DIN EN 4533-002

DIN

ICS 49.060

Einsprüche bis 2017-08-23
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 4533-002:2008-02

Entwurf

Luft- und Raumfahrt – Faseroptische Systemtechnik – Handbuch – Teil 002: Prüfung und Messung; Deutsche und Englische Fassung FprEN 4533-002:2017

Aerospace series –
Fibre optic systems –
Handbook –
Part 002: Test and measurement;
German and English version FprEN 4533-002:2017

Série aérospatiale –
Systèmes des fibres optiques –
Manuel d'utilisation –
Partie 002: Essais et mesures;
Version allemande et anglaise FprEN 4533-002:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-06-23 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nl@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 106 Seiten

DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

© DIN Deutsches Institut für Normung e. V. · Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.
Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

Preisgruppe 21
www.din.de
www.beuth.de

Documents
Document Sharing Hub
2683078

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

Nationales Vorwort

Der Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie Normung (ASD-STAN) ist vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) für zuständig erklärt worden, Europäische Normen (EN) für das Gebiet der Luft- und Raumfahrt auszuarbeiten. Durch die Vereinbarung vom 3. Oktober 1986 wurde ASD Assoziierte Organisation (ASB) des CEN.

Das vorliegende Dokument (FprEN 4533-002:2017) wurde von ASD-STAN, Fachbereich Elektrotechnik, unter Mitwirkung deutscher Experten des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) erarbeitet.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 131-04-10 AA „LWL und LWL-Komponenten“ im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL).

Entsprechend Beschluss 57/9 des Technischen Ausschusses des Beirats des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) sind die europäischen Luft- und Raumfahrt-Normungsergebnisse zweisprachig, in Deutsch und Englisch, in das Deutsche Normenwerk zu überführen. Aus diesem Grund wurde der Deutschen Fassung dieses Dokuments die Englische Fassung hinzugefügt.

Es wird darauf hingewiesen, dass auf Grund der Verfahrensweise zur Normenerstellung bei ASD-STAN dieser Norm-Entwurf E DIN EN 4533-002 ausschließlich der formellen Annahme der deutschen Sprachfassung von EN 4533-002 dienen kann. Im Rahmen dieser Umfrage sind daher ausschließlich redaktionelle Stellungnahmen zur deutschen Übersetzung möglich.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 4533-002:2008-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Die Norm wurde grundlegend überarbeitet, die Struktur geändert;

b) Abschnitt 3 stellt eine Übersicht über die verschiedenen Faserarten zur Verfügung;

c) Abschnitt 4 behandelt die Schlüsselparameter bei Prüfung und Messung;

d) Abschnitt 5 beinhaltet Prüfung und Messung in Einmodensystemen, Abschnitt 6 in Mehrmoden-systemen;

e) Abschnitt 7 beschäftigt sich mit dem Prüfen der Netzwerkpfade mittels Reflektometern in den beiden Arten OTDR und OFDR („Optical Time Domain Reflectometer“ und „Optical Frequency Domain Reflectometer“) und dem Footprinting;

f) Abschnitt 8 beinhaltet Faktoren, die neben den Einkopplungsbedingungen wichtig für präzise und wiederholbare Messungen in Lichtwellenleitersystemen sind;

g) Abschnitt 9 beschreibt allgemeine Abläufe zur Messung der Einfügungsdämpfung und des Rückstreuverlustes;

h) Abschnitt 10 enthält Empfehlungen für aufzuzeichnende Parameter bei vorgenommenen Messungen,

i) Abschnitt 11 bietet einen Überblick über Techniken der Systemkonstruktion.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

– Entwurf –

ASD/TC

Datum: 2017-04

FprEN 4533-002:2017

ASD/TC

Sekretariat: ASD-STAN

Luft- und Raumfahrt — Faseroptische Systemtechnik — Handbuch — Teil 002: Prüfung und Messung

Série aérospatiale — Systèmes des fibres optiques — Manuel d'utilisation — Partie 002 : Essais et mesures

Aerospace series — Fibre optic systems — Handbook — Part 002: Test and measurement

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: formelle Abstimmung
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.8l

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort **3**
Einleitung **4**
1 Anwendungsbereich **5**
2 Normative Verweisungen **5**
3 Faserarten **5**
4 Prüfung und Messung: Schlüsselparameter **7**
5 Prüfung und Messung in Einmodensystemen **12**
6 Prüfung und Messung in Mehrmodensystemen **13**
7 Prüfen der Netzwerkpfade: Reflektometrie und Footprinting **24**
8 Allgemeine Erwägungen zur Prüfung und Messung in Lichtwellenleitersystemen **32**
9 Praktische Prüfverfahren **36**
10 Aufzeichnungsparameter **45**
11 Techniken für die Systemkonstruktion **45**
12 Anhang: Matrizen **48**

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 4533-002:2017) wurde vom Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie – Normung (ASD-STAN) erstellt.

Nachdem Umfragen und Abstimmungen entsprechend den Regeln dieses Verbandes durchgeführt wurden, hat diese Norm die Zustimmung der nationalen Verbände und offiziellen Behörden der Mitgliedsländer der ASD erhalten, bevor sie CEN vorgelegt wurde.

Dieses Dokument ist derzeit zur formellen Abstimmung vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 4533-002:2006 ersetzen.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

Einleitung

a) Das Handbuch

Der Zweck dieses Handbuchs ist die Bereitstellung allgemeiner Leitlinien sowohl für Fachleute als auch für Laien auf dem Gebiet der Konstruktion, Installation und Unterstützung von LWL-Systemen in Luftfahrzeugen. An gegebener Stelle wird im gesamten Text auf detailliertere Datenquellen verwiesen.

Das Handbuch ist in 4 Teile gegliedert, die sich auf grundlegende Aspekte der Lebensdauer eines optischen Kabelbaums beziehen, und zwar:

Teil 001: Anschlussverfahren und Werkzeuge

Teil 002: Prüfung und Messung

Teil 003: Verfahren zur Fertigung und Installation von Leitungsbündeln

Teil 004: Reparatur, Instandhaltung, Reinigung und Inspektion

b) Hintergrund

In der Luft- und Raumfahrtindustrie ist die Tatsache allgemein akzeptiert, dass Photonentechnologie wesentliche Vorteile gegenüber konventioneller elektrischer Gerätetechnik aufweist. Dazu gehören eine massive Signal-Bandbreitenkapazität, elektrische Sicherheit und die elektromagnetische Störfestigkeit (EMI) von passiven LWL-Bauteilen. Auch wesentliche Gewichtseinsparungen lassen sich im Vergleich zu elektrischen Kabelbäumen realisieren, welche unter Umständen einer starken Abschirmung bedürfen. Bis heute besteht darin die kritische Antriebskraft für LWL-Kommunikationssysteme in der Luft- und Raumfahrt aufgrund der zunehmenden Verwendung von nicht metallischen Flugzeugstrukturen. Künftige Anforderungen für die Luft- und Raumfahrt treiben die Bandbreitenspezifikationen in einigen Fällen von zweistelligen Werten im Mbit/s-Bereich in den Multi-Gbit/s-Bereich, d. h. jenseits der Grenzen elektrischer Anschlusstechnologie. Die Eigenschaften der Photonentechnologie können in vielen Luftfahrtanwendungen potenziell vorteilhaft eingesetzt werden, sowohl z. B. bei Video-/Messfühler-Mehrfachbetrieb, Funksignalen für die Flugüberwachung, elektronischer Kriegsführung sowie Unterhaltungssystemtechnik als auch bei der Messung von vielen, an Bord eines Luftfahrzeugs auftretenden, physikalischen Phänomenen.

Das Grundmaterial optischer Verbindungen oder der „optische Kabelbaum“ ist der Schlüssel für die erfolgreiche Einführung optischer Technologie bei kommerziellen und militärischen Luftfahrzeugen. Im Vergleich zu ausgereiften Telekommunikationsanwendungen müssen Lichtwellenleitersysteme für Luftfahrzeuge in einer feindlichen Umgebung (z. B. bei extremen Temperaturen, Feuchtigkeit, Vibrationen und Verunreinigung) betrieben werden, und sie beinhalten zusätzliche physikalische Einschränkungen durch das Luftfahrzeug (z. B. Kabelbaumhalterungen, erforderliche enge Biegeradien und Gehäuse-verbindungen). Bis vor kurzem waren die optische Kabelbaumtechnologie und damit verbundene Verfahrensweisen für die Anwendung ohne große Systemreserve unzureichend entwickelt. Darüber hinaus wurden viele Aspekte der Lebensdauer in den Internationalen Normen nicht angemessen behandelt. Der Mangel an angenommenen Normen führt zu luftfahrtspezifischer Gerätetechnik und Unterstützung. Diese Faktoren beinhalteten gemeinsam einen wesentlichen Kostennachteil (Kosten für Anschaffung und Unterhalt), die die Wettbewerbsfähigkeit von optischen Kabelbäumen gegenüber äquivalenter Elektrotechnik häufig verringerten. Mit der Einführung von eher standardisierten Arten von Lichtwellenleitern (nach Telekommunikationsart) für Kabel in der Luft- und Raumfahrt und der Verfügbarkeit von handelsüblichen Produkten (COTS) in besonders robuster Bauweise ändert sich diese Situation. Diese verbesserten Entwicklungen waren aufgrund der signifikanten Kollaboration in Sachen Forschung zwischen Herstellern von Komponenten, den Herstellern von Einrichtungen sowie den Flugzeugfirmen als Endkunden letztlich möglich.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

1 Anwendungsbereich

Dieses Handbuch untersucht die Anforderungen einer akkuraten Messung von Lichtwellenleiterverbindungen ab dem Beginn der Gebrauchsdauer, im Verlauf des Lebenszyklus des Systems, beginnend bei dessen Installation. Teil 2 erläutert spezifische Sachverhalte und Probleme in Bezug auf die Messung optischer Verbindungen und liefert Techniken zur Behandlung dieser Probleme. Dieses Dokument erläutert die Messung von Schlüsselparametern in Bezug auf die passive Schicht (d. h. Lichttransmission durch einen optischen Kabelbaum). Es behandelt keine Systemprüfungen, beispielsweise Bitfehlerraten.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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).

EN 2591-601, *Luft- und Raumfahrt — Elektrische und optische Verbindungselemente; Prüfverfahren — Teil 601: Optische Elemente; Einfügungsdämpfung*

EN 4533-001, *Luft- und Raumfahrt — Faseroptische Systemtechnik — Handbuch — Teil 001: Anschlussverfahren und Werkzeuge*

EN 4533-003, *Luft- und Raumfahrt — Faseroptische Systemtechnik — Handbuch — Teil 003: Verfahren zur Fertigung und Installation von Leitungsbündeln*

EN 4533-004, *Luft- und Raumfahrt — Faseroptische Systemtechnik — Handbuch — Teil 004: Reparatur, Instandhaltung, Reinigung und Inspektion*

3 Faserarten

Dieser Abschnitt liefert eine kurze Übersicht hinsichtlich der verschiedenen Arten von Fasern, welche in der Luft- und Raumfahrtindustrie verwendet werden. Historisch betrachtet, wurden zuerst Mehrmodenfasern mit großem Faserkern und Stufenindexprofil an Bord von Luftfahrzeugen eingesetzt. Zum Zeitpunkt von deren Auslegung, erlaubten diese Fasern eine ausreichende Datenbandbreite und der große Faserkern ermöglichte eine einfache Kopplung (des Lichts) durch die Fasern sowie eine einfache Ausrichtung der Fasern in Steckverbindern (auch als Verbindungselemente bezeichnet). Daher sind in einigen aktuellen Systemen sowie Altsystemen (Legacy-Systeme) Kabelbäume von Lichtwellenleitern zu finden, die auf Fasern mit großem Faserkern basieren. Gebräuchliche Fasertypen mit größerem Kern umfassen die Maße 200/280 µm, 200/300 µm und 100/140 µm (wobei die Notation auf die Größe des Faserkerns/des Fasermantels hinweist).

Verbesserungen in der Bandbreite (hauptsächlich herbeigeführt durch eine reduzierte zeitliche Streuung) bei Mehrmodenfasern sind durch den Einsatz von Fasern mit Gradientenindexprofil möglich. In einfachen Worten ausgedrückt, erlaubt das Brechzahlprofil mit Gradientenindex einen Ausgleich der verschiedenen optischen Pfade durch eine Mehrmodenfaser, um eine Pulsverteilung (Streuung) im Verlauf der Zeit zu reduzieren. Dies führt zu höheren Bandbreiten im Vergleich zu Brechzahlprofilen mit Stufenindex. Bei frühen Fasern mit Gradientenindex, welche in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt wurden, kamen Fasern der Größe 100/140 µm zum Einsatz.

In der jüngeren Vergangenheit wurden auch Fasergrößen, die in der Telekommunikation und Datenkommunikation gebräuchlich sind, für die Luft- und Raumfahrt eingesetzt. Mehrmodenfasern der Größen 62,5/125 µm und 50/125 µm und mit einem Gradientenindexprofil werden mittlerweile für die Datenübertragung sowohl auf zivilen als auch militärischen Luftfahrzeugen eingesetzt. Dies umfasst sowohl Starrflügler als auch Hubschrauber. Fasern sind mit verschiedenen Bandbreiten verfügbar. Mehrmodenfasern werden werden mit der OM-Kennzeichnung (en: optical multimode) bezeichnet. OM1 bezeichnet eine

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

Fasergröße von 62,5/125 µm, OM2, OM3 und OM4 bezeichnen Fasergrößen von 50/125 µm mit steigender Bandbreite. Der Einsatz dieser Fasergrößen (insbesondere der Fasern mit einem Außendurchmesser von 125 µm) ermöglicht den Einsatz von Teilen aus der Volumenproduktion (z. B. Keramik-Führungsferrulen) der Telekommunikationsindustrie.

Wie im weiteren Verlauf dieses Dokuments detailliert erläutert wird, liegt das Problem bei der Prüfung und Messung von Mehrmodensystemen in der Verkomplizierung durch die Lichtverteilung innerhalb der Faser und der relativ kurzen Distanzen eingebauter Fasern, welche üblicherweise über mehrere separate Steckverbinder im geknickten Pfad des Kabelbaums verfügen (z. B. Steckverbinder an Knickpunkten der Flugzeugzelle). Die in die Faser eingeleitete Lichtverteilung ist bei der Ausführung von Messungen von kritischer Wichtigkeit, damit einheitliche Messungen in Mehrmodensystemen garantiert werden.

Obgleich es sich bei meisten Fasern, welche derzeit in der Luft- und Raumfahrt im Einsatz sind, um Mehrmodenfasern handelt, steigt das Interesse am Einsatz von Einmodenfasern. Einmodenfasern (gelegentlich als Monomodefasern bezeichnet) sind optische Fasern, die darauf ausgelegt sind, nur einen einzigen Verteilungsmodus pro Polarisationsrichtung für eine bestimmte Wellenlänge zu unterstützen. Diese verfügen für gewöhnlich über einen relativ kleinen Faserkern (mit einem Durchmesser von nur einigen wenigen µm) und einem geringen Unterschied im Brechungsindex zwischen Kern und Mantel. Der Modenradius beträgt üblicherweise einige wenige Mikrometer.

Einmodenfasern werden oft als OS1 bezeichnet (en: optical singlemode). Es gibt noch weitere Arten von Einmodenfasern, wie beispielsweise OS2 und A2. Die kleineren Faserkerne sorgen für eine Reihe von Vorteilen (beispielsweise höhere Bandbreite (minimale Streuung), Wellenlängen-Multiplexing, neuartige Sensoranwendungen). Jedoch machen die kleineren Faserkerne die Kopplung und Ausrichtung an der Quelle und an den Steckverbindern schwieriger (insbesondere aufgrund der rauen Arbeitsumgebung in der Luft- und Raumfahrt mit möglichen Temperaturextremen und Vibrationen).

Die Prüfung und Messung von Einmodenfasern ist nicht so kompliziert wie bei Mehrmodensystemen. Das liegt primär daran, dass das Licht durch einen einzelnen vorherrschenden Modus oder entlang eines bestimmten Pfades die Faser entlang übertragen wird.

Es sollte beachtet werden, dass die oben angesprochenen optischen Fasern in einem robusten Kabel verpackt werden, welche für die Installation und den Einsatz an Bord von Luftfahrzeugen geeignet sind. Für weitere Informationen zur Kabelkonstruktion, siehe Teil 001 dieser Norm EN 4533. Es wird ferner angemerkt, dass moderne Lichtwellenleiterkonstruktionen biegungsfähige Lichtwellenleiter verwenden und bereits eine Reihe solcher Konstruktionen für die Luft- und Raumfahrtindustrie existieren. Diese weisen geringere Verluste beim Biegen auf einen kleinen Radius auf (A2 Faser).

Bei der Prüfung und Messung in Mehrmodensystemen mit Glasfasern werden im Allgemeinen LEDs oder Mehrmoden-VSCSELs als Lichtquelle für die Prüfung verwendet. Bei der Prüfung und Messung von Einmodensystemen mit Glasfasern werden im Allgemeinen Halbleiterlaser oder neuere VCSEL-Lichtquellen verwendet. Die übliche Transmissionswellenlänge für Mehrmodenglasfasern beträgt 850 nm (gelegentlich 1 300 nm). Einmodenglasfasersysteme verwenden üblicherweise eine Transmissionswellenlänge von 1 550 oder 1 300 nm.

Im Sinne der Vollständigkeit sei an dieser Stelle erwähnt, dass Kunststoff-Lichtwellenleiter (en: plastic optical fibre, POF) für manche Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt in Betracht gezogen werden. Jedoch ist zum jetzigen Zeitpunkt die TRL dieser Technologie deutlich niedriger als bei Glasfasern (zumindest in der Arbeitsumgebung der Luft- und Raumfahrt). POF sind üblicherweise deutlich größer als Glasfasern, z. B. Größenordnungen von 980/1 000 µm. Dieser große Faserkern macht die Kopplung und Ausrichtung von Steckverbindern deutlich einfacher. Jedoch ist die Verlustrate bei POF deutlich größer (höhere Dämpfung) als bei Glasfasern und diese Art von Verbindung funktioniert am besten mit Wellenlängen im sichtbaren Bereich (üblicherweise im Bereich 520 nm bis 650 nm).

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

4 Prüfung und Messung: Schlüsselparameter

4.1 Einfügungsdämpfung

Die Bestimmung der Einfügungsdämpfung ist die am häufigsten durchgeführte Messung an einer LWL-Übertragungskomponente oder eines Kabelbaums im Verlauf des Lebenszyklus.

Wenn ein optisches Gerät, eine Komponente oder ein Faserabschnitt in eine optische Verbindung eingefügt wird, geht ein Teil der optischen Leistung an jenem Gerät (z. B. einem Splitter) oder an den optischen Schnittstellen verloren (z. B. an einem Steckverbinder oder Spleiß). Die Faserabschnitte selbst führen auch zu Verlusten, obgleich diese sehr gering sind (die Dämpfung ist bei den üblichen Transmissionswellenlängen bei Glasfaser sehr gering).

Ein gewisses Maß an optischer Leistung geht auf Schnittstellen, die nicht perfekt ausgebildet sind, zurück, beispielsweise reflektierende Oberflächen oder Streuung. Ein weiterer Faktor sind Ausrichtungsfehler der Steckverbinder. Ein solcher Ausrichtungsfehler kann lateral, axial oder winkelbezogen vorliegen. Auch die Verunreinigung der Komponenten hat einen Einfluss auf die Einfügungsverluste (dreckige Steckverbinder weisen einen höheren Verlust auf als saubere Steckverbinder).

Die Einfügungsdämpfung (oder einfach Dämpfung) wird üblicherweise in Dezibel angegeben, berechnet aus dem Zehnfachen des Logarithmus zur Basis 10 des Verhältnisses zwischen Ausgangs- und Eingangsleistung. Bei Steckverbindern von Fasern liegt dieser Wert oftmals im Bereich von 0,2 dB. Schweißspleiße von hoher Qualität können Werte im Bereich 0,02 dB erreichen.

$$I.L = 10\log_{10}(P_{in}/P_{out})$$

beispielsweise wäre bei einer Transmission von 90 % (0,9), die Einfügungsdämpfung 0,46 dB.

4.1.1 Wichtigkeit von geringen Einfügungsverlusten

Offensichtlich ist für eine effiziente Lichttransmission ein geringer Einfügungsverlust notwendig. Dies bedeutet, dass nur eine geringe Menge an Licht an der geprüften Komponente oder Verbindung verloren wird. Das Leistungsbudget des Systems gibt in der Regel vor, wie viel Leistung von der Quelle durch die Verbindung zum Empfänger übertragen werden muss. Die Differenz aus der Quellenleistung und dem Mindestmaß an erforderlicher Empfängerleistung führt zu einer Zahl für das Leistungsbudget. Die gesamte Einfügungsdämpfung der Komponenten darf diese Zahl nicht überschreiten. Dabei ist es sinnvoll, eine Sicherheitsmarge vorzusehen, welche Leistungsminderungen des Systems und die Auswirkungen der Alterung auffängt. Eine Alterungsmarge von 3 dB ist bei Verbindungen an Bord von Luftfahrzeugen üblich.

4.1.2 Messverfahren

Es gibt für die Messung der Einfügungsverluste in Abhängigkeit der Art der Komponente und der Frage, ob diese Komponente über einen Steckverbinder verfügt oder nicht, verschiedene Verfahren. Diese werden in der Norm EN 2591-601 detailliert beschrieben. In Bezug auf die Einrichtungen kann der Einfügungsverlust mit einer Glasfaserlichtquelle und einem Leistungsmesseraufbau oder anspruchsvolleren Einrichtungen, wie OTDR oder OFBR (später in 6.1 und 6.2 besprochen), gemessen werden.

Hierbei ist vor allem bei der Messung von Mehrmodensystemen hervorzuheben, dass der gemessene Einfügungsverlust einer Komponente, eines Faserabschnitts oder einer kompletten Verbindung von der Lichtverteilung in jener Komponente (und der anfänglichen Lichtverteilung ab der Quelle) abhängt. Dies bedeutet, dass bei Einsatz zweier verschiedener Lichtquellen (z. B. von verschiedenen Herstellern) zur Prüfung der Einfügungsdämpfung es möglich ist, dass unterschiedliche Werte für die Einfügungsverluste dabei herauskommen. Dies macht die Auslegung von Systemen lediglich mit Prüfungsdaten zu den Komponenten schwierig, vor allem, wenn das eingesetzte Messverfahren nicht bestimmt ist.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

Abschnitt 5 dieses Dokuments beschreibt, wie die Quellenbedingungen auf praktische Art und Weise kontrolliert werden können, um eine einheitliche Prüfung und Messung in Mehrmodensystemen zu ermöglichen.

9.2 beschreibt einige Aspekte der praktischen Messung von Einfügungsverlusten.

4.2 Rückstreuverlust oder Rückstreudämpfung

Der Rückstreuverlust RL (en: reflection loss) einer optischen Einrichtung oder Verbindung gibt an, wie viel Licht zur Lichtquelle im Vergleich zur Menge an Licht, die in das System eingeführt wird, zurückreflektiert wird.

RL wird definiert durch:

$R.L = 10\log_{10}(P_{in/}\, P_{refl})$

Üblicherweise wird der Rückstreuverlust in der Einheit Dezibel angegeben. Wenn beispielsweise der Rückstreuverlust 30 dB beträgt, hat das zurückgestrahlte Licht nur die Leistung von 1/1 000 der Leistung des einfallenden Lichtes. Es ist anzumerken, dass nur direkt zurückgestrahltes Licht gemessen wird und kein Licht, welches in eine andere Richtung reflektiert wird, z. B. bei Faserenden mit gespaltetem Winkel. RL ist eine positive Zahl und ein hoher Wert für RL bedeutet, dass nur eine geringe Menge an Leistung von der Verbindung reflektiert wird. Die Leistungswerte werden für gewöhnlich in Watt oder mW gemessen (es sei dabei angemerkt, dass alle Leistungen in derselben Einheit gemessen werden sollten). Bei geringeren Mengen an reflektiertem Licht wird der Wert für den Rückstreuverlust somit eine größere Zahl (z. B. entspricht eine Leistungsreflexion von 1/5 000 einem Rückstreuverlust von 37 dB). In weiterer Entwicklung dieser Idee würde eine perfekte Einrichtung oder Komponente mit unendlichem Rückstreuverlust überhaupt kein Licht zur Quelle zurückreflektieren. In der Realität haben echte Einrichtungen einen endlichen Rückstreuverlust.

Bei Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt ist die zurückreflektierte Leistung der Faser selbst in Bezug auf die reflektierte Leistung der optischen Steckverbinder aufgrund der kurzen eingesetzten Längen sehr gering. Dazu sei angemerkt, dass zusammengesteckte Steckverbinder, wie UPC und APC (en: Ultra Physical Contact, Angled Physical Contact) ebenfalls extrem geringe Rückstreuverluste im Bereich ~ 55 dB zu 65 dB aufweisen können (Werte für Einmodenfasern).

4.2.1 Wichtigkeit von hohen Rückstreuverlusten

Manche Systeme (insbesondere Einmoden- und Einzelfrequenzlaser) sind empfindlich gegenüber zurückreflektiertem Licht. Wenn zu viel Licht zurückgestrahlt wird, kann dies den Laserbetrieb stören und übermäßiges Laserrauschen und/oder Emissionen auf mehreren optischen Frequenzen hervorrufen. Bei der Hochgeschwindigkeitskommunikation mittels Lichtwellenleitern, kann zurückreflektiertes Licht letztendlich die Bitfehlerrate erhöhen.

4.2.2 Messverfahren

Bezüglich der Einfügungsdämpfung gibt es mehrere verschiedene Verfahren zur Messung des Rückstreuverlustes. Diese Verfahren werden in EN 2591-605 detailliert beschrieben (Rückstreuverlust). Bei einem üblichen Verfahren wird eine Kopplungseinrichtung (z. B. ein 50:50-Splitter) zur Einleitung von Licht in ein System und Durchleitung des reflektierten Lichtes zu einem Leistungsmesser verwendet. Diese Norm wird derzeit geprüft und aktualisiert, um die neuesten Verfahren zur Messung des Rückstreuverlustes mit Rückstreuverlustmessern, OTDR und OFDR („Optical Time Domain“, bzw. „Optical Frequency Domain“ Reflektometer) aufzunehmen.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

4.2.3 Rückstreuverlust und Reflexionsgrad

Es sei an diesem Punkt auf die Terminologie hingewiesen, da in verschiedenen Texten auch unterschiedliche Begriffe zu diesem Thema auftauchen können. Der Begriff Rückstreuverlust bezieht sich in der Regel auf die Menge an Licht, die von einer optischen Baugruppe reflektiert wird. Diese Baugruppe kann aus unterschiedlichen Elementen aufgebaut sein (z. B. Steckverbinder, Fasern, Kopplungen, Spleiße usw.). Ein weiterer Begriff ist der Reflexionsgrad. Der Reflexionsgrad eines Steckverbinders oder jeder anderen Art von Reflexionsereignis innerhalb einer Faser (z. B. ein Knick, eine Beschädigung oder eine Unterbrechung) wird im Allgemeinen für ein **einzelnes Ereignis** definiert. Wenn wird die reflektierte Leistung als P_{ref} bezeichnen, wird der Reflexionsgrad definiert durch:

$$\text{Reflexionsgrad} = 10\log_{10}(P_{ref}/P_{in})$$

Der Reflexionsgrad ist eine negative Zahl (die reflektierte Leistung ist geringer als die einfallende Leistung) und je niedriger der Reflexionsgrad, desto besser der Steckverbinder. Im Falle eines einzelnen Reflexionsereignisses innerhalb einer Baugruppe, stellen sowohl der RL (der gesamten Baugruppe) und der Reflexionsgrad (des Ereignisses) denselben Parameter mit entgegengesetzten Vorzeichen dar.

WICHTIGE ANMERKUNG Der Reflexionsgrad und der Rückstreuverlust (RL) stellen denselben Parameter mit entgegengesetzten Vorzeichen dar, wobei der Reflexionsgrad eine negative und der Rückstreuverlust (RL) eine positive Zahl ist. Entsprechend muss ein guter Steckverbinder einen niedrigen Reflexionsgrad (negativer Wert) oder einen entsprechend hohen Wert für den Rückstreuverlust (positiver Wert) aufweisen.

9.6 beschreibt einige praktische Aspekte zur Messung von Rückstreuverlusten.

4.3 Messung der optischen Leistung

Es kann sein, dass die optische Leistung an verschiedenen Punkten einer Faserverbindung gemessen werden muss. Leistungswerte sind für die Einschätzung der Ausgabe einer Lichtquelle oder eines Datentransmitters wichtig. Die Leistung am Ende einer Verbindung (vor einem Detektor) bestimmt die empfangene Leistung und diese bestimmt wiederum die Leistungsfähigkeit des Systems. Leistungsmessungen tragen zu den Hauptberechnungen der Einfügungsdämpfung und des Rückstreuverlustes bei.

Die Leistung wird für gewöhnlich in Watt gemessen, obgleich die Leistungsniveaus in Fasersystemen oftmals im mW-Bereich liegen. Leistungsangaben in dBm sind ebenfalls gebräuchlich. Diese werden wie folgt definiert:

$$\text{Leistung (dBm)} = 10\log_{10}[\text{Leistung (Watt)}/10\text{^-3(Watt)}].$$

Daher würde eine Leistung von 1 mW einem Wert von 0 dBm entsprechen. Leistungen unterhalb von 1 mW wären negativ (z. B. 0,5 mW = –3 dBm). Eine Leistung von 2 mW würde +3 dBm entsprechen.

4.3.1 Messverfahren

Die optische Leistung in Lichtwellenleitersystemen wird routinemäßig mittels Leistungsmessen bestimmt (siehe Bild 1). Dabei handelt es sich um tragbare Instrumente, die für gewöhnlich über eine Lichtwellenleiterschnittstelle verfügen (um die Verbindung verschiedener Arten von Steckverbindern am Messgerät zu ermöglichen). Die meisten Leistungsmesser verfügen über eine Option, die optische Leistung entweder in Watt oder dBm anzeigen zu lassen. Manche Instrumente erlauben auch die temporäre Speicherung eines Wertes als Bezugsleistung. Nach Aufnahme der Referenz, wird die folgende Leistungsmessung als Verlust in dB dargestellt (im Vergleich zum Referenzwert der Leistung). Dies kann für die Messung der Einfügungsdämpfung von Komponenten sinnvoll sein.

AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07



Bild 1 — Tischgeräte und tragbare Messgeräte für die optische Leistung

Leistungsmesser dürfen in Verbindung mit Kopplungen eingesetzt werden, um den Rückstreuverlust zu messen. Es sind Messgeräte für den Rückstreuverlust verfügbar, welche die Kopplung und die Komponenten des Strommessers (und manchmal einer optischen Quelle) integrieren.

4.3.2 Anforderungen an Photodetektoren

Leistungsmesser verfügen über einen aktiven Detektionsbereich. Dieser sollte groß genug sein, um all das Licht sammeln zu können, welches im Rahmen der Prüfung aus der Faser hervorgeht (bestimmt durch die NA der Faser). Daher sollte der Abstand zum aktiven Detektorelement nicht zu klein sein, da ansonsten nicht die gesamte Leistung gesammelt werden kann (siehe Bild 2). Dies ist in der Regel nur bei sehr großen NA-Fasern oder möglicherweise bei POF-Fasern mit sehr großem Faserkern ein Problem. Dieses Problem kann gelöst werden, wenn der Leistungsmesser über eine Photometerkugel verfügt. In manchen Fällen kann es wichtig sein, nur das Licht innerhalb einer bestimmten Verteilung oder Winkelverteilung zu sammeln. Ein Beispiel wäre ein Fall, in welchem ein Datenempfänger sich über eine kleinere Fläche erstreckt oder mit einer Faser gekoppelt ist (mit einem kurzen Faserabschnitt zwischen Detektor und aktivem Empfänger-element). In solchen Fällen kann eine Prüfleitung am Empfängerende bei der Beschränkung der detektierten Leistung nützlich sein. Die Messung der Leistung mit einem großflächigen Detektor könnte die nutzbare Systemleistung am Empfänger überbewerten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Leistungsmessung ist die Genauigkeit des Messwertes. Leistungsmesser sollten regelmäßig kalibriert werden, um sicherzustellen, dass ein korrekter Messwert ausgegeben wird (rückführbar auf nationale Normen). Die meisten Instrumente verfügen auch über die Möglichkeit, eine Wellenlänge für die Messung auszuwählen (dabei wird es sich in den meisten Fällen um eine der hauptsächlich genutzten Transmissionswellenlängen für Glasfasern handeln (z. B. 850 nm, 1 300 nm, 1 550 nm), obgleich manche Leistungsmesser (mit unterschiedlichen Detektormaterialien) auch andere Wellenlängen messen können (bei POF-Systemen können beispielsweise Wellenlängen von 650 nm genutzt werden).

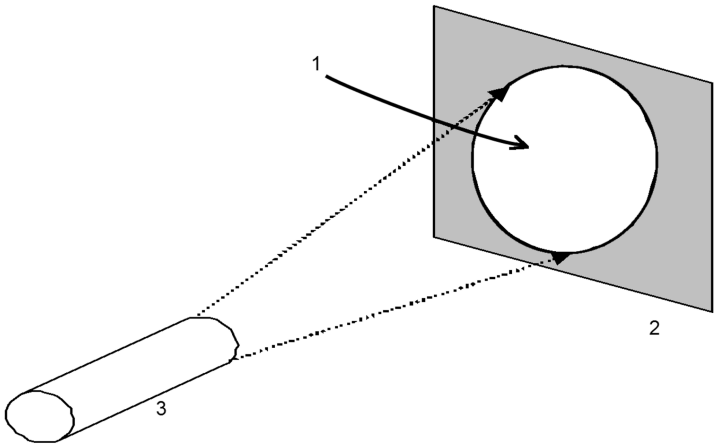
Wenn die Messwerte des Leistungsmessers zur Folgerung von Einfügungsdämpfung oder Rückstreuverlust verwendet werden sollen, dann ist ein lineares Ansprechverhalten des Leistungsmessers von großer Wichtigkeit (die absolute Genauigkeit der Leistungsmessung ist dann nicht mehr kritisch, weil die Berechnung auf einem Verhältnis mehrerer Leistungswerte beruht).

Es ist ebenfalls anzumerken, dass die beispielsweise von einer LED oder Laserquelle emittierte Leistung unter Umständen nicht vollständig in eine gekoppelte Faser eingeleitet wird. Die Faser verfügt über einen Akzeptanzwinkel (definiert durch die NA). In manchen Fällen kann es wichtig sein, die „Faserkopplungs-leistung“ zu kennen, d. h. wie viel Licht durch die Faser geleitet wird. Diese Messung kann daher bei einem Abschnitt der mit der Lichtquelle verbundenen Faser die Leistung am Faserende messen.

Leistungsmesser detektieren das Licht mit einem aktiven Photodeketor, der üblicherweise auf Halbleitermaterial basiert. Gebräuchliche Arten verwenden Silicium, Germanium und Indiumgalliumarsenid. Diese Materialien verfügen über unterschiedliche Empfindlichkeiten bei verschiedenen Wellenlängen. Im spezifischen Falle eines Photodetektors, misst die Ansprechempfindlichkeit die elektrische Leistung pro

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

optischen Eingang. Die Ansprechempfindlichkeit eines Photodetektors wird üblicherweise entweder in Ampere oder Volt pro Watt der einfallenden Strahlungsleistung angegeben. Bei den meisten Multimodensystemen der Luft- und Raumfahrt werden PIN-Photodioden aus Silicium bei 850 nm eingesetzt. Diese weisen eine gute räumliche und winkelbezogene Gleichmäßigkeit auf. Der Detektor kann auch eine Filterwirkung auf die Leistungsaufteilung haben, wenn sein Ansprechverhalten in Abhängigkeit von seiner Fläche oder dem Einfallwinkel des Lichtes schwankt. Dies kann bei längeren Wellenlängen verschlimmert werden. Die Auswirkungen sind in den Datenblättern der Hersteller näher beschrieben.



Legende

1 Fläche des aus der Faser austretenden Lichtstrahls
2 Detektorfläche
3 Ende der Faser

Bild 2 — Um zu verhindern, dass der Detektor im Leistungsmesser die Leistungsaufteilung filtert, muss er größer sein als der aus der Messleitungsfaser austretende Lichtstrahl.

Es sollte sichergestellt werden, dass der Strommesser in der Lage ist, die Leistung mit der Wellenlänge des untersuchten Systems zu detektieren. Das maximale Leistungsniveau des Systems sollte während der Prüfung ohne Sättigung zu detektieren sein. Ebenso sollte der Strommesser über einen angemessenen dynamischen Bereich verfügen, um korrekte Messungen sowohl bei hohen als auch niedrigen Leistungsniveaus zu ermöglichen. Bei sehr niedrigen Leistungsniveaus kann die Berücksichtigung von Rauschpegeln wichtig werden.

Es sollte nicht vergessen werden, dass Leistungsmesser in der Regel die durchschnittliche Leistung messen, die erkannt wird (z. B. bei Detektion einer datenmodulierten Lichtquelle), obgleich für den Großteil der Standardprüfungen (z. B. auf Einfügungsdämpfung, Rückreflexion) eine kontinuierlich strahlende Quelle oder Lichteinkopplung, eine „cw-Quelle“ (en: continuous wave), verwendet wird.

Die Brechzahlen der als Detektoren verwendeten Werkstoffe sind allgemein hoch, was bedeutet, dass ein Teil des auf den Detektor treffenden Lichtes reflektiert wird. Dieses Licht kann durch die Umgebung zurück auf den Detektor reflektiert werden, wodurch die Leistungsmesswerte anomal hoch werden. Schwärzen der Detektorumgebung minimiert deren Reflektivität und verbessert die Genauigkeit der Leistungsmesswerte. Faseradapter, welche den Fasersteckverbinder vor dem Detektor einspannen, sind aus diesem Grunde meistens schwarz.

4.4 Lichtverteilung

Obgleich es sich hierbei nicht um eine routinemäßige Messung an montierten optischen Kabelbäumen handelt, kann es notwendig sein, die Lichtverteilung, z. B. einer Quelle oder Faser, zu messen. Lichtverteilungen sind beispielsweise bei Prüfungen und Messungen in Mehrmodensystemen, wo die Lichtverteilung die Messungen und die Einfügungsdämpfung beeinflussen kann, von kritischer Wichtigkeit.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

Diese Auswirkungen werden detailliert im Abschnitt 6 besprochen. Das Messen der Nahfeld- bzw. Fernfeld-Leistungsaufteilungen einiger Quellen, wie z. B. LED, kann problematisch sein, da die Verpackung einen Teil des emittierten Lichtes dämpfen kann. Die Aufteilungen sind erst messbar, wenn das Licht durch einen kurzen Lichtwellenleiterabschnitt geleitet wurde.

Detekorfelder oder -aufbauten (z. B. CCD) dürfen zusammen mit einem bildgebenden System zur Detektion von räumlichen Lichtprofilen, die während der Prüfung aus dem System hervorgehen, verwendet werden. Solche Systeme dürfen Software einsetzen, um die Lichtverteilung im dreidimensionalen Raum zu bestimmen. Alternativ kann bei Abtastung des abgebildeten Systems mit einem einzelnen Detektor (z. B. einer Aperturblende, einem Schlitz oder einer Faser, die mit einem Leistungsmesser verbunden ist) die Messung von Teilen der optischen Verteilung möglich sein. Systeme zur automatischen Messung des Nahfeldprofils der Fasern und Zuweisung der Verteilungen in Muster der Kategorien „bestanden“ und „nicht bestanden“ sind ebenfalls verfügbar.

4.5 Zeitliche Messungen

Bei Messungen, welche eine zeitbasierte Detektion des Lichtsystems erfordern, beispielsweise Messungen der Datenraten, Bandbreite, Modulationseffekte, Bitfehlerraten (en: Bit Error Rate, BER), usw. handelt es sich bei dem Lichtdetektorsystem in der Regel um einen schnellen optischen Detektor (mit einer Bandbreite, die ausreicht, um die höchsten Datenraten zu erkennen). Dieser wird üblicherweise in Kombination mit spezialisierten Messeinrichtungen (beispielsweise Oszilloskopen, BER-Prüfgeräten, Signal-Analysegeräten) zur Ableitung der geeigneten Messparameter verwendet. Genaue Details liegen außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Norm. Im Allgemeinen verfügt der schnelle Detektor jedoch über eine Vorderseite mit einer Lichtwellenleiterschnittstelle, um eine Anbindung des geprüften Systems zu ermöglichen.

5 Prüfung und Messung in Einmodensystemen

Bei Einmodenfasersystemen hängen die Messungen für gewöhnlich nicht von der Einkopplungsbedingung in die Faser ab, weil das Licht in einem dominanten einzelnen optischen Modus die Faser entlang übertragen wird. Das transversale Intensitätsprofil am Faserausgang nimmt im Allgemeinen eine feste Form an, welche, unter der Voraussetzung, dass keine „Mantelmoden“ wesentliche Leistungswerte zum Faserende übertragen, von den Einkopplungsbedingungen und den räumlichen Eigenschaften des eingeführten Lichtes unabhängig ist. Die Einkopplungsbedingungen haben lediglich einen Einfluss auf die Effizienz, mit welcher das Licht in den geführten Modus eingekoppelt werden kann.

Einmodenfasern zeichnen sich durch eine kleine Faserkerngröße aus (üblicherweise ~ 9 µm). Diese führen die Übertragung einmodig innerhalb eines bestimmten Wellenlängenbereichs aus. Diese Arten von Fasern verfügen über eine „Grenzwellenlänge“. Wird diese überschritten, unterstützt die Faser mehrere Moden.

Obgleich Praxisanwendungen von Einmodenfasern noch eine Neuheit in den Systemen der Luft- und Raumfahrt sind, werden diese Einmodenfasern im Allgemeinen die „üblichen“ Wellenlängen der Telekommunikationsbranche verwenden, beispielsweise 1 300 nm, 1 550 nm. Die Quellen sind in der Regel Laser. VCSEL mit längeren Wellenlängen sind noch im Anfangsstadium ihrer Anwendung bei Einmodensystemen. Zum Zwecke der Prüfung und Messung sind kleine und kompakte kontinuierlich strahlende cw-Laser für diese Prüfungswellenlängen verfügbar. Es wird hierbei angemerkt, dass viele Mehrmodensysteme der Luft- und Raumfahrt eine kürzere Wellenlänge von 850 nm verwenden, weil zuverlässige und robuste Lichtquellen (LEDs und VCSEL) für diese Wellenlänge verfügbar sind und die Dämpfung bei dieser Wellenlänge noch immer geringer ist (Plattformen der Luft- und Raumfahrt sind relativ kurz und erfordern keine extrem niedrige Dämpfung, wie beispielsweise bei sehr langen Verbindungen nötig wäre).

Zur effizienten Einkopplung von Licht in eine Einmodenfaser ist es erforderlich, dass der Lichtstrahl von hoher Qualität ist (idealerweise sollte der M^2-Strahlqualitätsfaktor nahe einem Wert von 1 sein) und dass das Licht am Eingangsende der Faser fokussiert (auf den entsprechenden Fasermodus) sowie axial und

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

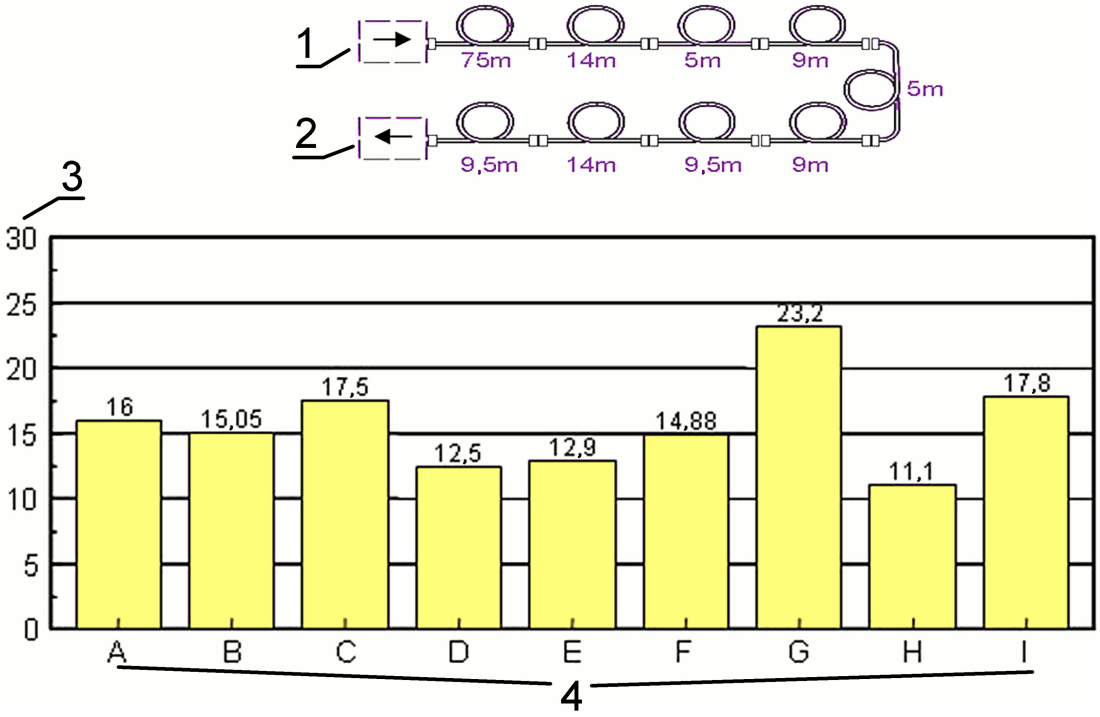
winkelbezogen mit dem Faserkern und der Faserachse ausgerichtet ist. Jegliche Positionierungsfehler müssen deutlich unterhalb des Strahlradius liegen und die winkelbezogene Fehlausrichtung muss im Vergleich zur Strahldivergenz des Modus klein sein.

6 Prüfung und Messung in Mehrmodensystemen

Die Prüfung und Messung in Mehrmodensystemen ist komplizierter als bei Einzelmoden. Dies liegt daran, dass die Messungen von der Lichtverteilung innerhalb der Komponenten und Fasern abhängen.

6.1 Einkopplungsbedingungen

Die Einkopplungsbedingungen eines Mehrmodenfasersystems sind von besonderer Wichtigkeit. Einfach ausgedrückt, können verschiedene Lichtquellen unterschiedlichen Einkopplungsbedingungen unterliegen und dies kann zu unterschiedlichen Messwerten, beispielsweise für die Einfügungsdämpfung, führen. Offensichtlich ist dies nicht erwünscht. Ferner kann die Einfügungsdämpfung einer bestimmten Komponente auch von dessen Einbaulage innerhalb der Verbindung abhängen, wenn die Einkopplungsbedingungen nicht kontrolliert werden.



Legende

1 Lichteinkoppelsystem
2 Messgerät für die optische Leistung
3 Einfügungsdämpfung (dB)
4 Prüfgeräte

Bild 3 — Schwankungen der Einfügungsdämpfungsmessungen am selben Kabelbaum (Ringversuch) mittels verschiedener Prüfungsquellen. Dieses Bild verdeutlicht die Erfordernis, die Einkopplungsbedingungen von Mehrmodenverbindungen in der Luft- und Raumfahrt sorgfältig zu kontrollieren.

Die Auswirkungen der Einkopplungsbedingungen auf die Verluste der Faserverbindungen ist in Mehrmodensystemen der Luft- und Raumfahrt mit kurzen Faserlängen sowie vielen Knickpunkten mit Steckverbindern und möglicherweise anderen optischen Komponenten besonders dramatisch. Das Licht

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

bildet keine gleichartige modale Verteilung in solchen Systemen, wie es beispielsweise bei längeren Verbindungen der Fall sein könnte.

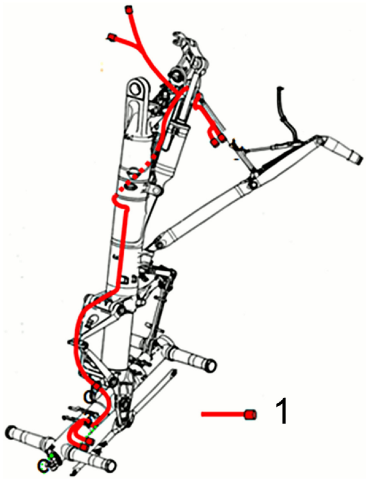
Durch Verwendung verschiedener Prüfquellen ist möglich, eine sehr große Spanne von Dämpfungswerten für ein System zu erzielen. Eine Quelle, die beispielsweise einen Großteil ihrer Leistung in einen sehr kleinen Winkel im Bauteilinnern einleitet, hat im Vergleich mit einer Quelle, die ihre Leistung in einen größeren Winkelbereich einleitet, einen viel niedrigeren Dämpfungswert. Grund dafür ist, dass Licht bei den größeren Winkeln eher durch Unregelmäßigkeiten in der Bauteilkonstruktion gedämpft wird als Licht bei kleineren Winkeln.

Dieser Effekt wird im Bild 3 deutlich gezeigt, welcher die Bandbreite der Einfügungsdämpfungswerte zeigt, die von verschiedenen Prüfungsinstituten am selben optischen Kabelbaum mittels einer Reihe von Lichtquellen gemessen wurden. Die Einfügungsdämpfung schwankte um einen Wert von ungefähr 12,1 dB. Dieses Bild verdeutlicht die Erfordernis, die Einkopplungsbedingungen für Mehrmodenfaserverbindungen klar zu definieren und zu kontrollieren, um wiederholbare und reproduzierbare Messungen an einer Komponente oder einem System mit niedriger Streuung der Messwerte zu erreichen. Eine Veranschaulichung des Vorteils der Modenkonditionierung wird im Bild 4 unten gezeigt. In diesem Falle wurden zwei Messungen an einem Kabelbaum eines Luftfahrzeugs mit zwei verschiedenen, nicht konditionierten Lichtquellen durchgeführt. Der Unterschied in der Messung der Einfügungsdämpfung am Kabelbaum betrug 0,27 dB. Durch Konditionierung der Lichtverteilung nach der Quelle (durch Einsatz einer simplen Ummantelungstechnik) wurde der Unterschied zwischen den zwei Leistungsmessungen auf 0,02 dB reduziert.

Im Allgemeinen verfügt eine Quelle über zwei Hauptverteilungen. Erstens, der Leistungsschwankung durch die Blendenöffnung der Quelle (die Nahfeldverteilung). Zweitens, der Leistungsschwankung durch Winkel oder die Fernfeldleistungsaufteilung. Die Schlüsselparameter der Lichtwellenleiter sind die Kerngröße (Durchmesser = 2a) und die numerische Apertur (NA). Die Einkopplungsbedingung ist im Grunde ein Vergleich aus der Leistungsaufteilung der Quelle und den Parametern des Fasersystems während der Prüfung. Beispielsweise würde eine Einkopplungsbedingung von 85:85 eine Quelle mit einem Nahfeldprofil beschreiben, welche 85 % des Kerns ausfüllt und eine Winkelverteilung im Fernfeld aufweist, welche 85 % der NA der Faser ausfüllt.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07



Prüfung	Quelle	Einfügungsdämpfung (dB)
Kein Filter	Quelle A	1,73 ± 0,08
	Quelle B	1,46 ± 0,09
Gefiltert	Quelle A	1,39 ± 0,16
	Quelle B	1,41 ± 0,15

Legende

1 Optisch

Bild 4 — Schwankungen der Einfügungsdämpfungsmessungen am selben Kabelbaum eines Luftfahrzeugs mit und ohne modale Konditionierung. Dieses Bild verdeutlicht die Wichtigkeit davon, die Einkopplungsbedingungen von Mehrmodenverbindungen in der Luft- und Raumfahrt sorgfältig zu kontrollieren.

Eine Einkopplungsbedingung der Quelle von 100:100 wird als vollständig angeregte Einkopplung bezeichnet. Beträgt einer der Prozentsätze mehr als 100 %, wird dies als Einkopplung mit Überanregung entweder in der Nahfeld- oder Fernfeld-Leistungsaufteilung bezeichnet. Beträgt einer der Prozentsätze weniger als 100 %, wird dies als Einkopplung mit zu schwacher Anregung in der entsprechenden Leistungsaufteilung bezeichnet.

In Kabelbäumen für Luftfahrzeuge verursacht eine Aufteilung, die den Faserkern und die numerische Apertur vollständig anregt, eine Dämpfung von Licht, das nah an der Faserkernbegrenzung und dem maximalen von der numerischen Apertur der Faser zugelassenen Winkel eingekoppelt wurde. Die entstehende Aufteilung führt zu einer leicht zu schwachen Anregung der Faser. Die gleiche Aufteilung wird letztlich durch eine viel zu schwach angeregte Einkopplung in einen Kabelbaum mit einer großen Anzahl an Bauteilen verursacht, da durch die Herstellungsfehler in den Bauteilen Licht in höhere Winkel und Faserkernlagen gestreut wird.

Diese ideale Aufteilung würde irgendwo zwischen einer Einkopplungsbedingung mit Überanregung, die einen übermäßig pessimistischen Wert für die Einfügungsdämpfung ergeben würde, und einer viel zu schwach angeregten Einkopplungsbedingung, die einen optimistischen Wert ergibt, liegen. Im Allgemeinen regt die optimale Einkopplungsbedingung sowohl den Kern der Faser als auch deren numerische Apertur geringfügig zu schwach an. Dies entfernt den Teil der Lichtaufteilung der Quelle, die am ehesten durch Herstellungsfehler der Kabelbaum-Bauteile gedämpft wird. Studien haben gezeigt, dass die korrekte Einkopplungsbedingung irgendwo zwischen einer Einkopplung von 80:80 und 90:90 liegt.

Eine weitere Folge der Verwendung der idealen Einkopplungsbedingung für die Messung der Einfügungsdämpfung ist die Minimierung der Differenz zwischen der Dämpfung eines vollständigen

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

Kabelbaums und der Dämpfungssumme der einzelnen Kabelbaum-Bauteile. Es sollte angemerkt werden, dass die Einkopplungsaufteilung einer Quelle zur Übertragung von Daten in einer Faser in einem echten System auch über eine bestimmte Leistungsaufteilung verfügen wird. Diese kann durchaus von der Quelle abweichen, die zur Charakterisierung des Fasersystems herangezogen wurde, obgleich wenn beide ähnlich sind, die Leistung der echten Systemverbindung aus den Verlustdaten der Systemkomponenten abgeleitet, bzw. vorhergesehen werden können.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass gut definierte Einkopplungsbedingungen notwendig sind, um

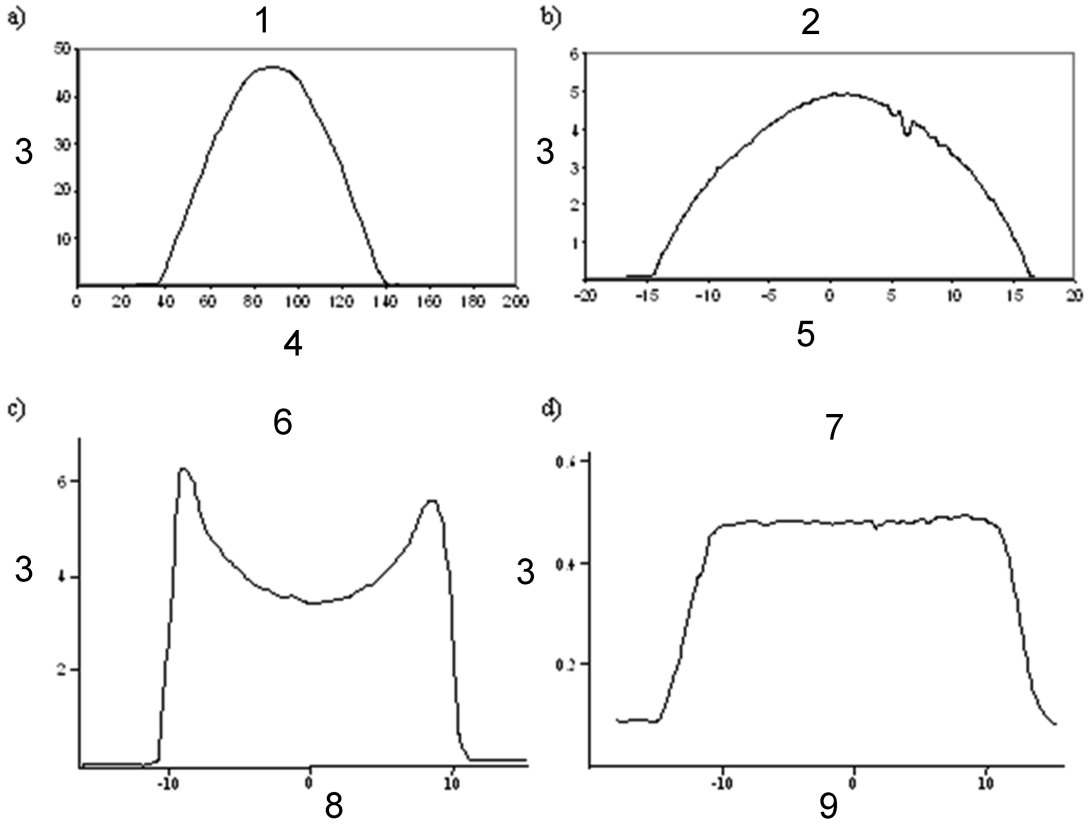
— die zuverlässige Messung der Verluste an Komponenten sicherzustellen (und so die Berechnung der Systemverluste zu ermöglichen),

— die zuverlässige und wiederholbare Charakterisierung einer Mehrmodenlichtwellenleiterverbindung in der Luft- und Raumfahrt zu ermöglichen, wobei besonders auf die Empfindlichkeit gegenüber extremen und unerwünschten Auswirkungen durch enge Kurven oder falsche Montageverfahren zu achten ist,

— sicherzustellen, dass Hersteller und Bediener die „selbe“ normierte Messung vornehmen.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07



Legende

1 Gradienten(index)faser mit 0,26 NA und LED-Quelle im Nahfeld
2 Gradienten(index)faser mit 0,26 NA und LED-Quelle im Fernfeld
3 Leistung (nW)
4 Position (µm)
5 Austrittswinkel (Grad)
6 Stufen(profil)faser mit 0,2 NA und Weißlichtquelle im Nahfeld
7 Stufen(profil)faser mit 0,2 NA und Weißlichtquelle im Fernfeld
8 Position (Mikrometer)
9 Winkel (Grad)

Bild 5 — a) und b) sind die Nah- und Fernfeld-Leistungsaufteilungen einer durch eine LED-Quelle beleuchteten Gradientenindexfaser. Die LED-Quelle bietet beinahe eine Einkopplungsbedingung mit Vollanregung. c) und d) sind die Nahfeld- und Fernfeld-Leistungsaufteilungen einer durch eine Quelle mit weißem Licht beleuchteten Stufenindexfaser. Die LED-Quelle bietet eine Einkopplungsbedingung mit Überanregung.

Um Unterschiede zwischen den Quellen verschiedener Lieferanten zu vermeiden, muss das Einkopplungsprofil idealerweise definiert werden. Eine typische Spezifikation definiert 3 Punkte im Nah- und Fernfeld bei drei Intensitätsebenen (einer normalisierten Darstellung). Bei einer Gradientenindexfaser ist anzumerken, dass die Fernfeldanforderungen nicht obligatorisch sind, weil diese mathematisch mit dem Nahfeldprofil verknüpft ist.

Bevor auf die optimalen Einkopplungsbedingungen für die Prüfung eingegangen wird, sollte angemerkt werden, dass die Nahfeld- und Fernfeldverteilungen, die aus einer Faser heraustreten, auch in Abhängigkeit der Natur des Brechzahlprofils variieren werden. Daher werden Gradientenindexfasern im Allgemeinen unterschiedlich ausgeformte Verteilungen aufweisen als Stufenindexfasern, insbesondere wenn die Fasern einer Vollanregung oder Überanregung unterliegen. Einige Unterschiede werden im Bild 5 dargelegt. Die „Hörner“, welche in der Stufenindexverteilung im Nahfeld zu sehen sind, folgen aus den spiralförmigen

AVA Documents
Document Sharing Hub

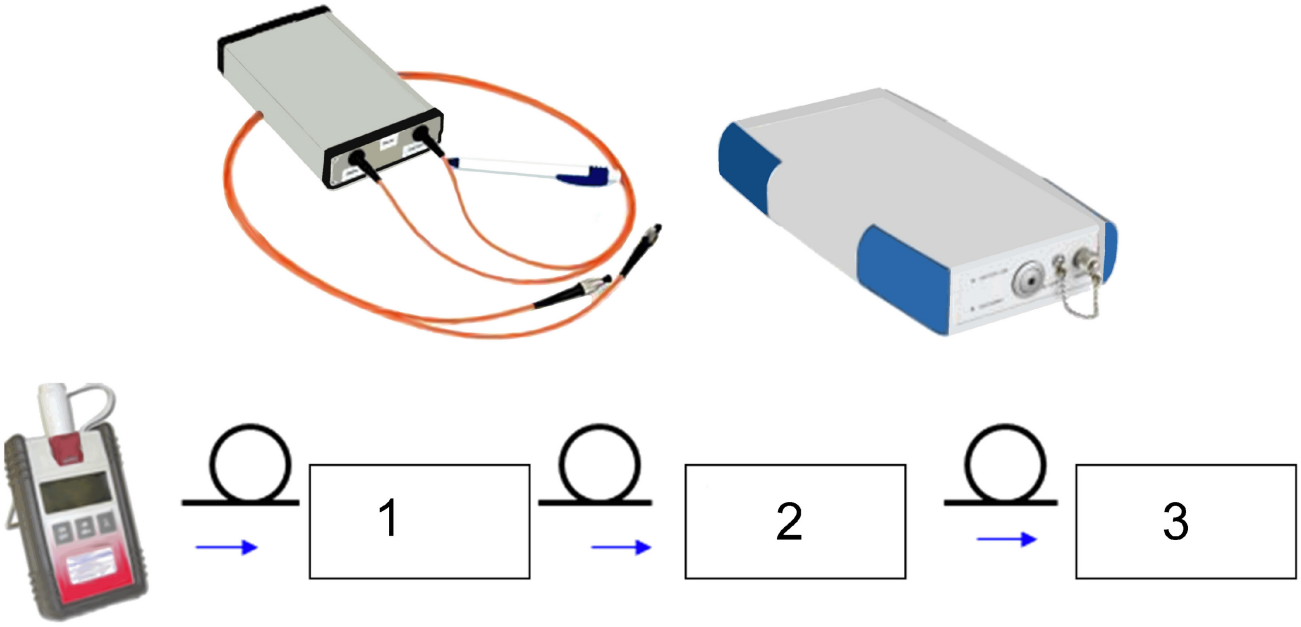
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

Lichtstrahlen, welche im Mantel die Faser hinuntergeleitet werden. Diese würden letztendlich in den langen Längen der Faser verschwinden.

6.2 Schaffung geeigneter Einkopplungsbedingungen

Um eine spezifische Einkopplungsbedingungen zu erhalten, ist es möglich, das Licht innerhalb einer Lichtwellenleitung zu manipulieren. Dies kann das „Scrambling“ (Vermischen) der Moden innerhalb einer Mehrmodenfaser (um die Faser besser auszufüllen) und die nachfolgende Filterung des Lichts (z. B. Modenisolierung durch Biegungen der Faser oder Wickeln der Faser um einen Dorn) zur Schaffung einer gewünschten Aufteilung umfassen. Eine andere Alternative ist der Einsatz einer anderen Faserart zur Einkopplung in die Faser (anderer Faserkern und NA), um eine bestimmte Einkopplung zu erreichen.

Heutzutage sind Prüfungsquellen mit kontrollierter Einkopplung oder eingebauter modaler Konditionierungsstufe (vor dem Steckverbinder des Faserausgangs) verfügbar. Alternativ sind auch eigenständige Modenkonditionierer verfügbar, die aus einer Vielfalt von Eingangslichtaufteilungen die erforderliche Aufteilung, bzw. Einkopplungsbedingung am Ausgangssteckverbinder herstellen können. Dies sind im Grunde „Black-Box-Geräte“. Der Bediener verbindet einfach die Lichtquelle mit dem Eingang und der Ausgang verfügt dann über die korrekte Einkopplungsbedingung, um ein bestimmtes Fasersystem zu prüfen. Diese Arten von Quellen gelten als einfacher einzusetzen und sind in der Industrie eher verfügbar. Derartige Einrichtungen sollten verifiziert (kalibriert) werden, um sicherzustellen, dass die Einkopplungsbedingung der Spezifikation entspricht. Ein entsprechender Nachweis müsste in der Dokumentation der ausgeführten Messungen erbracht werden. Ein Beispiel für einen Modenkonditionierer ist in Bild 6 dargestellt.



Legende

1 Modenkonditionierer
2 konditionierte Einkopplung
3 zu prüfendes System

Bild 6 — Modenkonditionierer zur Erzeugung geeigneter Einkopplungsbedingungen für die Prüfung von Fasersystemen in der Luft- und Raumfahrt. Der Modenkonditionierer kann mit bestehenden Lichtquellen zur Erzeugung einer geeigneten und einheitlichen Prüfungseinkopplung eingesetzt werden.

Die Einkopplungsbedingungen der Luft- und Raumfahrt für Fasern mit 50 µm und 62,5 µm Kernen werden in EN 2591-100 als Querschnittsmuster der Nahfeld- und Fernfeldleistungsaufteilungen bestimmt. Diese

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

werden in 3 Intensitätsstufen vorgegeben. Es wird hierbei angemerkt, dass die Telekommunikationsindustrie unter Umständen Einkopplungsbedingungen durch die „Encircled-Flux-Methode“ definiert (z. B. ISO/IEC 61280-4-1). Dabei handelt es sich um ein integriertes Maß der Leistung innerhalb der Regionen/Bänder des Faserquerschnitts. Dieses ist für die Messung kohärenter Quellen, bei welchen sogenannte Interferenzflecken zwischen den Moden beobachtet werden können, nützlich. Ein Beispiel wird im Bild 7 gezeigt. Der Leser sollte sich dieser verschiedenen Herangehensweisen bewusst sein, aber im Allgemeinen hat die Luft- und Raumfahrtindustrie eine Herangehensweise zur Spezifikation der Einkopplungsbedingungen eingeführt, welche auf einem Prozentsatz des Füllungsgrades beruht.

Es wird ebenfalls angemerkt, dass andere Prüfverfahren, beispielsweise mittels OTDR andere Ergebnisse liefern können, weil das Instrument eine Laserquelle statt einer LED verwendet. Bei der Prüfung von Mehrmodensystemen mit dieser Art von Instrumenten können spezielle Einkopplungsleitungen erforderlich sein. Manche OTDRs verwenden ebenfalls interne Modenkonditionierungssysteme in Übereinstimmung mit den empfohlenen Normen.

6.3 Beispiel für geeignete Einkopplungsbedingungen für eine Prüfung in der Luft- und Raumfahrt

EN 2591-100 (derzeit im Prüfungsstadium) legt geeignete Einkopplungsbedingungen für Mehrmodenfaserarten mit Gradientenindexprofil 62,5/125 µm (NA = 0,275) und 50/125 µm (NA = 0,2) zum Einsatz auf Plattformen der Luft- und Raumfahrt fest. Bei diesen handelt es sich um die derzeit am häufigsten eingesetzten Mehrmodenfasergrößen der Luft- und Raumfahrtindustrie.

Die Einkopplungsbedingungen für Nah- und Fernfeld nach EN 2591-100 sind im Folgenden anhand einer Beispielfaser von 50/125 µm (NA = 0,2) reproduziert. Es wird angemerkt, dass für Gradientenindexfasern es lediglich notwendig ist, die Nahfeldverteilung zu definieren, da das Fernfeld mathematisch mit diesem verknüpft ist. Aus Gründen der Vollständigkeit wird dies dennoch in der Norm spezifiziert.

Modenkonditionierer sind mittlerweile verfügbar, welche die Ausgabe einer Prüfquelle so umformen, dass die optimalen Einkopplungsbedingungen für Fasern der Luft- und Raumfahrt erreicht werden (dabei wäre in der Regel eine andere Einheit für jede Art von Faser notwendig). Ebenfalls kommen mittlerweile mehr und mehr Prüfquellen heraus, welche den Modenkonditionierer bereits in die Lichtquelleneinheit integriert haben.

Tabelle 1 — Einkopplungsspezifikation für eine 50-/125-µm-Faser (0,2 NA) bei 850 nm und 1 300 nm – Nahfeldmuster Nahfeld gemessen nach EN 60793-1-45, Verfahren A

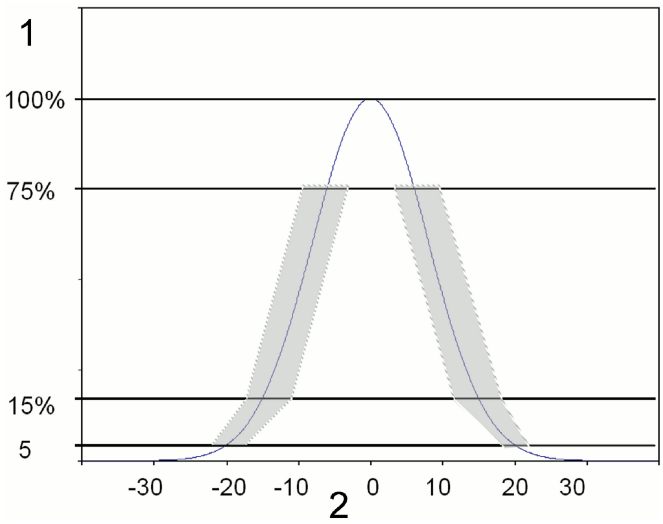
Nennleistung	Maximalwert (µm)	Mindestwert (µm)
5 %	44	41
15 %	42	36
75 %	26	16

Tabelle 2 — Einkopplungsspezifikation für eine 50-/125-µm-Faser (0,2 NA) bei 850 nm und 1 300 nm – Fernfeldmuster

Nennleistung	Maximalwert (NA)	Mindestwert (NA)
5 %	0,175	0,165
15 %	0,165	0,146
75 %	0,095	0,074

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

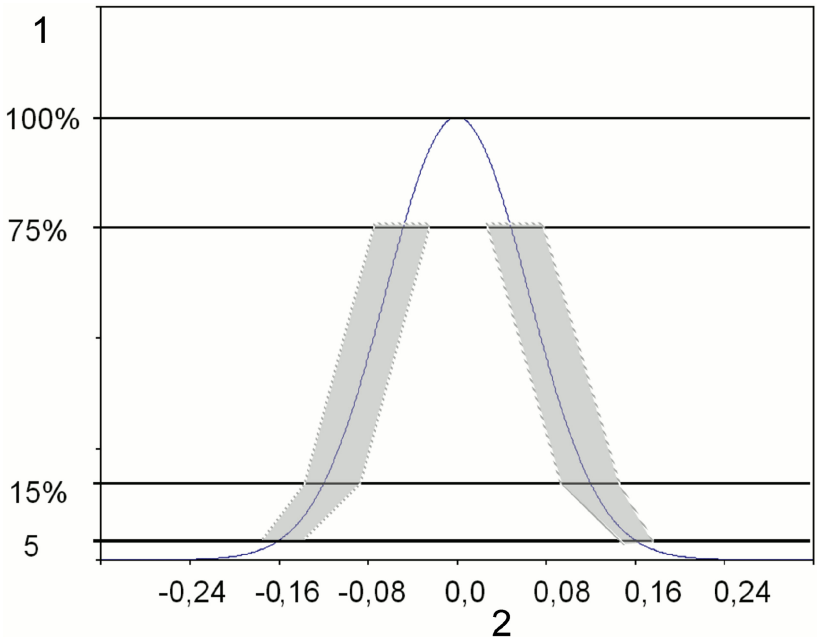
Beispiele für Nah- und Fernfeldscanmuster für 50-/125-µm-Fasern (0,2 NA) werden in Bild 7, bzw. Bild 8 gezeigt.



Legende

1 Leistung
2 µm

Bild 7 — Spezifikation des Einkopplungsscans für eine 50-/125-µm-Faser (0,2 NA) bei 850 nm und 1 300 nm – Nahfeld



Legende

1 Leistung
2 numerische Apertur

Bild 8 — Spezifikation des Einkopplungsscans für eine 50-/125-µm-Faser (0,2 NA) bei 850 nm und 1 300 nm – Fernfeld

Ein Beispiel für eine „Encircled-Flux-Methode“ nach IEC 61280-4-1 wird im Bild 9 gezeigt.

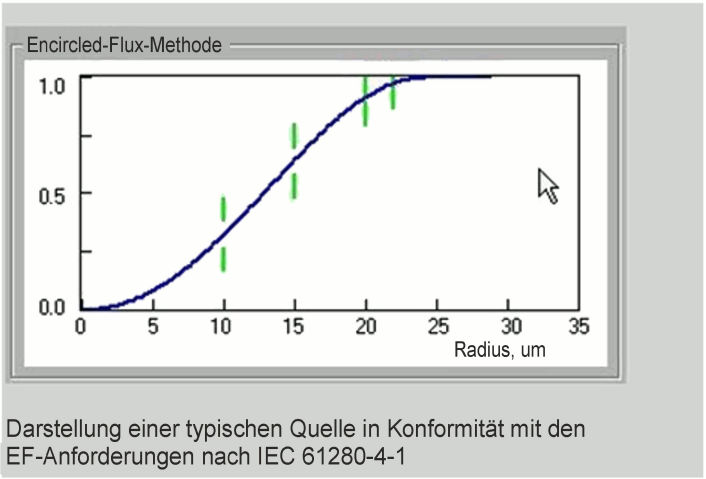
Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

Encircled Flux (EF) limits for 50 µm core fiber at 850 nm

Radius (µm)	EF lower bound	Target	EF upper bound
10	0,2785	0,3350	0,3915
15	0,5980	0,6550	0,7119
20	0,9105	0,9193	0,9295
22	0,9690	0,9751	0,9812

Encircled Flux (EF) limits for 62,5 µm core fiber at 850 nm

Radius (µm)	EF lower bound	Target	EF upper bound
10	0,1683	0,2109	0,2535
15	0,3695	0,4390	0,5085
20	0,6337	0,6923	0,7509
26	0,9245	0,9350	0,9455
28	0,9710	0,9783	0,9856



Darstellung einer typischen Quelle in Konformität mit den EF-Anforderungen nach IEC 61280-4-1

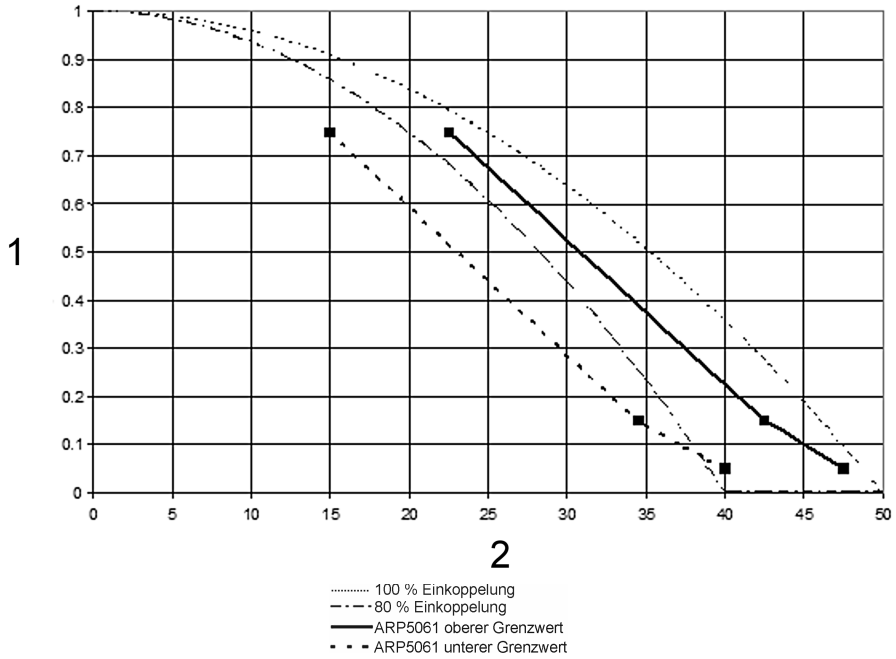
Bild 9 — Beispiel einer „Encircled-Flux-Methode“ (überwiegend in der Telekommunikationsprüfung eingesetzt) für die Modenkonditionierung in Mehrmodenfasern.

Fasern mit 50 µm und 62,5 µm Kernen sind die am häufigsten vorkommenden Mehrmodenarten, die auf Luftfahrzeugen eingesetzt werden. Wie bereits in Abschnitt 3 erwähnt, können andere Mehrmodenfasern vor allem auf Altplattformen (Legacy-Plattformen) angetroffen werden. Diese umfassen 100/140 und 200/280 µm sowie 200/300 µm Fasern. Viele dieser Fasern haben ein Stufenindexprofil.

Ein Beispiel für die Einkopplungsbedingungen einer 100/140 µm-Gradientenindexfaser (NA 0,29) wird zu informativen Zwecken im Bild 10 gezeigt. Die 100/140-µm-Verteilung stammt aus der amerikanischen Norm ARP5061. Auch hier wird ein dreistufiges Muster zur Definition der Aufteilung der Gradientenindexfaser verwendet.

a) Ober- und Untergrenzen der Nahfeld-Leistungsaufteilung für eine Gradienten(index)faser für Luftfahrzeuge nach ARP5061 mit einem Kerndurchmesser von 100 Mikrometer und einer NA von 0,29.

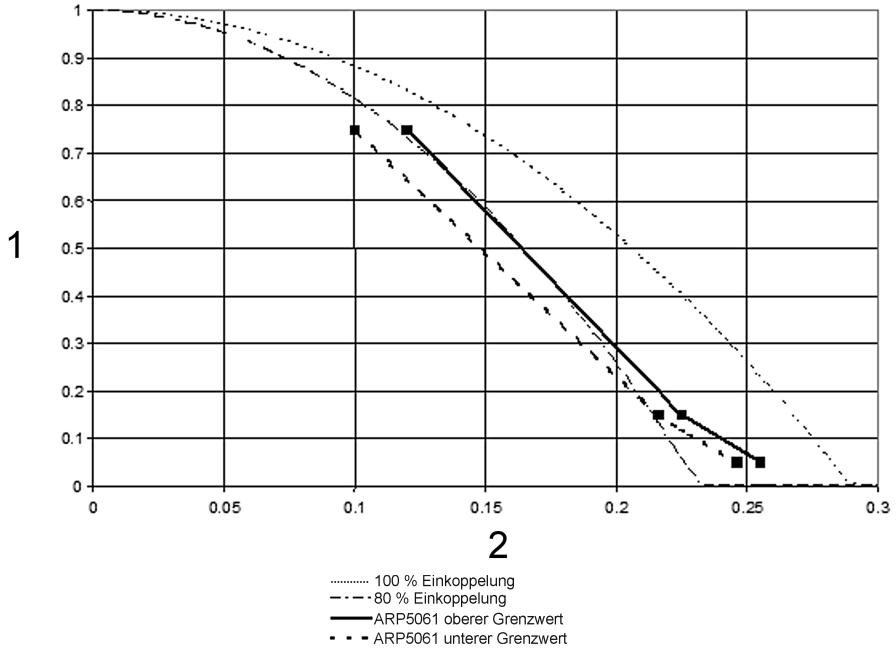
Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07



Legende

1 normalisierte Leistung
2 radiale Position (Mikrometer)

b) Ober- und Untergrenzen der Nahfeld-Leistungsaufteilung für eine Gradienten(index)faser für Luftfahrzeuge nach ARP5061 mit einem Kerndurchmesser von 100 µm und einer NA von 0,29



Legende

1 normalisierte Leistung
2 radiale Position (Mikrometer)

Bild 10 — Ober- und Untergrenzen der Nahfeld- und Fernfeld-Leistungsaufteilungen entsprechen den Festlegungen der Norm ARP5061. Die Grenzen werden mit Kurven verglichen, die die idealen Einkopplungsbedingungen von 100 % und 80 % für eine Faser mit einem Kerndurchmesser von 100 µm und einem NA von 0,29 repräsentieren.

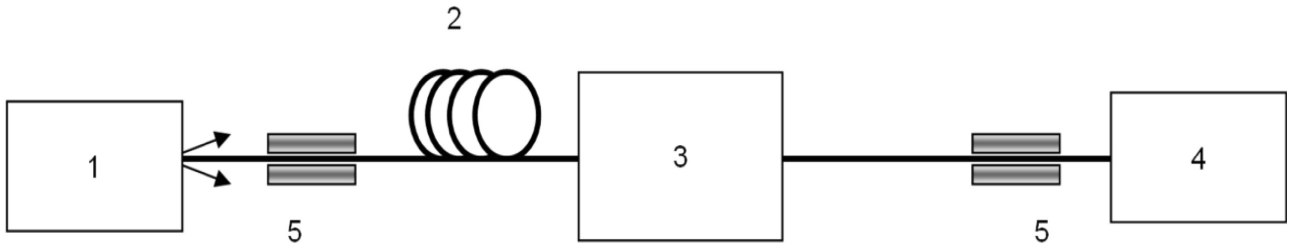
Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

Eine weitere Faser, die auf militärischen Plattformen zum Einsatz kommt ist die 200/280-µm-Stufenindexfaser (Faser aus EN 4533 mit NA 0,24). Ein geeigneter Prüfaufbau für 200/280 µm wird im Bild 11 gezeigt. Eine empfohlene Einkopplungsbedingung lautet wie folgt.

Größe Einkopplungspunkt (80 % Intensität) Überanregung des Kerns
(D ~ 1,05 × Kerndurchmesser ~ 210 µm)

Gleichmäßigkeit der Punktgröße ±10 % (Überanregung Faser NA ~ 0,3)

NA-Gleichmäßigkeit (Fernfeld) ±20 % der Faser NA von 0,24



Legende

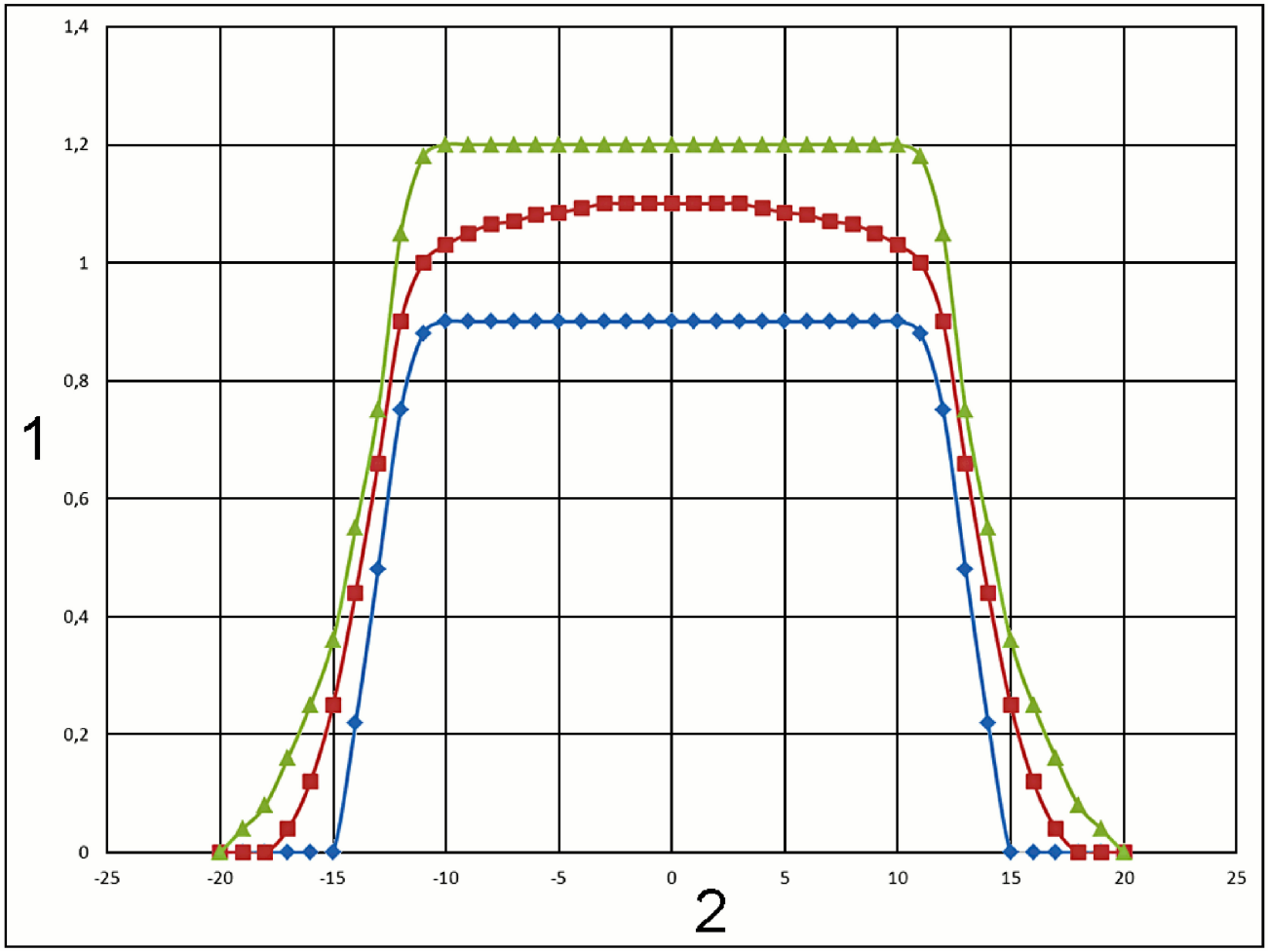
1 Quelle (Einkopplung mit Überanregung)
2 Modenfilter
3 geprüfte Einrichtung (oder Kabelbaum)
4 Detektor/Leistungsmesser
5 Abstreifer für Mantelmoden

Bild 11 — Beispiel eines Prüfaufbaus zur Prüfung eines Kabelbaums basierend auf 200/280-µm-Stufenindexfasern (Faser der EN 4533 mit NA von 0,24)

Das System beginnt mit einer überangeregten Einkopplung in die Faser. In der Praxis wird dies durch Einkopplung einer Punktgröße erreicht, welche den Faserkern übersteigt (80 % Intensitätsniveau bei 1,05 × Faserkerndurchmesser). Die numerische Apertur des Einkopplungslichtes sollte größer sein als die numerische Apertur der Faser (~ 0,3 empfohlen). Dieser Aufbau umfasst Abstreifer für die Mantelmoden, um jegliches Licht, welches durch den Fasermantel geleitet wird auf weniger als 1 % der Gesamtleistung zu reduzieren. In der Praxis wird dies dadurch erreicht, dass ein Abschnitt der Fasern mit freigelegtem Mantel von einem Material mit höherem Brechungsindex eingehüllt wird als der Mantel selbst aufweist. Ein Modenfilter (der permanent in die Kopplungsleitung integriert ist) schränkt die geführten Moden des Systems ein. Dies wird durch eine Umwicklung der Faser erreicht (5 Umdrehungen bei einem Durchmesser von 60 mm). Dieser Aufbau führt zu einer Einkopplungsaufteilung, die innerhalb der in Bild 12 gezeigten Vorlage liegt. Lichtquellen, welche dieser definierten Aufteilung entsprechen, sind kommerziell verfügbar.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07



Legende

innerer Grenzwert
normalisierte Leistung
äußerer Grenzwert

1 normalisierte Leistung
2 Grad

Bild 12 — Beispiel einer Lichtquellenaufteilungsvorlage (Fernfeld) für eine 200/280-µm-Stufenindexfaser (Faser der EN 4533 mit NA von 0,24)

7 Prüfen der Netzwerkpfade: Reflektometrie und Footprinting

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den als Reflektometer bekannten Instrumenten. Von diesen gibt es zwei Haupttypen: OTDR und OFDR („Optical Time Domain Reflectometer“ und „Optical Frequency Domain Reflectometer“). Diese Instrumente messen die Einfügungsdämpfung und die Reflexionsereignisse in Lichtwellenleitersystemen auf eine andere Art und Weise als bei der Messung der optischen Leistung. Neben der Messung der Leistung einzelner Komponenten oder Elemente einer Lichtwellenleiterverbindung, können diese Instrumente auch zur Messung oder Abbildung ganzer Verbindungen zur Erstellung von Leistungsbilanzen über die Gebrauchsdauer des Luftfahrzeugs hinweg eingesetzt werden. Dies führt im weiteren Verlauf zum Konzept des „Footprintings“, welches am Ende dieses Abschnitts beschrieben wird.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

7.1 OTDRs

Die Laufzeitreflektometrie (en: optical time domain reflectometry, OTDRs) unterscheidet sich grundlegend von klassischen Leistungsmessverfahren. Das Verfahren beinhaltet die Einkopplung eines Lichtimpulses in das Lichtwellenleitersystem durch ein OTDR-Gerät. Ein Detektor im Messgerät zeichnet dann das Rückstreusignal auf. Innerhalb der Faser wird das Licht in alle Richtungen verstreut (eine sogenannte Rayleigh-Rückstreuung), einschließlich zurück zur Quelle. OTDR verwendet dieses „rückgestreute Licht“ zur Durchführung der Messungen. Zu jedem Zeitpunkt ist das vom OTDR-Gerät gesehene Licht jenes Licht, welches vom Impuls bei der Durchquerung einer Region der Faser gestreut wird. Da es möglich ist, die Geschwindigkeit des Impulses zu kalibrieren während dieser die Faser durchquert, kann das OTDR-Gerät das was es im rückgestreuten Licht sieht mit einer tatsächlichen Position in der Faser korrelieren.

Das entstehende Protokoll ist ein Abbild der gesamten Faser, welches Verluste und Reflexionsereignisse als Funktion der Distanz aufdeckt. Die Zeitsteuerung und Intensität des rückgestreuten Lichtes in Bezug auf den einfallenden Impuls liefert Informationen zur Einfügungsdämpfung und Rückstreuung von Ereignissen (dies ist für Steckverbinder nützlich, kann aber auch Biegungen und Spleiße umfassen).

Ein Schlüsselattribut dieser Art der Prüfung ist der Umstand, dass diese nur einen einzigen Zugangspunkt entlang der Faserverbindung benötigt (im Vergleich zu Leistungsverlustmessungen, welche eine Einführung von Licht in die Verbindung hinein und eine Detektion aus der Verbindung heraus erfordern).

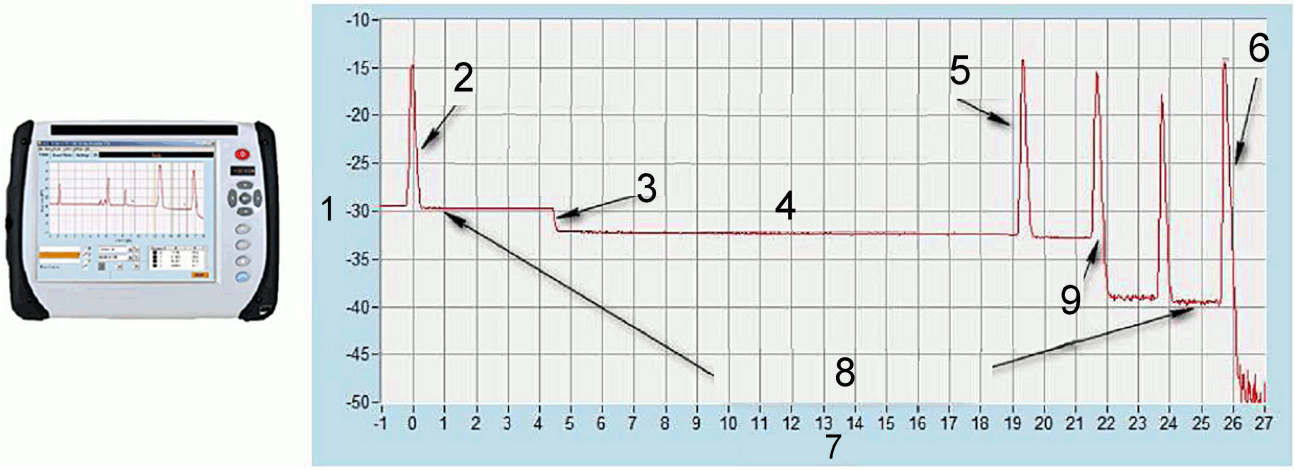
Aufgrund ihrer Fähigkeit, Ereignisse entlang eines Faserpfades zu messen, können OTDR-Geräte auch für die Fehlersuche eingesetzt werden.

7.1.1 Beispielhafte Protokollierung

Ein typisches OTDR-Protokoll wird im Bild 13 gezeigt. Dieses veranschaulicht einige der Hauptereignisse und -messungen, welche dargestellt werden können. Spitzen und Stufenänderungen im Protokoll weisen auf „Ereignisse“ innerhalb der Faser hin. Die Horizontalschnitte zwischen den Ereignissen zeigen die Rückstreuung durch die Faser selbst.

Die Einfügungsdämpfung eines Ereignisses wird durch die Differenz im Protokollierungsniveau vor und nach einem Ereignis ausgedrückt. Wie in Bild 13 zu erkennen ist, zeigen Steckverbinder mit niedrigen Verlusten nur wenige Veränderungen in der Höhenebene des Protokolls vor und nach der „Spitze“ des Ereignisses. Einer der Steckverbinder nahe am Ende des Pfades zeigt eine starke Höhendifferenz, was auf einen signifikanten Verlust hinweist. Hierbei kann es sich um einen falsch ausgerichteten oder dreckigen Steckverbinder handeln.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07



Legende

1 Amplitude [dB]
2 Ausgangsstecker – Rückstreuverlust = 29,5 dB – Einfügungsdämpfung = 0,2 dB
3 Spleiß – Einfügungsdämpfung = 2,4 dB
4 Faser – Verlust = 13 dB km (650 nm)
5 guter Steckverbinder – Rückstreuverlust = 23,5 dB – Einfügungsdämpfung = 0,35 dB
6 Ende der Baugruppe – Rückstreuverlust = 14 dB
7 Distanz [m]
8 Gesamtverluste der Baugruppe = 9,8 dB
9 schlechter Steckverbinder – Rückstreuverlust = 25 dB – Einfügungsdämpfung = 6,2 dB

Bild 13 — (a) OTDR bei Anwendung in der Luft- und Raumfahrt. Ein derartiges Instrument erlaubt die Messung der Einfügungsdämpfung, des Rückstreuverlustes, die Fehlersuche und das Footprinting einer Installation. (b) Veranschaulichende OTDR-Protokollierung, welche lösbare Ereignisse, wie Steckverbinderstandorte/Verluste/Reflexionen zeigt

Die Messung der Rückstreuverluste mittels OTDR basiert auf der Messung der Höhe einer „Spitze“ infolge der reflektierten Leistung eines Ereignisses in Bezug auf das Ausmaß der Rückstreuung. In dieser Hinsicht ist eine Kalibrierung des Instruments wichtig. Das RBS-Niveau hängt von der Faserart, der Wellenlänge und der Auflösung des Reflektometers ab. Es ist oftmals notwendig, es auf eine bestimmte Reihe von Parametern zu kalibrieren. Dies kann mittels einer bekannten kalibrierten Reflexion erfolgen. Für einen regelmäßigen Anwender kann es nützlich sein, eine Sammlung an Werten aufzubauen, welche den unterschiedlichen Fasern, Wellenlängen und möglicherweise OTDR-Auflösungen entsprechen und diese Sammlung dann für seine Anwendungen zu verwenden.

Die OTDR-Messung der Reflexion eines bestimmten Ereignisses entspricht dem Rückstreuverlust dieses Ereignisses. Bei mehreren Reflexionen mit ausreichendem Abstand dazwischen, misst das OTDR-Gerät den Rückstreuverlust eines jeden einzelnen Ereignisses. Wenn die Reflexionen zu nah aneinander liegen und die Spitzen nicht aufgedeckt werden können, misst das OTDR-Gerät den effektiven Rückstreuverlust der Summe der Reflexionen.

Ein weiteres erwähnenswertes Merkmal ist der große Signalsprung am Ende der Faser in Bild 14, wo das zurückreflektierte Licht der Faser (RBS-Niveau) auf Geräuschebene abfällt. Es ist dabei sehr wichtig, dass bestätigt wird, dass tatsächlich ein großer Sprung am Ende der Baugruppe besteht, um sicherzustellen, dass der horizontale Teil der Protokollierung wirklich dem RBS-Licht entspricht und nicht einfach nur Rauschen darstellt.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

7.1.2 Wichtige Eigenschaften

Die wichtigsten technischen Parameter einer OTDR-Messung sind der dynamische Bereich, die räumliche Auflösung und die sogenannten Todeszonen.

7.1.3 Dynamischer Bereich

Der dynamische Bereich ist die Differenz aus dem höchsten Rayleigh-Rückstreuungsniveau und dem Rauschpegel des Instruments. Er beschreibt die maximale Fähigkeit der Faserverlustmessung des Instruments. Die Menge an zum OTDR-Gerät rückgestreutem Licht ist proportional zur Rückstreuung der Faser, der Spitzenleistung und Länge des emittierten Prüfungsimpulses. Die Spitzenleistung des Impulses oder die Impulsbreite können erhöht werden, um mehr rückgestreutes Licht zu erhalten sowie die Qualität und die Reichweite der Messung zu verbessern.

7.1.4 Auflösung

Eine erhöhte Impulsbreite verbessert den dynamischen Bereich, senkt aber die räumliche Auflösung (kürzere Impulse führen zu einer besseren räumlichen Auflösung). Wenn zwei rückstrahlende Ereignisse nah aneinander liegen, dann müssen zwei Spitzen aufgedeckt werden. Manche Instrumente verwenden höchst empfindliche Photonenzählverfahren, um einen nutzbaren dynamischen Bereich zu erhalten und gleichzeitig kürzere Impulsdauern zu ermöglichen (nützliche Auflösung).

7.1.5 Todeszonen

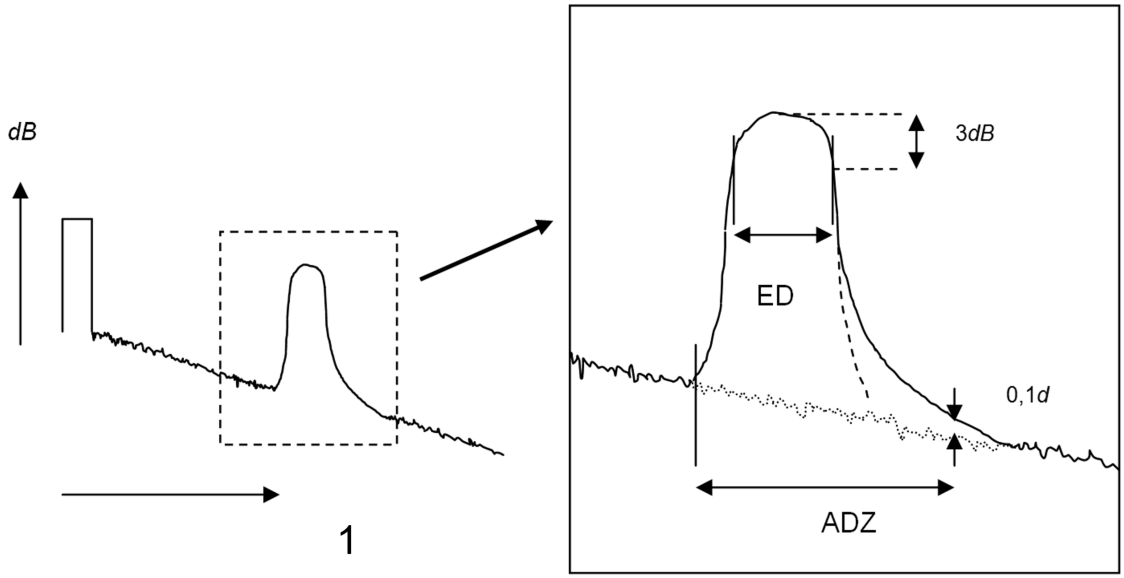
Das Ereignis „Todeszone“ gibt den Mindestabstand zweier eng aneinanderliegender Ereignisse, welche durch das Instrument separat aufgedeckt werden können. Es wird als Abstand in Metern bei −1,5 dB von jeder Seite der reflektierenden Spitze definiert.

Die Dämpfungstodeszone gibt den Mindestabstand an, der nach einem reflektierenden Ereignis zur Ausführung einer Verlustmessung notwendig ist. Sie ist definiert als Abstand zwischen Einsetzen des Relexionsimpulses und dem Punkt an dem der Ereignismesswert sich bis auf 0,5 dB (oder aktueller, 0,1 dB) des Rückstreuungsniveaus der Fasern erholt hat.

Die Todeszonen werden in Bild 14 veranschaulicht.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07



Legende

1 Abstand

Bild 14 — Festlegung der Todeszonen für OTDR

Für weitere Informationen zu OTDR-Messungen, siehe EN 2591-605, *Luft- und Raumfahrt — Elektrische und optische Verbindungselemente; Prüfverfahren — Teil 605: Optische Elemente, Rückstreuverluste (derzeit im Prüfungsstadium).*

7.1.6 Diskussion

OTDR-Geräte haben sich im Laufe der Zeit von eher unhandlichen Tischgeräten zu den heutigen Instrumenten, die deutlich kompakter und tragbar sind, entwickelt. Software und Benutzeroberflächen sind besser geworden, aber die Auswertung der Protokollmerkmale erfordert dennoch ein gewisses Maß an Erfahrung; beispielsweise können Reflexionen zu Phantomereignissen führen, die eventuell nur von einem erfahrenen Benutzer erkannt werden. Der Einsatz von OTDR-Geräten kann außerdem bei bestimmten Netzwerken nur eingeschränkt möglich sein, beispielsweise bei Netzwerken mit Sternkopplung, besonders dann, wenn die Armlängen im Netzwerk ähnlich sind (dies führt zum zeitlichen Zusammenfallen von Ereignissen). OTDR-Geräte funktionieren bei einfachen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen am besten.

Standard-OTDR-Geräte, die für die Telekommunikationsanwendung gedacht sind, sind nicht gut für hochauflösende Messungen auf kurze Distanzen geeignet, wie sie an Bord von Luftfahrzeugen wohl erforderlich wären. OTDR-Geräte der Telekommunikationsbranche wurden für Distanzen von mehreren Kilometern mit einer Auflösung von einigen Metern entwickelt, während es bei der Prüfung von Lichtwellenleitern in der Luft- und Raumfahrt um deutlich kürzere Distanzen und höhere Auflösungsanforderungen geht. Einige typische Zahlen für ein OTDR-Gerät, das für die Anwendung in der Luft- und Raumfahrt geeignet ist, sind ein Ereignistodeszone von ~ 12 cm und eine Dämpfungstodeszone von ~ 26 cm. Eine optische Detektion mit hoher Empfindlichkeit bis zu −100 dBm ist mittels Photonenzähltechnologie möglich.

OTDR-Geräte sind für die gebräuchlichsten Arten von Lichtwellenleitern, einschließlich Standard-Einmodenfasern, OM1 bis OM4 Mehrmodenfasern sowie einige größere Faserarten und polymere optische Fasern (POF) verfügbar. Instrumente sind für die gebräuchlichsten Wellenlängen verfügbar (650 nm, 850 nm, 1 310 nm und 1 550 nm).

Wie zuvor erwähnt, können OTDR-Geräte zum „Footprinting“ eines photonischen Kabelbaums verwendet werden. Das Bild 13 zeigt, wie eine Ereignisabbildung für eine Faserverbindung aufgezeichnet werden kann. Das Protokoll kann aufgezeichnet und zu einem späteren Zeitpunkt neu ausgemessen werden. Es ist daher

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

möglich, Veränderungen eines optischen Kabelbaums zu sehen und alle Verschlechterungen oder Alterungserscheinungen hervorzuheben. Bezüglich der Fehlersuche ist es relativ einfach, neue Reflexionsereignisse (möglicherweise Brüche oder Biegungen) oder fehlerhafte Steckverbinder (beispielsweise charakterisiert durch abnormal hohe Verlust- oder Reflexionswerte) zu identifizieren.

Instrumente sind für gewöhnlich entweder für Einzelmoden- oder Mehrmodenfasern verfügbar. Manche Hersteller liefern allerdings auch kundenspezifische Instrumente mit mehreren Optionen, z. B. Mehrmoden-anschlüsse sowohl für 50 µm und 62,5 µm Fasern oder gemischte Einmoden- und Mehrmodenoptionen bei einer bestimmten Wellenlänge, z. B. 1 300 nm.

7.2 OFDR

Ein OFDR-Gerät („Optical Frequency Domain Reflectometer“) ist ein hochauflösendes und hochempfindliches Instrument zur Ausmessung von Glasfasernetzwerken mit kurzen Strecken, welches auf wiederholter Frequenz-, bzw. Wellenlängenabtastung einer kontinuierlichen Welle basiert. Manchmal wird ein solches Gerät auch als OBR (en: Optical Backscattering Reflectometer) bezeichnet. Üblicherweise wird ein einstellbarer Laser mit externem Resonator als Quelle verwendet. Die Funktion des OFDR-Geräts basiert auf Interferenzen zwischen dem Licht, welches bei Prüfung aus der Baugruppe oder Verbindung zurückkehrt und dem Licht, welches von einem festen Bezugsreflektor innerhalb des Instruments reflektiert wird. Interferenzen beider orthogonaler Polarisationszustände des Lichts werden aufgezeichnet. Nachdem der komplexe Reflexionskoeffizient der Baugruppe durch Prüfung in der Frequenzdomäne erhalten wurde, wird die Reflektivität in der Zeitdomäne über die Fouriertransformation des Signals (und daher als Funktion der Länge) bestimmt.

So wie OTDR-Geräte, können auch OFDR-Geräte eine Zuordnung der Verlust- und Reflexionsereignisse entlang des Faserpfades darstellen. OFDR-Geräte sind üblicherweise für gewöhnliche Einmodenfasern mit Telekommunikationswellenlängen von 1 310 nm und 1 550 nm ausgelegt. Jedoch können OFDR-Geräte durch Anschluss eines Modenkonverters für die Einmoden-zu-Mehrmoden-Konvertierung an der Frontplatte des Instruments auch für Mehrmodensysteme verwendet werden. Dieser Modenkonverter ermöglicht eine eher angeregte Einkopplungsbedingungen, um auf praktische Art und Weise die gesamten Verbindungsverluste und Rückstreuverluste der Verbindung und jedes einzelnen Segments der Mehrmodenverbindung von einem einzigen Zugangspunkt aus zu messen, führt aber zusätzliche Verluste in das System ein und reduziert so den verfügbaren dynamischen Bereich des Instruments. Die erreichbare Auflösung im Mehrmodensystem wird durch die erhöhte Modendispersion leicht verschlechtert. Die Diskrepanz zwischen Einmoden- und Mehrmodenfasern führen ebenfalls zu weiteren Verlusten (für das reflektierte Licht), welche bei einer Messung berücksichtigt werden müssen.

Ein OFDR-Gerät kann eine vollständige Charakterisierung der Einfügungsdämpfung, des Rückstreuverlustes und der Abstände zu Ereignissen in einem Lichtwellenleiterkabelbaum oder einer Lichtwellenleiter-verbindung bieten. Ein solches Gerät ist in der Lage, eine Verbindung mit weniger als 1 mm räumlicher Auflösung an zwei Punkten auszumessen. Ein typisches OFDR-Protokoll wird im Bild 15 gezeigt. Diese Instrumente sind für die verteilte Messung an Bord von Luftfahrzeugen, z. B. zur Messung der Temperatur oder Dehnung an verschiedenen Punkten entlang einer Struktur, beispielsweise eines Flügels.

Die Messung des Rückstreuverlustes mittels OFDR basiert auf der Messung der Leistung einer Spitze in Relation zur durch eine bekannte Kalibrierungsquelle reflektierten Leistung (z. B. ein Bezugsreflektor, eine polierte Faserspitze, integrierte Streuung aus bekannter Faserlänge, usw.). Die OFDR-Messung der Reflexion eines bestimmten Ereignisses entspricht dem Rückstreuverlust dieses Ereignisses.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07

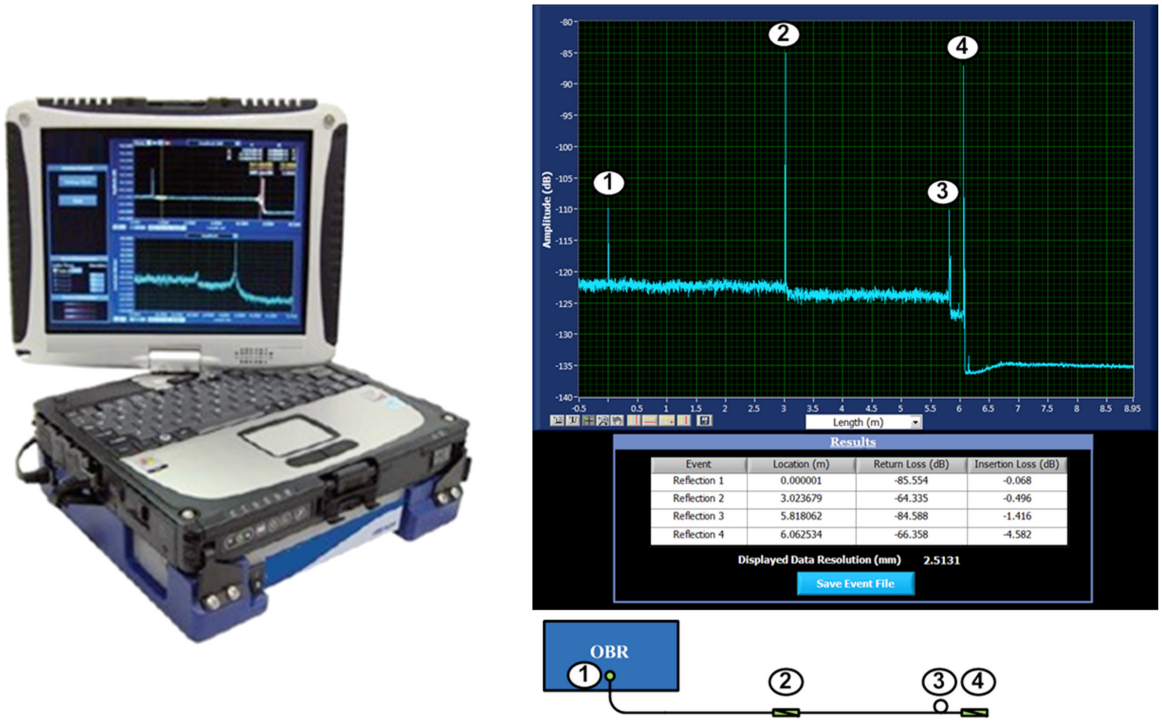


Bild 15 — Beispiel für ein OFDR-Gerät und entsprechende Protokollierung, welche Ereignisreflexionen und automatische Messungen zeigt

OFDR-Instrumente hoher Spezifikation verfügen typischerweise über Leistungsdaten im folgenden Bereich:

— < 3 mm räumliche Auflösung;

— 500 m Längenreichweite ohne Todeszone;

— Empfindlichkeit −120 dB;

— 0,1 dB Auflösung der Einfügungsdämpfung.

Aufgrund der Auflösung des Geräts, kann ein OFDR-Gerät Ereignisse innerhalb eines Steckverbinders auflösen.

Kommerziell verfügbare OFDR-Systeme kalibrieren den absoluten Reflexionsgrad durch Messung der Streuung eines bekannten Segments einer Faser innerhalb des Instruments. Dieses interne Verfahren führt zu einer genauen Kalibrierung des RBS-Niveaus. Dieses Verfahren der internen Kalibrierung vereinfacht den Messprozess, da das Instrument automatisch Änderungen der räumlichen Auflösung berücksichtigt. Der Benutzer muss die RBS-Koeffizienten für verschiedene Messungsauflösungen nicht selbst liefern.

Wenn eine kalibrierte Reflexion oder eine interne Kalibrierung nicht verfügbar ist, dann kann ein RBS-Niveau auch aus der Literatur übernommen werden. In der Tat wird für die meisten üblichen Faserarten der Koeffizient der Rayleigh-Rückstreuung bei verschiedenen Wellenlängen vom Faserhersteller geliefert. Obgleich die veröffentlichten RBS-Koeffizienten für die verschiedenen Arten von SMF gut übereinstimmen, gibt es bei den MMF gewisse Schwankungen. Die Messung von Rückstreuverlusten mittels veröffentlichter RBS-Koeffizienten unterliegt daher der gleichen Unsicherheit.

Weitere Informationen zu OFDR-Messungen sind in EN 2591-605 zu finden (derzeit im Prüfungsstadium).

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 4533-002:2017-07