DIN EN 4533-004

ICS 49.060

Ersatz für
DIN EN 4533-004:2008-02

Luft- und Raumfahrt – Faseroptische Systemtechnik – Handbuch – Teil 004: Reparatur, Instandhaltung, Reinigung und Inspektion; Deutsche und Englische Fassung EN 4533-004:2018

Aerospace series –
Fibre optic systems –
Handbook –
Part 004: Repair, maintenance, cleaning and inspection;
German and English version EN 4533-004:2018

Série aérospatiale –
Systèmes des fibres optiques –
Manuel d'utilisation –
Partie 004: Réparation, maintenance, nettoyage et contrôle;
Version allemande et anglaise EN 4533-004:2018

Gesamtumfang 74 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 19
www.din.de
www.beuth.de

Documents Document Sharing Hub

2803811

Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

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 (EN 4533-004:2018) wurde von ASD-STAN, Fachbereich Elektrik, 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.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

IEC 60825-1 siehe DIN EN 60825-1

IEC 61300-3-35 siehe DIN EN 61300-3-35

Änderungen

Gegenüber DIN EN 4533-004:2008-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) im Anwendungsbereich entfielen informative Texte;

b) die Norm wurde grundlegend überarbeitet und die Struktur geändert;

c) Abschnitt 3 beinhaltet nur noch die Fehleranalyse, die Inhalte zur Reparatur wurden in Abschnitt 4 zusammengefasst, die Unterabschnitte wurden entsprechend bearbeitet und positioniert, darunter ist auch der bisherige Abschnitt 5 „Bewährte Verfahren während der Instandhaltung/Inspektion“, welcher jetzt 3.4.2 ist;

d) in Abschnitt 5 wurden die Thematiken Inspektion und Reinigung zusammengeführt;

e) der bisherige Abschnitt 4 „Planmäßige Instandhaltung und Inspektion“ befindet sich in überarbeiteter Form nunmehr in Abschnitt 6.

f) der bisherige Abschnitt 6 „Überlegungen zur Kabelbaumkonstruktion“ entfiel;

g) es wurden zwei normative Anhänge zu Verunreinigungen der Stirnflächen von Endstellen und zu zwei Reinigungsverfahren hinzugefügt.

Frühere Ausgaben

DIN EN 4533-004: 2008-02

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1), *Sicherheit von Lasereinrichtungen — Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen*

DIN EN 61300-3-35, *Lichtwellenleiter — Verbindungselemente und passive Bauteile — Grundlegende Prüf- und Messverfahren — Teil 3-35: Untersuchungen und Messungen — Visuelle Inspektion von Lichtwellenleiter-Steckverbindern und Faser Stub-Transceivern*

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

– Leerseite –

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

EUROPÄISCHE NORM

EUROPEAN STANDARD

NORME EUROPÉENNE

EN 4533-004

Januar 2018

ICS 49.060

Ersatz für EN 4533.004:2006

Deutsche Fassung

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

Aerospace series — Fibre optic systems — Handbook — Part 004: Repair, maintenance, cleaning and inspection

Série aérospatiale — Systèmes des fibres optiques — Manuel d'utilisation — Partie 004: Réparation, maintenance, nettoyage et contrôle

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 23.Juli 2017 angenommen.

Die CEN-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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

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



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels

© 2018 CEN Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den nationalen Mitgliedern von CEN vorbehalten.

Ref. Nr. EN 4533-004:2018 D

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort ... 3
Einleitung ... 4
1 Anwendungsbereich ... 5
2 Normative Verweisungen ... 5
3 Fehleranalyse ... 6
3.1 Fehlerbenachrichtigung ... 6
3.2 Symptome ... 6
3.3 Potenzielle Fehler ... 7
3.4 Fehleridentifikation und -ortung ... 10
4 Reparaturverfahren ... 12
4.1 Allgemeines ... 12
4.2 Spleiß ... 13
4.3 Reparatur der Struktur ... 14
4.4 Wiederherstellung der Endstelle ... 14
5 Inspektion und Reinigung ... 15
5.1 Inspektion der Stirnfläche ... 15
5.2 Reinigung ... 19
6 Planmäßige Instandhaltung und Inspektion ... 23
6.1 Wann sind Instandhaltung/Inspektion durchzuführen? ... 23
6.2 Instandhaltung/Inspektion von Systemen ... 23
6.3 Instandhaltung/Inspektion von Komponenten ... 24
Anhang A (normativ) Verunreinigungen der Stirnflächen von Endstellen ... 25
Anhang B (normativ) Reinigungsverfahren ... 30
B.1 Verfahren 1 ... 30
B.2 Verfahren 2 ... 32

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 4533-004:2018) 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.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juli 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juli 2018 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt EN 4533-004:2006.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

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. Gegebenenfalls wird im Verlauf des Textes auf detailliertere Informationsquellen verwiesen.

Das Handbuch ist in 4 Teile gegliedert, die sich auf grundlegende Aspekte des Lebenszyklus 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 allgemein die Tatsache akzeptiert, dass Photonentechnologie wesentliche Vorteile gegenüber konventioneller elektrischer Gerätetechnik aufweist. Dazu gehören eine große Signal-Bandbreitenkapazität, elektrische Sicherheit und die elektromagnetische Störfestigkeit (EMI) von passiven LWL-Bauteilen. Auch lassen sich wesentliche Gewichtseinsparungen im Vergleich zu elektrischen Kabelbäumen realisieren, welche unter Umständen einer starken Abschirmung bedürfen. Bislang ist die EMI-Problematik die wesentliche Antriebskraft für LWL-Kommunikationssysteme in Luftfahrzeugen aufgrund der zunehmenden Verwendung von nicht metallischen Luftfahrzeugstrukturen. Künftige Avionikanforderungen erfordern Bandbreitenspezifikationen von zweistelligen Werten im Mbit/s-Bereich bis zum Multi-Gbit/s-Bereich in einigen Fällen, d. h. jenseits der Grenzen elektrischer Anschlusstechnologie. Die Eigenschaften der Photonentechnologie können potenziell vorteilhaft in vielen Avionikanwendungen eingesetzt werden, sowohl z. B. bei Video-/Messfühler-Mehrfachbetrieb, Signalgebung für die Flugsteuerung, elektronischer Kampfführung sowie Unterhaltungssystemen als auch für Messfühler für das Überwachen von Luftfahrzeugstrukturen.

Die Grundstruktur 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 sich zusätzlichen physikalischen Einschränkungen durch die Luftfahrzelle (z. B. Kabelbaumhalterungen, erforderliche enge Biegeradien und Schottverbindungen) anpassen. Bis vor kurzem waren die optische Kabelbaumtechnologie und damit verbundene Verfahrensweisen für die Anwendung ohne große Sicherheitsreserve unzureichend entwickelt. Darüber hinaus wurden viele Aspekte des Lebenszyklus in den Internationalen Normen nicht angemessen behandelt. Der Mangel an anerkannten Normen führte zu luftfahrtspezifischer Gerätetechnik und Unterstützung. Diese Faktoren zusammen führten zu einem wesentlichen Kostennachteil (Kosten für Anschaffung und Unterhalt), wodurch optische Kabelbäume gegenüber entsprechender Elektrotechnik häufig weniger konkurrenzfähig waren. Mit der Einführung von mehr standardisierten (nach Telekommunikationsart) Lichtwellenfaserbauarten für Kabel in der Luft- und Raumfahrt und der Verfügbarkeit von mehr handelsüblichen Produkten (COTS) in besonders robuster Bauweise ändert sich diese Situation. Diese verbesserten Entwicklungen waren aufgrund der signifikanten Zusammenarbeit in der Forschung zwischen Bauteil- und Ausrüstungs-Herstellern sowie den Flugzeugherstellern als Endnutzer möglich.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

1 Anwendungsbereich

Dieses Handbuch enthält Leitlinien zur „Fehleranalyse und Reparatur“ sowie zur „Instandhaltung und Inspektion von Lichtwellenleiterverbindungen“. Der erste Aspekt befasst sich mit der Vorgehensweise, die anzuwenden ist, wenn etwas nicht richtig funktioniert — der Weg von der Fehlerbenachrichtigung zum Finden des Fehlers und letztlich der Reparatur des Fehlers. Der zweite Aspekt behandelt die empfohlenen Verfahrensweisen für die Wartung und Instandhaltung von Kabelbäumen über die Lebensdauer der Installation hinweg.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes normativ 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 4533-001, *Luft- und Raumfahrt — Faseroptische Systemtechnik — Handbuch — Teil 001: Anschlussverfahren und Werkzeuge*

EN 4533-002, *Luft- und Raumfahrt — Faseroptische Systemtechnik — Handbuch — Teil 002: Prüfung und Messung*

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

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

EN 3733 (alle Teile), *Luft- und Raumfahrt — Optischer Rundsteckverbinder, einpolig, selbstsichernde Schraubkupplung, Betriebstemperatur 150 °C konstant*

EN 4531-101, *Luft- und Raumfahrt — Optische Rundsteckverbinder mit dreigängiger Schraubkupplung — Bündige Kontakte — Teil 101: Optischer Kontakt für Multimode-Kabel nach EN 4641, –55 °C bis 125 °C — Produktnorm*

EN 4639-101, *Luft- und Raumfahrt — Optischer Rechtecksteckverbinder, modular, Mehrfachkontakt, Ferrulendurchmesser 1,25 mm, demontierbarer Zentrierhülsenhalter — Teil 101: Optischer Kontakt für EN 4641-100 Kabel — Betriebstemperaturen zwischen –65 °C und 125 °C — Produktnorm*

EN 4645 (alle Teile), *Luft- und Raumfahrt — Optische Rundsteckverbinder mit Schraubkupplung, selbstsichernd, Einzel- und Multipin, Ferrulendurchmesser 1,25 mm, demontierbarer Zentrierhülsenhalter*

IEC 60825-1, *Safety of laser products — Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide*

IEC 61300-3-35, *Fibre optic interconnecting devices and passive components — Basic test and measurement procedures — Part 3-35: Examinations and measurements — Visual inspection of fibre optic connectors and fibre-stub transceivers*

ARINC 805, *Harsh environment fibre optic connectors/testing*

SAE-AS5675, *Characterization and requirements for new aerospace fibre optic cable assemblies — Jumpers, end face geometry, link loss measurement, and inspection*

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

3 Fehleranalyse

3.1 Fehlerbenachrichtigung

Eine Fehlerbenachrichtigung folgt aus einer oder mehreren von drei Quellen: der planmäßigen Instandhaltung, integrierte Testfunktionen (en: Built-In-Test, BIT) oder dem Ausfall von Ausrüstung.

Idealerweise sollte die planmäßige Instandhaltung alle verborgenen Fehler aufzeigen, d. h. all jene, welche anfänglich keine Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit des Systems haben, aber später im Verlauf des Luftfahrzeugbetriebes ein Problem verursachen könnten. Dabei sollten auch Fehler basierend auf einem allmählichen Abbau erkannt werden, d. h. jene, welche die Leistungsfähigkeit des Systems allmählich verschlechtern, aber noch keinen tatsächlichen Ausfall verursacht haben sowie alle anderen Fehler, welche den integrierten Testfunktionen entgangen sind.

BIT ist die Fähigkeit der Systeme des Luftfahrzeugs, sich selbst zu diagnostizieren. Durch BIT sollten alle Fehler erkannt werden, welche zwischen geplanten Instandhaltungsmaßnahmen und, mit der Ausnahme plötzlicher katastrophaler Fehler, vor dem Eintreten eines Ausfalls entstehen. BIT sollte auch bei der Lokalisierung des Fehlers behilflich sein.

Ein Ausfall ist der Schlimmstfall (Worst Case) und sollte nur die Folge eines auftretenden Fehlers sein, auf den man sich nicht vorbereiten kann.

3.2 Symptome

An diesem Punkt werden Unterschiede zwischen Lichtwellenleiter- und elektrischen Installationen offensichtlich. Das häufigste Symptom in einer Lichtwellenleiterverbindung ist der vollständige oder teilweise Verlust der optischen Leistung. Dies tritt dann ein, wenn das Licht aus der Beschränkung des Faserkerns ausbricht, und kann das Ergebnis einer Beschädigung der Faser oder der Verbindung sein. Es kann auch aus der Verunreinigung der Stirnfläche von Endstellen der Lichtwellenleiter, übermäßigem Druck, Quetschung oder übermäßigem Biegen/Knicken des Lichtwellenleiterkabels folgen. In Abhängigkeit von der Größenordnung des Verlustes kann das Ergebnis ein Fehler sein, welcher oberhalb oder unterhalb des Grenzwerts der Verbindung liegt — ein Fehler unterhalb des Grenzwerts der Verbindung führt zu einem Ausfall. Schwerwiegende Schäden, wie beispielsweise der Bruch eines Lichtwellenleiters, können zu einem kompletten Verlust der optischen Leistung führen.

Zeitweilig aussetzende optische Signale sind möglich und können aus der Bewegung von Fasern, z. B. durch Vibration oder Biegen einer Faser, resultieren. Eine Erhöhung der optischen Leistung ist ebenfalls möglich, obgleich dies eher auf die Stabilität der Lichtquelle zurückzuführen ist, als auf die Verbindung selbst.

Eine allmähliche Verschlechterung der optischen Leistung ist ein wichtiges Symptom, das es zu erkennen gilt, da dies auf den Beginn eines Ausfalls hinweist. Eine ansteigende Verunreinigung oder Weiterverbreitung von Schäden an der Stirnfläche der Endstellen von Lichtwellenleitern könnte hierfür verantwortlich sein. Außerhalb des Kabelbaums kann auch eine Verschlechterung der optischen Quelle der Grund sein.

Rückreflexion ist ein Phänomen, welches an jeder Schnittstelle mit unterschiedlichem Brechungsindex auftritt, z. B. Glas/Luft. Rückreflexion ist von besonderer Wichtigkeit, wenn aktive Geräte laserbasierte Systeme verwenden und das reflektierte Licht die Übertragungsfähigkeit der optischen Quelle beeinflussen kann. Dies kann zu einer Verschlechterung des übertragenen Signals und möglicherweise zu einer Beschädigung der optischen Quelle führen.

Verborgene Fehlersymptome, d. h. jene, die keinen Einfluss auf die optische Leistung des Systems haben, aber sehr wohl der erste Schritt eines Fehlers sein könnten, welcher dies tut. Diese werden am wahrscheinlichsten während der Inspektion aufgedeckt und umfassen eine schlechte Verlegung, falsche Befestigungsmethoden, die zur Aufbringung eines übermäßigen Druckes auf das Lichtwellenleiterkabel führen, und schlechte Spannungsentlastung an Verbindungselementen.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

3.3 Potenzielle Fehler

3.3.1 Faser

Faserbrüche im Kabel können beim Eintritt der Faser in den Steckverbinder sowie innerhalb der Steckverbinderferrulen auftreten. Ein Faserbruch würde zu einem vollständigen Verlust der optischen Leistung oder — bei Aufrechterhaltung eines optischen Weges über den Bruch hinweg — zu einer verringerten Leistung führen, die unter Schwingung oszillieren könnte. Faserbrüche treten am wahrscheinlichsten während der Installation oder anderen Instandhaltungsarbeiten auf, wenn die Faser übermäßiger Spannung ausgesetzt ist. Verborgene Fehler, wie Beschädigung der Gehäusekonstruktion, können am empfindlichsten Punkt der Faser zu einem Bruch führen — am Eintritt in die Steckverbinderferrulen.

Andere Fehler der Faser sind Risse, die sich unter umgebungsbedingter Beanspruchung sowie durch Mikrobiegung, d. h. die Faser wird innerhalb des Kabels mit Biegeradien im Millimeterbereich „wellenförmig“ gebogen, entwickeln können. Dieser Effekt ist von Telekommunikationskabeln bekannt, die niedrigen Temperaturen ausgesetzt waren, wodurch sich der Kabelmantel zusammengezogen hat. Beschädigung und Verunreinigung der Faserstirnflächen sind als Steckverbinderfehler aufgeführt.

Ein weiterer möglicher Faserfehler kann ebenfalls auftreten durch örtliche, auf die Faser wirkende Spannungen (beispielsweise ungeeignete Kabelbefestigungen, niedrige Biegeradien, Quetschen der Faser), die zu einer ungewollten optischen Dämpfung führen können.

3.3.2 Kabel

Materielle Beschädigung des Kabels kann durch Abrieb oder Klemm-/Druckschäden verursacht werden. Das Kabel verfügt außerdem über einen kleinsten zulässigen Langzeit- und Kurzzeit-Biegeradius. Werden diese nicht eingehalten, besteht das Risiko einer Beschädigung der Faser.

3.3.3 Steckverbinder

Der Steckverbinder und der umliegende Bereich sind vielleicht am anfälligsten für Fehler. Trennen kann zum häufigsten Problem führen: Verunreinigung. Vom Trennen wird, so weit möglich, abgeraten, aber in einigen Fällen ist es unvermeidbar.

Die Verunreinigung kann von gering, wobei das Sauberwischen mit einem fusselfreien Tuch ausreichend ist, bis erheblich sein, wobei der Verbindungsmechanismus beeinträchtigt ist. Verunreinigung kann zu dauerhafter Beschädigung der Faserstirnfläche führen. Verunreinigung durch Flüssigkeiten verursacht einige spezifische Probleme.

Es bestehen auch Probleme von Faser-Einwachsen/Herauswachsen (bei Versagen der Klebverbindung zwischen Faser und Ferrule) und fehlerhafter Faserausrichtung.

Steckverbinder haben zudem das Potential für verborgene Fehler, wie Überdrehen des Verbindungsmechanismus und ungeeignete Zugentlastung.

3.3.4 Endgehäuse

Neben der materiellen Beschädigung des Endgehäuses besteht bei fehlerhafter Verlegung innerhalb des Endgehäuses ebenfalls ein Potential für das Quetschen, Biegen oder Abschnüren von Fasern.

3.3.5 Schutzrohr

Das Brechen, Knicken oder Zusammenpressen von Schutzrohren könnte Auswirkungen auf die optische Faser haben, aber Erfahrungen mit elektrischen Kabelbäumen lassen den Schluss zu, dass Beschädigung eines Schutzrohres wahrscheinlich ein verborgener Fehler ist, der während der planmäßigen Instandhaltung erkannt wird, bevor er die Leistung des Kabelbaums beeinträchtigt.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

3.3.6 Komponente mit Anschlussfaser

Ein Bruch oder Riss einer Anschlussfaser einer Komponente würde zu einem vollständigen oder teilweisen Verlust der optischen Leistung führen.

3.3.7 Spleiße

Zu Spleißfehlern, die eine direkte Auswirkung auf das optische Signal haben können, gehört die Aufteilung von Fasern. Zusätzlich können mechanische Spleiße durch Verunreinigungen, das Eindringen von Flüssigkeiten und Migration der Mittel zur Brechungsindexanpassung verschlechtert werden. Verborgene Fehler ähneln denen von Steckverbindern; unzureichende Zugentlastung und Stützung.

3.3.8 Andere

Die oben angeführten Fehler sind vom Geltungsbereich auf den Kabelbaum beschränkt. Fehler auf Ebene der Hardwareschnittstelle, z. B. Sende-Empfangsgeräte und der Steuerelektronik würden zu einer Auswahl der in 3.2 beschriebenen Symptome führen. Potenzielle Fehler werden in Tabelle 1 zusammengefasst.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

Tabelle 1 — Mögliche Symptome für den Ausfall optischer Komponenten

	Vollständiger Verlust der optischen Leistung	***Abfall der optischen Leistung oder zeitweiliger Leistungsverlust oder allmählicher Abbau***	***Erhöhung der Rückreflexion***	***Verringerung der optischen Leistung***	***Verborgenes Fehlersymptom***
Faser	*Faserbruch*	*Faserbruch* *Faserriss* *Mikrobiegung*	*Faserbruch* *Faserriss*	*Örtliche Spannung der Faser*	—
Kabel	—	*enge Biegung* *Kabelquetschung*	—	—	*Kabelabrieb* *Kabelquetschung* *Kabelauftrennung*
Enden	*Starke Verunreinigung* *Einwachsen/Herauswachsen der Faser* *Faserbruch innerhalb der Endstelle*	—	*Einwachsen/Heraus-wachsen der Faser* *Fehlausrichtung der Faser*	—	*Unzureichende Zugentlastung*
Steck-verbinder	*Verunreinigung*	*Verunreinigung* *Eindringen von Flüssigkeiten*	—	*Eindringen von Flüssigkeiten (mit passendem Brechungsindex)*	*Unzureichende Zugentlastung*
Endgehäuse	—	*Fasern gequetscht/gebogen/abgeschnürt*	—	—	*Materielle Beschädigungen*
Schutzrohr	—	*Schutzrohr geknickt oder zerquetscht*	—	—	*Schutzrohr geknickt, gebogen oder gequetscht*
Koppler	*Bruch der Anschlussfaser* *Riss im Mischergestänge*	*Riss/Bruch der Anschlussfaser* *Riss im Mischergestänge*	*Bruch der Anschlussfaser*	—	—
Spleiß	*Einwachsen/Herauswachsen der Faser* *Verpackungsfehler*	*Einwachsen/Herauswachsen der Faser* *Verpackungsfehler* *Eindringen von Flüssigkeiten*	*Schlechte Vorbereitung der Stirnfläche* *Schlechte Ausrichtung der Stirnfläche*	—	*Unzureichende Zugentlastung*
Andere	*Fehler der Sende-Empfangs-einrichtung*	*Fehler der Sende-Empfangseinrichtung*	—	*Fehler der Sende-Empfangseinrichtung*	—

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

3.4 Fehleridentifikation und -ortung

3.4.1 Allgemeines

Verfahren und Vorgehensweisen für die Fehlersuche spielen eine Schlüsselrolle bei der Wiederherstellung und Aufrechterhaltung der Unversehrtheit der LWL-Systeme eines Luftfahrzeugs. Ohne anwendbare geeignete Lösungen können für den Luftfahrzeugbetreiber während der Fehlerortung erhebliche Standzeiten, Kosten und Unannehmlichkeiten anfallen. Das Problem wird durch die Tatsache verstärkt, dass die betreffenden LWL-Netzwerke relativ komplex sein sowie aufgefächerte Verbindungswege (ermöglicht z. B. durch passive Koppler oder aktive Schalter) einschließen können und dass die Kabelbäume in relativ unzugänglichen Bereichen des Luftfahrzeugs eingebaut sein können.

Bei der Beurteilung potenzieller Fehlerortungsverfahren berücksichtigte Kriterien schließen ein:

— Effektivität des Verfahrens bei wahrscheinlichen Fehlerszenarien;

— Kosten der Ausrüstung;

— für die Durchführung des Verfahrens erforderliches Qualifikationsniveau und erforderliche Zeit;

— Größe, Gewicht, Leistungsanforderungen und Widerstandsfähigkeit der Ausrüstung;

— Sicherheitsaspekte.

Der erste Faktor, der die Auswahl des Fehlerortungsverfahrens beeinflusst, ist der Kabelbaumtyp — unzugänglich, eingebettet oder offen. Mehrere der nachfolgend beschriebenen Verfahren sind an eingebetteten oder unzugänglichen Kabelbäumen nicht anwendbar.

Der erste Schritt der Fehleridentifikation ist die Bestimmung des fehlerhaften Bauteils: Kabel, Steckverbinder oder System. Die folgenden Verfahren zur Fehlerortbestimmung sind vom einfachsten zum komplexesten Verfahren angeordnet.

3.4.2 Bewährte Verfahren während der Instandhaltung/Inspektion

Die folgenden bewährten Verfahren („good practices“) werden als Teil einer allgemeinen Philosophie für die planmäßige Instandhaltung empfohlen:

— Erfordert die Prüfausrüstung das Trennen des Steckverbinders, sollte stets das geeignete Reinigungsverfahren befolgt werden, um sicherzustellen, dass keine Verunreinigungen verursacht werden.

— Schutz für die Enden muss jederzeit eingesetzt werden. Ist ein Trennen erforderlich, sollten die getrennten Steckverbinder geschützt werden. Staubkappen sollten sauber gehalten werden. Einweggegenstände sind vorzuziehen.

— Verfahren für die korrekte Handhabung der Fasern sollten befolgt werden, um Beschädigungen zu vermeiden. Mindest-Biegeradien sollten beachtet werden. Freiliegende Fasern sollten als scharfe Kanten behandelt werden.

— Fragen der Sicherheit der Augen sollten hervorgehoben werden. Prüfgeräte sollten stets in Bezug auf die Augen sicher sein und besondere Sorgfalt ist erforderlich, wenn die Sende-Empfangsgeräte des Systems potenziell gefährlich für die Augen sind.

— Richtige Quellen und Filter sollten für jedes Footprinting verwendet werden, einschließlich optischen Zeitbereichsreflektometern (OTDR). Andernfalls werden die gesammelten Daten ungültig.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

3.4.3 Inspektion

Dieses einfachste Fehlerortungsverfahren ist in zwei Kategorien unterteilt — Inspektion der Stirnflächen der Enden von Lichtwellenleitern und äußere Inspektion der Kabel und Steckverbindergehäuse (Trennen nicht erforderlich).

Eine saubere unversehrte Endstirnfläche ist wesentlich für eine optimale Leistung. Die Inspektion von Mehrwege-Steckverbindern kann komplizierter sein, insbesondere bei vertieft liegenden Enden.

Die Sichtprüfung der Kabelbaumkonstruktion gleicht der für bestehende elektrische Kabelbäume. Die Inspektion der Komponenten von Lichtwellenleiterbündeln (falls zugänglich) ist der einzig mögliche Weg, um verborgene Fehler zu kontrollieren.

3.4.4 Kontinuitätsprüfung

Eine Kontinuitätsprüfung mit einer einfachen Laserquelle ist ein einfaches Verfahren zur Feststellung eines Faser- oder Steckverbinderbruchs. Bei diesem Verfahren ist der Zugang zu beiden Enden des Kabels erforderlich. Hierbei wird ein Ende mit dem Laser beleuchtet und am anderen Ende das Vorhandensein des Lichtes geprüft. Während dieser Prüfung ist ein Augenschutz zu tragen.

3.4.5 Leistungsmessung

Eine angemessene Konditionierung für Einkopplung und Empfang (siehe EN 4533-002) vorausgesetzt, ist die optische Leistungsmessung das empfohlene Verfahren für die Bestimmung der Dämpfung der „nutzbaren Leistung“ in einem Avionik-LWL-Kabelbaum oder dessen Bauteilen. Durch Vergleich mit einer früheren gleichwertigen Messung des Systems, der Messung einer Bezugsprobe oder einer theoretischen Prognose kann auf das Vorhandensein eines örtlich begrenzten Fehlers oder eines verteilten Leistungsabbaus (z. B. durch Alterung) im Kabelbaum geschlossen werden.

Die Messung der optischen Leistung kann ebenfalls für die Fehlerortung genutzt werden, vorausgesetzt der Fehler wurde erkannt, z. B. von einer BIT. Ist das Symptom „Signal unterhalb des Grenzwertes“, wird dennoch eine geeignete Konditionierung empfohlen. Bei den Fehlerarten „kein Signal“ oder „zeitweilig aussetzendes Signal“ ist dies weit weniger kritisch. Tatsächlich kann eine speziell angepasste überangeregte oder zu schwach angeregte Einkopplung in bestimmten Fällen vorteilhaft sein, z. B. kann eine viel zu schwache Anregung unkritische Verlustmechanismen minimieren, die andernfalls das Bedienpersonal verwirren/ablenken würden. In mancher Hinsicht ist dieser Fall analog zur Ortung sichtbarer Fehler (insbesondere bei der Kontinuitätsprüfung), mit der Ausnahme, dass ein optisches Leistungsmessgerät statt des Auges eingesetzt wird.

Die optische Leistungsmessung ist an sich eine zweiseitige Prüfung. Daher ist unabhängig vom Symptom der Zugang zu den Zwischensteckverbindern innerhalb des Kabelbaums für die Quelle und/oder den Detektor für die weitere Ortung des Fehlers oder des Verlustmechanismus erforderlich. Das Verfahren ist daher weit weniger anwendbar auf „eingebettete“ Kabelbäume als auf „offene“ Kabelbäume. Durch den Zugang zu Zwischensteckverbindern in offenen Kabelbäumen und die anschließende Durchführung geeigneter optischer Leistungsmessungen kann ein Fehler auf einen besonderen, mit Steckverbindern versehenen Bereich des Kabelbaums eingegrenzt werden. Dieser kann dann in Abhängigkeit vom angewendeten Reparaturverfahren repariert, gereinigt oder ausgetauscht werden. Nach Durchführung geeigneter Reparaturmaßnahmen spielt die optische Leistungsmessung auch eine Rolle bei der Bestätigung des Funktionalitätsgrades des Kabelbaums.

Zusammenfassend ist eine Leistungsmessung einfach durchzuführen und auszuwerten, wahrscheinlich aber zeitaufwändiger als einige andere in dieser Norm beschriebenen Verfahren. Es ist das beste Verfahren für die Ortung von Fehlern durch allmählichen Abbau und Absinken der optischen Leistung, da die Datendarstellung einfacher ist als bei einer OTDR.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

Durch Leistungsmessung kann die Lage eines Fehlers in einem Kabel allerdings nicht geortet werden, wodurch sie für lange Leitungen zwischen Steckverbindern, z. B. bei einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung, weniger geeignet ist.

3.4.6 Messung der Einfügungsdämpfung

Die Messung der Einfügungsdämpfung ist eine Variante der Leistungsmessung, da bei dieser die Dämpfung einer Verbindung bestimmt wird. Im Gegensatz zur Leistungsmessung, bei welcher die Messung mit dem an die Verbindung angeschlossenen funktionellen System erfolgt, müssen bei der Messung der Einfügungsdämpfung die Faserenden mit einem Lichteinkopplungssystem an einem Ende und einem Lichtdetektorsystem am anderen Ende verbunden werden. Dies ermöglicht die Quantifizierung der Dämpfung der Verbindung. Das Ergebnis muss mit einer Referenzmessung oder der theoretischen Prognose der Einfügungsdämpfung zur Identifikation eines Fehlers verglichen werden, aber es wird nicht den Defekt orten.

Dieses Messverfahren ist in der Norm EN 2591-601 beschrieben.

3.4.7 Optische Zeitbereichsreflektometrie

Der Einsatz der optischen Zeitbereichsreflektometrie (OTDR, en: optical time domain reflectometry) ist ein anerkanntes Verfahren zur genauen Messung der Länge einer optischen Verbindung und der Identifikation von „Ereignissen“ innerhalb dieser Verbindung. Entwickelt für lange Strecken optischer Einmodenfasern, gab es Zweifel hinsichtlich der Eignung dieses Verfahrens für die sehr kurzen Lichtwellenleiterverbindungen in der Luft- und Raumfahrt. Neue OTDR-Geräte mit hoher Auflösung wurden entwickelt und sind in der Lage, „Ereignisse“ mit einer zentimetergenauen Auflösung in Mehrmodenfasern zu messen. Ein Ereignis kann als identifizierter Verlust innerhalb einer Verbindung beschrieben werden, beispielsweise Einfügungsdämpfungen (IL, en: insertion loss) an Verbindungselementen, Dämpfung (enge Kurven, Faserbrüche) usw.

Diese neue Fähigkeit erlaubt Anwendern, Ereignisse in kurzen optischen Verbindungen von weniger als 5 m und bis mehrere hunderte Meter Länge zu messen und abzubilden. Eine erste Messung von einem zum anderen Ende einer optischen Verbindung kann ausgeführt und gespeichert werden. Zukünftige Messungen können dann von nur einem Ende der Verbindung durchgeführt werden. Dies erlaubt die vollständige Messung einer Verbindung mit minimaler Störung des Systems. Zusätzlich ist diese Ausrüstung auch in der Lage, Messungen der Einfügungsdämpfung und des Rückstreuverlustes der Ereignisse, eine videobasierte Inspektion und visuelle Fehlerortungen auszuführen und bietet somit eine multifunktionale Fähigkeit.

Vollständige Informationen zur OTDR-Messung von kurzen optischen Verbindungen sind in EN 4533-002, Prüfung und Messung, enthalten.

3.4.8 BIT-Informationen

Neben der Signalisierung eines Fehlers dienen BIT auch der Fehlerortung. Einige der anderen hier beschriebenen Verfahren, wie vor allem die Leistungsmessung und OTDR-Analyse, erfordern idealerweise Informationen, die zuvor aus BIT-Informationen übernommen wurden, um die Anzahl der Fehlermöglichkeiten einzugrenzen.

4 Reparaturverfahren

4.1 Allgemeines

Sobald der Fehler isoliert ist, kann die Reparatur eingeleitet werden. Im Idealfall ist die Reparaturstrategie für ein bestimmtes Luftfahrzeug so ausgelegt, dass bei bekanntem Fehler und Szenario ein einzelnes Reparaturverfahren passend ist.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

4.2 Spleiß

Wenn eine Lichtwellenleiterverbindung beschädigt ist, kann sie mit einem Spleiß repariert werden. Allgemein werden 2 Arten von Spleißen anerkannt: mechanisches Spleiße und Schmelzspleiße.

4.2.1 Schmelzspleiße

Schmelzspleiße werden im Telekommunikationsbereich routinemäßig zu Installations- und Reparaturzwecken ausgeführt. Dabei wird häufig durch Schmelzspleißen eine dauerhafte Verbindung hergestellt, die dann mit einem Spleißschutzschlauch geschützt und in einer Spleißkassette untergebracht werden kann. Bei diesem Verfahren werden die Fasern durch Schmelzen mittels elektrischem Lichtbogen verbunden. In den letzten Jahren wurde dieses Verfahren erfolgreich zur dauerhaften Reparatur von Avionik-Kabelbäumen eingeführt, wenn diese **außerhalb von explosionsgefährdeten Bereichen des Luftfahrzeuges** moniert sind**.**

Zur Ausführung eines mechanischen Spleißes werden die beiden zu verbindenden Faserabschnitte ähnlich vorbereitet wie bei einem Anschluss. Mantel, Zugentlastungselemente und Polsterungen werden auf festgelegter Länge abgestreift und die Faser freigelegt. Nach sorgfältiger Reinigung der Außenflächen zur Entfernung aller möglichen Überreste von Polsterungsmaterial werden die Fasern gespalten und auf den Ausrichtungsnuten der Schmelzspleißmaschine positioniert. Bei Ausführung auf dem Flugfeld könnten spezielle Vorrichtungen zur Unterstützung dieses Vorgangs vorhanden sein.

Der Schmelzspleiß wird durch ein geeignetes, raumsparendes Gehäuse geschützt, welches die notwendige Zugentlastung umfasst.

Dieser Prozess ist auch für den Austausch beschädigter Endstellen oder der Faserschnittstellen in einem Steckverbinder nützlich.



Bild 1 — Schmelzspleiß an einem 62,5/125-Lichtwellenleiterkabel

4.2.2 Mechanischer Spleiß

Zur Ausführung eines mechanischen Spleißes werden die beiden zu verbindenden Faserabschnitte ähnlich vorbereitet wie bei einem Anschluss. Mantel, Zugentlastungselemente und Polsterungen werden auf festgelegter Länge abgestreift und die Faser freigelegt. Dann werden die Fasern gespalten und in einer Führungshülse, z. B. einem Glasröhrchen, zusammengefügt oder an Anschlüssen befestigt, die in ein Ferrulengehäuse einrasten können. In Abhängigkeit von der Konstruktion kann bei diesem Schritt Klebstoff oder Gel zur Brechungsindexanpassung (oft vorher eingebracht) erforderlich sein. Dann wird die gesamte Unterbaugruppe in dem Spleißaußengehäuse platziert und anschließend die Entlastungsvorrichtung befestigt, um einen dauerhaften, geschützten Spleiß zu erhalten.

Es gibt viele verschiedene marktverfügbare Techniken für mechanische Spleiße, die für den Telekommunikationsmarkt entwickelt worden sind, und bis jetzt wurde noch kein Produkt für die Luft- und Raumfahrt qualifiziert, d. h. ist es in der Lage, die umgebungsbezogenen Anforderungen zu erfüllen und eine dauerhafte Reparatur bleibend über die Betriebslebensdauer des Kabels zu bieten.

Mechanische Spleiße können eine Lösung für eine temporäre Reparatur sein.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

Zusammenfassend ist Schmelzspleißen die ideale Lösung, wenn die Reparatur außerhalb eines explosionsgefährdeten Bereichs ausgeführt werden kann. Spleiße sind darauf ausgelegt für die gesamte Gebrauchsdauer des Kabels zu bestehen, sodass die Reparatur als dauerhafte Reparatur angewandt werden könnte.

4.3 Reparatur der Struktur

Ist eher das Kabel als die Faser selbst beschädigt, kann es möglich sein, eine Reparatur der Struktur durchzuführen, z. B. durch Klebeband (da bei der Arbeit mit Faseroptik keine Probleme hinsichtlich der elektromagnetischen Störfestigkeit bestehen). Die Entscheidung zu einer Reparatur der Struktur ist von der Tiefe der Beschädigung des Kabels abhängig — für Beschädigungen, die tiefer als der Außenmantel des Kabels gehen, sollte eine weitgehendere Reparaturtechnik verwendet werden.

4.4 Wiederherstellung der Endstelle

4.4.1 Nachpolieren

Wenn die identifizierten Fehler nicht durch Reinigung beseitigt werden konnten, kann durch ein Nachpolieren der Endstelle die Wiederherstellung der Stirnflächenqualität der Endstelle und der Geometrie möglich sein. Nachpolieren kann zudem den Wiederanschluss einer optischen Verbindung überflüssig machen, wobei es aber wichtig ist, die Endstelle nicht übermäßig zu polieren, da dies die Endstelle dauerhaft beschädigen könnte. Es sollte auch sorgfältig darauf geachtet werden, die Fase der Ferrule nicht zu entfernen. Es wird daher empfohlen, tragbare Handgeräte zur Politur mit den entsprechenden Poliermitteln und Scheiben einzusetzen, um die erforderliche Geometrie und Qualität der Stirnfläche zu erreichen. Nach der erneuten Politur sollte die Stirnfläche untersucht und, falls erforderlich, auch die Stirnflächengeometrie mittels 3D-Interferometrie geprüft werden.

Es wird empfohlen, eine Endstelle nicht mehr als zweimal während deren Gebrauchsdauer neu zu polieren.

4.4.2 Wiederanschluss

Wiederanschließen meint das Anbringen eines Steckverbinders (oder Anschlusses innerhalb eines Steckverbinders) am Kabel im Luftfahrzeug. Das Verfahren kann für den Austausch eines beschädigten Kontakts durch Wiederanschließen verwendet werden, ist aber auch gleichermaßen anwendbar für Reparaturen inmitten des Leitungsbündels, wo zwei Wiederanschlüsse durchgeführt und verbunden werden können — ein Verfahren, das als Alternative zum Spleißen verwendet werden kann.

Eine ideale Lösung für den Wiederanschluss würde

— auf sehr begrenztem Raum durchgeführt werden können,

— in der Lage sein, die mechanische Festigkeit des Kabels wiederherzustellen,

— in der Lage sein, eine zufriedenstellende Leistung in der Umgebung während der Lebensdauer der Luftfahrzeugzelle bieten,

— für den Anschluss minimale Zeit und Fähigkeiten erfordern.

Die folgenden vier allgemeinen Techniken für den Wiederanschluss wurden identifiziert:

— Kleben und Polieren — Anbringen der Faser am Steckverbinder mit einem Klebstoff — ähnlich wie beim Standard-Anschluss;

— Crimpen und Spalten — entwickelt für Kunststoff-Fasern — das Erzielen einer guten Spaltqualität bei Glasfasern ist schwierig;

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

— Crimpen, Spalten und Polieren — wie oben beschrieben, mit einem zusätzlichen Polierschritt, geeignet für Glasfasern;

— voreingesetzte Faser — abhängig von einer guten Spaltqualität, erfordert Klebstoff.

Alle diese Techniken folgen dem Ablauf Erstvorbereitung des Kabels, Anschluss des Steckverbinders an das Kabel, Vorbereitung der Stirnfläche und abschließende Montage.

Der bei bestehenden faseroptischen Installationen in Luftfahrzeugen beobachtete Haupt-Ausfallmechanismus bestand aus Ausfällen in unmittelbarer Nähe eines Anschlusses hauptsächlich ausgelöst durch Instandhaltungsmaßnahmen. Häufig sind das Entfernen und Ersetzen eines Leitungsbündels aufgrund des Zeit- und Kostenaufwands keine zufriedenstellende Lösung. Aus diesem Grund ist in der Avionikindustrie eine Möglichkeit des Wiederanschlusses erforderlich.

Soweit möglich ist, Schlussfolgerungen von Studien zufolge, die derzeit beste Verfahrensweise der Wiederanschluss entsprechend dem ursprünglichen Herstellungsstandard. Dies würde von der Entwicklung der Miniaturisierung von Werkzeugen, wie Öfen und Poliervorrichtungen, abhängen.

Ein Nachteil ist, dass für einen Wiederanschluss zusätzliche Faserlängen in das Leitungsbündel eingebaut werden müssen. Dafür geeignete Verfahren werden im Teil „Verfahren für Fertigung und Installation von Leitungsbündeln“ dieses Handbuchs erörtert.

Wenn alle diese Verfahren fehlschlagen, wird es erforderlich sein, die Verbindung auszutauschen.

5 Inspektion und Reinigung

5.1 Inspektion der Stirnfläche

ANMERKUNG Eine Inspektion der Stirnfläche sollte niemals mit in Betrieb befindlicher Anwendung ausgeführt werden. Es muss darauf geachtet werden, dass die Anwendung keine Lichtenergie emittiert, welche den Bediener oder andere Personen verletzen könnte. Daher muss vor der Ausführung einer Stirnflächeninspektion der Bediener sicherstellen, dass alle Leistungseinleiter von den zu untersuchenden Verbindungen getrennt wurden.

Eine Sichtprüfung ist wichtig, um Verunreinigungen und Beschädigungen der Faserkerne der Lichtwellenleiter und des umliegenden Kontaktmaterials vor dem Anschluss zu erkennen und zu bewerten. Dieser Prozess umfasst eine detaillierte Inspektion der Stirnflächen der Endstellen von Lichtwellenleitern mittels Vergrößerungsgeräten.

Momentan sind die zwei Hauptmethoden für die Inspektion der Stirnflächen der Endstellen von Lichtwellenleitern die Untersuchung per Handmikroskop sowie die Videoinspektion. Mit einem Handmikroskop muss der Anwender die Stirnfläche der Endstelle direkt durch ein fokussierendes Mikroskop betrachten, während die Videoinspektionsausrüstung eine Videosondenanordnung und einen Fernüberwachungsmonitor oder Laptopbildschirm umfasst. Die Videoinspektionsausrüstung kann auch Software umfassen, welche Ereignisse am Abbild der Stirnfläche misst und den Bediener mit detaillierten Informationen zum Ereignis sowie Partikelgrößen und einer Einordnung in die Kategorien „bestanden/nicht bestanden“ basierend auf einem voreingestellten Standard versorgt. Üblicherweise können diese Informationen auch heruntergeladen und in einem Berichtsformat zur Aufzeichnung dargestellt werden. Mikroskope für die Videoinspektion sollten Handmikroskopen für die Untersuchung von Stirnflächen vorgezogen werden, um den Empfehlungen zur Augensicherheit zu entsprechen (siehe IEC 60825-1).

5.1.1 Inspektionsnormen

Inspektionsnormen werden nach Fertigstellung des Anschlusses und der Montage angewandt und ein Hersteller bestimmt in der Regel, dass alle Stirnflächen der Endstellen frei von Verunreinigungen und Beschädigungen sein müssen. Diese Anforderung kann als „Beginn der Gebrauchsdauer“ beschrieben werden. Nach Lieferung und Installation sollte die Verbindung jedoch als „im Betrieb“ angesehen und ein „akzeptabler“

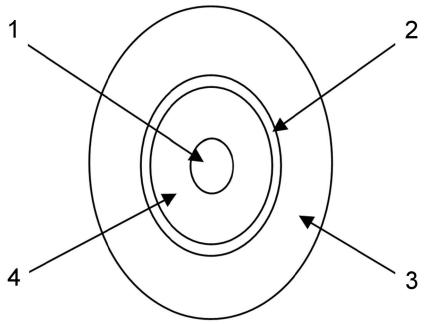
AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

Standard definiert werden, um unnötige Zurückweisungen akzeptabler Stirnflächenqualitäten zu verhindern. Ein Standard für „in Betrieb befindliche Einrichtungen“ sollte Inspektionskriterien für akzeptable und inakzeptable Verunreinigungen und Beschädigungen basierend auf der Leistungsfähigkeit des Systems und der Fasergröße eines bestimmten Systems oder einer Plattform definieren. SAE-AS5675, IEC 61300-3-35 und ARINC 805 sind die Hauptnormen der Luft- und Raumfahrt.

5.1.2 Inspektionszonen

Um die Sichtprüfung der Stirnflächen der Endstellen von Lichtwellenleitern zu erleichtern, können diese in definierte Bereiche oder „Zonen“ eingeteilt werden. Bild 2 zeigt die festgelegten Zonen und Tabelle 1 stellt Zonendefinitionen für Mehrmoden- und Einmodenfasern zur Verfügung. Spezifische Anforderungen können für jede dieser Zonen detailliert bestimmt werden, um ein „Inspektionskriterium“ basierend auf Faserkerngröße des Lichtwellenleiters und den erlaubten Ereignissen, wie Kratzern und Ablagerungen, anzugeben. Es sollte auch berücksichtigt werden, dass Verunreinigungen sich auch auf Seite der Ferrule oder in der Führungshülse ansammeln und auf die Stirnfläche übertragen werden können. Somit ist die Inspektion nicht nur auf den Faserkern/Fasermantel und die Stirnseite der umgebenden Ferrule beschränkt.



Legende

1 Zone A — Kern-/Modenfeld
2 Zone C — Epoxid-Kleber/Beschichtung
3 Zone B — Mantel
4 Zone D — Kontakt/Ferrule

Bild 2 — Inspektionszonen

Tabelle 2 — Typische Zonendefinitionen für Mehrmoden- und Einmodenfasern

Zonenname	Maße von Mehrmodenzonen	Maße von Einmodenzonen
A Kern-/Modenfeld	Kerndurchmesser multipliziert mit 1,1 (definiert als Kerndurchmesser +10 %)	9 µm
B Mantel	Vom Außendurchmesser des Kerns der Zone A zum Außendurchmesser des Mantels, minus 5 µm	Vom Außendurchmesser des Modenfelds der Zone A zum Außendurchmesser des Mantels, minus 5 µm
C Kleber/Beschichtung (z. B. Polyimid)	Vom Außendurchmesser der Zone B oder der Beschichtung bis zum Innendurchmesser der Ferrule, plus 10 µm	Vom Außendurchmesser der Zone B bis zum Innendurchmesser der Ferrule, plus 10 µm
D Kontakt/Ferrule	Vom Außendurchmesser der Zone C bis zum 2fachen des Mantels (höchstens 450 µm)	Vom Außendurchmesser der Zone C bis zum 2fachen des Mantels (höchstens 450 µm)

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

5.1.3 Inspektionskriterien

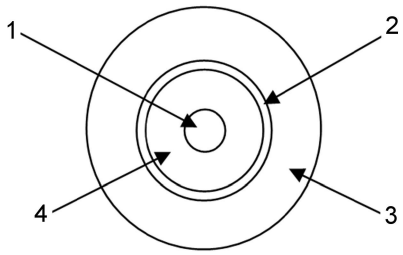
Bei Reinigung und Inspektion können Stirnflächen der Endstellen eines Lichtwellenleiters Anomalien aufweisen, welche als Defekte definiert werden können. Defekte sind Ereignisse, die nicht durch normale Reinigung entfernt werden können, von einer Reihe von Faktoren ausgelöst werden können und Folgendes umfassen: Gruben, Kratzer, Einschnitte, Einlagerungen, lose Ablagerungen, Risse usw. Diese Anomalien der Stirnflächen können in die folgenden Kategorien eingeordnet werden:

a) Kratzer — lineare Oberflächendefekte, die nicht durch Reinigung entfernt werden können.

b) Defekte — alle anderen sichtbaren Merkmale, die sich nicht durch den Reinigungsprozess entfernen lassen.

c) Risse/strukturelle Defekte — Risse und strukturelle Defekte sind nicht nur Oberflächendefekte, sondern erstrecken sich auch in den Lichtwellenleiter.

Die Zonen der Stirnflächen können hinsichtlich akzeptabler Defekte kategorisiert werden. Bild 3 zeigt die Zonen der jeweils akzeptablen Defekte von „in Betrieb befindlichen“ Mehrmodenfasern.



Legende

1 Zone A — Kernzone — Risse: keine — Kratzer: nicht mehr als 3 ≥ 3 µm
2 Zone C — Epoxidzone — Risse: keine Beschränkung der Größe oder Anzahl — Kratzer: keine Beschränkung der Größe oder Anzahl — Ablagerungen: höchstens 5 Ablagerungsstücke ≤ 10 µm im Durchmesser
3 Zone D — Kontaktzone — Risse: keine — Kratzer: keine Beschränkung der Größe oder Anzahl — Ablagerungen: höchstens 5 Ablagerungsstücke ≤ 10 µm im Durchmesser
4 Zone B — Mantelzone — Risse: keine — Kratzer: nicht mehr als ≥ 6 µm breit, keine Beschränkung der Anzahl — Ablagerungen: keine > 3 µm

Bild 3 — Typische akzeptable Inspektionszonenkriterien für in Betrieb befindliche Mehrmodenfasern

ANMERKUNG Ein 1-µm-Defekt an einer Faser mit 200/280-µm-Kern entspricht 0,5 % der Fläche des Kerns, aber entspricht bei einer Faser mit 62,5/125-µm-Kern bereits 1,6 % und bei einem 9/125-µm-Kern sogar 11 %. Daher wird jede Norm für die Inspektion in Betrieb befindlicher Lichtwellenleiter auch zwischen den Fasergrößen varieren. Zusätzlich werden Inspektionsnormen auch die Auswirkungen von Defekten bei Einsatz der gleichen Fasergrößen aufgrund der Systemkonstruktion, des verfügbaren Leistungsbudgets sowie der verwendeten Komponenten und Architektur zu berücksichtigen haben.

5.1.4 Inspektionsvergrößerung

5.1.4.1 Direktbetrachtungsinspektion durch Handmikroskop

Bei Handmikroskopen zur direkten Betrachtung werden üblicherweise zwei Vergrößerungsstufen bei der Untersuchung von Lichtwellenleitern in der Luft- und Raumfahrt genutzt und für die folgenden Arten von Lichtwellenleitern empfohlen:

— Mehrmoden: 200 × für Kontakt- und Kernzone;

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

— Monomoden: 400 × für Kontakt- und Kernzone.

5.1.4.2 Videoinspektionsmikroskope

Videoinspektionsmikroskope unterscheiden sich darin, dass es keine direkte Sicht auf die Stirnfläche der Endstelle gibt. Dies erlaubt dem Bediener auf Endstellen zuzugreifen, welche sich in Bereichen befinden, die von Handmikroskopen zur direkten Betrachtung nicht eingesehen werden können. Videoinspektionsmikroskope können auch für Mehrmoden- und Einmodenanwendungen eingesetzt werden ohne die Vergrößerung ändern zu müssen. Das Bild wird auf einem tragbaren Bildschirm oder Laptop dargestellt.

Austauschbare Sondenadapter sind verfügbar und erlauben die Inspektion von Verbindungselementen mit freigelegten und versenkten Endstellen in Simplex- und Mehrwege-Verbindungselementen. Bild 4 zeigt links eine Inspektion ohne Hülsenhalter und rechts eine Inspektion durch einen Hülsenhalter.

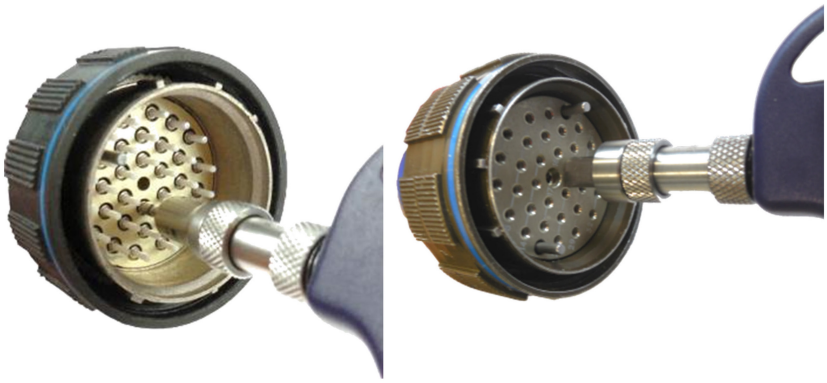


Bild 4 — Inspektion ohne Hülsenhalter und Inspektion durch Hülsenhalter an einem Steckverbinder nach EN 4645

Ein weiterer Vorteil beim Einsatz von Videoinspektionsmikroskopen ist die Verfügbarkeit von Software, welche das Bild basierend auf Inspektionskriterien für die Größe der Stirnfläche der Endstelle und der Größe des untersuchten Lichtwellenleiters, die in die Software geladen werden, auswertet. Die Software liefert ein „bestanden“/„nicht bestanden“-Ergebnis bei jeder Inspektion und erlaubt so dem Bediener, schnell die Eignung der Stirnfläche einer Endstelle zu bestimmen. Auch werden so irgendwelche Mutmaßungen seitens des Bedieners, ob eine Stirnfläche akzeptabel ist, ausgeräumt. Die Software kann auf einem Laptop installiert werden oder ist bei manchen Mikroskopen auch integriert. Sie kann auf den unterschiedlichen Geräten gespeichert oder heruntergeladen werden. Papierausdrücke können zur Aufbewahrung oder als Qualitätsaufzeichnung für Auditzwecke erstellt werden.

Verbindungselemente von Lichtwellenleitern ermöglichen eine genaue Ausrichtung der Lichtwellenleiter, um eine optimale Lichtübertragung an fertigungsbedingten Unterbrechungen zu erreichen. Um eine optimale Leistungsfähigkeit zu erhalten, müssen die Stirnflächen der Endstellen von Lichtwellenleitern frei von Verunreinigungen und Partikeln sein, welche die Leistung des übertragenen Lichtes beeinflussen können. Diese Leistungseinschränkung kann durch einen Verlust der optischen Leistung und einem Anstieg der Bitfehlerrate (BER, en: bit error rate) erkannt werden. Zusätzlich sind Endstellen von Lichtwellenleitern oftmals federbelastet, um eine Kopplungskraft zu erhalten. Sollten diese Federn durch Schmutz verunreinigt werden, kann dies zu nachteiligen Auswirkungen auf die Kopplungskräfte und somit zu einer schlechteren optischen Leistung führen.

Optische Verbindungselemente sind gekoppelt auf Beständigkeit gegenüber externen Verunreinigungen ausgelegt. Getrennt sind die Endstellen den Auswirkungen externer Verunreinigungen, wie Schmutz, Partikeln und Flüssigkeiten ausgesetzt. Verunreinigungen können auch leicht zwischen koppelbaren Endstellen von Lichtwellenleitern, Messleitungen und Messsonden zur Prüfung von Lichtwellenleiterverbindungen übertragen werden. Daher ist es von besonderer Wichtigkeit, dass ein Inspektions- und Reinigungssystem in allen Bereichen umgesetzt wird, in denen Lichtwellenleiter gekoppelt werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04

Beispiele für Verunreinigungen von Stirnflächen werden im Anhang A (informativ) gezeigt.

5.2 Reinigung

5.2.1 Reinigungsziele

Wie zuvor dargelegt, ist es extrem wichtig, dass ein anerkanntes Reinigungsverfahren zur Erhaltung der Intaktheit der Stirnflächen der Endstellen von Lichtwellenleitern verwendet wird. Die wichtigsten Aspekte, die bei einer gründlichen Reinigung behandelt werden müssen, sind:

— Entladung der elektrostatischen Aufladung an der Stirnfläche der Endstelle;

— Entfernung von Einlagerungen;

— Entfernung von losem Schmutz und Partikeln;

— Entfernung von eingetrockneten Resten;

— Entfernung von Flüssigkeiten und Ölen.

Um diese Ziele zu erreichen, muss jeder Reinigungsprozess mit einer adäquaten Inspektionsfähigkeit einhergehen, sodass die Stirnfläche einer Endstelle einer Sichtprüfung unterzogen werden kann, um sicherzustellen, dass alle Verunreinigungen entfernt und die Intaktheit des Faserkerns nicht verschlechtert wurde. Der Ablauf aus „Inspizieren, Reinigen, Inspizieren“ ist daher die einzige Verfahrensweise, welche die Aufrechterhaltung der Gebrauchstauglichkeit eines Lichtwellenleitersystems sicherstellt.

Dieser Prozess sollte auf einer Herangehensweise basieren, bei welcher jede Trennung eines Lichtwellenleiter-Verbindungselements es erforderlich macht, alle Kontakte des Lichtwellenleiters innerhalb des Steckverbinders auf Sauberkeit und Schadensfreiheit sowie Fehlen jeglicher Verunreinigungen zu prüfen, bevor ein Wiederanschluss stattfindet. Dies gilt für beide Seiten des Verbindungselements und für alle Arten von Verbindungselementen, z. B. Avionikeinrichtungen, Steckverbinder, Prüfsonden, Prüfgeräte usw.

Einzelheiten zur Ausrüstung für die Lichtwellenleiter-Sichtprüfung werden in Abschnitt 4 besprochen.

5.2.2 Reinigungsverfahren

Bei der Reinigung der Endstellen von Lichtwellenleitern wird die Anwendung eines nass-trockenen Reinigungsverfahrens empfohlen. Dieses Reinigungsverfahren beginnt mit einer nassen Reinigung mittels einer zugelassenen, nicht brennbaren Reinigungslösung optischer Qualität zur Ableitung möglicher elektrostatischer Aufladungen an der Stirnfläche des Lichtwellenleiters und zur Entfernung loser oder fester Partikel an der Kontaktferrule. Bei der Trockenreinigung werden dann die verbleibenden Partikel und das verbliebende Lösemittel von der Kontaktstirnfläche und dem umgebenden Hohlraum entfernt.

In den meisten Fällen verfügt der Bediener über zwei verschiedene Reinigungsverfahren. Beim Verfahren 1 ist die Kontaktstirnfläche des Lichtwellenleiters freiliegend und bei Verfahren 2 ist der Lichtwellenleiterkontakt in einem festen Steckerverbinder untergebracht, wobei die Kontaktstirnfläche in einem Führungsgehäuse eingelassen ist. Bild 5 zeigt einen Steckverbinder für die Luft- und Raumfahrt nach EN 4645 mit eingelassenen Endstellen der Lichtwellenleiter auf der rechten Seite und freigelegten Lichtwellenleiterkontakten auf der linken Seite. EN 3733, EN 4531-101 und EN 4639-101 enthalten andere Arten von Endstellen von Lichtwellenleitern.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 4533-004:2018-04