

DIN EN 4533-003

ICS 49.060

Entwurf

Einsprüche bis 2017-08-23
Vorgesehen als 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 FprEN 4533-003:2017**

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

Anwendungswarnvermerk

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

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

Stellungnahmen werden erbeten

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

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

Gesamtumfang 41 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 (FprEN 4533-003:2017) wurde von ASD-STAN, Fachbereich Elektrotechnik, unter Mitwirkung deutscher Experten des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) erarbeitet.

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

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

Es wird darauf hingewiesen, dass auf Grund der Verfahrensweise zur Normenerstellung bei ASD-STAN dieser Norm-Entwurf E DIN EN 4533-003 ausschließlich der formellen Annahme der deutschen Sprachfassung von EN 4533-003 dienen kann. Im Rahmen dieser Umfrage sind daher ausschließlich redaktionelle Stellungnahmen zur deutschen Übersetzung möglich.

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 die 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 erneuten Anschlusses 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.

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

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

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

ICS:

Deskriptoren

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

STD Version 2.8l

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Überlegungen bei der ersten Konstruktionsphase	5
3.1 Allgemeines	5
3.2 Überlegungen bei der Systemkonstruktion	7
3.3 Überlegungen zur praktischen Verlegung von Kabelbäumen	10
3.4 Sicherungs- und Befestigungsvorrichtungen	10
3.5 Schutzvorrichtungen	13
3.6 Installationsverfahren	15
3.7 Unterstützung während der Lebensdauer	16
3.8 Ermöglichen des erneuten Anschlusses von Lichtwellenleiterkabeln	16
3.9 Handhabung	18

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 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.

Dieses Dokument ist derzeit zur formellen Abstimmung vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 4533-003:2006 ersetzen.

Einleitung

a) Das Handbuch

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

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

Teil 001: Anschlussverfahren und Werkzeuge

Teil 002: Prüfung und Messung

Teil 003: Verfahren zur Fertigung und Installation von Leitungsbündeln

Teil 004: Reparatur, Instandhaltung, Reinigung und Inspektion

b) Hintergrund

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

Das Grundmaterial optischer Verbindungen oder der „optische Kabelbaum“ ist der Schlüssel für die erfolgreiche Einführung optischer Technologie bei kommerziellen und militärischen Luftfahrzeugen. Im Vergleich zu ausgereiften Telekommunikationsanwendungen müssen Lichtwellenleitersysteme für Luftfahrzeuge in einer feindlichen Umgebung (z. B. bei extremen Temperaturen, Feuchtigkeit, Vibrationen und Verunreinigung) betrieben werden, und sie beinhalten zusätzliche physikalische Einschränkungen durch das Luftfahrzeug (z. B. Kabelbaumhalterungen, erforderliche enge Biegeradien und 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. Mit der Einführung von eher standardisierten Arten von Lichtwellenleitern (nach Telekommunikationsart) für Kabel in der Luft- und Raumfahrt und der Verfügbarkeit von handelsüblichen Produkten (COTS) in besonders robuster Bauweise ändert sich diese Situation. Diese verbesserten Entwicklungen waren aufgrund der signifikanten Kollaboration in Sachen Forschung zwischen Herstellern von Komponenten, den Herstellern von Einrichtungen sowie den Flugzeugfirmen als Endkunden letztlich möglich.

1 Anwendungsbereich

Dieses Handbuch behandelt beste Verfahren („best practices“) im Rahmen der ersten Konstruktionsphase und wie diese Verfahren sich für die gesamte Gebrauchsdauer auf die Einrichtung auswirken. Fertigungs- und Installationsverfahren für Leitungsbündel sind ein kritischer Aspekt in jeder elektrischen/für die Luft- und Raumfahrt vorgesehenen Installation in Luftfahrzeugen. Für die Bereitstellung eines zuverlässigen und effizienten Systems ist es wichtig, dass die Kabelbauminstallation für Zuverlässigkeit und Wartungsfähigkeit ausgelegt ist.

Dieses Dokument stellt technische Empfehlungen und Unterstützung für Konstrukteure und Ingenieure für den Einbau von LWL-Kabelbäumen in ein Luftfahrzeug und gleichzeitiger Übereinstimmung mit den derzeitigen verfahren für elektrische Kabelbäume in Luftfahrzeugen bereit.

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 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 Konstruktionsphase

3.1 Allgemeines

Die Installation von LWL-Kabelverbindungen und -bündeln sollte, falls möglich, der von Kupfersystemen gleichen und weitestmöglich mit derzeitigen allgemeinen Verfahren für elektrische Kabelbäume in Luftfahrzeugen übereinstimmen. Es besteht 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 Schmutz von geborstenen Reifen in den Fahrwerkkräusen;
- Gefechtsschäden (soweit praktisch möglich);
- Lose oder bewegliche Teile;
- Feuchtigkeit und Flüssigkeiten;
- örtlich begrenzte hohe Temperaturen;
- regelmäßiges Verbinden und Trennen von Steckverbindern;
- Einwirkung von Bereichen mit hohen Temperaturen/starken Schwingungen.

Kupferinstallationen sind anfällig gegenüber elektrischen Störungen und ihr Einsatz in „energieabhängigen“ Bereichen ist eingeschränkt. LWL-Kabel sind elektrischen Störungen gegenüber immun und ideal für den Einsatz in oder die Verlegung durch „energieabhängige“ 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 Konstruktionsphase 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) Reparatur des Systems und der Komponenten sowie Instandhaltungsfragen (hierbei ist anzumerken, dass die Nutzung üblicher Kabelbaumlängen an Bord von Luftfahrzeugen die Instandhaltbarkeit verbessern kann, wenn Reparaturen notwendig sind (Vorhaltung üblicher Ersatzteile);
- f) Einbau von ruhenden Fasern in Kabelbäumen und/oder zusätzlichen Faserlängen können Reparaturzeiten im Luftfahrzeug verringern.

3.2 Überlegungen bei der Systemkonstruktion

3.2.1 Einleitung

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

Wird das LWL-System auf einer bestehenden Plattform installiert, dann sind die möglichen Verlegepfade unter Umständen eingeschränkt (aufgrund der bestehenden Infrastruktur und Geräte). Wenn es sich bei der Plattform jedoch um eine Neukonstruktion handelt, liegen in der Regel mehr Freiheiten bei der Auslegung des Verlegepfades vor.

Es wird hierbei angemerkt, dass Design-Software für Lichtwellenleiter entwickelt wurde, die bei der Planung von LWL-Kabelbäumen hilfreich sein können. Diese können zur Modellierung verschiedener Pfade herangezogen werden und auch die Einfügungsdämpfung der Verbindung in Abhängigkeit der Route berechnen. Es wird vermutet, dass eine geringe Anzahl von kommerziellen Paketlösungen in diesem Bereich 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 bereits eine Reihe solcher Konstruktionen für die Luft- und Raumfahrtindustrie existieren. Diese weisen geringere Verluste beim Biegen auf einen kleinen Radius auf. Obgleich dies bei der Konstruktion engerer Bögen hilfreich sein kann, muss dennoch hervorgehoben werden, dass die Belastbarkeit der Lichtwellenleiter 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 Steckverbinder (Zwischenverbinder)

Steckverbinder für Lichtwellenleiter (Zwischenverbinder) sind notwendig, 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 Einwegesteckverbinder in Abhängigkeit der Konstruktion des Kabelbaums erfordern. Dies betrifft wiederum die Planung und Konstruktion des Lichtwellenleiterkabels, das zum Steckverbinder führt sowie der Rückenschale.

Sorgfältige Aufmerksamkeit sollte der Anzahl und Einbaulage von Steckverbindern der Lichtwellenleiter gelten. Bei der letztendlichen Auswahl und Einbaulage von Steckverbindern müssen die erforderlichen Aspekte der Leistung, Zuverlässigkeit und Instandhaltung des Systems berücksichtigt werden. Diese Aspekte der Systemkonstruktion stehen oft in Widerspruch mit anderen, so dass in der Konstruktionsphase einiges gegeneinander abgewogen werden sollte.

Von größter Bedeutung ist, dass die Komponenten und Steckverbinder der Lichtwellenleiter keine Dämpfung erzeugen, die die verfügbare Leistung des Systems übersteigt. Bei ausreichend verfügbarer Leistung können an geeigneter Stelle positionierte Steckverbinderunterbrechungen die Wartungsfähigkeit des Systems verbessern. In Bereichen mit erhöhter Instandhaltungsaktivität beispielsweise, in denen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Beschädigungen besteht, ermöglichen zusätzliche Steckverbinder mit kurzen Lichtwellenleitern einen schnellen und einfachen Austausch von beschädigten Fasern. Dies muss wiederum gegen die Möglichkeit abgewogen werden, dass die zusätzlichen Steckverbinder die Einfügungsdämpfung der Verbindungen erhöhen können, wodurch die Zuverlässigkeit des Systems verringert wird. Erfahrungen zufolge sind Ausfälle an oder neben Steckverbindern keine ungewöhnliche Ausfallart, insbesondere wenn auf die Verbindung aufgetragene Lasten leicht auf die Baugruppe des Steckverbinders und die verbundenen Zubehörteile übertragen werden. Durch sorgfältige Positionierung des Steckverbinders und der korrekte

Einsatz geeigneter Befestigungsvorrichtungen für Kabelbäume wird die Wahrscheinlichkeit dieser Ausfallart verringert.

Manche Systemen (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 der Konstruktion der Steckverbinder maßgeblich erhöhen. Wenn eine Empfindlichkeit gegenüber Rückreflexionen besteht, dann müssen unter Umständen Steckverbinder mit niedrigem Reflexionsgrad, beispielsweise nach UPC- oder APC-Art, in der Konstruktion berücksichtigt werden.

Zusammenfassend sollte der Einbau zusätzlicher Steckverbinder erwogen werden, wenn der dadurch verursachte Anstieg der Einfügungsdämpfung und die Rückreflexion die verfügbare Leistung des Systems nicht übersteigt und die zusätzlichen Steckverbinder 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 ist über die relativ kurzen Kabelbaumlängen des Flugzeugs hinweg relativ gering. Zusätzlich zu den Verlusten durch Kabel und Steckverbinder des Systems, ist im Allgemeinen die Vorsehung einer 3-dB-Spanne hinsichtlich der Einfügungsdämpfung im Kabelbaum zur Berücksichtigung der Alterung des Systems über die Lebensdauer hinweg empfohlen. Dies sollte auch in die Konstruktionsberechnungen des Systems einfließen.

3.2.3 Instandhaltbarkeitsstrategie

Die Konstruktion von Kabelbäumen/die Verlegung hängt direkt mit der Instandhaltbarkeitsstrategie zusammen. Im Einklang mit dieser Strategie muss die Auslegung des Kabelbaums/der Verlegung die Einschränkungen der folgenden Optionen berücksichtigen:

- dem Einsatz von Spleißen als Reparaturlösung;
- dem Einsatz von ruhenden Fasern/Ersatzfasern;
- die vollständige Erneuerung als Reparaturlösung.

3.2.3.1 Spleiß

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

Der hauptsächliche Nachteil ist der Umstand, dass es notwendig ist, auf das Lichtwellenleiterkabel bei der Reparatur zugreifen zu können.

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, deren Gegenstück sie sind.

Die Entscheidung hinsichtlich des erforderlichen Grades an Redundanz und Tiefe sollte auf einer Anzahl von Faktoren beruhen, u. a.:

- Während der Konstruktionsphase wären sorgfältige Überlegungen zu berücksichtigen, um das erforderliche Ausmaß der ruhenden Fasern/Ersatzfasern gegenüber Beschränkungen und Begrenzungen von Gewicht und Raumbedarf sicherzustellen.
- Die Einführung von Ersatzfasern in das System hätte mit sehr großer Wahrscheinlichkeit einen Dominoeffekt auf die Kostenentwicklung. Im Falle von Einwegesteckverbindern würden diese Kosten aufgrund der erhöhten Anzahl an eingeführten Steckverbindern zusammen mit zusätzlichen Leitungersatzteilen (en: Line Replacement Items, LRI), festen Steckverbindern und zusätzlichen Fasern verschärft. Durch die erhöhte Nutzung von Mehrwegesteckverbindern in LWL-Anwendungen der Luftfahrt, 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 Einbau von ruhenden 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 Fasern jedem Kabelbaum zuzuordnen sind.

Der Einschluss zusätzlicher Ersatzverbindungen, bzw. redundanten LWL-Verbindungen bietet eine Systemfunktionalität, die einen durchgängigen Betrieb ermöglicht, auch bei Beschädigung oder Ausfall eines Bauteils dieses Systems.

Ersatzverbindungen können einfach in Mehrwegesteckverbindern untergebracht werden, wo freie Kanäle bestehen, die noch nicht in Verwendung sind. Der Zugang auf diese Ersatzkanäle kann an den Enden des Kabelbaumes vorgesehen werden. Alternativ können auch die Anschlüsse selbst 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 der Aspekte:

- dass nicht abgeschlossene Lichtwellenleiterkabel einen Endschutz benötigen, um eine Verunreinigung zu verhindern (einschließlich Flüssigkeitsbindung);
- dass nicht abgeschlossene Lichtwellenleiterkabel bei Bedarf im Luftfahrzeug angeschlossen werden müssen;
- Bereits angeschlossene Einwege-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 Erneuerung

Die zum Austausch der beschädigten Fasern notwendige Zeit sollte auch als wichtiger Aspekt anerkannt werden. Daher ist das Entfernen der gesamten Kabelbaum-Baugruppe (vollständig mit Steckverbindern) und Ersetzen durch eine vormontierte Einheit möglicherweise effizienter. Unter Berücksichtigung der Einschränkungen von Kosten und Zeit kann diese Herangehensweise für den Austausch von kurzen Kabelbäumen bevorzugt werden.

3.3 Überlegungen zur praktischen 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 für Luftfahrzeuge nach genau den gleichen Konstruktionskriterien verlegt werden können wie elektrische Kabel.

An Stellen wo mehrere Kabelbäume (sowohl elektrische als auch optische) im Luftfahrzeug bestehen, kann es praktisch sein, Abschnitte der Kabelbäume in bestimmten Bereichen zusammen zu verlegen. Kabelsicherungen (z. B. Kabelbinder) können auch sowohl elektrische, als auch optische Kabel umspannen. Obgleich diese Herangehensweise Vorteile bringen kann, muss die Zugänglichkeit der optischen Kabel berücksichtigt werden, vor allem dann, wenn eine Entfernung und Reparatur notwendig wird. Offensichtlich ist es schwieriger auf ein bestimmtes Kabel zuzugreifen, wenn dieses in einem Bündel gemischter Kabel „vergraben“ ist.

Die aktuellen Verlegungspraktiken erfordern, dass Bündel aus Lichtwellenleitern separat von elektrischen Anlagen verlegt werden, um für eine leichtere Identifikation und Instandhaltung zu sorgen.

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 der Führung und Halterung des Kabelbaums bei gleichzeitiger Begrenzung der Auswirkungen von Spannung auf die Kabel.

Beim Einsatz von eindeutig zugewiesenen typspezifischen Verfahren für LWL-Kabelbaum-Verlegung und -Klemmbefestigungen werden kontrollierte Bedingungen an den Lichtwellenleiterkabeln aufrechterhalten. Diese Verfahren beeinträchtigen allerdings den Raumbedarf des Luftfahrzeugs und erhöhen gleichzeitig Gewicht und Kosten. Vorausgesetzt, die Leistung des Lichtwellenleiterkabels wird nicht beeinträchtigt, ist es empfehlenswert, die Lichtwellenleiterkabel ebenso wie die bestehenden elektrischen Kabel zu verlegen, wo immer dies möglich ist.

Die derzeitigen Verfahren für Auflager und Halterungen von Kabeln in Kabelbäumen für Luftfahrzeuganwendungen schließen ein:

- Kabelbinder;
- Abbindefäden;
- Harpunenbinder, Abstandhalter und Halterungen;
- „P“-Klemmen;
- Kabelkanalklammern;
- Spulen.

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



Bild 1 — Spulen für Kabelbäume von Lichtwellenleitern



Bild 2 — Abbindefäden



Bild 3 — „P“-Klemme

Einrichtungen, wie „P“-Klemmen und Spulen isolieren die Lichtwellenleiterkabel vollständig während sie diese an Ort und Stelle halten. Diese Einrichtungen üben daher wenig Druck auf die Kabel aus, obwohl sie im Allgemeinen komplexer und teurer in der Installation sind. Spulen erfordern einen Sicherungspunkt und Kabelbinder zusätzlich zur Spule selbst. „P“-Klemmen können in bestimmten Bereichen, wie dem Fahrweg, obligatorisch sein. Klemmen und Kabelbinder liegen enger im Kontakt mit dem Kabel, Studien haben aber gezeigt, dass die Auswirkungen hierdurch auf die momentane Generation an Kabeln in der Luftfahrt selbst bei Temperaturänderungen minimal sind (siehe Bild 4 als Beispiel).