

DIN EN 4533-004

ICS 49.060; 49.090

**Luft- und Raumfahrt –
Faseroptische Systemtechnik - Handbuch –
Teil 004: Reparatur, Instandhaltung und Inspektion;
Deutsche und Englische Fassung EN 4533-004:2006**

Aerospace series –
Fibre optic systems - Handbook –
Part 004: Repair, maintenance and inspection;
German and English version EN 4533-004:2006

Série aérospatiale –
Systèmes des fibres optiques - Manuel d'utilisation –
Partie 004: Réparation, maintenance et contrôle;
Version allemande et anglaise EN 4533-004:2006

Gesamtumfang 45 Seiten

Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN

Nationales Vorwort

Die Europäische Vereinigung der Hersteller von Luft- und Raumfahrtgerät (AECMA) 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 AECMA Assoziierte Organisation (ASB) des CEN.

Die vorliegende Norm EN 4533-004:2006 wurde von AECMA-STAN, Fachbereich Elektrik, unter Mitwirkung deutscher Experten des Normenausschusses Luft- und Raumfahrt erarbeitet.

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

Entsprechend Beschluss 57/9 des Technischen Ausschusses des Beirats des Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 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 dieser EN-Norm die Englische Fassung hinzugefügt.

Deutsche Fassung

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

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

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

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 28. April 2006 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 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, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Fehleranalyse und Reparatur	5
3.1 Von der Erkennung zur Reparatur	5
3.2 Fehlererkennung.....	6
3.3 Symptome.....	6
3.4 Fehlerortung.....	7
3.4.1 Allgemeines.....	7
3.4.2 Inspektion	7
3.4.3 Suchgerät für sichtbare Fehler.....	8
3.4.4 OTDR.....	9
3.4.5 Leistungsmessung	11
3.4.6 BIT-Daten	12
3.5 Potenzielle Fehler	12
3.5.1 Allgemeines.....	12
3.5.2 Faser	12
3.5.3 Kabel	12
3.5.4 Steckverbinder.....	12
3.5.5 Stützhülse.....	12
3.5.6 Schutzrohr	13
3.5.7 Koppler	13
3.5.8 Spleiße	13
3.5.9 Sonstige.....	13
3.6 Reparaturverfahren.....	15
3.6.1 Allgemeines.....	15
3.6.2 Austausch.....	15
3.6.3 Spleiß	15
3.6.4 Zellenreparatur.....	16
3.6.5 Wiederanschluss	16
3.6.6 Reinigung	17
3.6.7 Nachpolieren	19
3.6.8 Austausch von ruhenden Bauteilen	19
4 Planmäßige Instandhaltung und Inspektion	19
4.1 Wann ist Instandhaltung/Inspektion erforderlich?.....	19
4.2 Instandhaltung/Inspektion des Systems	19
4.2.1 Systemdiagnose/BIT	19
4.2.2 Ausleuchten	20
4.3 Instandhaltung/Inspektion von Bauteilen	20
4.3.1 Leistungsmessung	20
4.3.2 Sichtprüfung.....	21
4.3.3 Reinigung	21
5 Bewährte Verfahren während der Instandhaltung/Inspektion	21
6 Überlegungen zur Kabelbaumkonstruktion	22

Vorwort

Dieses Dokument (EN 4533-004:2006) wurde vom Verband der Europäischen Luft- und Raumfahrtindustrie – Normung (AECMA-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 AECMA 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 Januar 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2007 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können, ohne dass diese vorstehend identifiziert wurden. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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

Einleitung

a) Das Handbuch

Dieses Handbuch beruht auf der Arbeit im Rahmen der LWL-Kabelbaum-Studie, teilweise finanziert vom Britischen Ministerium für Handel und Industrie, sowie auf anderen zutreffenden Quellen. Sein Zweck ist die Bereitstellung allgemeiner Leitlinien sowohl für Fachleute als auch für Laien auf dem Gebiet der Konstruktion, Installation und Unterstützung von Mehrmoden-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 und Inspektion*

b) Hintergrund

In der Luft- und Raumfahrtindustrie ist die Tatsache allgemein akzeptiert, dass Photonentechnologie mehrere wesentliche Vorteile gegenüber konventioneller elektrischer Gerätetechnik aufweist. Dazu gehören eine massive Signal-Bandbreitenkapazität, elektrische Sicherheit und die elektromagnetische Störfestigkeit (EMI) von passiven LWL-Bauteilen. Bis heute besteht darin die kritische Antriebskraft für LWL-Kommunikationssysteme in der Luft- und Raumfahrt aufgrund der zunehmenden Verwendung von nicht metallischen Luftfahrzeugen. 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 Lichtwellenleittersysteme 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 Gehäuseverbindungen). 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.

c) Die LWL-Kabelbaum-Studie

Die LWL-Kabelbaum-Studie konzentrierte sich auf die Erarbeitung von Techniken, Leitlinien und Normen in Zusammenhang mit der Unterstützung des Unterhalts der jetzigen Generation von LWL-Kabelbäumen für die Anwendung in zivilen und militärischen Luftfahrzeugen (mit feststehenden oder rotierenden Flügeln). Einige Aspekte der Gestaltung von optischer Systemtechnik wurden ebenfalls untersucht. Dieses Programm war größtenteils erfolgreich. Leitlinien und Normen, die hauptsächlich auf Arbeiten im Rahmen der Kabelbaum-Studie beruhen, werden von einer Reihe von Normungsstellen herausgebracht. Wegen der in diesem Handbuch behandelten Aspekte befinden sich europäische Hauptauftragnehmer in einer sehr viel besseren Position bei der Anwendung und Unterstützung der verfügbaren Lichtwellenleitertechnologie.

1 Anwendungsbereich

Die ursprünglichen Überschriften für die Abschnitte in der LWL-Kabelbaum-Studie lauteten „Inspektion und Fehleranalyse“ sowie „Reparatur und Instandhaltung“. Um Kohärenz und Lesbarkeit des Handbuchs zu verbessern, wurden diese im vorliegenden Teil von EN 4533 zu zwei neuen Überschriften umgestellt – „Fehleranalyse und Reparatur“ sowie „Planmäßige Instandhaltung und Inspektion“. Der erste Abschnitt behandelt die Vorgehensweise im Störfall – die Vorgehensweise von der Fehlererkennung zur Fehlerortung und letztendlich zur Reparatur. Der zweite Abschnitt behandelt die empfohlenen Verfahren für Aufrechterhaltung und Instandhaltung der Unversehrtheit des Kabelbaums über die gesamte Lebensdauer der Installation. Es ist vorteilhaft, die beiden Abschnitte im Zusammenhang zu lesen, da viele der beschriebenen Verfahren und Techniken in beiden Situationen gelten.

Zwei zusätzliche Abschnitte berücksichtigen die Konstruktion eines Kabelbaums im Hinblick auf dessen Reparatur und Instandhaltung und dafür bewährte Verfahren.

Um das Handbuch in einer vernünftigen Größenordnung zu halten, wird auf andere Berichte der Kabelbaum-Studie verwiesen, wenn weitere Einzelheiten erforderlich sind. Die in diesem Handbuch enthaltenen Angaben sind nicht ausreichend, um beispielsweise als einziger Bezug für die Fehlersuche an Kabelbäumen zu dienen, aber sie bieten eine angemessene Grundlage für in diesem Bereich tätige Personen.

2 Normative Verweisungen

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

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

3 Fehleranalyse und Reparatur

3.1 Von der Erkennung zur Reparatur

Sobald ein Fehler erkannt wurde, ist die Auswahl eines Reparaturverfahrens von einer Vielzahl von Faktoren abhängig: Zugänglichkeit des Fehlers, Systemkritikalität, Verfügbarkeit von Ersatzbauteilen usw. Die gleichen Probleme bestehen bereits bei elektrischen Kabelbäumen und bewährte Verfahrensweisen dafür ebenfalls. Die Kabelbaum-Studie war dafür vorgesehen, ähnliche Verfahrensweisen unter Berücksichtigung der spezifischen Aspekte von LWL-Kabelbäumen bereitzustellen. Ergebnis ist das „Reparatur- und Instandhaltungsverfahren“, das eine umfassende Auflistung von Fehlern in LWL-Kabelbäumen enthält, deren Symptomen und wie sie zu suchen und zu reparieren sind. Viele der in diesem Abschnitt enthaltenen Angaben sind diesem Dokument entnommen.

3.2 Fehlererkennung

Eine Fehlererkennung erfolgt in Abhängigkeit vom Kabelbaum aus einer oder mehreren von drei Quellen; planmäßige Instandhaltung, eingebaute Prüfung (BIT) oder Ausfall von Einrichtungen.

Idealerweise sollte die planmäßige Instandhaltung alle verborgenen Fehler hervorheben, d. h. die Fehler, die anfangs die Systemleistung nicht beeinträchtigen, aber später während des Betriebes des Luftfahrzeugs zu einem Problem führen können. Dabei sollten auch Fehler aufgrund allmählichen Abbaus aufgedeckt werden, d. h. jene Fehler, die zu einer allmählichen Verringerung der Systemleistung führen und später zu einem Ausfall führen sowie alle anderen Fehler, die durch die BIT nicht erkannt worden sind.

BIT ist die Fähigkeit der Luftfahrzeugsysteme zur Selbstdiagnose. Dadurch sollten alle Fehler erkannt werden, die in der Zeit zwischen den planmäßigen Instandhaltungen auftreten und – ausgenommen plötzlich eintretende Totalausfälle – vor einem Ausfall. Darüber hinaus sollte dadurch die Fehlersuche unterstützt werden.

Ausfall ist der schlimmste Fall, der nur aufgrund eines unvorhersehbaren Fehlers auftreten darf.

3.3 Symptome

Hierbei werden die Unterschiede zwischen LWL- und elektrischen Kabelbäumen offensichtlich. Das gewöhnlichste Symptom bei einem LWL-Kabelbaum ist die vollständige oder teilweise Dämpfung der optischen Leistung. Dies tritt ein, wenn die Begrenzung des Lichtes auf den Faserkern durchbrochen wird, möglicherweise aufgrund einer Beschädigung von Faser oder Steckverbinder. Eine weitere Ursache kann Verunreinigung, übermäßige Druckeinwirkung auf das Kabel oder Biegen des Kabels sein. In Abhängigkeit vom Ausmaß der Dämpfung kann dies zu einem Fehler führen, der entweder ober- oder unterhalb des Verbindungsschwellenwertes liegt – ein Fehler unterhalb des Verbindungsschwellenwertes ist ein Ausfall. Erhebliche Beschädigungen, wie ein Faserbruch, können zu einer vollständigen Dämpfung der optischen Leistung führen.

Unterbrochene optische Signale sind möglich und können durch Bewegungen der Faser, z. B. Schwingen oder Biegen einer Faser, verursacht werden. Ein Anstieg der optischen Leistung ist ebenfalls möglich, obwohl dies eher durch die Stabilität der Lichtquelle als durch den Kabelbaum selbst ausgelöst wird.

Allmählicher Abbau der optischen Leistung ist ein wichtiges zu erkennendes Symptom, da er auf das Einsetzen eines Ausfalls hinweist. Erhöhte Verunreinigung oder schnelles Wachstum einer Beschädigung der Faser könnten dafür verantwortlich sein. Außerhalb des Kabelbaums kann eine Ursache dafür der Leistungsabbau einer optischen Lichtquelle sein.

Rückstrahlung tritt an allen Schnittstellen mit unterschiedlicher Brechzahl auf, z. B. Glas/Luft. Steckverbinder sind dafür ausgelegt, die Rückstrahlung zu minimieren, sie kann aber bei einem Fehler in diesem Bereich ansteigen. Rückstrahlung ist besonders problematisch in Lasersystemen, da das reflektierte Licht die optische Quelle beschädigen kann.

Eine abschließende Kategorie von Symptomen sind verborgene Fehlersymptome, d. h. jene, die keine Auswirkung auf die optische Leistung des Systems haben, aber die erste Stufe eines Ausfalls sein können, der sie beeinflussen kann. Diese werden am wahrscheinlichsten bei einer Inspektion erkannt und umfassen Aufscheuern von Kabeln und geringe Spannungsentlastung des Steckverbinders.

3.4 Fehlerortung

3.4.1 Allgemeines

Verfahren und Vorgehensweisen für die Fehlersuche spielen eine Schlüsselrolle bei der Wiederherstellung und Instandhaltung der Unversehrtheit der LWL-Systeme eines Luftfahrzeugs. Ohne verfügbare geeignete Lösungen kann das Bedienpersonal des Luftfahrzeugs während der Fehlerortung erhebliche Standzeiten, Kosten und Unannehmlichkeiten verursachen. Das Problem wird durch die Tatsache verstärkt, dass die betreffenden LWL-Netzwerke relativ komplex sein und Aufspleiß-Verbindungswege (ausgelöst z. B. durch passive Koppler oder aktive Schalter) einschließen könnten und dass die Kabelbäume in relativ unzugänglichen Bereichen des Luftfahrzeugs eingebaut sein könnten.

Bei potenziellen Fehlerortungsverfahren berücksichtigte Kriterien sind u. a.:

- Effektivität des Verfahrens bei wahrscheinlichen Fehlerszenarien;
- für die Durchführung des Verfahrens erforderliche Fähigkeiten und Zeit;
- Größe, Gewicht, Leistungsanforderungen und Widerstandsfähigkeit der Geräte;
- Sicherheitsproblematik.

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 durchführbar.

3.4.2 Inspektion

Dieses einfachste Fehlerortungsverfahren ist in zwei Kategorien unterteilt – Inspektion der Faserendflächen und Inspektion der Kabel und Steckverbindergehäuse (Demontage nicht erforderlich).

Sichtprüfung der Faserendfläche mit bloßem Auge oder mit Hilfe eines Mikroskops ist ein wichtiges Fehlerortungsverfahren. Eine saubere unversehrte Faserendfläche ist wesentlich für eine optimale Leistung. Angenommen, die Anschlussendfläche ist einsehbar, ist eine Inspektion in den meisten Fällen gänzlich für die Bestimmung des Ausmaßes von Verunreinigung und Beschädigung geeignet. In Bezug auf erforderliche Fähigkeiten und Ausrüstung ist dies ein für alle Fehlersuchszszenarien geeignetes Verfahren von der Herstellung bis zur ersten Stufe der Instandhaltung. Ein Inspektionsmikroskop mit einem Vergrößerungsfaktor von 200 ist für Mehrmodenfasern ausreichend.

Die Inspektion von Mehrwege-Steckverbindern kann komplizierter sein, insbesondere bei tiefliegenden Endflächen. Die meisten Inspektionsmikroskope sind ausschließlich für die Sichtprüfung einzelner Anschlüsse ausgelegt, es gibt aber erste modifizierte Mikroskope, die in der Lage sind, Mehrwege-Steckverbinder aufzunehmen und zu prüfen. Einige Mehrwege-Steckverbinder können teilweise demontiert werden, um die Zugänglichkeit der Endflächen zu verbessern. Dies ist vorteilhaft sowohl für Reinigungsverfahren als auch für Inspektion. Dies ist in der Einleitung zu diesem Teil eingehender erörtert.

Die Sichtprüfung der Kabelbaumkonstruktion gleicht der für bestehende elektrische Kabelbäume. Der einzige Unterschied ist, dass die Faser häufig einen größeren Mindest-Biegeradius aufweist als die meisten elektrischen Kabel, so dass die Prüfung auf potenziell Fehler auslösende Biegungen eine zusätzliche Anforderung ist. Die Inspektion von Kabelbaum-Bauteilen (sofern zugänglich) ist die einzige durchführbare Art, verborgene Fehler zu kontrollieren. Auch dann sind viele verborgene Fehler entweder nicht sichtbar, z. B. Beschädigung von unteren Schichten, oder sie sind zu klein, sogar um mit einem Mikroskop sichtbar gemacht zu werden, z. B. Mikrorisse in Glasfaser-Bauteilen. Der Prüfplan für derartige Inspektionen muss nach Erfahrungen bei Betrieb bestimmt werden.

Zusammenfassend ist Inspektion ein gutes Verfahren für die Suche nach Verunreinigungen sowie Beschädigungen von Faserendflächen, Kabeln und Steckverbindergehäusen/Stützhülsen in zugänglichen Bereichen des Kabelbaums. Ihre Hauptvorteile sind einfache und schnelle Durchführung sowie geringe Kosten und die Beweglichkeit der Prüfausrüstung. Die Vorteile dieses Verfahrens eignen sich gut für die Ausfallwahrscheinlichkeit, die in Bereichen mit häufiger Instandhaltung und während Instandhaltungsarbeiten erheblich erhöht ist.

Inspektion ist bei der Fehlerortung in unzugänglichen Bereichen des Kabelbaums oder bei Beschädigungen der Faser innerhalb des Kabels/Steckverbinders nicht durchführbar.

3.4.3 Suchgerät für sichtbare Fehler

Dieses Verfahren beruht auf dem Einleiten von sichtbarem Licht in das zu prüfende LWL-System. Schäden wie Faserbrüche oder Risse lösen Rückstreuung dieses Lichtes aus. Sofern das Kabel oder das Steckverbindergehäuse dies zulassen, ist die so verursachte Streuung am oder in der Nähe des Fehler(s) sichtbar. Bild 1 und Bild 2 zeigen ein Suchgerät für sichtbare Fehler.

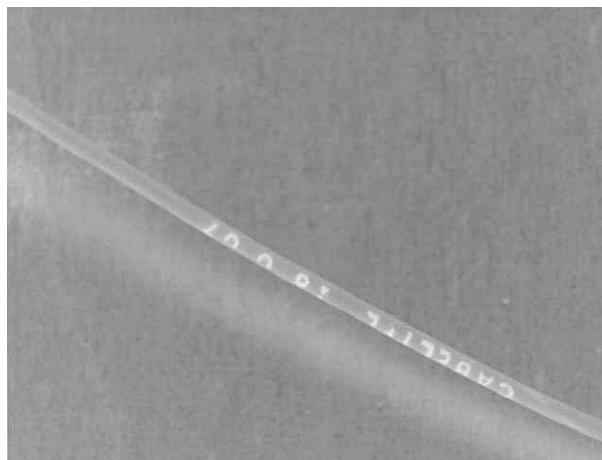


Bild 1 — Gebrochene Faser innerhalb des Kabels



Bild 2 — Durch ein Suchgerät für sichtbare Fehler lokalisierter Bruch

Dies ist ein verlockendes Verfahren durch die einfache Durchführung und dadurch, dass ausschließlich das Fehlerortungsgerät dafür erforderlich ist. Ein typisches Fehlerortungsgerät würde auf einer batteriebetriebenen roten (635 nm) Laserdiode in einer Art Taschenlampengehäuse beruhen. Ebenso leicht könnte eine weißes Licht oder sichtbares Licht emittierende Diode verwendet werden. Die einzige Einschränkung für die Quelle ist die erforderliche Augensicherheit. Durch Impulsgebung an der Quelle (~Hz) kann die „Erkennbarkeit“ für das Auge verstärkt werden. Durch Verbinden der Quelle mit Steckverbindern kann ebenfalls eine wirksame Einkopplung in den Kabelbaum erreicht werden.

Suchgeräte für sichtbare Fehler sind für den Einsatz bei Faserbrüchen in Verbindung mit durchscheinenden Kabelkonstruktionen geeignet. Sie stellen ebenfalls eine einfache und schnelle Art dar, durch Prüfung der Kontinuität von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen Fehler mit vollständiger Dämpfung der optischen Leistung zu orten.

Suchgeräte für sichtbare Fehler sind auf diese Fehlerarten begrenzt und haben den großen Nachteil, dass die meisten derzeitigen Bauteile für Luftfahrzeug-Kabelbäume in undurchsichtigen Werkstoffen verpackt und/oder in Schutzrohren oder nicht einsehbaren Bereichen des Luftfahrzeugs installiert sind.

3.4.4 OTDR

Technologie für Laufzeitreflektometrie (OTDR) wurde entwickelt, um den Bedarf für Fehlersuche und Dämpfungsmessungen in der Telekommunikation und neuerdings in handelsüblichen Datenkommunikationsnetzwerken zu erfüllen. Dabei handelt es sich um Werkzeuge für Spezialisten und bestimmte „Hochleistungs“-OTDR-Geräte erfordern für ihren effektiven Einsatz Ausbildung und gute Kenntnisse der LWL-Technologie. Wegen der Tatsache, dass sie für relativ lange Übertragungsleitungen entwickelt wurden, bestehen Zweifel, ob sie über die erforderliche räumliche Auflösung für den Einsatz mit Kabelbäumen für Luftfahrzeuge verfügen.

Neben der im Teil *Prüfung und Messung* erörterten grundlegenden Funktionalität können OTDR-Geräte dafür ausgelegt sein, Daten von Mehrfachereignissen automatisch auszuwerten und in einer anwenderfreundlichen Form darzustellen. Signalverarbeitungssoftware ist potenziell in der Lage: ein Ereignis zu erkennen und im Bezug auf ein vorhergehendes Ereignis oder das Instrumentengehäuse zu orten, die Ursache des Ereignisses zu identifizieren, den Anstieg der Einfügungsdämpfung gegenüber dem vorhergehenden Ereignis sowie die Gesamtdämpfung der Übertragungsleitung zu messen, nur die Ereignisse zu analysieren, die oberhalb eines bestimmten dB-Schwellenwertes liegen, Netzwerkabschnitte zu vergrößern usw. Viele Fehlersuchalgorithmen beruhen auf dem Vergleich der aktuellen OTDR-Aufzeichnung mit einer bereits gespeicherten „Ausleuchtung“. Automatische Fehlersuchsoftware ist gewöhnlich in den modernsten OTDR-Geräten installiert, wodurch die Arbeiten bei der Fehlerdiagnose sehr vereinfacht werden.

Die Schlüsselparameter für die Leistung von OTDR-Geräten, die sich für Messungen an LWL-Kabelbäumen für Luftfahrzeuge eignen, sind:

- Ereignisbezogener Totbereich – die Fähigkeit, zwischen schnell aufeinanderfolgenden Ereignissen zu unterscheiden, einschließlich des Gehäusesteckverbinders des Systems, festgelegt als der Abstand, in Meter, zwischen der Vorderflanke eines Reflexionsereignisses und dem Punkt auf der Hinterflanke, wenn das Signal auf 3 dB unterhalb seines Höchstwertes sinkt;
- Dämpfungsbezogener Totbereich (oder Dämpfungsmessauflösung) – die Fähigkeit, die Einfügungsdämpfung bei zwei schnell aufeinanderfolgenden Ereignissen zu messen, festgelegt als Abstand zwischen Einsetzen des Reflexionsimpulses und dem Punkt an dem der Ereignismesswert sich bis auf 0,5 dB (oder aktueller, 0,1 dB) des Hintergrundrauschens erholt hat.

Wie bereits im Teil *Prüfung und Messung* erörtert, gilt das Konzept des Totbereiches speziell für Messgeräte wie Laufzeitreflektometer und ist nicht sehr gut bekannt bzw. verstanden worden. In Bild 3 ist ein Teil einer idealisierten OTDR-Anzeige dargestellt. Ereignisbezogener Totbereich (EDZ, en.: Event Dead Zone) und dämpfungsbezogener Totbereich (ADZ, en.: Attenuation Dead Zone) sind wie oben festgelegt dargestellt.

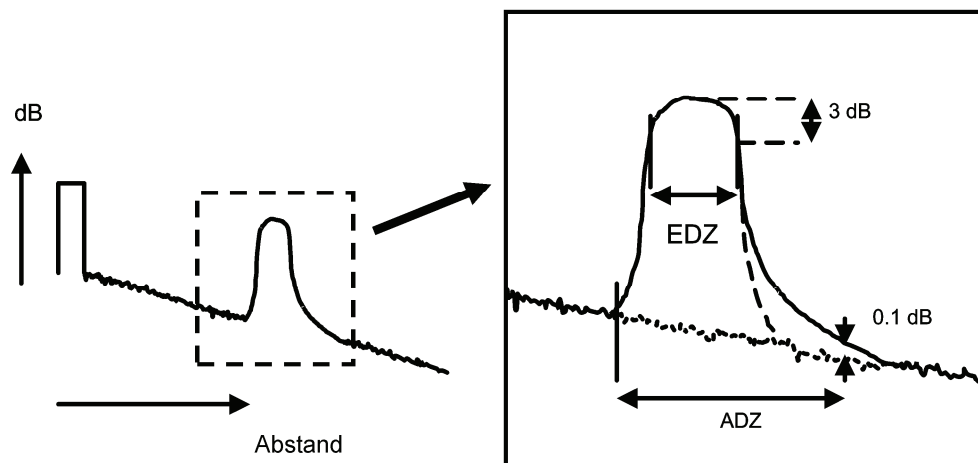


Bild 3 — Festlegung des Totbereiches für OTDR

Der EDZ ist der kritische Parameter für die Fehlersuche, da in den meisten Fällen die genaue Messung der Einfügungsdämpfung unnötig ist. Moderne OTDR-Geräte versuchen jedoch die spezifischen Anforderungen für optische Kabelbäume in Luftfahrzeugen diesbezüglich zu erfüllen. EDZ von weniger als 1 m sind potenziell interessant für die grundlegende Fehlerortung in Punkt-zu-Punkt-Kabelbäumen für Luftfahrzeuge. EDZ und ADZ von 10 cm bei typischen Kabelbaumfunktionen erweitern die allgemeinen Einsatzmöglichkeiten für OTDR-Geräte sowohl bei der Fehlersuche als auch bei Messungen der Einfügungsdämpfung.

In Bild 4 sind tatsächliche OTDR-Ergebnisse eines handelsüblichen Zwei-Meter-EDZ-Messgerätes von einer Prüfinstallation dargestellt. Die zusätzlichen Höchstwerte durch Mehrfachreflexionen sind zu beachten. Dies beweist die Bedeutung, alle Fresnel-Reflexionen (z. B. von einem Steckverbinder mit Luftspalt) zu minimieren, die sonst die OTDR-Anzeige beherrschen. Dies kann durch PC-Anschlüsse erreicht werden. OTDR-Messgeräte können mit etwas Mühe auch komplexere optische lokale Netzwerke (LAN, en.: Local Area Networks) für Luftfahrzeuge, wie Mehrwege-Netzwerke mit Sternkopplern, auswerten.

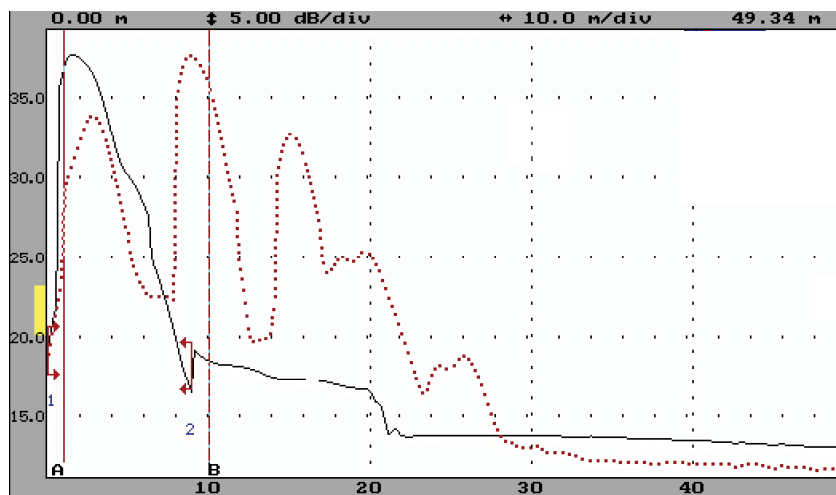


Bild 4 — Handelsübliche OTDR-Anzeige einer Punkt-zu-Punkt-Übertragungsleitung für Luftfahrzeuge

Mini-OTDR-Geräte sind ein sich schnell entwickelnder Bereich, angetrieben durch den Bedarf an kosteneffektiven, für die praktische Anwendung vor Ort geeigneten Fehlersuchgeräten für den Telekommunikationsmarkt. Bei der Prüfung an Punkt-zu-Punkt-Kabelbäumen für Luftfahrzeuge erwies sich ihre räumliche Auflösung (EDZ) als gerade ausreichend für die Lokalisierung der Hauptfunktionen des Kabelbaums, wie Steckverbinder und Faserunterbrechungen. Mini-OTDR-Geräte sind daher ein potenzielles Werkzeug für die grundlegende Fehlersuche in einfachen Kabelbäumen für Luftfahrzeuge, wären derzeit aber ungeeignet für komplexere Netzwerke oder die Messung der Einfügungsdämpfung. Trotz ihrer Grenzleistung bei Prüfungen in Luftfahrzeugen sind handelsübliche LAN-Anwendungen (z. B. Rechenzentren und Kabelfernsehen) der Antrieb für Gerätehersteller, mehr Augenmerk auf typische Anforderungen der Luft- und Raumfahrt zu legen. Daher wird erwartet, dass Leistung (insbesondere kleinere Totbereiche) und Kosteneffektivität erhöht werden.

Zusammenfassend sind OTDR-Geräte in vielen Situationen möglicherweise nicht erforderlich, in denen einfachere Verfahren die Aufgabe angemessen bewältigen würden. OTDR eignet sich für die Fehlerortung in unzugänglichen Bereichen. Dieses Verfahren gilt für die Fehlersuche, wenn die Symptome Dämpfung oder Verringerung der optischen Leistung sind. Für die OTDR ist es enorm vorteilhaft, wenn eine frühere Ausleuchtung des Kabelbaums für den Vergleich mit der aktuellen Anzeige verfügbar ist. Sollte sich der EDZ bei handelsüblichen Mini-OTDR-Geräten auf Werte von weniger als 1 m verbessern, sollten diese Geräte ernsthaft für die Fehlersuche während der gesamten Lebensdauer des Kabelbaums in Betracht gezogen werden.

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 LWL-Kabelbaum für Luftfahrzeuge oder dessen Bauteile. Aus dem Vergleich zu einem früheren gleichwertigen Messwert des Systems, dem Messwert einer Bezugsprobe oder einem theoretischen Schätzwert 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 Schwellenwertes“, wird dennoch eine geeignete Konditionierung empfohlen. Bei den Fehlerarten „kein Signal“ oder „unterbrochenes Signal“ ist dies weit weniger kritisch. Tatsächlich kann eine speziell angepasste übermäßig oder zu schwach angeregte Einkopplung in bestimmten Fällen vorteilhaft sein, z. B. kann eine viel zu schwache Anregung unkritische Dämpfungsmechanismen 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 naturgemäß 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 Dämpfungsmechanismus 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 ersetzt werden. Nach Durchführung geeigneter Reparaturmaßnahmen spielt die optische Leistungsmessung auch eine Rolle beim Nachweis 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.

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

3.4.6 BIT-Daten

BIT kann sowohl einen Fehler signalisieren als auch eine Rolle bei der Fehlerortung spielen. Insbesondere einige der anderen hier behandelten Verfahren, wie Leistungsmessung oder OTDR-Analyse, erfordern im Idealfall Daten, die zuvor mit den BIT-Daten ermittelt wurden, um die Anzahl der Fehlermöglichkeiten zu verringern.

3.5 Potenzielle Fehler

3.5.1 Allgemeines

Sobald ein Fehler geortet wurde, muss seine Ursache festgestellt werden.

3.5.2 Faser

Faserbrüche im Kabel können beim Eintritt der Faser in den Steckverbinder sowie innerhalb der Steckverbinderstifte auftreten. Ein Faserbruch würde zu einer vollständigen Dämpfung der optischen Leistung bzw. – bei Aufrechterhaltung des optischen Weges über einen 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 Stützhülsenkonstruktion, können am empfindlichsten Punkt der Faser zu einem Bruch führen – am Eintritt in die Steckverbinderstifte.

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

3.5.3 Kabel

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

3.5.4 Steckverbinder

Der Steckverbinder und der umliegende Bereich ist vielleicht am anfälligsten für Fehler. Demontage kann zum häufigsten Problem führen: Verunreinigung. Von Demontage wird weitestmöglich abgeraten, aber in einigen Fällen ist sie unvermeidbar.

Verunreinigung kann gering sein, wobei das Sauberwischen mit einem fusselfreien Tuch ausreichend ist, bis erheblich sein, wobei der Verbindungsmechanismus beeinträchtigt ist. Verunreinigung kann zu dauerhafter Beschädigung der Faserendfläche führen. Verunreinigung durch Flüssigkeiten verursacht einige spezifische Probleme (siehe 3.6.6).

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

Steckverbinder weisen potenziell verborgene Fehler auf, wie Überdrehen des Verbindungsmechanismus und ungeeignete Spannungsentlastung.

3.5.5 Stützhülse

Neben der physikalischen Beschädigung der Stützhülse besteht bei fehlerhafter Verlegung innerhalb der Stützhülse ebenfalls ein Potenzial für das Zusammenpressen, Biegen oder Abschnüren von Fasern.