen und aufzuzeichnen.

4.3 Vorbereitung

Falls nicht anders angegeben, sind alle Prüfungen bei einer Raumtemperatur von $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ durchzuführen. Vor der Prüfung ist den Prüfgeräten mindestens 2 Stunden Zeit zu geben, um ein Gleichgewicht mit der Umgebung zu erreichen. Dem OTDR ist eine Aufwärmphase entsprechend den Herstellervorschriften zu geben.

4.4 Prüfbedingungen

Die Prüfbedingungen umfassen üblicherweise die folgenden äußeren Bedingungen für das OTDR: Datum, Temperatur, Kombination von Steckverbinder und Adapter und die Benutzung einer Vorlaufasser.

Die Kalibrierung ist entsprechend den Herstellerspezifikationen und den Betriebsanweisungen durchzuführen. Falls machbar, ist ein Bereich von Prüfbedingungen und Parametern so zu wählen, dass die tatsächlichen Betriebsbedingungen des zu prüfenden OTDR im Betriebseinsatz nachgebildet werden. Die Parameter (z. B. Ansichtsfenster, Vergrößerung usw.) sind entsprechend den Betriebsanweisungen des Herstellers so zu wählen, dass optimale Genauigkeit und Auflösung des zu prüfenden OTDR erreicht werden.

Die Prüfbedingungen umfassen üblicherweise die folgenden OTDR-Parameter: Mittelungszeit, Impulsbreite, Probenabstand, Zentralwellenlänge. Falls nicht anders angegeben, ist die OTDR-Gruppenbrechzahl auf genau 1,46 zu setzen.

ANMERKUNG 1 Die Kalibrierergebnisse sind nur auf den bei der Kalibrierung benutzten Satz von Prüfbedingungen anwendbar.

ANMERKUNG 2 Wegen der Gefahr von schädlicher Strahlung ist sicherzustellen, dass entsprechende Bedingungen für Lasersicherheit eingerichtet und eingehalten werden. Siehe IEC 60825-1 und IEC 60825-2.

4.5 Dokumentation

Die Kalibrierzertifikate müssen die folgenden Daten und deren Unsicherheiten enthalten:

- den Ortsversatz ΔL_0 und seine Unsicherheit $\pm 2 u_{\Delta L_0}$ sowie die Abstandsskalenabweichung ΔS_L und ihre Unsicherheit $\pm 2 u_{\Delta S_L}$ oder die Ortsfehler ΔL_i und ihre Unsicherheiten $\pm 2 u_{\Delta L_i}$;
- die Dämpfungsabweichungen ΔA und ihre Unsicherheiten $\pm 2 u_{\Delta A}$ oder den Dämpfungsskalenfaktor ΔS_A und seine Unsicherheiten $\pm 2 u_{\Delta S_A}$;
- die zur Kalibrierung benutzte Messgerätekonfiguration (Impulsbreite, Messbereich, Wellenlänge, Mittelungszeit, ...);
- weitere Anforderungen an das Kalibrierzertifikat nach ISO/IEC 17025.

5 Abstandskalibrierung – Allgemeines

5.1 Allgemeines

Das Ziel der Abstandskalibrierung ist die Bestimmung der Abweichungen (Fehler) zwischen dem gemessenen und dem tatsächlichen Abstand von Punkten auf einer Faser sowie die Charakterisierung der Unsicherheiten dieser Abweichungen.

Ein OTDR misst den Ort L eines Merkmals ab dem Punkt, an dem die Faser mit dem Messgerät verbunden ist, durch Messung der Hin- und Rücklaufzeit T eines Lichtimpulses für das Erreichen des Merkmals und zurück. L wird unter Benutzung der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum c ($2,997\,924\,58 \times 10^8$ m/s) und der Gruppenbrechzahl N der Faser berechnet:

$$L = \frac{c T}{2 N} \quad (14)$$

Fehler bei der Messung von L resultieren aus Skalenfehlern, aus Abweichungen der OTDR-Zeitbasis und aus Fehlern bei der Ortsbestimmung eines Merkmals relativ zur Zeitbasis. Die Platzierung einer Markierung zur Ortsbestimmung kann entweder manuell oder automatisch durch das Gerät erfolgen. Der Fehler hängt im Allgemeinen sowohl von der Methode zur Platzierung der Markierung als auch von der Art des Merkmals ab (z. B. Punktdämpfung, eine starke Reflexion, die den Empfänger übersteuert, oder eine geringe Reflexion, die das nicht tut).

Noch größere Fehler bei der Messung von L können aus der Unsicherheit bei der Bestimmung der Gruppenbrechzahl N der Faser resultieren. Die Bestimmung von N gehört nicht zum Anwendungsbereich dieser Norm. Folglich wird in den Kalibrierverfahren nur die Fähigkeit des OTDR zur korrekten Messung von T diskutiert. Für die Anwendung dieser Norm wird ein Wert von $N = 1,46$ benutzt, und die Unsicherheit von N wird mit null angenommen.

5.2 Ortsfehlermodell

Um Ortsfehler zu charakterisieren, wird ein spezifisches Modell angenommen, das das Verhalten der meisten OTDRs beschreibt. Es sei L_{ref} der Referenzort eines Merkmals, gemessen vom Frontplatten-Steckverbinder des OTDR, und L_{otdr} sei der angezeigte Ort. Es wird angenommen, dass unter Verwendung der Mittelungsfunktion des OTDR zur Rauschreduzierung zwischen dem angezeigten Ort L_{otdr} und dem Referenzort L_{ref} der folgende funktionale Zusammenhang besteht:

$$L_{\text{otdr}} = S_L \times L_{\text{ref}} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref}}) \quad (15)$$

Dabei ist

S_L der Skalierungsfaktor, der idealerweise 1 beträgt;

ΔL_0 der Ortsversatz, der idealerweise Null ist;

$f(L_{\text{ref}})$ der Abstandsprobenfehler, der idealerweise ebenfalls null ist. Der Abstandsprobenfehler ist eine periodische Funktion mit dem Mittelwert null und einer Periode gleich dem Abstandsintervall zwischen den vom OTDR abgetasteten Punkten. Beispiel: Wenn der Ort einer starken Reflexion gemessen wird, indem eine Markierung auf den ersten digitalisierten Punkt platziert wird, der einen Signalanstieg zeigt,

und die Position der Reflexion in kleinen Schritten vergrößert wird, dann kann $f(L_{\text{ref}})$ die Kurvenform einer periodischen Rampe haben.

Gleichung (15) soll bekannte Fehler bei Ortsmessungen charakterisieren; es kann jedoch immer noch eine zusätzliche Unsicherheit Typ A vorhanden sein. Diese betrifft sowohl die Abstandsmessung als auch die Genauigkeit, mit der die den Fehler beschreibenden Parameter mit den nachfolgend beschriebenen Verfahren bestimmt werden können.

S_L und ΔL_0 können bestimmt werden, indem L_{otdr} für verschiedene Werte von L_{ref} gemessen werden und dann eine Gerade mit der Fehlerquadratmethode an die Daten angepasst wird. S_L und ΔL_0 sind die Steigung bzw. der Schnittpunkt.

Auf die gleiche Weise kann eine Linie an die Ortsfehlerfunktion, d. h. die Differenz zwischen L_{otdr} und L_{ref} , angepasst werden:

$$\Delta L = L_{\text{otdr}} - L_{\text{ref}} = \Delta S_L \times L_{\text{ref}} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref}}) \quad (16)$$

Dabei ist

ΔS_L die Steigung;

ΔL_0 der Schnittpunkt, wie in Bild 2 dargestellt.

Nach der Durchführung der linearen Approximation kann der Abstandsprobenfehler $f(L_{\text{ref}})$ bzw. seine halbe Amplitude $\Delta L_{\text{Ablesung}}$ durch Messung der Abweichung verschiedener L_{ref} -Werte von der Linie bestimmt werden. Als Amplitude des Abstandsprobenfehlers ΔL_{Probe} wird die halbe Amplitude von $f(L_{\text{ref}})$ benutzt.

In dieser Norm wird die Amplitude des Abstandsprobenfehlers ΔL_{Probe} als Teil der Unsicherheit Typ A der Ortsablesung behandelt. Das festgestellte Ergebnis für die Unsicherheit ignoriert daher die periodische Eigenschaft des Abtastfehlers, d. h., es wird nicht unterschieden zwischen den relativen Beiträgen des Abtastfehlers und der Unsicherheit Typ A.

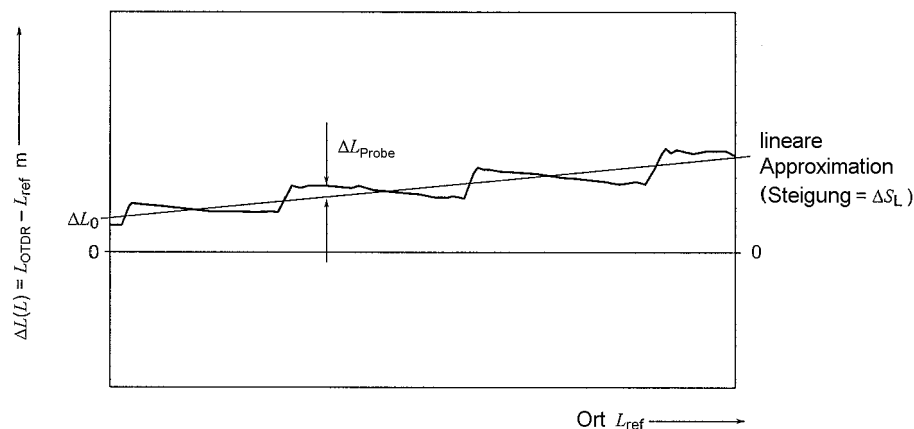


Bild 2 – Darstellung des Ortsfehlers $\Delta L(L)$

Deshalb ist das Ergebnis der Abstandskalibrierung mit den folgenden Parametern anzugeben:

$\Delta S_L, u_{\Delta S_L}$ Abstandsskalenabweichung und ihre Unsicherheit;

$\Delta L_0, u_{\Delta L_0}$ Ortsversatz und seine Unsicherheit;

u_L Ablesung Unsicherheit der Ortsablesung, d. h. kombinierte Unsicherheit aus Abstandsprobenfehler und Unsicherheit Typ A der Messproben in Form einer Standardabweichung.

In Übereinstimmung mit den „mathematischen Grundlagen“ wird zur Angabe von u_L Ablesung die größte Abweichung von der Approximation mit der Fehlerquadratmethode durch die Quadratwurzel von 3 dividiert. Es ist zu beachten, dass die Unsicherheit vom Abstand, dem angezeigten Leistungspegel und den Geräteeinstellungen abhängt.

ANMERKUNG ΔL_{Probe} gibt den physikalischen Probenfehler des Messgeräts an. Dieser Fehler stellt sich für den Anwender als u_L Ablesung dar, der die Abstandsberechnung und die Anzeigefehler einschließt.

5.3 Verwendung der Kalibrierergebnisse

Der Ortsfehler eines Merkmals $\Delta L = L_{\text{otdr}} - L_{\text{ref}}$ kann aus den Kalibrierergebnissen berechnet werden:

$$\Delta L = \Delta L_0 + L_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (17)$$

Dabei ist die Unsicherheit von ΔL durch die folgende Gleichung gegeben, in der das empfohlene Vertrauensniveau von 95 % benutzt wurde:

$$\pm 2u_{\Delta L} = \pm 2 \left(u_{\Delta L_0}^2 + L_{\text{ref}}^2 u_{\Delta S_L}^2 + u_{\text{L Ablesung}}^2 \right)^{1/2} \quad (17a)$$

wobei der angezeigte Ort L_{otdr} anstelle des Referenzortes L_{ref} ohne ernsthafte Folgen verwendet werden kann.

Auf ähnliche Weise kann der Fehler des Abstands zwischen zwei Merkmalen ΔD und seine Unsicherheit mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$\Delta D = D_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (18)$$

Dabei ist die Unsicherheit von ΔD durch die folgende Gleichung gegeben:

$$\pm 2u_{\Delta D} = \pm 2 \left(D_{\text{ref}}^2 u_{\Delta S_L}^2 + 2u_{\text{L Ablesung}}^2 \right)^{1/2} \quad (18a)$$

wobei der angezeigte Abstand D_{otdr} anstelle des Referenzabstands D_{ref} benutzt werden kann.

ANMERKUNG Die 2 vor $u_{\text{L Ablesung}}^2$ berücksichtigt die Kombination zweier unkorrelierter Unsicherheiten.

Unter Umständen müssen zusätzliche Unsicherheiten berücksichtigt werden, falls die Art des Merkmals sich von dem bei der Kalibrierung benutzten Merkmal unterscheidet. Die Art des Merkmals ist als Teil des Kalibrierergebnisses anzugeben.

5.4 Messung der Faserlänge

Wie oben ausgeführt, besteht eine der Methoden der OTDR-Abstandskalibrierung darin, Faser bekannter Länge mit dem OTDR zu messen. An einigen Stellen dieser Norm wird verlangt, die Faserlänge durch Laufzeitmessungen zu bestimmen, im Gegensatz zu einer mechanischen Längenmessung. Diese Methode ist direkt kompatibel mit dem Messprinzip des OTDR selbst. Außerdem kann die Laufzeit normalerweise mit höherer Genauigkeit gemessen werden als die mechanische Länge, vor allem wenn es sich um eine lange Faser handelt. Deshalb wird in dieser Norm vorgeschlagen, die Faser-Laufzeit anstelle der Faserlänge immer dann zu verwenden, wenn Genauigkeit wichtig ist.

Die Laufzeit T_{transit} der Faser ist zum Beispiel mit Hilfe eines Impulsgenerators, einer triggerbaren Laserquelle, eines optisch-elektrischen Wandlers (O/E-Wandler) und eines Zeitintervallzählers zu messen. Es ist wichtig, dass die Laserquelle etwa dieselbe Zentralwellenlänge λ_{zentral} wie das Prüf-OTDR hat, weil eine Differenz in der Wellenlänge wegen der chromatischen Dispersion der Faser zu einer Laufzeitdifferenz führen kann. Eine Alternative zur Laserquelle ist die Benutzung des OTDR selbst, um die optischen Impulse zu erzeugen. In diesem Fall fallen die Zentralwellenlängen automatisch zusammen. Die Laufzeit wird als Differenz zwischen den Empfangszeitpunkten mit und ohne die zwischen Laserquelle und O/E-Wandler eingefügte Faser aufgezeichnet.

Wenn eine Faser für OTDR-Abstandskalibrierungen verwendet wird, kann der Referenzabstand D_{ref} folgendermaßen berechnet werden:

$$D_{\text{ref}} = \frac{c T_{\text{transit}}}{N} \quad \text{m} \quad (19)$$

In dieser Gleichung ist eine Gruppenbrechzahl N zu verwenden, die mit der Gruppenbrechzahl-Einstellung des OTDR übereinstimmt. Das Prinzip der Zeitmessung macht es möglich, D_{ref} als Referenzabstand zu verwenden.

6 Verfahren der Abstandskalibrierung

6.1 Allgemeines

Jede der drei im Folgenden beschriebenen alternativen Kalibrierverfahren ist in der Lage, alle notwendigen Kalibrierergebnisse zu bestimmen, d. h. Ortsversatz, Abstandsskalenabweichung und die entsprechenden Unsicherheiten.

6.2 Verfahren mit externer Quelle

6.2.1 Kurzbeschreibung und Vorteil

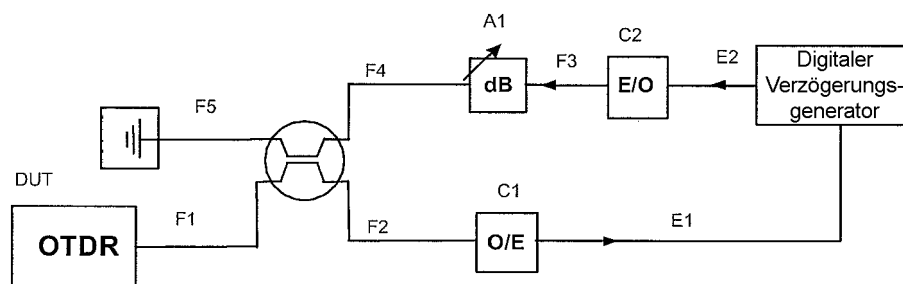
Beim Verfahren mit externer Quelle wird ein kalibrierter Zeitverzögerungsgenerator benutzt, um eine Zeitverzögerung in einer Faser zu simulieren, sowie eine optische Quelle, um das aus einer Faser reflektierte oder gestreute Signal zu simulieren.

Das Verfahren ist gut geeignet für rechnerkontrolliertes, automatisches Prüfen. Zur Vereinfachung werden in dieser Norm nur reflektierende Merkmale besprochen. Um OTDRs für andere als reflektierende Merkmale zu kalibrieren, ist der unten beschriebene gepulste O/E-Wandler nach Möglichkeit durch eine optische Quelle zu ersetzen, die das entsprechende Merkmal simuliert.

6.2.2 Ausrüstung

Zusätzlich zum OTDR umfasst die Messausrüstung wie in Bild 3 gezeigt:

- einen optischen Koppler;
- einen optisch-elektrischen Wandler;
- einen digitalen Verzögerungsgenerator mit Impulsfähigkeiten;
- einen elektrisch-optischen Wandler;
- ein einstellbares optisches Dämpfungsglied, um die Impulsamplitude auf einen Pegel knapp unterhalb des Abschneidepegels zu reduzieren.



Legende

F1, F2, F3, F4 und F5	Fasern
E1 und E2	elektrische Kabel
E/O	elektrisch-optischer Wandler
O/E	optisch-elektrischer Wandler
A1	einstellbares Dämpfungsglied
C1	optisch-elektrischer Wandler
C2	elektrisch-optischer Wandler

Bild 3 – Ausrüstung für die Kalibrierung der Abstandsskala – Verfahren mit externer Quelle

Der Koppler leitet das OTDR-Signal zum O/E-Wandler (Empfänger). Der Empfänger löst den Verzögerungsgenerator aus, der nach einer bekannten Verzögerung die Erzeugung eines optischen Impulses bewirkt. Dieser Impuls wird dann in das OTDR zurückgekoppelt.

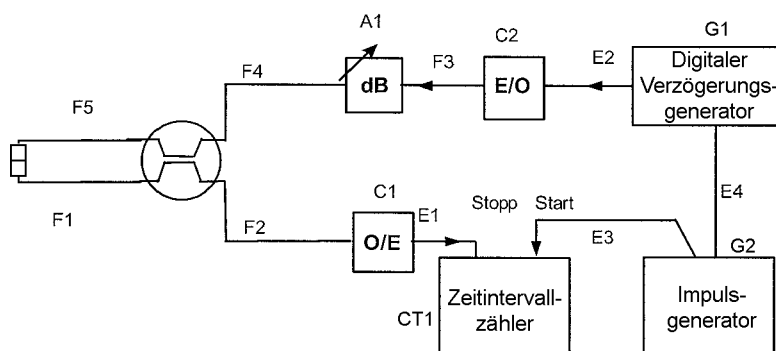
Der E/O-Wandler kann ein einfacher gepulster Laser sein, der eine Reflexion simuliert. Es wird angenommen, dass Impulsamplitude und Impulsbreite ausreichend konstant sind, um die Abstandsskala für reflektierende Merkmale zu kalibrieren. Das Dämpfungsglied jedoch erlaubt es, die Impulsamplitude entsprechend dem

Reflexionsabstand von der Frontplatte des OTDR einzustellen, um Änderungen der Reflexamplitude zu simulieren, die durch die Faserdämpfung verursacht werden.

Um eine genaue Kalibrierung des Messaufbaus zu ermöglichen, sollte die Faser F1 und die Faser F5 die gleiche Länge haben (siehe unten). F5 wird zur Absorption von Reflexionen abgeschlossen.

6.2.3 Kalibrierung der Messausrüstung

Vor dem Einsatz ist die Ausrüstung für das Verfahren mit einer externen Quelle gut zu kalibrieren. Es wird angenommen, dass der digitale Verzögerungsgenerator regelmäßig kalibriert wird. Zur Berechnung des Ortsversatzes ΔL_0 aus den Messdaten ist es auch notwendig, die Einfügeverzögerung $T_{\text{Verzögerung}}$ des Aufbaus zu bestimmen. Dies kann durch Einfügen eines Impulsgenerators und eines kalibrierten Zeitintervallzählers erreicht werden, wie in Bild 4 gezeigt.



Legende

F1, F2, F3, F4 und F5	Fasern
E1, E2, E3 und E4	elektrische Kabel
C2	elektrisch-optischer Wandler
C1	optisch-elektrischer Wandler
A1	einstellbares Dämpfungsglied

Bild 4 – Aufbau zur Kalibrierung der Einfügeverzögerung des Systems

Bei der Kalibrierung der Einfügeverzögerung $T_{\text{Verzögerung}}$ ist wie folgt vorzugehen.

Der Pulsgenerator wird auf Rechteckwellen mit einer Wiederholperiode eingestellt, die mehr als doppelt so lang ist wie die zu messende Verzögerungszeit. Der Ausgangsimpuls des Impulsgenerators ist als Startimpuls für den Zeitintervallzähler und als externer Trigger für den Verzögerungsgenerator zu benutzen. Der digitale Verzögerungsgenerator wird auf externe Triggerung und auf eine Verzögerung von null bezüglich der Vorderflanke des Impulsgeneratorsignals eingestellt. Die Triggerpegel des Verzögerungsgenerators und des Zählers sind einzustellen.

Die externe Quelle erzeugt dann einen optischen Rechteckimpuls, der nach Rückwandlung in einen elektrischen Impuls den Zeitintervallzähler stoppt. Um kleinstmögliche Unsicherheiten sicherzustellen, sollten die elektrischen Kabel E3 und E4 nach Möglichkeit die gleiche Länge haben. Ebenso sollten die Faser F1 und F5 die gleiche Länge haben. Es ist zu beachten, dass gleiche Kabelnummern in den Bildern 3 und 4 die gleichen physikalischen Kabel bezeichnen. Das optische Dämpfungsglied ist auf die beste Triggerung des Zeitintervallzählers einzustellen. Das angezeigte Zeitintervall (zwischen Start und Stopp) ist als Einfügeverzögerung $T_{\text{Verzögerung}}$ aufzuzeichnen.

6.2.4 Messverfahren

6.2.4.1 Vorbereitung

Zuerst wird das Verfahren (automatisch oder manuell) zur Lokalisierung des Merkmals am OTDR ausgewählt. Das Dämpfungsglied ist so zu programmieren, dass es die gewünschte(n) Impulsamplitude(n) erzeugt. Am digitalen Verzögerungsgenerator wird die Impulsbreite ausgewählt, z. B. 1 μs .

Um eine Mittelung über das Abstandsprobenintervall des OTDR zu erreichen, sind die Zeiteinstellungen T_i für den Verzögerungsgenerator so zu wählen, dass die Proben einigermaßen zufällig über einen großen Abstandsbereich verteilt sind. Die erste Zeiteinstellung sollte nach Möglichkeit so gewählt werden, dass der

Impuls nahe der Frontplatte des OTDR, aber weit genug außerhalb der Anfangstotzone erscheint, um eine gute Messung zu ermöglichen. Falls das Prüflabor kein anderes Abstandsprobenprogramm bestimmt und analytisch rechtfertigt, ist eines der beiden folgenden Programme zu verwenden:

- a) Beim ersten Programm wird der Probenabstand D_{Probe} (für die betreffende Geräteeinstellung des OTDR) bestimmt, z. B. durch Vergrößerung der OTDR-Kurvendarstellung. Dann wird die zugehörige Verzögerungsdifferenz des Verzögerungsgenerators T_{Probe} wie folgt berechnet:

$$T_{\text{Probe}} = \frac{2N D_{\text{Probe}}}{c} \quad (20)$$

wobei N die Einstellung der Gruppenbrechzahl am OTDR und c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist.

Dann werden insgesamt i Einstellungen des Verzögerungsgenerators berechnet, aufgeteilt auf k Gruppen von je n Einstellungen ($i = k n$), wobei jede Gruppe den Probenabstand gleichmäßig überdeckt. Jede Gruppe muss folgendermaßen aufgebaut sein:

$$T_k, T_k + \frac{T_{\text{Probe}}}{n}, T_k + 2\frac{T_{\text{Probe}}}{n}, \dots, T_k + (n-1)\frac{T_{\text{Probe}}}{n} \quad (21)$$

wobei die Zahl der Einstellungen je Gruppe n mindestens vier beträgt und für jede Gruppe gleich ist. Die Mitten der Gruppen sind gleichmäßig verteilt, von kurz hinter der Anfangstotzone bis zu dem großen Abstand, für den das Gerät zu kalibrieren ist. Die Gruppenanzahl k kann auch nur zwei betragen.

- b) Im zweiten Programm gibt es keine Gruppen, und der Probenabstand D_{Probe} muss nur näherungsweise bekannt sein. T_{Probe} ist aus Gleichung (20) zu berechnen. Die Zeiteinstellungen sind so zu wählen, dass sie gleichmäßig zwischen der Anfangstotzone und einem großen Abstand verteilt sind und zu jeder ein zufälliges Zeitintervall addiert wird. Die zufälligen Intervalle sollten nach Möglichkeit eine gleichmäßige Wahrscheinlichkeitsdichte im Intervall $-T_1$ bis T_1 besitzen, wobei T_1 mindestens $20 T_{\text{Probe}}$ beträgt, aber kleiner als 10 % der längsten Zeitverzögerung in den Prüfungen ist. Die Anzahl der Messungen i (d. h. der verschiedenen Einstellungen) sollte mindestens 20 betragen.

Alternativ kann die vorherige Kenntnis der Größe der Unsicherheit Typ A und der tolerierbaren Messunsicherheit das Prüflabor veranlassen, ein anderes systematisches oder zufälliges Programm für die Abstandsproben zu wählen.

6.2.4.2 Aufnahme der Messergebnisse

Die erste Zeiteinstellung T_1 der Serie T_i ist wie oben festgelegt zu wählen. Die Zeit T_1 des Verzögerungsgenerators sowie der mit dem OTDR gemessene Ort $L_{\text{otdr},1}$ des Ereignisses sind aufzuzeichnen. Mit den Zeiteinstellungen wird fortgefahren, wie in 6.2.4.1 ausgewählt. Jedes Mal werden die Zeit T_i und der gemessene Ort $L_{\text{otdr},i}$ aufgezeichnet. Dies wird fortgesetzt, bis alle Zeiteinstellungen abgearbeitet sind.

6.2.5 Berechnungen und Ergebnisse

Dem Konzept vom Abschnitt 5 folgend werden die Zeiteinstellungen benutzt, um i Referenzorte $L_{\text{ref},i}$ zu berechnen:

$$L_{\text{ref},i} = \frac{c(T_i + T_{\text{Verzögerung}})}{2N} \quad (22)$$

Dabei ist

- N die Gruppenbrechzahleinstellung des OTDR;
 T_i die in 6.2.3 festgelegten Zeiteinstellungen;
 $T_{\text{Verzögerung}}$ die kalibrierte Einfügeverzögerung der Prüfausrüstung (siehe 6.2.2).

Dann sind die Referenzorte und die angezeigten Orte $L_{\text{otdr},i}$ zur Berechnung des Satzes von i Ortsfehlern ΔL_i zu verwenden:

$$\Delta L_i = L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} \quad (23)$$

Zur Bestimmung des Ortsversatzes ΔL_0 und der Abstandsskalenabweichung ΔS_L werden die Ortsfehlerdaten an das vereinfachte Ortsfehlermodell angepasst (in dem der Abstandsprobenfehler vorübergehend vernachlässigt wird):

$$\Delta L_{i, \text{Modell}} = \Delta S_L L_{\text{ref}, i} + \Delta L_0 \quad (24)$$

Konkret wird die Differenz zwischen dem Modell und den Daten unter Benutzung des Kriteriums der Fehlerquadrate minimiert, d. h., ΔS_L und ΔL_0 werden so gewählt, dass die Summe

$$\sum_i (\Delta L_i - \Delta S_L L_{\text{ref}, i} - \Delta L_0)^2 \quad (25)$$

minimal wird. Die aus dem Näherungsverfahren erhaltenen Werte für ΔL_0 und ΔS_L sind aufzuzeichnen.

Wie in Bild 2 stellt die Steigung der linearen Approximation die Abstandsskalenabweichung ΔS_L dar. Der Schnittpunkt mit der vertikalen Achse repräsentiert den Ortsversatz ΔL_0 . Die aus der Rechnung erhaltenen Werte für ΔS_L und ΔL_0 sind aufzuzeichnen.

6.2.6 Messunsicherheit

6.2.6.1 Allgemeines

Eine allgemeine Diskussion der Abstandsunsicherheiten wird im Abschnitt 5 durchgeführt.

Es ist zu beachten, dass die folgende Liste von Unsicherheiten keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Möglicherweise müssen abhängig vom Messaufbau und Verfahren weitere Beiträge in Betracht gezogen werden. Zur Berechnung und Angabe der Unsicherheiten sollten nach Möglichkeit die mathematischen Grundlagen in Anhang D verwendet werden.

6.2.6.2 Unsicherheit der Abstandsskala

Die in 6.2.5 dargestellte Approximation mit der Fehlerquadratmethode benutzt die angezeigten Abstände zwischen den Messproben zur Berechnung der Abstandsskalenabweichung. Es wird angenommen, dass die Messproben in der Nähe von $L = 0$ und nahe dem größten Abstand $L = L_{\text{max}}$ den größten Einfluss auf die Abstandsskalenabweichung haben, denn die Proben in der Mitte des Bereichs haben keinen Einfluss auf die Steigung des Abstandsfehlermodells.

Die Anwendung der Standardgleichung für die Fehlerfortpflanzung auf Gleichung (7) liefert die Unsicherheit der Abstandsskala $u_{\Delta S_L}$, wobei $\langle D_{\text{otdr}} \rangle \cong D_{\text{ref}}$ benutzt wurde.

$$u_{\Delta S_L} \cong \left[\left(\frac{u_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}}{\langle D_{\text{otdr}} \rangle} \right)^2 + \left(\frac{u_{D_{\text{ref}}}}{D_{\text{ref}}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{m/km} \quad (26)$$

Dabei ist

$D_{\text{otdr}} = D_{\text{ref}} \approx L_{\text{ref}}$ (für die hier besprochenen großen Abstände);

$u_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}$ die Standardabweichung, die die Unsicherheit der Abstandsproben (auf der Basis von Ortsproben) ausdrückt;

$\frac{u_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}}{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}$ die Darstellung der Unsicherheit der Steigung aufgrund von ungenauen Abstandsablesungen;
sie ist gleich der Standardabweichung der Steigung ΔS_L im Ortsfehlermodell von Gleichung (16), wobei die Unsicherheit der Markierungsplatzierung und der Abstandsprobenfehler mit eingeschlossen sind; $u_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}$ kann mit dem für die Bestimmung von ΔS_L benutzten Fehlerquadratalgorithmus ermittelt werden; falls anwendbar, kann ΔL_i über den entsprechenden Probenabstand gemittelt werden;

$u_{D_{\text{ref}}}$ die Unsicherheit der Referenzabstände;

u_{Dref}/D_{ref} die Darstellung der durch den digitalen Verzögerungsgenerator verursachten Steigungsunsicherheit; sie ist gleich der relativen Zeitunsicherheit des Verzögerungsgenerators.

6.2.6.3 Unsicherheit des Ortsversatzes

Der Ortsversatz ΔL_0 ist gleich dem Schnittpunkt der Approximation mit der Fehlerquadratmethode mit der vertikalen Achse. Dieser Schnittpunkt hängt hauptsächlich von den ersten Proben ab, d. h. von den Proben, die dem Ort $L = 0$ am nächsten sind, und von der Genauigkeit der Einfügeverzögerung $T_{Verzögerung}$.

Die Unsicherheit des Ortsversatzes $u_{\Delta L0}$ kann mit der Standardgleichung für die Fehlerfortpflanzung bestimmt werden:

$$u_{\Delta L0} = \left[u\sigma_{\Delta L}^2 + \left(\frac{c}{2N} \right)^2 u_{T_{Verzögerung}}^2 \right]^{1/2} \quad (27)$$

Dabei ist

$u_{\Delta L}$ die Unsicherheit der Differenzen zwischen ΔL_i und der Approximation mit der Fehlerquadratmethode in der Nähe von $L = 0$; dies schließt die Unsicherheit der Markierungsplatzierung und den Abstandsprobenfehler mit ein; sie ist gleich der Standardabweichung von $(\Delta L_i - \Delta L_{i,Modell})$ in der Nähe von $L = 0$; falls anwendbar, kann ΔL_i über das entsprechende Abstandsprobenintervall gemittelt werden; der zur Bestimmung von ΔL_0 benutzte Fehlerquadratalgorithmus kann zur Bestimmung von $\sigma_{\Delta L}$ benutzt werden;

$u_{T_{Verzögerung}}$ die Unsicherheit der Einfügeverzögerung des Systems; es wird angenommen, dass die erste Zeiteinstellung sehr kurz oder sogar null ist; dies reduziert die Unsicherheit des Verzögerungsgenerators auf nur eine der Einfügeverzögerungen.

6.2.6.4 Unsicherheit der Ortsablesung

Wie in Abschnitt 5 angegeben, ist die größte Differenz zwischen den Ortsfehlerproben ΔL_i und der Approximation mit der Fehlerquadratmethode in der Nähe von $L = 0$ zu bestimmen. Dann wird die Unsicherheit der Ortsablesung $u_{L \text{ Ablesung}}$ (welche den Abstandsprobenfehler einschließt) berechnet, indem die größte Differenz durch die Quadratwurzel von 3 dividiert wird. Alternativ kann $u_{L \text{ Ablesung}}$ entweder mit dem für die Bestimmung von ΔS_L und ΔL_0 benutzten Fehlerquadratalgorithmus oder mit der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$u_{L \text{ Ablesung}} = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \Delta L_{i, Modell})^2 \right]^{1/2} \quad (28)$$

6.3 Verfahren mit verketteten Fasern

6.3.1 Kurzbeschreibung und Vorteile

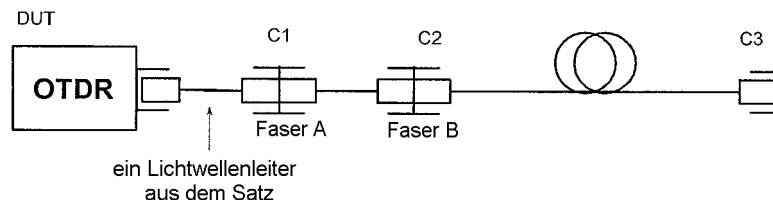
Bei diesem Verfahren werden kalibrierte Fasern benutzt, deren Laufzeit bei der Wellenlänge des Prüf-OTDR präzise gemessen wurde, um die Abstandsskala zu kalibrieren.

Dieses Verfahren benötigt lediglich miteinander verbundene Faserstücke und ist deswegen sowohl preiswert als auch gut geeignet für die Prüfung an Orten, an die die in 6.2 benutzte Ausrüstung nicht gebracht werden kann. Sie kann als manuelles Verfahren betrachtet werden, denn sie erfordert das wiederholte Verbinden und Trennen kurzer Faserstücke, um die Orte von Merkmalen zu variieren. Falls gewünscht, kann dieser Prozess jedoch durch die Verwendung von optischen Schaltern automatisiert werden.

6.3.2 Ausrüstung

Zusätzlich zum OTDR umfasst die Messausrüstung, wie in Bild 5 gezeigt:

- Faser A zur Bestimmung des Ortsversatzes;
- Faser B zur Bestimmung der Abstandsskalenabweichung;
- einen Satz von Faserstücken zur Bestimmung des Abstandsprobenfehlers.



Legende

C1, C2 und C3 optische Steckverbinder

Bild 5 – Kalibrierung der Abstandsskala mit verketteten Fasern

Normalerweise werden diese Fasern zum Schutz verkabelt oder mit einer Umhüllung versehen und zum leichten Verbinden und Lösen mit Steckverbindern ausgerüstet. Alternativ können sie mit einem faser-optischen Schaltmechanismus versehen werden, der keine Steckverbinder benötigt.

Die Anforderungen an diese Fasern sind:

- Faser A darf ein einfacher Faser mit Endreflexion oder eine Faser mit interner Reflexion oder Spleiß sein. Seine Länge ist nicht besonders wichtig, solange er das zu messende Merkmal an eine Stelle der Rückstreucurve bringt, die im Wesentlichen ungestört von der (den) anfänglichen Reflexion(en) in der Nähe des OTDR-Anschlusses ist.

Faser A kann, wie oben beschrieben, aufgeteilt werden in ein kurzes Rangierkabel und ein Stück mit Steckverbindern an den Enden, wie zuvor beschrieben. Auf diese Weise können die Faserstücke (siehe unten) nach dem ersten Abschnitt des Fasers A ohne Zugang zur Frontplatte des OTDR eingefügt werden. Die Reflexion von den Steckverbindern am nahen Ende muss so gering sein, dass eine Platzierung des Merkmals am Ende von Faser A in der Totzone des OTDR vermieden wird.

Diese Alternative kann für automatisierte Systeme wichtig sein.

Faser A wird auch als Vorlauffaser zur Messung der Abstandsskalenabweichung mit Hilfe von Faser B eingesetzt.

- Faser B muss reflektierende Enden haben, z. B. durch Verwendung der Reflexionen der Steckverbinder. Da die Unsicherheit durch Verlängern dieses Fasers verringert wird, wird für Faser B eine Länge von mindestens 2 km empfohlen.

Zur Kalibrierung des Fasers wird seine optische Laufzeit T_b gemessen, wie in Abschnitt 5 beschrieben.

Achtung: Für eine korrekte Abstandskalibrierung sollten die Reflexionen von den beiden Enden des Fasers B (Steckverbinder C2 und C3) nach Möglichkeit etwa gleich groß sein. Falls zum Beispiel ein Ende eine Reflexion erzeugt, die das OTDR sättigt, und das andere dies nicht tut, dann kann der Unterschied in der Kurvenform zu ungenauen Abstandsmessungen führen. Falls die Faser lang ist, wird die Auswirkung dieser Differenz auf die gemessene Abstandsskalenabweichung jedoch klein sein.

- Wenn das Abstandsprobenintervall vom Hersteller nicht genau bekannt gegeben wird und ein großer Wert erwartet werden kann, wird der Satz von verlängernden Faserstücken benutzt, um die Orte der beiden Reflexionen auf der langen Faser B um Beträge zu variieren, die kleiner als das Abstandsprobenintervall des OTDR sind. Ihre Längen sollten so gewählt werden, dass mindestens vier Abstandsstufen erzeugt werden, die gleichmäßig über das Abstandsprobenintervall verteilt sind. Wenn zum Beispiel das Abstandsprobenintervall 10 m beträgt, kann dies mit zwei Fasern der Länge 2,5 m und 5 m erreicht werden. Einzeln und in Kombination können sie Verlängerungen von 0 m (kein Faser), 2,5 m, 5 m und 7,5 m (beide Fasern) erzeugen. Allgemein sollten die Faser folgende Längenabstufungen erzeugen:

$$0, D_x, 2D_x, \dots, (n-1) D_x \quad (29)$$

Dabei ist

$n \geq 4$ und

$n D_x$ gleich dem Abstandsprobenintervall des OTDR unter den zu prüfenden Bedingungen.

Außer in ungewöhnlichen Fällen ist eine Laufzeitkalibrierung dieser Faser entsprechend Abschnitt 5 nicht erforderlich. Stattdessen sollte ihre physikalische Länge gemessen werden. Die Differenz zwischen der wahren Gruppenbrechzahl und der Gruppenbrechzahleinstellung des OTDR ist für so kurze Fasern vernachlässigbar.

6.3.3 Messverfahren

6.3.3.1 Allgemeines

Der Beitrag des zufälligen Rauschens zum Ortsfehler ist üblicherweise klein, es sei denn, der angezeigte Leistungspegel kommt in die Nähe der Rauschgrenze des Geräts. In diesen Fällen wird eine längere Mittelung durch das OTDR empfohlen.

6.3.3.2 Vorbereitung

Die Art des Merkmals (innerhalb oder am Ende von Faser A), für das der Ortsversatz bestimmt werden muss, ist zu wählen, und die Fasern sind entsprechend zu wählen. Ebenso ist das (automatische oder manuelle) Verfahren zur Platzierung der Markierungen auf das Merkmal in Faser A und auf die reflektierenden Enden von Faser B einzustellen.

Faser A wird mit dem OTDR verbunden, so dass das Merkmal an oder in der Nähe des entfernten Endes auf dem OTDR sichtbar wird. Faser B wird mit dem fernen Ende von Faser A verbunden, so dass die Reflexionen von beiden Enden von Faser B auf dem OTDR gesehen werden können.

6.3.3.3 Durchführung der Messungen

Der Ort des Merkmals auf Faser A wird mit dem OTDR gemessen. Dieser erste gemessene Ort wird als $L_{\text{otdr},1}$ aufgezeichnet. Die Länge von Faser B wird mit dem OTDR unter Benutzung der beiden von dieser Faser verursachten Reflexionen gemessen. Dieser erste gemessene Abstand wird als $D_{\text{otdr},1}$ aufgezeichnet.

Das kürzeste Faserstück wird zwischen dem OTDR und dem Anfang von Faser A eingefügt. Der Ort $L_{\text{otdr},2}$ und der Abstand $D_{\text{otdr},2}$ werden gemessen. Falls Faser A eine geteilte Faser ist, wie in 6.3.2 beschrieben, können die Faserstücke an der Trennstelle anstatt zwischen dem OTDR und dem Anfang eingefügt werden.

Das Einfügen von immer längeren Kombinationen von Faserstücken wird fortgesetzt. Die Orte $L_{\text{otdr},i}$ und die Abstände $D_{\text{otdr},i}$ werden gemessen, bis $i = n$ ist und die Gesamtlänge der Faserstücke $(n - 1) D_x$ beträgt.

6.3.4 Berechnungen und Ergebnisse

6.3.4.1 Abstandsskalenabweichung

Der Abstand $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ (die Länge von Faser B) ist als der Mittelwert der n Werte von $D_{\text{otdr},i}$ zu berechnen. Dann wird die Abstandsskalenabweichung berechnet aus:

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1 = \frac{N \langle D_{\text{otdr}} \rangle}{c T_b} - 1 \quad (30)$$

Dabei ist

D_{ref} Referenzabstand;

N Gruppenbrechzahleinstellung des OTDR;

T_b einfache Laufzeit für Faser B, entsprechend Abschnitt 5 gemessen.

6.3.4.2 Ortsversatz

Es sei $\langle L_{\text{otdr}} \rangle$ der Mittelwert aller n Werte von $L_{\text{otdr},i}$. Der Ortsversatz ist auf der Basis von Gleichung (16) zu berechnen:

$$\Delta L_0 = \langle L_{\text{otdr}} \rangle - (1 + \Delta S_L) \langle L_{\text{ref}} \rangle \quad (31)$$

$$\Delta L_0 = \langle L_{\text{otdr}} \rangle - (1 + \Delta S_L) \left(\frac{c T_a}{N} + \frac{(n-1) D_x}{2} \right)$$

Dabei ist

- $\langle L_{\text{ref}} \rangle$ mittlere Referenzort für die erste Reflexion, zu berechnen mit Hilfe der mittleren Länge der Faserstücke;
- N Gruppenbrechzahleinstellung des OTDR;
- T_a einfache Laufzeit für Faser A, gemessen nach Abschnitt 5;
- ΔS_L Abstandsskalenabweichung, bestimmt mit Gleichung (30); falls Faser A kurz genug ist, kann der Term ΔS_L vernachlässigt werden.

6.3.5 Messunsicherheit

6.3.5.1 Allgemeines

Eine allgemeine Diskussion der Abstandsunsicherheiten erfolgt in Abschnitt 5. Es ist zu beachten, dass die folgende Liste von Unsicherheiten keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Möglicherweise müssen abhängig vom Messaufbau und Verfahren weitere Beiträge in Betracht gezogen werden.

Zur Berechnung und Angabe der Unsicherheiten sollten die mathematischen Grundlagen in Anhang D verwendet werden.

6.3.5.2 Unsicherheit der Abstandsskala

Die Unsicherheit der Abstandsskala $u_{\Delta SL}$ sollte mit folgender, aus Gleichung (30) abgeleiteter Gleichung berechnet werden:

$$u_{\Delta SL} = \left[\left(\frac{u_{D_{\text{otdr}}}}{D_{\text{otdr}}} \right)^2 + \left(\frac{u_{T_b}}{T_b} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ m/km} \quad (32)$$

Dabei ist $u_{D_{\text{otdr}}}$ die Unsicherheit der angezeigten Länge von Faser B, z. B. verursacht durch die Unsicherheit der Platzierung der Markierung und den Abstandsprobenfehler.

Die Unsicherheit der Laufzeit von Faser B, σ_{T_b} , sollte ihrerseits durch den quadratischen Summenwert folgender Beiträge bestimmt werden:

- $u_{T_b, \text{Zähler}}$ Laufzeitunsicherheit von Faser B, verursacht durch den Zeitintervallzähler;
- $u_{T_b, \lambda}$ Laufzeitunsicherheit von Faser B aufgrund der Differenz zwischen der bei der Bestimmung der Laufzeit verwendeten Wellenlänge und der Wellenlänge des OTDR;
- $u_{T_b, \Theta}$ Laufzeitunsicherheit von Faser B aufgrund des Temperaturkoeffizienten der Laufzeit; ein typischer Wert ist 1 cm/(km °C).

6.3.5.3 Unsicherheit des Ortsversatzes

Die Unsicherheit des Ortsversatzes $u_{\Delta L_0}$ sollte mit der folgenden, von Gleichung (31) abgeleiteten Gleichung bestimmt werden, unter Vernachlässigung der Terme ΔS_L und $(n-1) D_x/2$:

$$u_{\Delta L_0} = \left[u_{L_{\text{otdr}}}^2 + \left(\frac{c}{N} \right)^2 u_{T_a}^2 \right]^{1/2} \quad (33)$$

Dabei ist $u_{L_{\text{otdr}}}$ die Unsicherheit der Ortsmessung des Merkmals am Ende (oder innerhalb) von Faser A, d. h. hauptsächlich die Unsicherheit der Markierungsplatzierung; es wird angenommen, dass der Abstandsprobenfehler durch die Mittelung über einen Probenabstand wirksam unterdrückt wird.

Die Unsicherheit der Laufzeit von Faser A, u_{T_a} , sollte ihrerseits durch den quadratischen Summenwert folgender Beiträge bestimmt werden: