

DIN EN 4533-003

ICS 49.060

Ersatz für
DIN EN 4533-003:2008-02

**Luft- und Raumfahrt –
Faseroptische Systemtechnik –
Handbuch –
Teil 003: Verfahren zur Fertigung und Installation von Leitungsbündeln;
Deutsche und Englische Fassung EN 4533-003:2017**

Aerospace series –
Fibre optic systems –
Handbook –
Part 003: Looming and installation practices;
German and English version EN 4533-003:2017

Série aérospatiale –
Systèmes des fibres optiques –
Manuel d'utilisation –
Partie 003: Règles de l'art pour la fabrication et l'installation des harnais;
Version allemande et anglaise EN 4533-003:2017

Gesamtumfang 39 Seiten

DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

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 4533-003:2017) 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.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 4533-003:2008-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) im Anwendungsbereich entfielen Anmerkungen zu Kupferkabelbäumen, in Bezug auf die Installation wird auf EN 3197 verwiesen und die Gültigkeit wird für Lichtwellenleiterkabel und Steckverbinder, die durch EN-Spezifikationen definiert werden, festgelegt;
- b) in 3.1 wurde die Bezifferung einer Aufzählung geändert und der Punkt zu Reparatur des Systems und der Komponenten sowie Instandhaltungsfragen überarbeitet;
- c) die Unterabschnitte 3.2 bis 3.7 wurden grundlegend überarbeitet;
- d) ein Unterabschnitt 3.8 „Ermöglichen des Wiederanschlusses von Lichtwellenleiterkabeln“ wurde neu aufgenommen;
- e) der bisherige Abschnitt 4 „Herstellungsproblematik“ und der Abschnitt 5 „Fertigung und Installation von Leitungsbündeln im Luftfahrzeug“ entfielen, mit Ausnahme des bisherigen Unterabschnitts 4.2 „Handhabung“, der jetzt Unterabschnitt 3.9 ist.

Frühere Ausgaben

DIN EN 4533-003: 2008-02

Deutsche Fassung

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

Aerospace series —
Fibre optic systems —
Handbook —
Part 003: Looming and installation practices

Série aérospatiale —
Systèmes des fibres optiques —
Manuel d'utilisation —
Partie 003: Règles de l'art pour la fabrication et
l'installation des harnais

Diese Europäische Norm wurde vom 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-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Überlegungen bei der ersten Entwicklungsphase	5
3.1 Allgemeines	5
3.2 Überlegungen bei der Systementwicklung	7
3.3 Praktische Überlegungen zur Verlegung von Kabelbäumen	9
3.4 Sicherungs- und Befestigungsvorrichtungen	10
3.5 Schutzvorrichtungen	12
3.6 Installationsverfahren	15
3.7 Lebensdauersbetreuung	15
3.8 Ermöglichen des Wiederanschlusses von Lichtwellenleiterkabeln	16
3.9 Handhabung	18

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 4533-003:2017) wurde vom Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie — Normung (ASD-STAN) erstellt.

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

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 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 4533-003:2006.

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.

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 Luftfahrzeugzelle (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.

1 Anwendungsbereich

Dieses Handbuch behandelt bewährte Verfahren („best practices“) im Rahmen der ersten Entwicklungsphase und wie diese gewählten Verfahren sich auf die Gebrauchserhaltung der Installation auswirken. Fertigungs- und Installationsverfahren für Leitungsbündel sind ein kritischer Aspekt in jeder elektrischen/Avionik-Installation in Luftfahrzeugen. Für die Bereitstellung eines zuverlässigen und effizienten Systems ist es wichtig, dass die LWL-Installation für Zuverlässigkeit und Wartungsfähigkeit ausgelegt ist.

Dieses Dokument stellt technische Empfehlungen und Unterstützung für Entwickler und Ingenieure für den Einbau von LWL-Kabelbäumen in eine Flugzelle bereit, wobei, wo immer dies möglich ist, eine höchstmögliche Übereinstimmung mit den derzeitigen Verfahren für elektrische Kabelbäume in Luftfahrzeugen gewahrt wird.

Alle Themen in Bezug auf die Installation von Lichtwellenleiterkabeln werden in EN 3197 behandelt.

Diese Regeln sind für Lichtwellenleiterkabel und Steckverbinder anwendbar, die durch EN-Spezifikationen definiert werden.

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 3197, *Luft- und Raumfahrt — Konstruktion und Installation elektrischer und optischer Verkabelung in Luftfahrzeugen*

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

3 Überlegungen bei der ersten Entwicklungsphase

3.1 Allgemeines

Die Installation von LWL-Kabelverbindungen und -bündeln sollte, wo immer möglich, der von Kupfersystemen gleichen und weitestmöglich mit derzeitigen allgemeinen Verfahren für elektrische Kabelbäume in Luftfahrzeugen übereinstimmen. Es gibt eine Vielzahl von Installationsspezifikationen, die die Anforderungen an die Verlegung von Kupferkabelbäumen eingehend beschreiben und da ihr Inhalt sehr ähnlich ist, gelten für die Verlegung von LWL-Kabelbäumen die folgenden Kriterien:

- a) Zugänglichkeit für Inspektion und Instandhaltung;
- b) Verhindern oder Minimieren des Risikos der Beschädigung durch:
 - Scheuern, Kratzen oder Abrieb;
 - Gebrauch als Haltegriffe oder Auflage für persönliche Ausrüstung;
 - Beschädigung durch sich im Luftfahrzeug bewegendes Personal;

- Verstauung oder Bewegung von Fracht;
- Batteriesäure und Dämpfe;
- Steine, Eis, Schlamm und Trümmer von geborstenen Reifen in den Fahrwerkräumen;
- Gefechtsschäden (soweit praktisch möglich);
- lose oder bewegliche Teile;
- Feuchtigkeit und Flüssigkeiten;
- örtlich begrenzte hohe Temperaturen;
- regelmäßiges Kuppeln und Trennen von Steckverbindern;
- Einwirkung von Bereichen mit hohen Temperaturen/starken Schwingungen.

Kupferinstallationen sind anfällig gegenüber elektrischen Störungen und ihr Einsatz in „unbeständigen“ Bereichen ist eingeschränkt. LWL-Kabel sind elektrischen Störungen gegenüber immun und ideal für den Einsatz in oder die Verlegung durch „unbeständige“ Bereiche geeignet. Beispiele für Bereiche, in denen LWL-Kabelbäume eine bessere Lösung als Kupferkabelbäume darstellen können, sind

- a) Bereiche mit einer hohen elektrischen Feldstärke,
- b) Bereiche, in denen elektrische Felder auf ein Minimum zu beschränken sind, z. B. Kompassabweichungen,
- c) Verlegung durch und in der Nähe von Brennstoffbehältern,
- d) bei enger Nähe zu elektrisch ausgelösten explosionsfähigen Einrichtungen (en.: Electrically Initiated Explosive Devices, EIED) und deren Systemen.

Während der Entwicklungsphase einer LWL-Installation sind Überlegungen zur Verlegung erforderlich, um die optimale Lösung zu bestimmen, die Folgendes einschließen:

- a) Systemkritikalität;
- b) Zugänglichkeit des Kabelbaums, verbessert die Reparatur und Instandhaltung im Luftfahrzeug, sollte aber den Systemschutz nicht beeinträchtigen;
- c) Segregation und Redundanz des Systems, maximale Schadensbegrenzung;
- d) Zugänglichkeit von Steckverbindern;
- e) Fragen der Reparatur sowie der Instandhaltung des Systems und der Komponenten (hierbei ist anzumerken, dass die Entwicklung gängiger Kabelbaumlängen die Instandhaltbarkeit an Bord von Luftfahrzeugen verbessern kann [Vorhaltung gängiger Ersatzteile], wenn Reparaturen erforderlich sind);
- f) Einbau von inaktiven Fasern in Kabelbäumen und/oder zusätzlichen Faserlängen kann Reparaturzeiten im Luftfahrzeug verringern.

3.2 Überlegungen bei der Systementwicklung

3.2.1 Einleitung

Bei der Entwicklung von LWL-Kabelbäumen bestimmen die Topologie der Verbindung und der verfügbare Verlegepfad in der Plattform die physische Länge des Kabelbaums und die erforderlichen Abzweige der Baugruppe.

Wird das LWL-System in einer bestehenden Plattform installiert, dann können mögliche Verlegepfade eingeschränkt sein (aufgrund bestehender Infrastruktur und Geräte). Wenn es sich bei der Plattform jedoch um eine Neukonstruktion handelt, können mehr Freiheiten bei der Auslegung des Verlegepfades vorliegen.

Es wird hierbei angemerkt, dass Entwicklungs-Software für Lichtwellenleiter zur Unterstützung der Planung von LWL-Kabelbäumen entwickelt wurde. Diese kann zur Modellierung verschiedener Pfade genutzt werden und auch die Einfügungsdämpfung der Verbindung in Abhängigkeit von der Route berechnen. Es wird angenommen, dass eine geringe Anzahl von kommerziellen Paketlösungen verfügbar ist. Diese können auch Verluste in Bezug auf Biegungen bei der Verlegung von Lichtwellenleitern und Fehlausrichtungen von Steckverbindern vorhersagen.

Es wird dazu angemerkt, dass moderne Lichtwellenleiterkonstruktionen biegungsfähige Lichtwellenleiter verwenden und eine Reihe solcher Konstruktionen für die Luft- und Raumfahrtindustrie existieren. Diese weisen geringere Verluste beim Biegen auf einen kleinen Radius auf. Obwohl dies die Anwendung engerer Bögen ermöglichen könnte, muss dennoch hervorgehoben werden, dass die Belastbarkeit des Lichtwellenleiters noch immer beachtet werden muss. Engere Bögen erhöhen im Allgemeinen die Dehnung der Leiter und können zu einer Reduzierung der Lebensdauer führen (vor allem wenn Defekte in der Glasfaser vorliegen). Es ist daher als allgemein empfehlenswert zu erachten, die üblichen Grenzen für die kleinsten Biegeradien für Lichtwellenleiter-Kabel in der Luft- und Raumfahrt nach der Produktnorm sicherzustellen.

3.2.2 Verbindungselemente

Steckverbinder für Lichtwellenleiter (Verbindungselemente) sind erforderlich, um LWL-Kabelbäume mit Endgeräten oder anderen Kabelbaumabschnitten an Bord des Luftfahrzeugs zu verbinden. Es ist hierbei anzumerken, dass Kabelbäume unter Umständen Mehrwegesteckverbinder (mit mehreren optischen Kontakten oder Anschlüssen/Endstellen) oder Einwegsteckverbinder in Abhängigkeit von der jeweiligen Konstruktion des Kabelbaums erfordern können. Dies betrifft wiederum die Führung des Lichtwellenleiterkabels, das zum Steckverbinder führt, sowie jedes Endgehäusedesign.

Sorgfältige Aufmerksamkeit sollte der Anzahl und Einbaulage von Verbindungselementen im Lichtwellenleiter gelten. Bei der letztendlichen Auswahl und Position von Verbindungselementen müssen die geforderte Leistung, Zuverlässigkeit und Instandhaltungselemente des Systems berücksichtigt werden. Diese Aspekte stehen oft im Widerspruch zu den anderen bei der Systementwicklung, so dass in der Entwicklungsphase einiges gegeneinander abgewogen werden sollte.

Von größter Bedeutung ist, dass die Verbindungselemente und Bauteile der Lichtwellenleiter keine Dämpfung erzeugen, die die verfügbare Leistung des Systems übersteigt. Bei ausreichend verfügbarer Leistung können an geeigneter Stelle positionierte Leitungsunterbrechungen die Wartungsfähigkeit des Systems verbessern. In Bereichen mit erhöhter Instandhaltungsaktivität beispielsweise, in denen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Beschädigungen besteht, ermöglichen zusätzliche Verbindungselemente mit kurzen Lichtwellenleiterverbindungen einen schnellen und einfachen Austausch einer beschädigten Verbindung. Dies wiederum muss gegen die Möglichkeit abgewogen werden, dass die zusätzlichen Verbindungselemente die Einfügungsdämpfung der Verbindungen erhöhen können, wodurch die Zuverlässigkeit des Systems verringert wird. Erfahrungen zufolge sind Ausfälle an oder neben Verbindungselementen keine ungewöhnliche Ausfallart, insbesondere wenn auf die Verbindung aufgebrachte Lasten leicht auf die Baugruppe des Steckverbinders und die verbundenen Zubehöriteile übertragen werden. Durch sorgfältige Positionierung des Verbindungselements und der korrekten Nutzung geeigneter Befestigungsvorrichtungen für Kabelbäume wird die Wahrscheinlichkeit dieser Ausfallart verringert.

Einige Systeme (besonders Einmoden-Systeme mit Laserquellen) können auch empfindlich gegenüber Reflexionen sein, die zur Quelle zurückgeführt werden. Zusätzliche Steckverbinder, die zur Verbesserung der Instandhaltbarkeit hinzugefügt wurden, können die Gesamtmenge der Reflexionen in Abhängigkeit von der Steckverbinderkonstruktion maßgeblich erhöhen. Wenn eine Empfindlichkeit gegenüber Rückreflexionen besteht, müssen unter Umständen Steckverbinder mit niedrigem Reflexionsgrad, beispielsweise nach UPC- oder APC-Art, bei der Entwicklung berücksichtigt werden.

Zusammenfassend sollte der Einbau zusätzlicher Verbindungselemente erwogen werden, wenn die dadurch verursachte Erhöhung der Einfügungsdämpfung und der Rückreflexion vom System aufgenommen werden kann und die zusätzlichen Verbindungselemente die Wartungsfähigkeit erhöhen, ohne die Zuverlässigkeit des Systems zu beeinträchtigen.

Es ist anzumerken, dass Steckverbinder und sehr enge Bögen im Allgemeinen zu den größten Verlusten in einem LWL-Kabelbaum führen. Die Materialdämpfung der Glasfaser wird über die relativ kurzen Kabelbaumlängen des Flugzeugs hinweg gering sein. Zusätzlich zu den Verlusten durch Kabel und Steckverbinder des Systems ist es im Allgemeinen ratsam eine 3-dB-Spanne hinsichtlich der Einfügungsdämpfung im Kabelbaum zur Berücksichtigung der Alterung des Systems über die Lebensdauer hinweg einzubeziehen. Dies sollte auch in den Entwicklungsberechnungen des Systems berücksichtigt werden.

3.2.3 Instandhaltbarkeitsstrategie

Die Konstruktion von Kabelbäumen/die Verlegung hängt direkt mit der Instandhaltbarkeitsstrategie zusammen. Im Einklang mit dieser Strategie muss die Konstruktion des Kabelbaums/der Verlegung die Einschränkungen berücksichtigen, dies sich aus den folgenden Optionen ergeben:

- dem Einsatz von Spleißen als Reparaturlösung;
- dem Einsatz von ruhenden Fasern/Ersatzfasern;
- dem vollständigen Austausch als Reparaturlösung.

3.2.3.1 Spleiß

Spleiße bieten viele Vorteile, wie beispielsweise keine Beschränkungen hinsichtlich mechanischer und umgebungsbezogener Eigenschaften, sofern sie ordentlich geschützt sind, sehr geringe Auswirkungen auf das Budget optischen Verbindung (die durch die Reparatur verursachten Verluste müssen je nach Reparaturart, z. B. mechanischer oder geschützter Schmelzspleiß, berücksichtigt werden) und die Tatsache, dass sie in bestimmten Fällen als permanente Reparatur angesehen werden können.

Der größte Nachteil ist, dass es notwendig ist, bei der Reparatur auf das Lichtwellenleiterkabel zuzugreifen.

3.2.3.2 Ruhende Fasern/Ersatzfasern

Ruhende Fasern/Ersatzfasern können in einer LWL-Anwendung eingesetzt werden, ohne die Gewichtseinsparung durch die Verwendung von Lichtwellenleiterkabeln übermäßig zu verringern. Der Einbau zusätzlicher Kabelverbindungen erhöht jedoch ursprüngliche Kosten und Systemkomplexität in Verbindung mit den zusätzlichen Problemen hinsichtlich Schutz und Verstauen der LWL-Steckverbinderenden/Ferrulen. Darüber hinaus wären zusätzliche oder redundante Fasern den gleichen oder ähnlichen Umgebungsbedingungen ausgesetzt, wie die „echte“ Faser, die sie duplizieren.

Die Entscheidung hinsichtlich des erforderlichen Grades an Redundanz und Tiefe sollte auf einer Anzahl von Faktoren beruhen; diese schließen ein:

- Während der Entwicklungsphase sind sorgfältige Überlegungen anzustellen, um das erforderliche Ausmaß der ruhenden Fasern/Ersatzfasern gegenüber Beschränkungen und Begrenzungen von Gewicht und Raumbedarf sicherzustellen.

- Die Einführung von Ersatzfasern in ein System hätte mit sehr großer Wahrscheinlichkeit einen Dominoeffekt auf die Kostenentwicklung. Im Falle von Einwegsteckverbindersystemen würden diese Kosten aufgrund der erhöhten Anzahl an eingeführten Steckverbindern zusammen mit zusätzlichen Leitungsersatzteilen (en: Line Replacement Items, LRI), festen Steckverbindern und zusätzlichen Fasern verschärft. Durch die erhöhte Nutzung von Mehrwegsteckverbindern in LWL-Luftfahrtanwendungen ist die Einführung redundanter Fasern zwar vereinfacht worden, aber dennoch werden die Gesamtkosten für das System erhöht. Jedoch muss dies mit der verbesserten Wartungsfreundlichkeit und den potenziellen Einsparungen bei den Gesamtbetriebskosten abgewogen werden.
- Die Reparatur von Systemen kann, in Abhängigkeit von der Beschädigung des Systems, durch den Einbau ruhender Fasern verbessert werden. Die Fähigkeit, von beschädigten Fasern auf Ersatzfasern umzustellen und die dadurch entfallende Notwendigkeit, Kabelbäume zu entfernen und zu ersetzen, kann sich als vorteilhaft erweisen, allerdings besteht die Frage, wie viele Ersatzfasern jedem Kabelbaum zuzuordnen sind.

Die Aufnahme zusätzlicher Ersatzverbindungen, bzw. redundanten LWL-Verbindungen bietet eine Systemfähigkeit, die einen durchgängigen Betrieb ermöglicht, auch wenn ein Schaden entstanden ist oder ein Ausfall eines Bauteils dieses Systems aufgetreten ist.

Ersatzverbindungen können einfach in Mehrwegsteckverbindern untergebracht werden, die freie Kanäle aufweisen, die noch nicht in Verwendung sind. Der Zugang zu diesen Ersatzkanälen kann an den Enden des Kabelbaumes vorgesehen werden. Alternativ können auch Anschlüsse innerhalb des Steckverbinders umgesetzt werden, sodass die Ersatzverbindung genutzt und der beschädigte Abschnitt der Faser umgangen wird.

Mehrere Erwägungen sind bei dem Einsatz von ruhenden Verbindungen zu berücksichtigen, einschließlich:

- nichtangeschlossene Lichtwellenleiterkabel erfordern einen Endschutz, um eine Verunreinigung zu verhindern (einschließlich Flüssigkeitsbindung);
- nichtangeschlossene Lichtwellenleiterkabel erfordern, wenn für die Verwendung erforderlich, einen Abschluss am Luftfahrzeug;
- bereits angeschlossene Einweg-Steckverbinderferrulen erfordern sichere Lagerung, um Beschädigungen/Verunreinigungen der Endfläche zu verhindern.

Eine Umsetzung der freien Anschlüsse kann die Demontage des Steckverbinders erfordern.

3.2.3.3 Austausch

Die zum Austausch der beschädigten Faser notwendige Zeit sollte auch als wichtiger Aspekt anerkannt werden. Daher kann es effizienter sein, eine komplette Kabelbaum-Baugruppe (vollständig mit Steckverbindern) zu entfernen und durch eine vormontierte Einheit zu ersetzen. Je nach Kosten- und Zeitbedingungen kann diese Herangehensweise für den Austausch von kurzen Kabelbäumen bevorzugt werden.

3.3 Praktische Überlegungen zur Verlegung von Kabelbäumen

Untersuchungen zufolge haben Lichtwellenleiterkabel für die Luft- und Raumfahrt gegenüber Fertigungs- und Installationsverfahren von elektrischen Leitungsbündeln eine hohe Toleranz und tatsächlich ist die Verlegung entlang/innerhalb bestehender Kupfer-Leitungsbündel/-Kabelbäume in vielen Fällen von Vorteil. Der Hybrid-Kabelbaum bietet zusätzliche mechanische Unterstützung und Entlastung, ohne die Notwendigkeit spezieller zusätzlicher Anforderungen an Klemmbefestigungen oder Verlegung. Allgemein wird angenommen, dass ausreichend verstärkte Lichtwellenleiterkabel nach genau den gleichen Konstruktionskriterien verlegt werden können wie elektrische Kabel.

An Stellen, an denen mehrere Kabelbäume (sowohl elektrische als auch optische) in der Luftfahrzeugzelle vorhanden sind, kann es praktisch sein, Abschnitte der Kabelbäume in bestimmten Bereichen zusammen zu verlegen. Kabelsicherungen (z. B. Kabelbinder) dürfen auch sowohl elektrische als auch optische Kabel umspannen. Obgleich diese sicherheitsbezogene Herangehensweise Vorteile bringen kann, muss die Zugänglichkeit der optischen Kabel berücksichtigt werden, vor allem dann, wenn Entfernung und Reparatur erforderlich ist. Es ist eindeutig schwieriger, an ein bestimmtes Kabel zu gelangen, wenn dieses in einem Bündel gemischter Kabel eingebettet ist.

Die derzeitigen Installationspraktiken verlangen, dass Lichtwellenleiterbündel separat von elektrischen Installationen verlegt werden, um Identifikation und Instandhaltung zu erleichtern.

Verlegungspraktiken für optische Kabelbäume werden in EN 3197 erläutert.

3.4 Sicherungs- und Befestigungsvorrichtungen

Wie bei jeder Kabelbauminstallation sind Verfahren für Kabelunterstützung und -halterungen wichtige Faktoren bei Führung und Sicherung des Kabelbaums bei gleichzeitiger Begrenzung der Auswirkungen von Spannung auf die Kabel.

Durch den Einsatz von speziellen typspezifischen Verfahren zur Verlegung und Klemmbefestigung von LWL-Verbindungen und -Bündeln werden kontrollierte Bedingungen an den Lichtwellenleiterkabeln aufrechterhalten. Diese Verfahren beeinträchtigen allerdings den Raumbedarf in der Luftfahrzeugzelle und erhöhen gleichzeitig Gewicht und Kosten. Vorausgesetzt, die Leistung des Lichtwellenleiterkabels wird nicht beeinträchtigt, wird empfohlen, wo immer möglich die Lichtwellenleiterkabel ebenso wie die bestehenden elektrischen Kabel zu verlegen.

Derzeitige Verfahren der Abstützung und Halterung von Kabeln in Kabelbäumen für Luftfahrzeuganwendungen schließen ein:

- Kabelbinder;
- Bindeband;
- Harpunenbinder, Abstandhalter und Halterungen;
- „P“-Klemmen;
- Kabelkanalklemmen;
- Spulen.

Eine Auswahl dieser Halteeinrichtungen wird im Bild 1 bis Bild 3 gezeigt.

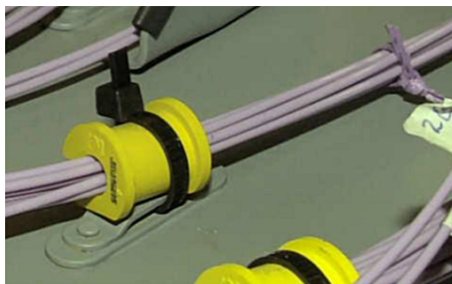


Bild 1 — Spulen für Kabelbäume von Lichtwellenleitern