

DIN EN 4533-003

ICS 49.060; 49.090

**Luft- und Raumfahrt –
Faseroptische Systemtechnik – Handbuch –
Teil 003: Verfahren zur Fertigung und Installation von Leitungsbündeln;
Deutsche und Englische Fassung EN 4533-003:2006**

Aerospace series –
Fibre optic systems – Handbook –
Part 003: Looming and installation practices;
German and English version EN 4533-003:2006

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 4533-003:2006

Gesamtumfang 44 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 4533-003:2006 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 AA „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 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 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 Überlegungen bei der ersten Konstruktionsphase	5
3.1 Allgemeines	5
3.2 Überlegungen bei der Systemkonstruktion	6
3.2.1 Ausstattung mit Steckverbindern und verfügbare Leistung	6
3.2.2 Die Nutzung von Redundanz	7
3.2.3 Ersatzkabel	7
3.2.4 Ruhende Fasern	8
3.3 Überlegungen zur Verlegung von Kabelbäumen	8
3.3.1 Allgemeines	8
3.3.2 Abtropfschleifen	8
3.3.3 Kreisförmige Wege	9
3.4 Sicherungs- und Befestigungsvorrichtungen	9
3.5 Schutzvorrichtungen	11
3.5.1 Allgemeines	11
3.5.2 Schutzrohr	12
3.6 Installationsverfahren	13
3.7 Unterstützung während der Lebensdauer	14
4 Herstellungsproblematik	15
4.1 Allgemeines	15
4.2 Handhabung	15
4.2.1 Allgemeines	15
4.2.2 Mindest-Biegeradien	16
4.2.3 Zusammenstellen der Leitungsbündel	17
4.3 Kabelkennzeichnungsverfahren	17
4.3.1 Kennzeichnungen	17
4.3.2 Wärmeschrumpfhüllen für Kennzeichnungen	17
4.4 Installation von Fasern im Schutzrohr	17
4.4.1 Allgemeines	17
4.4.2 Steckverbinder und Schutzrohre	18
5 Fertigung und Installation von Leitungsbündeln im Luftfahrzeug	18
5.1 Anschluss und Schutz der Endfläche	18
5.1.1 Allgemeines	18
5.1.2 Freie Steckverbinder	19
5.1.3 Fest angebrachte Steckverbinder	19
5.2 Durchziehen von LWL-Kabeln/Kabelbäumen durch Schutzrohre bei der Installation	19
5.3 Verlegung von LWL-Kabeln durch Druckgehäuse	20
5.4 Elektrisch/optisch	20
5.5 Zusätzliche Überlegungen	20
5.5.1 Kabelkennzeichnung	20
5.5.2 Lagerung von Kabeln	20

Vorwort

Dieses Dokument (EN 4533-003:2006) 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

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 Konzept gilt sowohl für Kupfer- als auch für LWL-Kabelbäume.

Zweck dieses Teils von EN 4533 ist die Bereitstellung technischer 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. Dieser Teil behandelt die Aspekte der Fertigung und Installation von Leitungsbündeln während der ersten Konstruktionsphase, der gesamten Herstellung und der Installation von LWL-Kabelbäumen sowie den Einfluss der ausgewählten Verfahren auf die auf die Unterstützung des Kabelbaums während dessen gesamter Lebensdauer.

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

3 Überlegungen bei der ersten Konstruktionsphase

3.1 Allgemeines

Die Installation von LWL-Kabelbäumen sollte der von Kupfersystemen gleichen und weitestmöglich mit derzeitigen allgemeinen Verfahren für elektrische Kabelbäume in Luftfahrzeugen übereinstimmen. Es besteht ein 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 begrenzt. LWL-Kabel sind elektrischen Störungen gegenüber praktisch 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:

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

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

- g) Systemkritikalität;
- h) Zugänglichkeit des Kabelbaums – verbessert die Reparatur und Instandhaltung im Luftfahrzeug, sollte aber den Systemschutz nicht beeinträchtigen;
- i) Segregation und Redundanz des Systems, maximale Schadensbegrenzung;
- j) Zugänglichkeit von Steckverbindern;
- k) Problematik der Reparatur und Instandhaltung von Systemen und Bauteilen;
- l) Einbau von ruhenden Fasern in Kabelbäumen und/oder zusätzlichen Faserlängen können Reparaturzeiten im Luftfahrzeug verringern.

3.2 Überlegungen bei der Systemkonstruktion

3.2.1 Ausstattung mit Steckverbindern und verfügbare Leistung

Sorgfältige Aufmerksamkeit sollte der Anzahl und Einbaulage von Steckverbindern im Kabelbaum 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 Kabelbaum-Bauteile 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 Steckverbinderunterbrechungen einen schnellen und einfachen Austausch von beschädigten Fasern. Dies muss wiederum gegen die Möglichkeit abgewogen werden, dass die zusätzlichen Steckverbinder selbst ausfallen können, wodurch die Zuverlässigkeit des Systems verringert wird. Erfahrungen zufolge sind Ausfälle an oder neben Steckverbindern keine ungewöhnliche Ausfallart, insbesondere wenn auf den Kabelbaum aufgebrachte Lasten leicht auf die Stützhülse des Steckverbinders übertragen werden. Durch sorgfältige Positionierung des Steckverbinders und Einsatz geeigneter Befestigungsvorrichtungen für Kabelbäume wird die Wahrscheinlichkeit dieser Ausfallart verringert.

Zusammenfassend sollte der Einbau zusätzlicher Steckverbinder erwogen werden, wenn der dadurch verursachte Dämpfungsanstieg die verfügbare Leistung des Systems nicht übersteigt und die zusätzlichen Steckverbinder die Wartungsfähigkeit erhöhen, ohne die Zuverlässigkeit des Systems zu beeinträchtigen.

3.2.2 Die Nutzung von Redundanz

Redundanz kann in einer LWL-Anwendung eingesetzt werden, ohne die Gewichtseinsparung durch die Verwendung von Lichtwellenleiterkabeln übermäßig zu verringern. Der Einbau zusätzlicher Kabel erhöht jedoch ursprüngliche Kosten und Systemkomplexität in Verbindung mit den zusätzlichen Problemen hinsichtlich Schutz und Verstauen der Kabelenden/Stifte. Darüber hinaus wären zusätzliche oder redundante Fasern den gleichen oder ähnlichen Umgebungsbedingungen ausgesetzt, wie die „echte“ Faser, deren Gegenstück sie sind.

Mit erhöhter Redundanz steigt eindeutig auch die Überlebensfähigkeit des Systems. Die Entscheidung hinsichtlich des erforderlichen Grades an Redundanz und Tiefe sollte auf einer Anzahl von Faktoren beruhen, u. a.:

- **Kritikalität**

Wie wichtig ist das System für den Betrieb des Luftfahrzeugs? Dadurch kann festgelegt werden, dass 2 (Zweifach-) oder 3 (Dreifach-)Stufen der Systemredundanz für hochkritische Systeme, wie die Flugsteuerungen, erforderlich sind. In diesem Fall sind alle Wege vollständig als Teil des Systems ausgeschlossen, damit das System auch dann funktionieren kann, wenn ein Fehler auftritt.

- **Komplexität/Wartungsfähigkeit**

Der Einbau zusätzlicher „Ersatz“-Fasern, würde die Komplexität der Systemkonstruktion unvermeidlich erhöhen, was wiederum direkten Einfluss auf Faktoren wie Gewicht und Raumbedarf, auf die Kosten sowie in geringerem Maße auf die Wartungsfähigkeit hätte.

- **Gewicht und Raumbedarf**

Während der Konstruktionsphase wären sorgfältige Überlegungen zu berücksichtigen, um die erforderliche Redundanztiefe gegenüber Beschränkungen und Begrenzungen von Gewicht und Raumbedarf sicherzustellen.

- **Reparatur**

Die Reparatur von Systemen kann in Abhängigkeit von der Beschädigung des Systems durch Einbau von redundanten und/oder 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 Ersatzfasern sind in jeden Kabelbaum einzubauen?“.

Die für den Austausch der beschädigten Faser erforderliche Zeit ist ebenfalls als wichtiger Aspekt zu beachten, insbesondere bei kommerziellen Anwendungen, bei denen die Standzeiten eines Flugzeugs auf ein Mindestmaß beschränkt werden müssen. Daher ist das Entfernen der gesamten Kabelbaum-Baugruppe (vollständig mit Steckverbindern) und Ersetzen durch eine vormontierte Einheit möglicherweise einfacher und schneller.

3.2.3 Ersatzkabel

Der Einbau von Ersatz-/redundanten Fasern ist wahrscheinlich das einfachste Verfahren zur Verbesserung der Überlebensfähigkeit oder Wartungsfähigkeit einer Lichtwellenleiterinstallation. Dies bietet eine Systemfunktionalität, die einen durchgängigen Betrieb ermöglicht, auch bei Beschädigung oder Ausfall eines Bauteils dieses Systems.

Derzeitige Kupfersysteme sind nicht mit eindeutig zugewiesenen Ersatzkabeln oder Redundanzleitungen ausgestattet. In ihrer Konstruktion sind jedoch Reservebauteile vorgesehen [Sekundärsysteme, Leitungsersatzteile (LRI) usw.].

3.2.4 Ruhende Fasern

Redundanz schließt auch „ruhende“ Fasern in Kabelbäumen ein. Der Einsatz von ruhenden Fasern würde den Austausch beschädigter Fasern ermöglichen, ohne den Kabelbaum entfernen oder eine neue Faser darin einbauen zu müssen. Der Einbau von ruhenden Fasern innerhalb eines Kabelbaums verursacht jedoch auch eine Anzahl technischer Probleme, u. a.:

- Unangeschlossene Fasern würden Endflächenschutz, um Verunreinigungen zu verhindern (einschließlich Eindringen von Flüssigkeiten) erfordern.
- Unangeschlossene Fasern müssten bei Bedarf im Luftfahrzeug angeschlossen werden.
- Bereits angeschlossene Einwege-Steckverbinderstifte erfordern sichere Lagerung, um Beschädigungen/Verunreinigungen der Endfläche zu verhindern.
- Bereits angeschlossene, in Ersatzaufnahmen gelagerte Mehrwege-Steckverbinderstifte erfordern die Demontage von Steckverbindern an jedem Ende des betreffenden Kabelbaums, das Entfernen der fehlerhaften und Ersatzfaserkontakte aus dem Steckverbinder sowie Umlegen der Kontakte in die betreffenden Aufnahmen und erneute Montage der Steckverbinder.
- Mögliche Nachteile hinsichtlich des Gewichtes in Abhängigkeit von der Anzahl der erforderlichen Fasern/Kontakte/Steckverbinder.
- Beschädigung eines Kabelbaums kann auf die ruhende Faser übergreifen und diese unbrauchbar machen.

Die Anzahl der aufgeführten Probleme könnte verringert werden, wie die Verlegung der Ersatzfasern außerhalb und weg vom ursprünglichen Kabelbaum, Nachteile beim Gewicht können minimal sein, durch die gesamte Gewichtseinsparung von LWL-Installationen gegenüber Kupferinstallationen.

Weitere Beschränkungen, die begrenzte Wartungsmöglichkeiten während des Betriebes, Dauer der Reparatur sowie begrenzte Verfügbarkeit von Werkzeugen einschließen, können den Einsatz von ruhenden Fasern unzulässig machen. Daher sind die Vorteile/Nachteile des Einbaus von ruhenden Fasern in ein System während der Konstruktionsphase sorgfältig abzuwägen.

3.3 Überlegungen zur Verlegung von Kabelbäumen

3.3.1 Allgemeines

Untersuchungen im Rahmen der Kabelbaum-Studie zufolge haben Kabel aus Fasern 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 Kabel für Luftfahrzeuge nach genau den gleichen Konstruktionskriterien verlegt werden können wie elektrische Kabel.

3.3.2 Abtropfschleifen

Abtropfschleifen werden eingebaut, wenn die Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein Kabelbaum oder Systembauteil Flüssigkeiten ausgesetzt sind. Der Kabelbaum oder das Kabel sollten so verlegt sein, dass die Flüssigkeit nicht entlang des Kabelbaums oder Kabels in die Rückseite des Steckverbinders eindringen kann (siehe Bild 1).

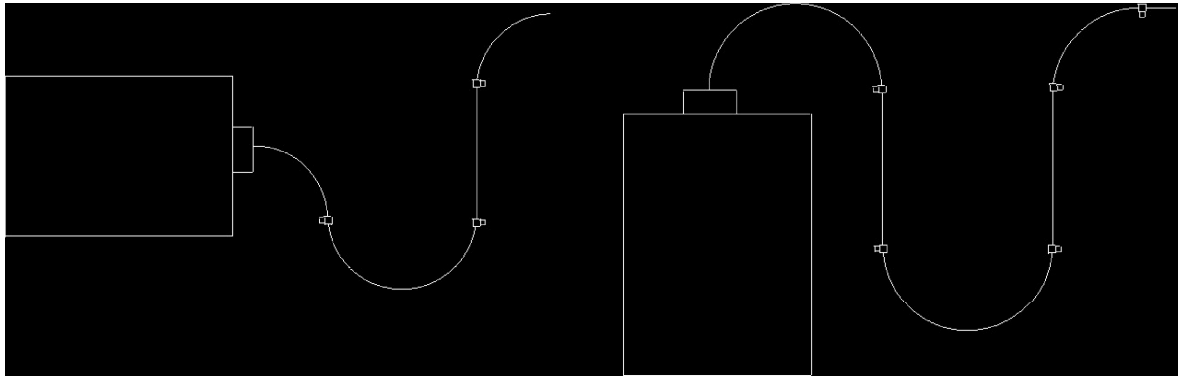


Bild 1 — Typische Arten von Abtropfschleifen

Bei der Installation von LWL-Kabelbäumen sind sorgfältige Überlegungen beim Einbau der Abtropfschleifen erforderlich. Der minimale Langzeit-Biegeradius der Faser sollte nicht überschritten werden, daher kann es bei der Kabelverlegung entlang bestehender Kupfer-Leitungsbündel mit geringerem minimalen Langzeit-Biegeradius erforderlich sein, die Kupferinstallation an den Biegeradius der Faser anzupassen oder den Faser-Kabelbaum getrennt vom Kupfer-Leitungsbündel zu verlegen und eine weitere Abtropfschleife einzubauen.

3.3.3 Kreisförmige Wege

Bei Einbau der Systemsegregation und getrennter Verlegung entsteht das Problem, dass in verschiedenen Richtungen verlegte Mehrfach-LWL-Kabel an einen Einpunkt-Mehrwege-Steckverbinder angeschlossen werden.

Während der Konstruktionsphase ist es wichtig, bei der Verlegung des LWL-Kabelbaums die Zugänglichkeit von durch das Luftfahrzeug verlegten, angeschlossenen, mit Steckverbindern ausgestatteten Fasern zu berücksichtigen, um die Notwendigkeit eines Endanschlusses im Luftfahrzeug zu verhindern.

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 Fasern 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 Kabel ebenso wie die bestehenden elektrischen Kabel zu verlegen. Im Rahmen der LWL-Kabelbaum-Studie wurde untersucht, inwiefern konventionelle Verfahren für Befestigung und Halterung elektrischer Kabelbäume die Leistung des Kabels und letztendlich die Übertragung von Licht beeinflussen. Es wurde angenommen, dass bei Anwendung möglicher derzeitiger elektrischer Auflager- und Halterungstechniken die Akzeptanz bei den Installateuren gegenüber der Einführung der Technologie sehr viel besser wäre, da Ausbildungs- und Installationskosten verringert werden. Viele der Ergebnisse hoben hervor, dass – bei weitem kein Spezialfall – die Leistung von geprüften LWL-Kabeltypen die Anwendung bestehender Verfahren für Halterungen und Auflager zuließ, die bei elektrischen Kabeln mit hoher Bandbreite, wie z. B. Koaxialkabeln, nicht anwendbar waren.

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

- Kabelbinder;
- Abbindefäden;

- Kabelkanalharpunen;
- „P“-Klemmen;
- Kabelkanalklammern;
- Spulen.

Der Einfluss dieser Halterungsvorrichtungen auf offene Mehrfachfaser-Kabelbäume und -kabelkanäle sowie damit verbundene Auswirkungen von Temperaturschwankungen sind untersucht worden. Den erzielten Ergebnissen zufolge waren die Dämpfungen durch die Halterungsverfahren von derzeitigen Lichtwellenleiterkabeln für Luftfahrzeuge minimal.

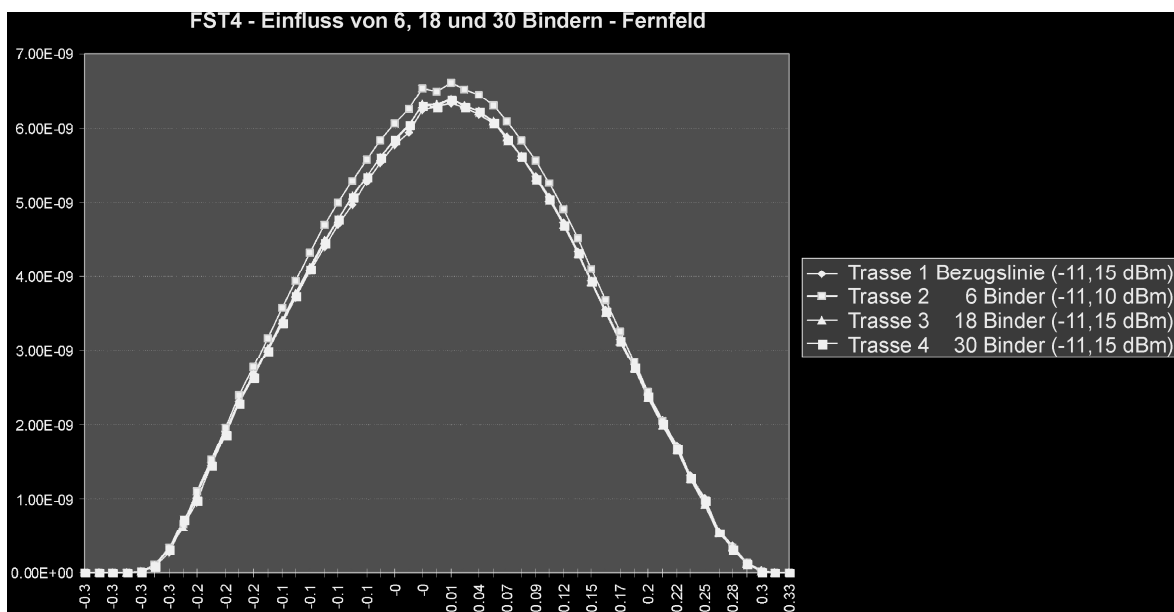


Bild 2 — Typische Ergebnisse von Fernfeld-Abtastung (Leistung (W) gegenüber N.A) – erzielt nach Anbringen der Kabelbinder an einem LWL-Kabelbaum mit offenen Leitungsbündeln (100/140-µm-Gradientenprofilfaser)

Entsprechend der Darstellung in Bild 2 waren die Leistungsdämpfungen minimal. Diese Ergebnisse waren bei allen geprüften Kabeltypen ähnlich. Um minimale Dämpfungen zu erzielen, ist es wichtig, die richtigen Bauteile und Werkzeuge zu verwenden – ein Überblick über das Verfahren für eine Anzahl von Befestigungsvorrichtungen ist nachfolgend angegeben.

- Kabelbinder – die Verwendung der für die Größe des Kabelbündels richtigen Kabelbinder sowie des geeigneten Kabelbinderwerkzeugs (eingestellt auf die erforderliche Zugspannung). Die Kabelbinder müssen korrekt positioniert werden, um die Wirkung von Halterungen und Auflagern entlang des Kabelbaums zu maximieren;
- Kabelkanalharpunen – für Kabelkanalharpunen gilt ein ähnliches Installationsverfahren wie für Kabelbinder, zum Anbringen der Harpunenhalterung ist das richtige Kabelbinderwerkzeug zu verwenden (Bild 3);

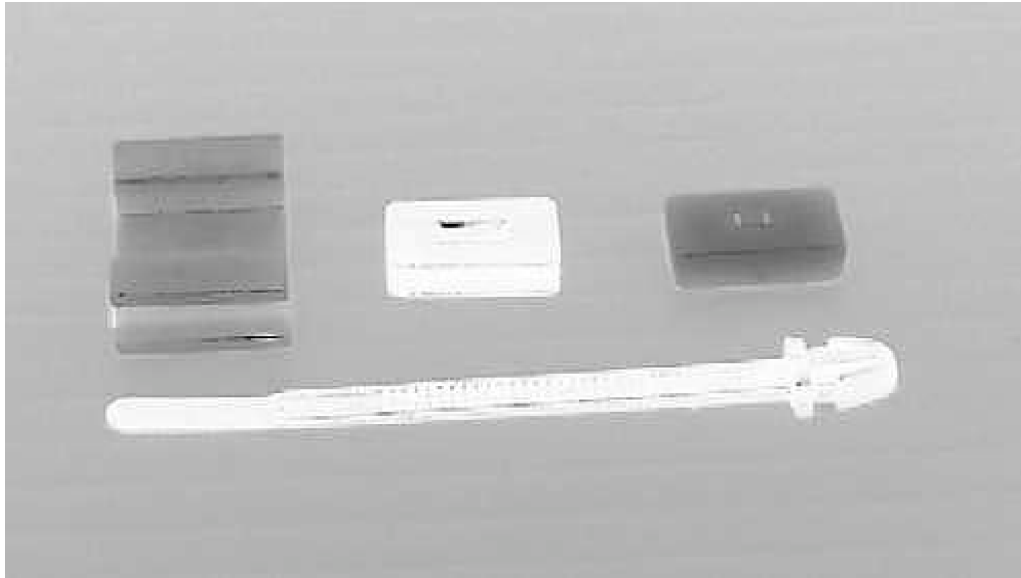


Bild 3 — Harpunenbinder mit zugehörigen Abstandhaltern und Halterungen

- Die Verwendung von „P“-Klemmen als Kabelhalterungen stellen kein besonderes Problem durch Zusammenpressen des Kabels dar, solange sie die richtige Größe haben und die Installationsverfahren eingehalten werden;
- Kabel, die durch Kabelkanalklemmen verlegt werden, sollten nebeneinander liegen und sich unterhalb der Klemme nicht kreuzen;
- typspezifische Halterungen wie Spulen dürfen verwendet werden, wenn Installationen von Einfachfasern von Mehrfach-Kabelbäumen oder bereits installierten Kabelführungen getrennt verlegt werden;
- Abbindefäden können bei diesen Luftfahrzeugkabeln verwendet werden, ohne zusätzliche Dämpfungen zu verursachen. Die Kabelbinder sollten auf die gleiche Weise eingesetzt werden wie bei konventionellen elektrischen Kabeln.

3.5 Schutzvorrichtungen

3.5.1 Allgemeines

In bestimmten Bereichen entlang des Verlaufs eines Lichtwellenleiterkabels oder -kabelbaums durch das Luftfahrzeug ist ein spezieller zusätzlicher Schutz über und oberhalb des für die verstärkte Kabelausführung notwendigen Schutzes erforderlich. Im Allgemeinen können dieselben Schutzelemente für elektrische Bauteile verwendet werden wie für optische oder Hybrid-Kabel-Leitungsbündel, obwohl bei ausschließlicher Verlegung von optischen Kabeln keine Metallabschirmung zum Zweck der elektromagnetischen Störfestigkeit (EMI) erforderlich ist. Über die Länge des Leitungsbündels kann eine oder eine Kombination von Schutzeinrichtung(en) erforderlich sein. Beispiele für zulässige Schutzvorrichtungen sind:

- Schutzrohr (biegesteif und/oder flexibel);
- Manschetten;
- Ummantelung.

3.5.2 Schutzrohr

3.5.2.1 Verlegung

Viele Luftfahrzeuginstallationen umfassen Kabelbäume, die durch Wellrohre verlaufen. Diese leichtgewichtigen Rohre bieten Kabelbäumen – sowohl mechanisch als auch umgebungsbezogen – ausgezeichneten Schutz und werden häufig in Bereichen mit hoher Verunreinigung oder rauen Umgebungsbedingungen eingesetzt.

Durch ein Schutzrohr verlegte Fasern bieten dem Kabel guten Schutz, die Anzahl der installierten Kabel ist allerdings auf den vom Hersteller festgelegten maximalen Fassungsraum begrenzt (gewöhnlich 80 % des Gesamt-Fassungsraumes). Bei Installation von Fasern durch Wellrohre ist es wichtig, genau die festgelegten Ausgangsformstücke und -zubehöerteile des Schutzrohres zu verwenden, um die Faser an dessen Eintritts- und Austrittspunkt zu schützen.

3.5.2.2 Schutzrohr und Instandhaltung

Durch ein Schutzrohr/Wellrohr verlegte Fasern erhöhen unvermeidlich die für Fehlerdiagnose und Instandhaltung erforderliche Zeit, mit sorgfältiger Konstruktion und Einbau von Systemunterbrechungen kann allerdings eine Philosophie von Entfernen und Ersetzen für die im Schutzrohr liegenden Kabelbaumelemente eingeführt werden, um die Instandhaltung und Reparatur zu vereinfachen. Darüber hinaus ermöglicht der Einsatz von durchscheinenden Schutzrohren wie PEEK (Bild 4) in einsehbaren Bereichen die Verwendung von kostengünstigen Fehlersuchvorrichtungen mit sichtbarem Laserstrahl oder LED, um Fehler in Fasern zu identifizieren. Das durch den Außenmantel von Fehlern innerhalb des Faserkerns abgestrahlte Licht ist für Instandhaltungsingenieure problemlos sichtbar. Diese Art der Fehlerdiagnose ist jedoch direkt auf die Durchsichtigkeit des Mantels als Teil der Kabelkonstruktion begrenzt (Bilder 5 und 6).

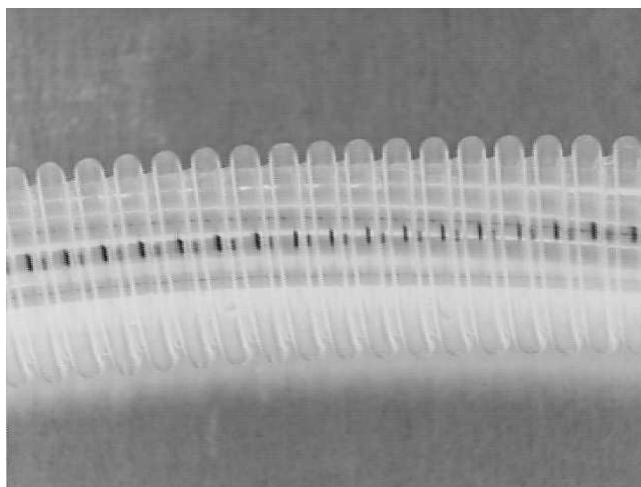


Bild 4 — PEEK-Schutzrohr mit Mehrfach-100/140-µm-Gradientenprofilfaser