

DIN EN 4533-001

ICS 49.060; 49.090

**Luft- und Raumfahrt –
Faseroptische Systemtechnik –
Handbuch – Teil 001: Anschlussverfahren und Werkzeuge;
Deutsche und Englische Fassung EN 4533-001:2006**

Aerospace series –
Fibre optic systems –
Handbook – Part 001: Termination methods and tools;
German and English version EN 4533-001:2006

Série aérospatiale –
Systèmes des fibres optiques –
Manuel d'utilisation – Partie 001: Méthodes des terminations et des outils;
Version allemande et anglaise EN 4533-001:2006

Gesamtumfang 115 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 4533-001:2006 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 001: Anschlussverfahren und Werkzeuge

Aerospace series –
Fibre optic systems –
Handbook –
Part 001: Termination methods and tools

Série aéronautique –
Systèmes des fibres optiques –
Manuel d'utilisation –
Partie 001: Méthodes des terminations et des outils

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	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
1.1 Allgemeines	6
1.2 Notwendigkeit von hochintegrierten Anschlüssen	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Auswahl der Bauteile	7
3.1 Elemente	7
3.2 Lichtwellenleiterkabel	7
3.2.1 Allgemeines	7
3.2.2 Kabelkonstruktion	7
3.2.3 Auswahl der Faser	8
3.2.4 Fasermantelwerkstoffe.....	8
3.3 Primärbeschichtungswerkstoffe	8
3.3.1 Funktion.....	8
3.3.2 Acrylat.....	8
3.3.3 Polyimid	9
3.3.4 Silicium	9
3.4 Aramidgarn im Vergleich mit Glasfaser-Verstärkungsgliedern	9
3.5 Steckverbinder für Lichtwellenleiter.....	9
3.5.1 Zweck	9
3.5.2 Steckverbindertypen	10
4 Gesundheits- und Sicherheitsaspekte	13
4.1 Allgemeines	13
4.2 Chemikalien.....	13
4.3 Scharfe Kanten.....	14
5 Anschlussprozess	14
5.1 Ziel	14
5.2 Vorbereitung des Kabels	14
5.2.1 Allgemeines	14
5.2.2 Zuschneiden.....	15
5.2.3 Entfernen des Außenmantels	16
5.2.4 Zuschneiden/Entfernen von Verstärkungsgliedern	19
5.3 Entfernen von Sekundärbeschichtung(en)	20
5.4 Entfernen der Primärbeschichtung.....	20
5.4.1 Allgemeines	20
5.4.2 Mechanische Techniken für das Entfernen von Primärbeschichtungen.....	21
5.4.3 Alternative Verfahren	25
5.4.4 Entfernen problematischer Beschichtungen	27
5.4.5 Nachweis verringerter Festigkeit beim Abstreifen von Polsterungsbeschichtungen.....	28
5.4.6 Reinigen oder nicht reinigen	29
5.5 Klebstoffe	30
5.5.1 Allgemeines	30
5.5.2 Klebstofftypen.....	30
5.5.3 Die Bedeutung der Glasübergangstemperatur (Tg).....	32
5.5.4 Aushärtungsprogramm für Epoxidharze	32
5.5.5 Benutzerfreundlichkeit.....	34
5.5.6 Qualifikation	35
5.6 Vorbereitung von Steckverbindern.....	35

5.6.1	Trockenes Anpassen (Nicht durchführen).....	35
5.6.2	Sauberkeit	36
5.7	Verbindungshülsen, Manschetten und Stützhülsen.....	36
5.8	Anschluss der Faser an den Steckverbinder	37
5.8.1	Klebstoffauftrag	37
5.8.2	„Beste Verfahrensweise“ für das Einführen der Faser	38
5.9	Aushärten des Klebstoffs	39
5.9.1	Allgemeines	39
5.9.2	Ausrichtung	39
5.9.3	Ausrüstung für das Aushärten	40
5.10	Entfernen von Faserüberlängen	41
5.10.1	Allgemeines	41
5.10.2	Grobes Ritzen nach dem Aushärten	42
5.10.3	Vorritzen	43
5.10.4	Ritzwerkzeuge.....	43
5.11	Polieren	44
5.11.1	Begründung	44
5.11.2	Leistungsmetrik.....	45
5.11.3	Parameter für die Endflächengeometrie	45
5.11.4	Verfahren für das Erzielen der Endflächengeometrie	46
5.11.5	Polierschritte.....	48
5.11.6	Polierwerkzeuge und -geräte	51
5.12	Inspektion.....	57
	Literaturhinweise.....	58

Vorwort

Dieses Dokument (EN 4533-001:2006) 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 Anschlussstechnologie. 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 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

1.1 Allgemeines

Dieser Teil von EN 4533 untersucht die Anschlussaspekte bei der Gestaltung von Lichtwellenleitertechnik für die Installation in Luftfahrzeugen. Der Begriff Anschluss bezieht sich auf den Mechanismus, mit dem die Schnittstelle zwischen einem Bauteil (gewöhnlich einer Faser) zu einem anderen hergestellt wird. Dies erfolgt üblicherweise durch einen Steckverbinder, der die Faser mit einem anderen Bauteil (gewöhnlich einem anderen Steckverbinder) mit einer Genauigkeit ausrichtet, die ausreichend ist, um durchgehende Übertragung eines optischen Signals durch die gesamte Betriebshülle zu ermöglichen.

Dieser Teil erläutert die Notwendigkeit von hochintegrierten Anschlüssen, bietet Einblick in die Problematik der Bauteilauswahl, und enthält Vorschläge für die beste Verfahrensweise für das Anschließen von Fasern in Steckverbindern bei hochintegrierten Anwendungen. Ein detaillierter Überblick über die Anschlussprozesse ist in Abschnitt 4 dieses Teils enthalten und wird weitestgehend in Übereinstimmung mit der Abfolge eines typischen Anschlussverfahrens vorgenommen.

Die große Vielfalt an erhältlichen Kabelkonstruktionen und Steckverbindern macht es beinahe unmöglich, eine einzelne, auf alle Kombinationen zutreffende Anschlussvorschrift festzulegen. Aufgrund der Probleme bei der Festlegung einer allgemeinen Anschlussvorschrift liegt das Hauptaugenmerk dieses Handbuchs auf der Festlegung der besten Verfahrensweise für derzeitige und in naher Zukunft vorhandene Lichtwellenleiteranwendungen in Luftfahrzeugen.

Dadurch waren die Studien im Rahmen dieses Teils auf derzeit erhältliche Kabel mit Quarzglasfasern für die Luft- und Raumfahrt sowie mit Klebstoff gefüllte Steckverbinder mit Stirnflächenkopplung begrenzt. Viele der beschriebenen Grundsätze wären jedoch ebenfalls auf andere Anschlusstechniken anwendbar. Andere Anschlussarten werden ausführlicher im Reparatur-Teil dieses Handbuchs berücksichtigt.

1.2 Notwendigkeit von hochintegrierten Anschlüssen

Für die Anwendung eines Lichtwellenleitersystems in einem Luftfahrzeug ist es zwingend erforderlich, den spezifikationsgerechten, durchgehenden Betrieb der Systembestandteile über die gesamte Lebensdauer des Systems sicherzustellen. Ein wichtiger Aspekt dieser Anforderung ist die Notwendigkeit zuverlässiger Verbindungsbaulemente. Dies wird oft als die Notwendigkeit von zuverlässigen Steckverbindern ausgedrückt, tatsächlich handelt es sich jedoch um die Notwendigkeit eines Kabel/Steckverbinder-Anschlussprozesses. Kern dieser Anforderung ist die Notwendigkeit, eine zuverlässige Lichtübertragung durch jeden optischen Steckverbinder in der gesamten Betriebshülle zu gewährleisten. Dies ist durch einen stabilen Prozess zu erreichen, der ein hohes Niveau des optischen Betriebsverhaltens über die Lebensdauer der Anschlüsse hinweg ermöglicht.

Viele Faktoren können zum Betriebsverhalten des optischen Steckverbinders beitragen, wie die grundlegende Steckverbinderkonstruktion, die Auswahl von Lichtwellenleiter, Kabel, Betriebs- und Instandhaltungsumgebung usw. Doch einer der Hauptfaktoren, die das Betriebsverhalten des optischen Steckverbinders beherrschen, ist die Qualität der Kabel/Steckverbinder-Anschlüsse.

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 Auswahl der Bauteile

3.1 Elemente

Es ist wichtig zu erkennen, dass ein unkompliziert erscheinender Lichtwellenleiteranschluss tatsächlich eine komplexe Wechselwirkung der Bestandteile beinhaltet, wie: Faserbeschichtungen, Steckverbinderkonstruktion, Kabelverstärkungsglieder, Befestigungsverfahren, Klebstofftyp and Härtungssystem (sofern verwendet), Werkstoffeigenschaften usw. Jedes dieser Elemente hat Einfluss auf den Anschluss hinsichtlich Zuverlässigkeit, Störfestigkeit und Prozesskomplexität.

3.2 Lichtwellenleiterkabel

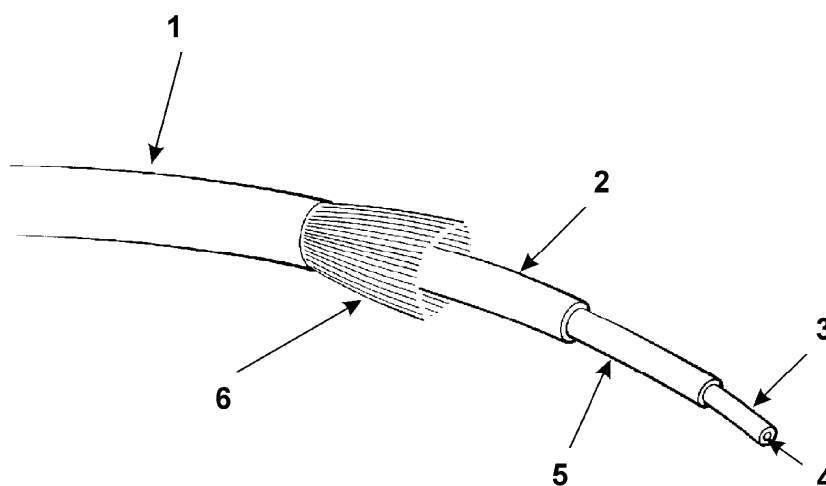
3.2.1 Allgemeines

Einer der zu erwähnenden Hauptaspekte ist die Bedeutung der Auswahl einer bestimmten Kabelkonstruktion.

Im Handel sind verschiedene Typen Lichtwellenleiterkabel erhältlich, von Hohlader- bis zu Volladerkonstruktionen, die eine einzelne Faser oder eine Anordnung vieler Fasern enthalten; zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Handbuchs ist die Spanne der Wahlmöglichkeiten für Luft- und Raumfahrtanwendungen jedoch etwas begrenzt. Die Mehrzahl der möglichen Kabeltypen sind durch umgebungsbedingte Leistungsgrenzen ausschließlich für Telekommunikationsanwendungen geeignet, wobei Luftfahrzeuglösungen im Allgemeinen auf Volladerkonstruktionen mit einer einzelnen Faser begrenzt sind.

3.2.2 Kabelkonstruktion

Obwohl die Gestaltung von Lichtwellenleiterkabeln für die Anwendung in Luftfahrzeugen bei den verschiedenen Herstellern relativ ähnlich ist, bestehen wichtige Unterschiede zwischen den Kabeln. Die beiden Hauptunterschiede sind die Werkstoffe von Faserbeschichtungen und Kabelverstärkungsgliedern. Jedes hat seine eigenen Vor- und Nachteile hinsichtlich der Anschlussverfahren. Lichtwellenleiterkabel für die Luft- und Raumfahrt sind üblicherweise wie folgt aufgebaut, siehe Bilder 1 und 2.



Legende

- 1 Außenmantel
- 2 Polsterung
- 3 Fasermantel
- 4 Faserkern
- 5 Primärbeschichtung
- 6 Verstärkungsglied

Bild 1 — Typischer Aufbau von Lichtwellenleiterkabeln für die Luft- und Raumfahrt

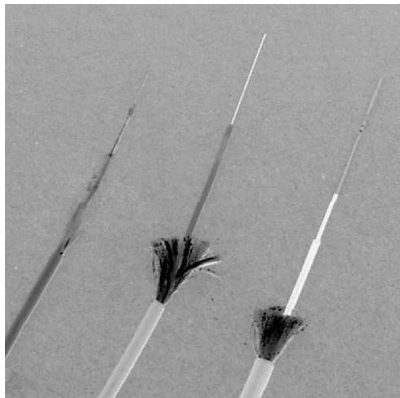


Bild 2 — Beispiele für typische Lichtwellenleiterkabel für die Luft- und Raumfahrt

3.2.3 Auswahl der Faser

Aus der Perspektive des Anschlusses besteht wenig Unterschied zwischen Lichtwellenleitern mit kleinem und größerem Faserkern. Die hauptsächlichen Fasereigenschaften, die den Anschlussprozess beeinflussen, beziehen sich auf die Werkstoffe für Fasermantel und Primärbeschichtung. Die gegenwärtige Generation von Fasergrößen für die Luft- und Raumfahrt sind gewöhnlich größer als die Standard-Fasern mit hohem Volumen, die auf dem Daten-/Telekommunikationsmarkt verwendet werden und daher mit Nachteilen hinsichtlich Kosten und Verfügbarkeit verbunden.

3.2.4 Fasermantelwerkstoffe

Die Mehrzahl der Fasern für die Luft- und Raumfahrt sind Quarzglasfasern, d. h. sowohl Faserkern als auch Fasermantel werden aus Glas gefertigt, und können als Einfach-Glasfasern behandelt werden. Einige Ausführungen verwenden andere Werkstoffe als Glas für den Fasermantel, z. B. Kunststoff (Acrylat) oder Epoxidharz. Diese Fasern werden als Plastikmantel-Glasfaser (PCS, en.: plastic clad-silica) bzw. Hartmantel-Glasfaser (HCS, en.: hard clad-silica) bezeichnet. Obwohl diese Fasern in einer Reihe von Luftfahrtanwendungen eingesetzt worden sind, ist ihre Temperaturbeständigkeit etwas begrenzt, wodurch sie häufig auf Anwendungen bei günstigeren Umgebungsbedingungen beschränkt sind. Die in diesem Handbuch beschriebenen Anschlussprozesse beziehen sich auf Quarzglasfasern.

3.3 Primärbeschichtungswerkstoffe

3.3.1 Funktion

Die Hauptfunktion der Faserpolsterbeschichtung [1] ist der Schutz der Faser gegenüber Beschädigungen durch Abrieb und Umgebung. Viele Werkstoffe sind für die Primärbeschichtung von Lichtwellenleitern eingesetzt worden, wovon Acrylat, Polyimid und Silicium die bekanntesten und gebräuchlichsten sind. Die jeweiligen Vor- und Nachteile sind nachfolgend kurz beschrieben.

Es sollte beachtet werden, dass die meisten Fasern mit einer Primärbeschichtung aus Acrylat-Werkstoff ausgestattet sind. Möglich sind jedoch auch andere Werkstoffe wie Silicium, herstellerspezifische Polymere und sogar Metall, wie Gold oder Aluminium (obwohl dies Spezialfälle sind, die hier nicht berücksichtigt werden).

3.3.2 Acrylat

Dies ist vielleicht der gebräuchlichste Werkstoff für die Primärbeschichtung von Lichtwellenleitern und relativ einfach mittels Handwerkzeugen zu entfernen. Die Beschichtung besteht gewöhnlich aus einem UV-gehärteten, durchscheinenden Acrylat, das üblicherweise dieselbe Dicke wie die Faser aufweist. Acrylate haben eine begrenzte Temperaturbeständigkeit von bis zu 100 °C, weswegen für Anwendungen bei hohen Temperaturen auch weitere zusätzliche Beschichtungen aufgebracht werden.

3.3.3 Polyimid

Diese Beschichtung hat einen größeren Temperaturbereich als UV-gehärtete Acrylate und kann in Temperaturen bis etwa 350 °C verwendet werden. Trotz der Eignung für Anwendungen bei hohen Temperaturen sind Polyimid-Beschichtungen schwer entfernbar und nicht geeignet für das Abstreifen mittels Werkzeug (weit verbreitet in Luft- und Raumfahrtprogrammen der Vereinigten Staaten). Fasern mit diesem Werkstoff sind für die Installation in Steckverbinderstiften ausgelegt, ohne dass das Entfernen der Primärbeschichtung erforderlich ist. Dies ist nur möglich, weil Konzentrität und Grenzabweichungen der Außendurchmesser von Faserkern/Fasermantel/Primärbeschichtung streng kontrolliert werden. Dies erscheint als ideale Konstruktionslösung, weil die Faseroberfläche nicht berührt werden muss. Der vergrößerte Polyimid-Durchmesser ist allerdings nicht kompatibel mit genormten Öffnungsdurchmessern von Steckverbindern, wodurch nicht genormte Stiftöffnungsgrößen mit den damit verbundenen Nachteilen hinsichtlich Kosten und Verfügbarkeit verwendet werden müssen.

3.3.4 Silicium

Die Hauptvorteile von Silicium als Primärbeschichtung sind die Verringerung der Auswirkungen von Mikrokrümmungen der Faser durch die „Polster“-Wirkung der weichen Primärbeschichtung, deren Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen (bis einschließlich 200 °C), deren Beständigkeit gegen Wasseraufnahme sowie deren geringe Entflammbarkeit. Allerdings muss dieser Werkstoff, wie auch Acrylat, vor dem Einführen von Lichtwellenleitern in dafür vorgesehenen Steckverbindern abgestreift werden. Dies ist keineswegs einfach (siehe Abschnitt zur Entfernung problematischer Primärbeschichtungen).

3.4 Aramidgarn im Vergleich mit Glasfaser-Verstärkungsgliedern

Beinah alle Lichtwellenleiterkabel sind mit einer Art Verstärkungsschicht ausgestattet. Deren Funktion ist die Isolierung der innenliegenden Faser gegenüber den von außen einwirkenden Belastungen. Der gebräuchlichste Werkstoff hierfür ist Kevlar®, ein sehr robustes, festes Aramidgarn. Dies ist jedoch keineswegs der einzige für diesen Zweck eingesetzte Werkstoff – eine der Hauptalternativen sind Glasfasern.

Glasfasern sind besser an den Wärmeausdehnungskoeffizient der Lichtwellenleiter angepasst als Kevlar® und werden verwendet, wenn ein Kabel bei hohen Temperaturen (> 135 °C) maßhaltig sein muss. Dieser Aspekt sollte berücksichtigt werden, wenn ein Kabel über einen längeren Zeitraum einer Temperaturwechselbeanspruchung mit schnellen Änderungen innerhalb eines großen Temperaturbereiches ausgesetzt ist. Kevlar® scheint jedoch die aktuellsten Temperaturanforderungen in der Luft- und Raumfahrt (-55 °C bis 135 °C) zu erfüllen.

Diese beiden Werkstoffe müssen auf ganz unterschiedliche Weise behandelt werden, um einen wirksamen Schutz gegen die Beanspruchung von Lichtwellenleitern während des Anschlussprozesses zu erzielen. Kevlar® und andere ähnliche Aramidgarne können durch Crimpen direkt auf einen Steckverbinder oder Anschlüsse aufgebracht werden; mit Glasfasern ist dies nicht möglich, da sie zu spröde sind. Kabel mit Verstärkungsgliedern aus Glasfaser sollten mit Klebstoff verbunden werden oder durch Crimpen über dem Außenmantel aufgebracht werden.

3.5 Steckverbinder für Lichtwellenleiter

3.5.1 Zweck

Zweck aller Steckverbinder für Lichtwellenleiter ist das Ausrichten von zwei Lichtwellenleitern und das Halten dieser Fasern innerhalb physikalischer Befestigungen, um eine gute optische Schnittstelle aufrecht zu erhalten. Dies kann auf vielfältige Weise erreicht werden.

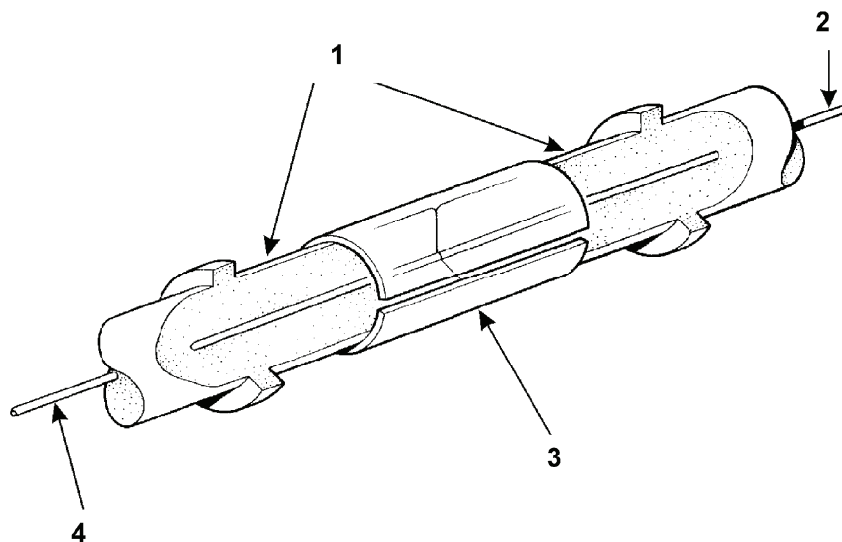
3.5.2 Steckverbindertypen

3.5.2.1 Allgemeines

Eine Vielzahl verschiedener Steckverbinder sind erhältlich, von Einwege-Einrichtungen durch Crimpen und Ritzen zu komplexen Mehrwege-Einrichtungen durch Kleben und Polieren. Daher ist es erforderlich, die Unterschiede zwischen diesen Steckverbindertypen sowie dessen jeweiligen Eigenschaften zu kennen. Bei der Festlegung eines Steckverbinders für Lichtwellenleiter muss Folgendes definiert werden: das Herstellungsverfahren für optische Schnittstellen, das Faserbefestigungsverfahren sowie die Anzahl der aufzunehmenden Fasern.

3.5.2.2 Optische Schnittstelle

Konstrukteure von Lichtwellenleitersystemen haben die Option, optische Steckverbinder mit einem von zwei Steckgesichtern zu verwenden, dabei handelt es sich um eine Stirnflächenkopplung oder eine Verbindung mit „erweitertem Strahl“. Ein typischer Aufbau „mit Stirnflächenverbindung“ ist in Bild 3 dargestellt. Die Fasern sind physikalisch mit der Muffe verbunden.



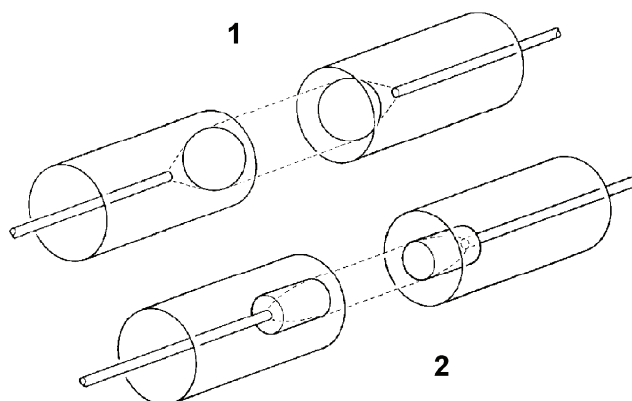
Legende

- 1 Stifte
- 2 Lichtwellenleiter
- 3 Zentrierhülse mit Spalt
- 4 Lichtwellenleiter

Bild 3 — Stirnflächen-Steckgesichter für Lichtwellenleiter

Dies ist das einfachste der beiden Verfahren hinsichtlich der Anzahl der Elemente im optischen Weg. Das Betriebsverhalten dieser Schnittstelle ist hochgradig abhängig von der Qualität der Faserendfläche. Dies beinhaltet strenge Anforderungen hinsichtlich Sauberkeit und Polieren (oder Ritzen).

Eine Alternative zu Stirnflächen-Steckgesichtern ist es, Linsen zwischen beiden Faserenden zu positionieren (siehe Bild 4). Steckverbinder mit derartigen Linsen werden als Steckverbinder mit „erweitertem Strahl“ bezeichnet. Zweck dieser Linse ist es, den Ausgang der Faser mit kleinem Durchmesser und Zerstreuung in einen Ausgang mit größerem Durchmesser und parallel ausgerichtetem Lichtstrahl umzuwandeln. Dies hat Vorteile bezüglich erhöhter Toleranz gegenüber Verunreinigung mit Feinpartikeln. Das Einbeziehen von Linsen erhöht jedoch sowohl die Steckverbinder-Einfügungsdämpfung im Vergleich zu Stirnflächen-Steckgesichtern als auch die Kosten und Komplexität des Anschlussprozesses.



Legende

- 1 Kugellinse
- 2 GRIN-Linse

Bild 4 — Steckgesichter für Lichtwellenleiter

3.5.2.3 Faserbefestigungsverfahren

Es gibt zwei Hauptbefestigungsverfahren von Faser zu Steckverbinder. Erstens „Kleben und Polieren“, wobei eine Faser in einen Stift eingeklebt und anschließend poliert wird. Bei diesem Verfahren wird gewöhnlich Klebstoff, eine Wärmequelle für dessen Aushärten sowie verschiedene Stärken von Polierfolie und Polierwerkzeugen verwendet, um eine gute Oberflächenbeschaffenheit des Faserendes zu erzielen.

Obwohl der Prozess von „Kleben und Polieren“ in einer Luftfahrzeugumgebung erreicht werden kann, bestehen merkliche Unterschiede zu einem Anschlussprozess bei konventionellen elektrischen Leitungen. Dies führte zu einer aufwändigen Suche nach einem mechanischen, trockenen Anschlussprozess, der keine Wärmequelle für das Befestigen von Fasern an Steckverbindern erfordert. Einige Anschlussverfahren unter Anwendung von Klebstoff können mit Spezialklebstoff, z. B. anaeroben Klebstoffen, durchgeführt werden, ohne dass eine Wärmequelle erforderlich ist. Das Wärmeverhalten dieser Klebstoffe ist jedoch dem von wärmegehärteten Epoxidharzen unterlegen.

Der zweite, als „Crimpen und Ritzen“ bezeichnete Prozess ist ein Versuch, die Notwendigkeit eines Prozesses, der mit dem bei elektrischen Drähten gleichwertig ist, zu erfüllen. Dabei wird ein Steckverbinderstift auf die Faser oder eine andere Mantelschicht der Faser gecrimpt, wobei das Faserende eher durch Ritzen als durch Polieren entsteht.

Es gibt selbstverständlich andere Anschlussprozesse für Steckverbinder; dabei handelt es sich jedoch häufig um Varianten oder Mischformen der beiden oben genannten Techniken. Die einzige nennenswerte Ausnahme ist eine Abwandlung des Schmelzspießens (ein Faser-Reparaturprozess, der für das dauerhafte Verbinden von zwei Fasern ausgelegt ist). Bei dieser Technik wird eine geritzte Faser in einen Steckverbinder eingeführt und durch elektrisches Lichtbogenschweißen mit einer vormontierten, vorgepolierten Faser verbunden. Diese Technik ist nicht sehr verbreitet und beinhaltet wesentliche Sicherheitsanforderungen bei der Anwendung an Bord eines Luftfahrzeugs.

Faserbefestigung wird in der Luft- und Raumfahrt überwiegend unter Anwendung eines Klebstoffs erzielt, während im Telekommunikationsbereich Crimpen verbreitet ist. Für Quarzglasfasern gibt es gegenwärtig keine für die Luft- und Raumfahrt geeigneten, mechanischen Anschlussprozesse. Daher werden im vorliegenden Dokument einzig Anschlüsse mit Klebstoff berücksichtigt. Das bedeutet nicht, dass in der Zukunft nicht alle mechanischen Anschlüsse durch Crimpen und Ritzen anwendbar werden.

3.5.2.4 Anzahl der Faserkanäle

Der Konstrukteur der Lichtwellenleitersysteme hat eine einzige Wahl bei der Entscheidung zu treffen, wie Mehrfach-Lichtwellenleiter mit Geräten und anderen Lichtwellenleitern zu verbinden sind: entweder durch Anwendung von Mehrfach-Einwege-Steckverbindern oder eines Mehrwege-Steckverbinders.

3.5.2.5 Einwege-Steckverbinder

Der einfachste Steckverbinder für Lichtwellenleiter ist der Einwege-Steckverbinder. Dieser Steckverbinder verbindet ein Einzel-Volladerkabel mit einem anderen mit integrierter Zugentlastung und (im Allgemeinen) einer Form von Schutz gegen die Umgebung. Die Faserendfläche ist gewöhnlich leicht zugänglich für die Reinigung und Inspektion in derartigen Steckverbindern, entweder durch Demontage oder durch freiliegende Stifte und einer gesonderten Führungssader oder einem Adapter. Da dies dafür ausgelegt ist, einzelne Lichtwellenleiterkabel aufzunehmen, ist ein Einsatz bei Mehrfach-Lichtwellenleiterkabeln nicht sehr platzsparend.

3.5.2.6 Mehrwege-Steckverbinder und Stützhülsen

Entsprechend seiner Bezeichnung ist dieser Typ Steckverbinder dafür ausgelegt, zwei oder mehr Lichtwellenleiter gleichzeitig zu verbinden. Da Steckverbinder-Kopplungsteile bei einer Reihe von optischen Stiften (oder Anschlüssen) üblich ist, gilt diese Anordnung als relativ platzsparend. Bei diesem Typ Steckverbinder können Reinigung und Inspektion schwierig sein, sofern keine abnehmbare Stiftausrichtungsvorrichtung vorgesehen ist. Während bei Einwege-Steckverbindern Lastisolation der Faser durch das Verbinden der Kabelverstärkungsglieder mit dem Ende des Steckverbinders erzielt wird, verlassen sich Mehrwege-Steckverbinder im Allgemeinen auf eine gesonderte Stützhülse, üblicherweise für Schutz und Zugentlastung. Dieses Bauteil wird gewöhnlich auf die Rückseite eines Mehrwege-Steckverbinders aufgeschraubt und dient als Verankerungspunkt für die einzelnen Verstärkungsglieder eines Kabels. In Bild 5 ist ein typischer Mehrwege-Steckverbinder für Lichtwellenleiter dargestellt (mit angebrachter Stützhülse).

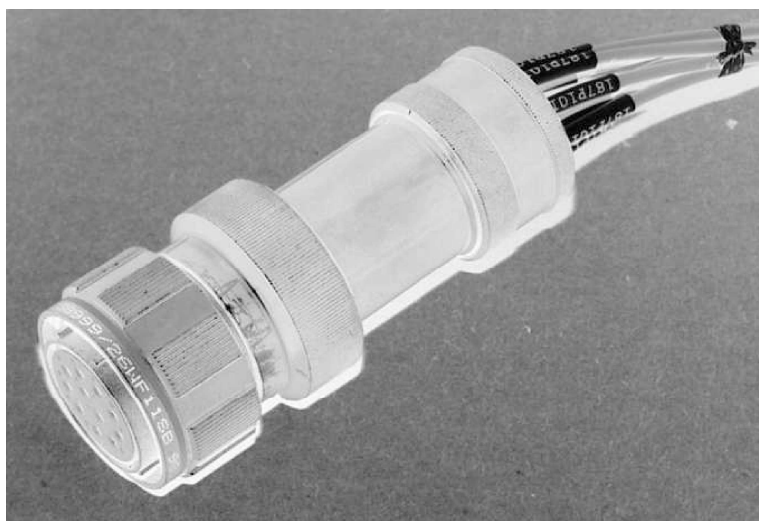


Bild 5 — Typischer Mehrwege-Steckverbinder für Lichtwellenleiter (mit angebrachter Stützhülse)

3.5.2.7 Auswahl der Werkzeuge

Die Entwicklung von Anschlussprozessen für Lichtwellenleiter hat zu einer großen Spanne von Werkzeugen geführt, die für das Befestigen von Lichtwellenleitern an dafür vorgesehenen Steckverbindern verfügbar sind. Da sich die Eigenschaften von Siliciumdioxid und Kupfer sehr unterscheiden, sind folgende Punkte zu beachten:

- die meisten Werkzeuge für die Kabelvorbereitung gleichen denen für elektrische Steckverbinder/Kabel;
- eine geeignete Auswahl von Werkzeugen verringert im Allgemeinen die Anforderungen an die fachlichen Fertigkeiten;
- optische Anschlüsse unterscheiden sich von elektrischen Leitungsanschlüssen, da die Endqualität des Anschlusses keine einfache Funktion der Werkzeugqualität, sondern auch von Fähigkeit und Urteilsvermögen des Bedienpersonals abhängig ist;
- der optische Anschlussprozess erfordert im Allgemeinen den Zugang zu einer Energiequelle (für Härtingsprozesse von Epoxidharz);
- Werkzeuge sind sorgfältig auszuwählen, insbesondere für alle Arbeitsschritte, bei denen die Quarzglasfaser freigelegt wird. Kleine Änderungen an einem Werkzeug oder der Art seiner Verwendung können vermeidbare Unterschiede in der Festigkeit der Faser verursachen.

4 Gesundheits- und Sicherheitsaspekte

4.1 Allgemeines

Der Einsatz von Lichtwellenleitersystemen in einer Luftfahrzeugumgebung führt zu Überlegungen hinsichtlich Gesundheit und Sicherheit, wie sie ähnlich in der Industrie allgemein erforderlich sind. Die Prozesse und die damit verbundenen Risiken haben die folgenden zu berücksichtigenden Hauptpunkte ergeben.

4.2 Chemikalien

Klebstoffe und Reinigungsprodukte enthalten ausnahmslos Chemikalien und andere Stoffe, die eine Berücksichtigung der jeweiligen Gesundheits- und Sicherheitsdaten erfordern. Die folgende Liste enthält den Anwendungsbereich der Faktoren, die vor dem Einsatz der Chemikalien, der in den verschiedenen Phasen jeder (optischen oder elektrischen) Kabelbaumbaugruppe erforderlich sein kann, zu erwähnen sind:

- Identifizierung;
- Zusammensetzung
- Identifizierung der Gefährdungen;
- Erste-Hilfe-Maßnahmen;
- Brandbekämpfungsmaßnahmen;
- Maßnahmen bei unbeabsichtigtem Freisetzen;
- Handhabung und Lagerung,
- Expositionskontrolle/persönliche Schutzausrüstung;
- physikalische und chemische Eigenschaften;
- Stabilität und Reaktivität;
- toxikologische Angaben;
- ökologische Angaben;

- Entsorgungsproblematik;
- Angaben zum Transport;
- Angaben zu Vorschriften.

Diese Liste ist nicht dafür vorgesehen, vom Einsatz von Lichtwellenleittersystemen abzuhalten, weil sich die Verfahrensweise von der für andere allgemein in der Industrie verwendete Stoffe nicht unterscheidet.

4.3 Scharfe Kanten

Scharfe Kanten können nicht nur an der Faser selbst auftreten, sondern auch durch die bei der Vorbereitung der Faser während der Anschlussverfahren verwendeten Werkzeuge. Scharfkantige Enden freiliegender Fasern können durch Beschädigung oder Bruch des fertiggestellten Kabelbaums oder bei einem beliebigen Herstellungsschritt auftreten.

Während des Anschlusses der Fasern sind gekürzte Enden sicher zu entsorgen und Maßnahmen zum Schutz des Bedienpersonals zu ergreifen, d. h. das Eindringen in Haut oder Augen bzw. das Einatmen von Glaspartikeln ist zu verhindern.

Die oben aufgeführten Faktoren für Chemikalien können verwendet werden, um die Risiken bei der Handhabung von scharfen Kanten in ähnlicher Weise zu klassifizieren.

Durch die unterschiedliche Art der in Klebstoffen und Reinigungsmitteln enthaltenen Chemikalien und Stoffe sowie durch die Handhabung von scharfkantigen Gegenständen, die während der Herstellung von LWL-Kabelbäumen verwendet werden, wird empfohlen, dass für Vorschriften und Anwendungen derartiger Werkstoffe der örtliche oder durch die Firma bestimmte Beauftragte für Gesundheit und Sicherheit zu Rate gezogen wird.

5 Anschlussprozess

5.1 Ziel

Das Hauptziel eines Anschlussverfahrens für Lichtwellenleiter ist es, einen solchen in einem Ausrichtungselement (gewöhnlich dem Stift eines Steckverbinders) zu befestigen und dort während der Herstellung, Installation und Betrieb während der Lebensdauer der angeschlossenen Konstruktion zu halten. Faser, Ausrichtungselement sowie die dementsprechenden Grenzabmaße müssen vorher ausgewählt werden, um eine korrekte Ausrichtung des Faserkerns sicherzustellen. Die Genauigkeit der Faserkernausringung wird im Allgemeinen durch Installation der Faser in einem Stift mit einer Öffnung mit hoher Präzision und geringer Grenzabweichung erreicht. Dies ist auch für das Erzielen einer geeigneten Faserendflächenqualität für die Gewährleistung einer guten Lichtwellenübertragung erforderlich.

Um dies zu erreichen, ist es erforderlich, eine Reihe von gesonderten, aufeinanderfolgenden Prozessen durchzuführen. Die genaue Abfolge dieser Prozesse kann in Abhängigkeit vom Anschlussverfahren des Herstellers unterschiedlich sein. Die meisten Verfahrensweisen beinhalten jedoch einen wesentlichen Anteil der in den folgenden Abschnitten beschriebenen Schritte.

5.2 Vorbereitung des Kabels

5.2.1 Allgemeines

Für den Zugang zur Faser ist es erforderlich, ein Lichtwellenleiterkabel vor dem Befestigen am Steckverbinderstift vorzubereiten. Dies umfasst das Entfernen verschiedener Schutzschichten innerhalb festgelegter Abmessungen sowie das Abstreifen von Außenmantel und Polsterungsschicht sowie das Zuschneiden des Verstärkungsgliedes.

5.2.2 Zuschneiden

Zweck dieses Arbeitsschrittes ist das gleichmäßige Durchtrennen eines festgelegten Lichtwellenleiterkabels (Faser, Verstärkungsglieder sowie alle zusätzlichen Schutzschichten) bei gleichzeitigem Vermeiden von Kabelbeschädigungen, durch die nachfolgende Vorbereitungsprozesse von Kabeln erschwert werden. Dieser Prozess sollte darüber hinaus sowohl die Lebensdauer des Werkzeugs sicherstellen als auch die Benutzerfreundlichkeit optimieren.

Das Zuschneiden eines Lichtwellenleiterkabel-Werkstückes kann als eher gewöhnliches Problem erscheinen. Es sollte jedoch beachtet werden, dass Lichtwellenleiterkabel nach den meisten Luft- und Raumfahrt-spezifikationen Quarzglas-LWL und Verstärkungsglieder aus Aramidgarn enthalten. Diese Werkstoffe sind hart bzw. fest, eine Kombination, die die Lebensdauer konventioneller Drahtschneider aus gehärtetem Stahl wesentlich verringert. Zu erwarten ist eine Beschädigung der Werkzeugklinge aus gehärtetem Stahl nach dem ersten Schnitt durch ein typisches Lichtwellenleiterkabel für die Luft- und Raumfahrt entsprechend Bild 6.

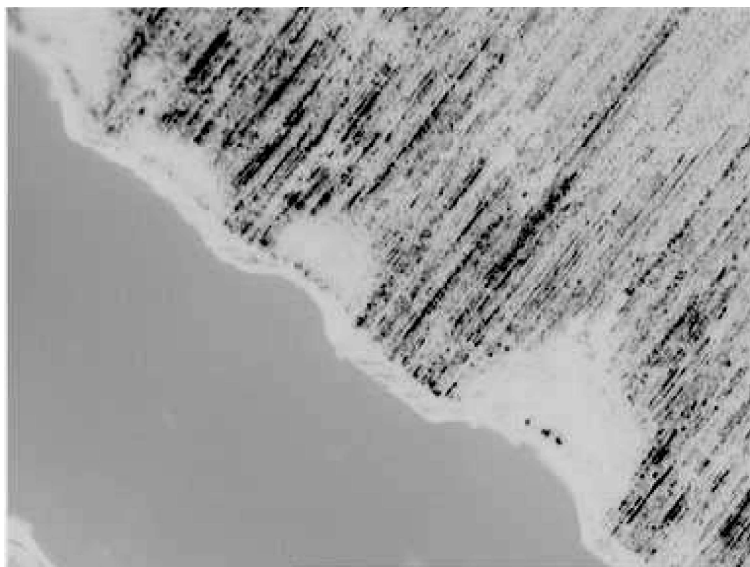


Bild 6 — Beschädigung eines Werkzeugs aus gehärtetem Stahl nach dem Schnitt durch einen Quarzglas-LWL

Als bester Werkzeugtyp für das Trennen von Lichtwellenleiterkabeln haben sich Klaviersaitenschneider mit Klingen aus Wolframcarbid erwiesen. Dabei sollte es sich eher um Klingen für Stirnflächen als um Scherklingen handeln, da bei Scherklingen eine unzulässig hohe Last auf das Scharnier des Werkzeugs wirkt. Ein Werkzeug mit einer Klinge aus Wolframcarbid sollte viele tausend Schnitte mit geringen oder ohne Anzeichen von Abnutzung widerstehen.

Es besteht die Möglichkeit, dass der Trennvorgang bei bestimmten Arten von Lichtwellenleiterkabeln ein angeschrägtes oder grobkantiges Ende erzeugt, insbesondere bei Kabelenden, die Fasern mit einer Polyimid-Primärbeschichtung enthalten (siehe EN 4533-002). Wird diese Auswirkung auf die Enden nicht (durch Abschneiden des betroffenen Kabelendes) korrigiert, kann es unmöglich werden, die Faser durch einen Steckverbinderstift zu führen, siehe Bild 7.

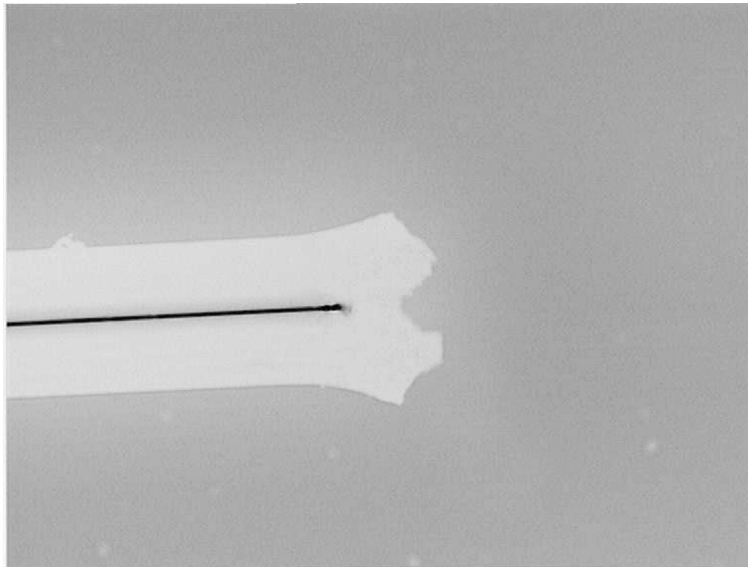


Bild 7 — Angeschrägtes Ende einer Polyimidfaser

5.2.3 Entfernen des Außenmantels

5.2.3.1 Zweck

Zweck dieses Arbeitsschrittes ist das gleichmäßige Entfernen einer kontrollierten, vorher festgelegten Länge des Kabelpolsterwerkstoffs, ohne darunterliegende Kabelschichten zu beschädigen und während sichergestellt wird, dass die verbleibende Schnittfläche der Polsterung senkrecht zur Faser und frei von groben Kanten (z. B. „Ohren“) ist. Dies sollte außerdem sowohl bei langer Lebensdauer des Werkzeugs als auch bei einfacher Anwendung erfolgen.

Der Bereich möglicher Werkzeuge für diesen Arbeitsschritt ist groß und wie bei vielen von Hand durchgeführten Prozessen ist die Auswahl des Werkzeugs für das Abstreifen des Außenmantels von persönlichen Vorlieben und der Gebrauchstauglichkeit abhängig. Bei der Auswahl des Abstreifwerkzeugs sind jedoch einige wichtige Aspekte zu beachten.

5.2.3.2 Klingentyp und Abnutzungseigenschaften

Messerklingen für Stirnflächen besitzen eine sehr kleine, scharfe Kontaktfläche bei Schließen der Klinge, die häufig relativ schnell abgenutzt ist. In diesem Fall wird im Laufe der Abnutzung einer Klinge die Abstreiföffnung kleiner und ovaler, wobei die Möglichkeit besteht, dass letztendlich die darunterliegenden Schichten berührt und beschädigt werden. Allerdings erzielen diese Werkzeuge im Neuzustand einige der besten Abstreifergebnisse. Siehe Bild 8.

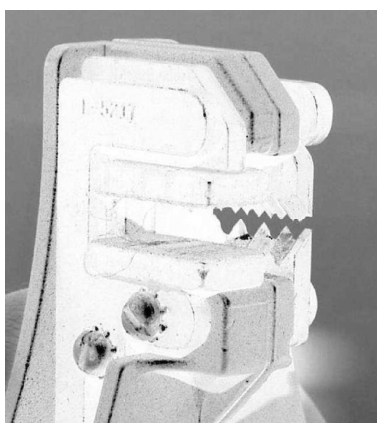


Bild 8 — Messerklingen für Stirnflächen

Schneidklingen für Stirnflächen besitzen eine relativ große Kontaktfläche bei Schließen der Klinge. Diese Kontaktfläche nutzt sich nur gering ab. Daher unterliegen einzig die Schneidklingen mit Präzisionsschliff der Abnutzung, deren Durchmesser bei Gebrauch zunimmt. Dadurch sinkt die Abstreifleistung bei fortschreitender Abnutzung des Werkzeugs bis auf den Punkt, an dem kein Abstreifen des Außenmantels von Kabeln mehr erfolgt. Dies ist eine relativ sichere Ausfallart des Werkzeugs. Siehe Bild 9.

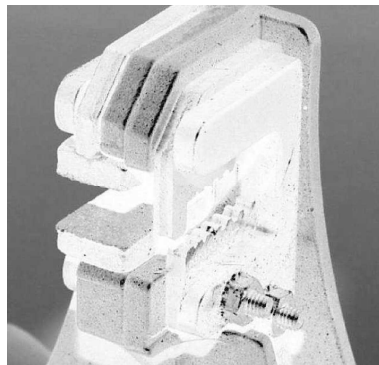


Bild 9 — Schneidklingen

Scherklingen (oder scherenartige Klingen) haben oft geschärfte Öffnungen in V-Form, um den Außenmantel zu durchtrennen. Sie funktionieren auf die gleiche Weise wie Haushaltsabstreifer für elektrische Leitungen mit eher schwankenden Ergebnissen. Siehe Bild 10.

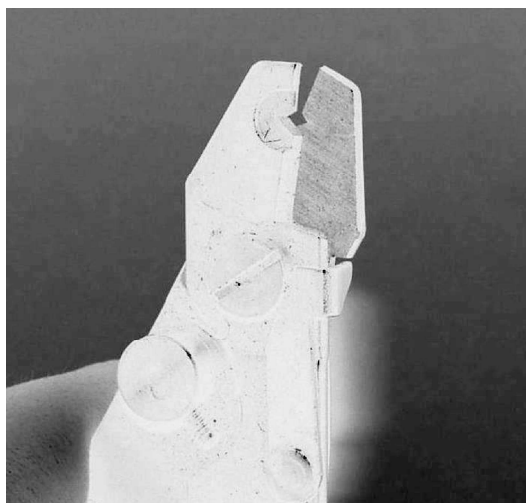


Bild 10 — Schermesserklingen

Präzisionskabelabstreifer haben gemeinsame Eigenschaften sowohl mit den Schneidklingen für Stirnflächen als auch mit den Schermesserklingen. Der Kontaktpunkt bei Schließen des Werkzeugs liegt gewöhnlich an dessen Spitze und unterliegt kaum der Abnutzung. In dieser Hinsicht wird die Präzisionsabstreiföffnung häufig mit fortschreitender Abnutzung größer. Die Präzisionsöffnung wird jedoch gebildet, wenn die Schneiden der beiden Schermesserklingen aufeinander treffen. Erfahrungsgemäß brechen diese sehr feinen, ungeschützten Kanten häufig, wodurch am freigelegten Kabelende „Ohren“ entstehen. Ursache dafür sind kleine Fehlstellen am Kontaktpunkt zwischen den Klingen. Ähnliche Abnutzungsmerkmale wurden auch bei Werkzeugen für das Entfernen der Primärbeschichtung beobachtet. Es sollte beachtet werden, dass die Öffnungsgrößen dieser Werkzeuge oft den Festlegungen hinsichtlich SWG oder AWG entsprechen. Diese Nummern geben nicht zuverlässig eine gleichbleibende Öffnungsgröße an, d. h. zwei unterschiedliche mit 22 AWG bezeichnete Werkzeuge haben nicht zwingend Abstreiföffnungen der gleichen Größe. Siehe Bild 11.

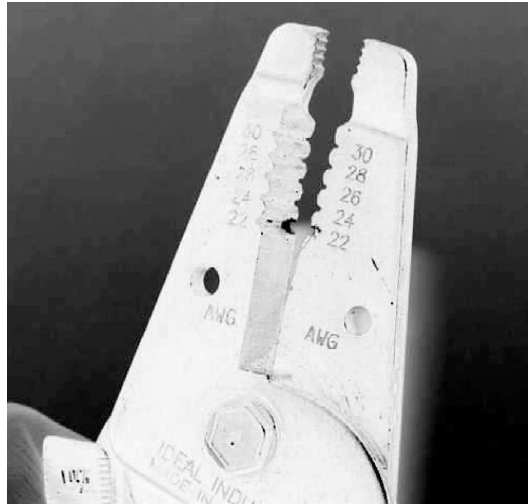


Bild 11 — Präzisionsabstreifer für elektrische Drähte

5.2.3.3 Klingeneinstellungen

Wird der Einsatz eines Abstreifwerkzeugs für Lichtwellenleiter in einem Luftfahrzeug erwogen, sollten ähnliche Bedingungen gelten, wie beim Abstreifen von elektrischen Kabeln, wobei die Hauptanforderung darin besteht, die Werkzeugleistung streng zu kontrollieren, während der Bereich für möglichen Missbrauch begrenzt wird.

Alle Werkzeuge mit von Hand einstellbarer Klingenschnitttiefe für den Ausgleich von Abnutzung sollten vermieden werden, sofern das Einstellen nicht ausreichend kontrollierbar ist, da dies zu fehlerhaft eingestellten Klingen und somit zu der möglichen Beschädigung darunterliegender Kabelschichten führen kann.

5.2.3.4 Werkzeuge für die Handhabung von Kabeln (Greifen des Kabels)

Das Führen und Halten von Kabeln kann auf verschiedene Weise erreicht werden: von Hand, integriert im Abstreifwerkzeug oder durch ein gesondertes Werkzeug. Einige Werkzeuge haben kleine Bereiche in V-Form, die sowohl das Ausrichten des Kabels zu den Schneiden erleichtern als auch nach dem Einklemmen verhindern, dass sich Kabel mit kleinen Durchmessern hin und her bewegen.

Der eigentliche Prozess des Greifens von Lichtwellenleiterkabeln für die Luft- und Raumfahrt ist aus zwei Gründen wichtig. Da diese Kabel für den Gebrauch bei hohen Temperaturen unter Einwirkung aggressiver Chemikalien ausgelegt sind, ist ein Außenmantel aus ETFE üblich. Dies besitzt einen relativ geringen Reibungskoeffizienten und ist daher schwer greifbar. Darüber hinaus sind diese Kabel durch scharfkantig gerippte Greifvorrichtungen (üblich bei Abstreifern für elektrische Leitungen) leicht verformbar.

Erfahrungsgemäß ist der beste Kabel-„Greifer“ für ETFE eine Kabelklemme – entweder aus Gummi mit hohem Reibungskoeffizienten oder mit harter, „gekörnter“ Oberfläche. Bei der „gekörnten“ Oberfläche besteht die geringere Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung der Faser als bei Typen mit harter Rändelung oder feinen parallelen Riefen. Der Einsatz von Riefen-Kabelklemmen kann erhebliche Verformungen bei LWL-Kabeln für die Luft- und Raumfahrt verursachen und sollte daher vermieden werden.

Ein weiterer Aspekt der Kabelhandhabung ist die Fähigkeit, das Festlegen exakter Abstreiflängen ohne Verwendung von Anreißstift und Lineal zu unterstützen. Es sind Werkzeuge mit voreingestellten Einrastpunkten (siehe Bild 12) erhältlich, die das Einklemmen des Kabels und das exakte Ansetzen von Abstreifwerkzeugen für jeden Arbeitsschritt ermöglichen. Diese Funktion ist besonders nützlich bei dem Versuch, eine spezifische freigelegte Länge für Verstärkungsglieder zu erzielen.

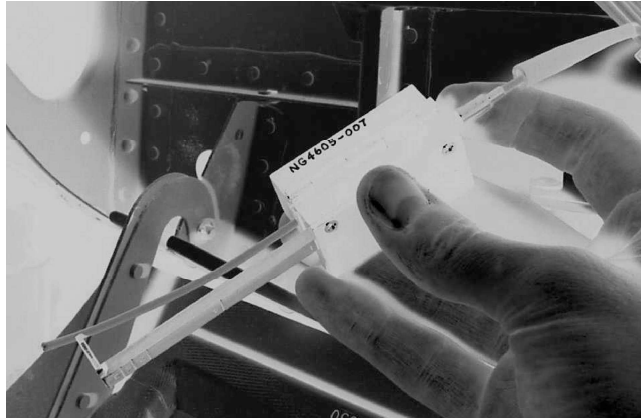


Bild 12 — Werkzeug für die Handhabung von Lichtwellenleiterkabeln

5.2.4 Zuschneiden/Entfernen von Verstärkungsgliedern

Bei den meisten Anschlussverfahren für Lichtwellenleiterkabel, die Verstärkungsglieder aus Kevlar® enthalten, müssen diese auf eine festgelegte Länge zugeschnitten werden. Die freiliegende Länge von Verstärkungsgliedern ist wichtig, weil dadurch deren Oberfläche bestimmt wird, die bei nachfolgenden Crimpvorgängen eingeschlossen werden kann. Dies wiederum bestimmt die Ausziehfestigkeit zwischen Kabel und Anschluss.

ANMERKUNG Die Festigkeit der Epoxidharzverbindung zwischen Faser und Stift wird bei diesem Punkt nicht berücksichtigt, da das Befestigungsverfahren für Verstärkungsglieder dafür ausgelegt sind, die Faser/Stift-Anordnung gegenüber von außen einwirkenden Zuglasten zu isolieren.

Die exakte Durchführung dieses Arbeitsschrittes ist relativ schwierig und die beste Art, für die freiliegende Abstreiflänge eine vernünftige Grenzabweichung einzuhalten, ist ein „Schneiden und Abstreifen“ in zwei Schritten. Bei diesem Prozess wird der Außenmantel abgestreift und das Verstärkungsglied auf dieser Abstreiflänge möglichst vollständig entfernt. Der Außenmantel wird dann weiter abgestreift, um die erforderliche Länge des Verstärkungsgliedes freizulegen.

Diese Bearbeitung des Lichtwellenleiterkabels stellt sicher, dass die Verstärkungsgliederstränge am Umfang der Faser annähernd die gleiche Länge aufweisen. Wird die vollständige Länge des Verstärkungsgliedes in nur einem Arbeitsschritt freigelegt, ist es relativ schwierig, die Verstärkungsgliederenden zuzuschneiden, sowohl hinsichtlich der Länge als auch der Gleichmäßigkeit am Faserumfang.

Da Kevlar® ein harter, fester Werkstoff ist, wird empfohlen, dass für das Zuschneiden der Verstärkungsglieder Schneidwerkzeuge mit Klingen aus Wolframcarbid verwendet werden. Andere Werkzeuge wie Keramikscheren sind zwar für das Schneiden von Kevlar® geeignet, im Allgemeinen jedoch zu groß für genaues, präzises Arbeiten an der Faser, da sie für das Trennen großer Längen Kevlar® ausgelegt sind.

Da Glasfaser naturgemäß spröde ist, bestehen keine besonderen Anforderungen, die über die von Kevlar® hinausgehen. Bei der Arbeit mit Glasfaser oder Aramidgarnen, wie Kevlar®, ist geeignete Schutzausrüstung zu tragen, da sie Hautreizungen verursachen können.

5.3 Entfernen von Sekundärbeschichtung(en)

Die Wahl des Werkzeugs ist abhängig davon, ob die Sekundärbeschichtung gesondert von oder gleichzeitig mit der Primärbeschichtung abgestreift wird. In letzterem Fall wird die erforderliche Werkzeugpräzision durch die Anforderungen an das Entfernen der Primärbeschichtung bestimmt, d. h. die Werkzeuge für das Abstreifen der Primärbeschichtung sind zu verwenden. Muss die Sekundärbeschichtung getrennt entfernt werden, ist die Auswahl des Werkzeugs weniger kritisch.

Die LWL-Kabelbaum-Studie hat erwiesen, dass das Abstreifen von Sekundär- und Primärbeschichtung in einem Arbeitsschritt weniger Beschädigungen an der darunterliegenden Glasfaser verursacht als das getrennte Entfernen beider Beschichtungen. Darüber hinaus können durch das Entfernen von Mehrschichtpolstern weniger Rückstände auf der Faser verbleiben (vorhandene Rückstände können das Verbinden mit dem Stift beeinträchtigen, so dass eine Reinigung der Faser erforderlich sein kann).

5.4 Entfernen der Primärbeschichtung

5.4.1 Allgemeines

Die Bezeichnung „Primärbeschichtung“ bezieht sich gewöhnlich auf die unmittelbar neben dem Fasermantel liegende Polsterbeschichtung. Gewöhnliche Telekommunikationsfasern mit einem Glasmanteldurchmesser von 125 µm sind häufig mit einer Standard-Primärbeschichtung aus Acrylat mit einem Durchmesser von 250 µm darüber ausgestattet. Lichtwellenleiterkabel sind im Allgemeinen mit Sekundärpolsterbeschichtungen über der Primärbeschichtung sowie Verstärkungsgliedern und einem Außenmantel versehen. Die Primärbeschichtung ist die vielleicht wichtigste Polsterungsschicht, da sie die letzte Schutzschicht vor Erreichen der Glasfaseroberfläche ist.

Die Vorbereitung eines Anschlusses oder Spleißes erfordert gewöhnlich das Entfernen der Primärbeschichtung, so dass die Faser in einen Steckverbinderstift oder eine andere Ausrichtungsstruktur (z. B. in einen Spleiß) eingeführt werden kann. Es ist wichtig zu beachten, dass die Oberfläche des Glasmantels gewöhnlich freiliegt, sobald die Primärbeschichtung entfernt ist. Diese Oberfläche ist anfällig für Beschädigungen durch Handhabung sowie Kontakt mit Schwebstoffteilchen und anderen Oberflächen. Trotz der natürlichen Festigkeit von Glasfasern (Quarzglasfasern) verringert sich diese erheblich aufgrund kleiner „Fehler“, wenn die Faser beansprucht wird. Die „beste Verfahrensweise“ ist daher das Entfernen der Primärbeschichtung mit größtmöglicher Sorgfalt mit Werkzeugen, die die Beschädigung der Glasoberfläche minimieren.

Gewöhnliche Beschichtungen sind unterschiedlich hart und daher unterschiedlich einfach zu entfernen. Einige Fasern sind mit einer Polyimid-Beschichtung darüber erhältlich. Diese Polyimid-Beschichtung ist dafür ausgelegt, dass sie über der Faser verbleibt, um diese in ungünstigen Umgebungen zu schützen. Die zugehörige Steckverbinderkonstruktion ist für die Aufnahme dieser Polyimidschicht ausgelegt. Während die meisten Primärpolster aus Acrylat mit mechanischen Handwerkzeugen einfach zu entfernen sind, ist dies bei Polyimid-Beschichtungen nicht möglich. Das Entfernen von Polyimid erfordert aggressive und gefährliche Behandlungen, wie mit heißer, konzentrierter Schwefelsäure oder Abbrennen.

Mögliche Techniken für das Entfernen der Primärpolster von Fasern sind nachfolgend beschrieben.

5.4.2 Mechanische Techniken für das Entfernen von Primärbeschichtungen

5.4.2.1 Handwerkzeuge

Die gebräuchlichste Technik für das Entfernen von weichen Acrylat-Primärpolsterungen ist die Verwendung eines Handwerkzeugs für das Abstreifen eines Lichtwellenleiters. Diese Werkzeuge sind Abstreifern für elektrische Leitungen ähnlich und verfügen über eine exakte Klingenöffnung, die geringfügig größer ist, als der Durchmesser des Lichtwellenleitermantels.

Mechanische Handwerkzeuge haben den Vorteil, dass sie in einem kleinen Bereich einsetzbar sind und keine damit verbundenen Stromversorgungs- oder Sicherheitsanforderungen bestehen. Daher können sie in Produktionsumgebungen und der Reparatur (z. B. im Luftfahrzeug) verwendet werden. Die Werkzeugbacken werden um die Polsterung geschlossen und die Beschichtung in Längsrichtung der Faser abgestreift. Einige Handwerkzeuge sind dafür ausgelegt, rechtwinklig zur Faserachse gehalten zu werden, andere für das Freilegen der Faser durch Schließen der Klingen und Ziehen des Werkzeugs entlang der Faserachse. Einige Werkzeuge sind ausgereifter als andere und mit Führungen ausgestattet, um die Faser im Abstreifer zu zentrieren und deren Durchbiegung zu minimieren. Die Bedienungsanleitung der Hersteller sollte vor Anwendung der mechanischen Abstreifwerkzeuge gelesen werden. Die folgenden Empfehlungen zur besten Verfahrensweise sollten ebenfalls beachtet werden.

Es ist wichtig, das richtige, für eine bestimmte Faser geeignete Abstreifwerkzeug auszuwählen. Kein Werkzeug gleicht dem anderen! Wichtige Parameter sind die Größe der Abstreiföffnung sowie die Größe einer vorhandenen Führungsader. Die Abstreiföffnung sollte geringfügig größer sein als der freizulegende Fasermantel. Beim Abstreifen einer 280- μm -Faser beispielsweise wäre ein Werkzeug mit einer Öffnungsgröße von 305 μm geeignet. Ein Abstandsfaktor von mindestens 20 μm ist empfehlenswert. Bei den meisten Abstreifwerkzeugen ist die Klingenöffnung auf dem Werkzeugkörper angegeben oder durch unterschiedliche Farbcodes für jede Öffnungsgröße gekennzeichnet. Ist die Öffnungsgröße geringer als die Größe der darunterliegenden Faser oder annähernd gleich, besteht ein hohes Risiko, die Faser mit der Klinge zu beschädigen. Einige Werkzeuge können mit Führungsadern ausgestattet sein, um die mittige Ausrichtung der Faser zu unterstützen. Sie sollten gerade ausreichend groß sein, um das Durchstecken der verbleibenden Polsterungsschichten zu ermöglichen. Ist die Führungsader zu groß, kann die Faser nicht genau zwischen den Abstreifklingen zentriert und möglicherweise während des Abstreifens erheblich gebogen werden, wodurch sie möglicherweise beschädigt und ihre Lebensdauer verringert wird.

Unabhängig vom Werkzeug wird das Entfernen der Polsterung nacheinander in geeigneten Abschnitten von jeweils höchstens 10 mm Länge empfohlen. Beim Versuch, die Polsterung in größeren Abschnitten oder sogar in einem Schritt abzustreifen, kann die Faser unzulässig beansprucht und möglicherweise beschädigt werden.

Das Biegen der Faser während des Abstreifens sollte vermieden werden. Die Faser mit Mantel sollte üblicherweise in einer Hand nah an dem freizulegenden Ende gehalten werden. Das Werkzeug wird dann mit der anderen Hand betätigt, wobei darauf zu achten ist, die Faser gerade zu halten. Die Werkzeugbacken sind um die beschichtete Faser zu schließen, um sie vor dem Abstreifen der Beschichtung einzukerben.

Abstreifen sollte idealerweise in einem glatten, positiven Vorgang erfolgen. Wiederholtes Schaben mit dem Werkzeug über die freiliegende Faseroberfläche sollte vermieden werden. Kleine Mengen Beschichtungsrückstände sollten vorzugsweise eher durch Reinigung als durch wiederholten Einsatz des Werkzeugs entfernt werden.

Die Klingenöffnung des Werkzeugs ist rechtwinklig zur Faserachse zu halten. Dadurch wird ein Abwinkeln des Werkzeugs während des Abstreifens minimiert. Eine kreisförmige Schneidöffnung wird bei Abwinkeln elliptisch, wodurch sich die Abstreiföffnung verringert. Dadurch erhöht sich das Risiko von Kontakt zwischen Klinge und Faseroberfläche sowie einer Beschädigung der Faser. Werkzeuge mit Faserausrichtungsführungen können dazu beitragen, dieses Problem zu vermeiden. Dieser Punkt ist in den Bildern 13 und 14 dargestellt.

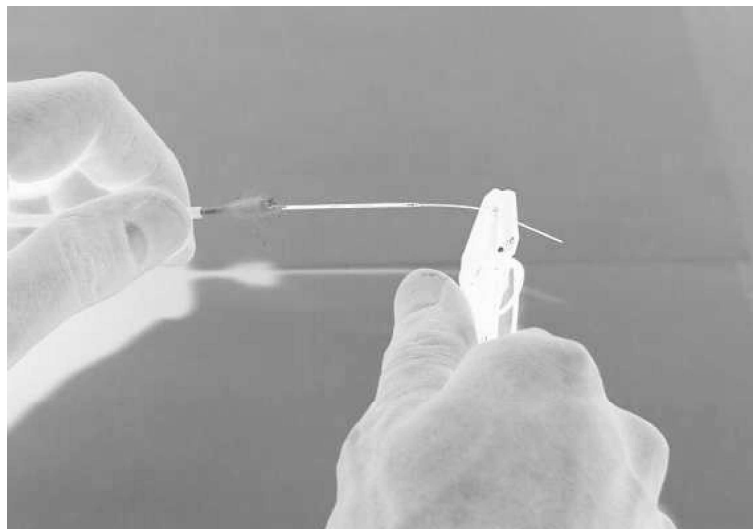


Bild 13 — Abgewinkelt zur Faser gehaltenes Abstreifwerkzeug

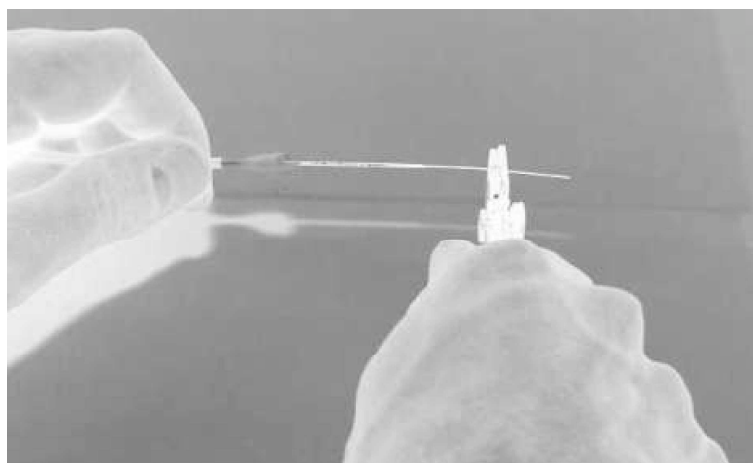


Bild 14 — Korrekt gehaltenes Abstreifwerkzeug

Sobald die Faser freigelegt ist, muss der Kontakt der freiliegenden Glasoberfläche mit anderen Oberflächen oder Verunreinigungen sorgfältig vermieden werden. Im Allgemeinen sollte die Umgebung für das Abstreifen möglichst sauber (staubfrei) sein. Das Ablegen der Faser auf einer Werkbank oder einem Tisch ist nicht zu empfehlen. Nach dem Abstreifen sollte die Faser bis zum Gebrauch gelagert werden, wobei jeder Kontakt mit dem freiliegenden Glas zu vermeiden ist. Eine einfache Technik ist das Einklemmen des mit dem Mantel versehenen Faserabschnitts, wobei sich das freigelegte Ende frei im Raum befindet. Es ist nicht empfehlenswert, die freiliegende Faser für einen langen Zeitraum zu lagern. Kleben der Faser (wie bei einem Anschluss) sollte möglichst schnell nach dem Entfernen des Primärpolsters erfolgen.

Abstreifwerkzeuge sollten regelmäßig gereinigt werden, um ein Ansammeln von Beschichtungswerkstoff zu vermeiden (was zu ungenauem Abstreifen und Beschädigung der Faser führen könnte). Ein kleiner Pinsel für die Werkzeugreinigung ist für dieses Verfahren geeignet. Mitunter wird die Verwendung von mit Alkohol befeuchteten Tüchern empfohlen, was jedoch zu „Fadenziehen“ auf der Klinge und damit zu Beschädigungen führen kann.

Die Öffnung sollte ebenfalls in regelmäßigen Intervallen überprüft und kalibriert werden, um die Klinge auf Abnutzung und Beschädigung zu kontrollieren. Eine neue Klingenöffnung ist in Bild 15 dargestellt. Die Öffnung

sollte sauber sein und ihr Durchmesser sollte der auf dem Werkzeugkörper angegebenen Größe entsprechen. Das in Bild 15 dargestellte Werkzeug wurde als 305- μ m-Werkzeug festgelegt und entspricht sichtbar annähernd der Spezifikation. In Bild 16 ist ein Werkzeug dargestellt, dessen zwei Klingen für Stirnflächen gegeneinander versetzt sind. Dieses Phänomen kann Beschädigungen des Lichtwellenleiters verursachen. Die versetzten Klingen bilden nun eine Abstreiföffnung, die kleiner als die festgelegte Werkzeuggröße ist. Dadurch könnten die Klingen beim Abstreifen die Glasoberfläche berühren sowie Fehler im Glas und eine verringerte Festigkeit verursachen.

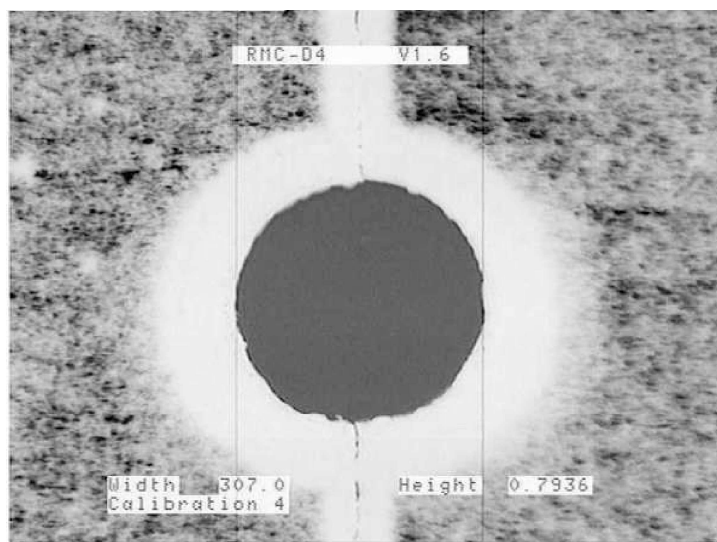


Bild 15 — Neue Klingenöffnung

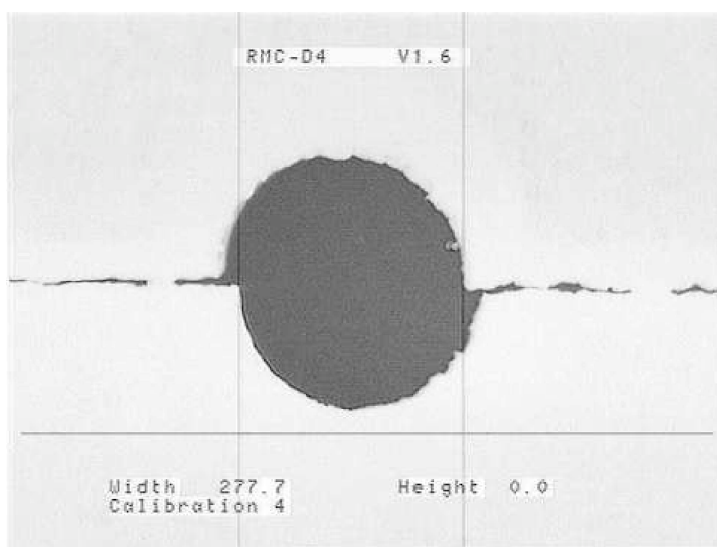


Bild 16 — Versetzte Klingen

In Abhängigkeit von der Abnutzung der Klingen, können sich diese auch verziehen oder deformiert werden. Mitunter kann die Klingenöffnung größer werden als die festgelegte Werkzeuggröße, wie in Bild 17 dargestellt.

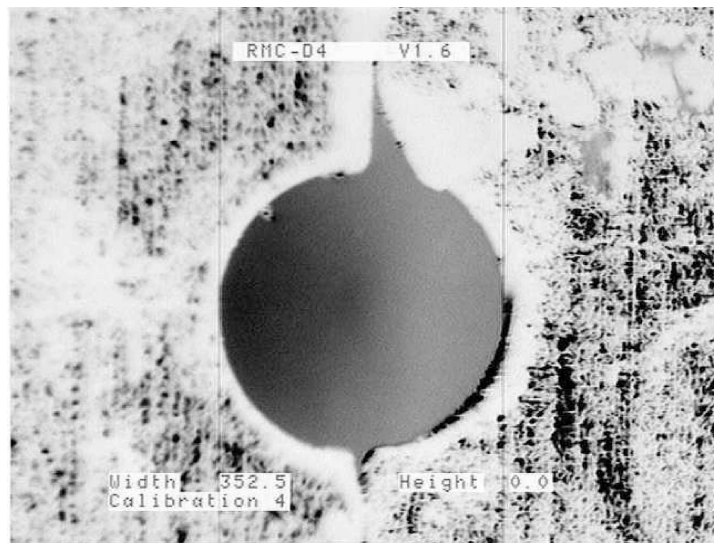


Bild 17 — Abgenutzte Werkzeugklingen

Die Öffnung sollte auch regelmäßig auf Beschädigung untersucht werden. Scharfe „Grate“, die auf den Werkzeugklingen auftreten, verringern oft die Abstreiföffnung und können die Glasoberfläche schnell beschädigen.

Es wird der Einsatz von Werkzeugen empfohlen, die mit einer Ausrichtungsfunktion versehen sind, um die freizulegende Faser zu zentrieren. Werkzeuge, die nur mit einer Abstreiföffnung ausgestattet sind, werden für das Entfernen von Primärbeschichtungen nicht empfohlen. Sie lassen sich zu leicht abwinkeln, was zu Beschädigungen der Faser führt.

Einige Kombinationen von Kabel und Polsterungsschicht (z. B. Fasern mit Mehrfach-Primärbeschichtungen) werden effektiver freigelegt, wenn mehrere Schichten gleichzeitig entfernt werden. Dadurch kann auch der nach dem Abstreifen auf der Faser verbleibende Rückstand verringert werden. In Abhängigkeit von Kombination, Größe und Zusammensetzung der Beschichtungen ist es jedoch möglich, dass sich die Faser bei dem Versuch, Mehrschichtpolsterungen zu entfernen, biegt. Die Eignung dieser Technik sollte idealerweise an einem spezifischen Fasertyp geprüft werden.

5.4.2.2 Automatische mechanische Abstreifwerkzeuge

Durch den Einsatz automatischer Polsterabstreifwerkzeuge ist es möglich, viele der durch Bedienpersonal verursachten Prozessvariablen zu verringern. Erhältlich ist eine kleine Maschine, die ausschließlich für das Abstreifen von Primärpolstern ausgelegt ist. Diese Maschine erwärmt die Polsterung vor dem Abstreifen zwischen zwei Platten. Der Heizvorgang erweicht die Beschichtung, wodurch sie sich leichter entfernen lässt. Der automatische Abstreifvorgang vereinfacht den Prozess und die Faser wird zentriert, wodurch das Risiko des Biegens minimiert wird.

Dieser Maschinentyp ist ebenso wie die Handwerkzeuge mit einer Klingenöffnung ausgestattet. Es besteht die Möglichkeit einer Beschädigung der Faser, wenn die Öffnung nicht die korrekte Größe hat. Wie bei mechanischen Handwerkzeugen ist die Größe der Klingenöffnung so zu wählen, dass sie größer ist als der darunterliegende Faserdurchmesser. Ein Abstand von 20 µm wäre angemessen.

Durch die zusätzliche Heizfunktion ist mit diesem Maschinentyp das wirksame Abstreifen längerer Polsterungsabschnitte als mit einem mechanischen Handwerkzeug möglich. Dadurch kann das Entfernen einer Primärbeschichtung für einen Steckverbinderanschluss wahrscheinlich in einem Arbeitsschritt erfolgen. Es ist sorgfältig sicherzustellen, dass sich die verbleibende Polsterungsbeschichtung während des Abstreifvorgangs nicht „kräuselt“. Tritt dies ein, müssen die Abstreifparameter möglicherweise angepasst werden. Temperatur, Abstreifgeschwindigkeit sowie Verweildauer der Heizplatten können bei diesem Maschinentyp gewöhnlich verändert werden. Untersuchungen im Rahmen der LWL-Kabelbaum-Studie zufolge sind höhere Temperaturen beim Entfernen von Polsterungen (und beim Minimieren von „Kräuseln“) wirksamer als eine längere Ver-

weildauer (obwohl dieses Ergebnis faserspezifisch sein kann). Es liegen einige Beweise vor, dass auf der Faser nach dem Abstreifen ein leichter Rückstand verbleiben kann, wenn eine Maschine verwendet wird, die die Polsterung erwärmt. Daher kann eine Reinigung der Faser erforderlich sein, um die Festigkeit der Faser-Epoxidharz-Verbindung zu gewährleisten.

5.4.3 Alternative Verfahren

5.4.3.1 Chemisches Abstreifen

Untersuchungen der Auswirkungen verschiedener Abstreifverfahren auf die Festigkeit der Faser im Rahmen der LWL-Kabelbaum-Studie zufolge verursachen die chemischen Abstreifverfahren weniger Beschädigung der Faser als andere Abstreifverfahren. Als wirksamstes Verfahren für das Entfernen von weichen Acrylat-Beschichtungen gilt das Eintauchen der Faser in heiße konzentrierte Schwefelsäure für mindestens 10 Sekunden. Die Faser sollte danach, z. B. in entionisiertem Wasser, abgespült und getrocknet werden. Natürlich bestehen beim chemischen Abstreifen Probleme hinsichtlich Gesundheit und Sicherheit und dieses Verfahren ist mit großer Sicherheit zu gefährlich für die allgemeine Anwendung. Eine Anwendung wäre wahrscheinlich auf ein spezialisiertes Produktionsumfeld begrenzt.

Eine andere Verfahrensweise beim chemischen Abstreifen ist das Eintauchen der Faser in eine Chemikalie wie Dichlormethan, Methylethylketon (MEK) oder Aceton (mitunter wird auch handelsübliches Abbeizmittel verwendet). Diese Chemikalien führen zu Erweichen oder Anschwellen der Polsterung, so dass diese problemlos entfernt werden kann, z. B. durch Abwischen. Sobald die Polsterung ausreichend weich ist, wird es mit einem Zellstofftuch umfasst und der gewünschte Polsterabschnitt abgestreift.

Die Durchführbarkeit dieser Technik sollte an einem spezifischen Faser/Kabel-Typ geprüft werden. Die Beschichtung sollte idealerweise so weich sein, dass sie problemlos in einem Abschnitt abgezogen werden kann.

Es sollte beachtet werden, dass chemische Verfahren für das Entfernen von Polsterungen zu einem „Eindringen“ der Chemikalie entlang der Faser ins Kabel führen können. Dies kann zu Erweichen oder Anheben der Ummantelung in Bereichen der Faser führen, die vollständigen Schutz erfordern. Dies muss bei Anwendung chemischer Techniken verhindert werden.

5.4.3.2 Abbrennverfahren

Das Abbrennen der Primärbeschichtung mit einer Flamme ist eine weitere mögliche Entfernungstechnik. Allerdings birgt Abbrennen ein hohes Risiko der Versprödung der Lichtwellenleiter und bei dem Prozess kann/können Ruß/Rückstände auf der Faser verbleiben, die durch wiederholtes Abwischen (gewöhnlich mit einem in IPA getauchten Tuch) entfernt werden müssten. Daher ist diese Technik nicht für das Entfernen der Primärpolsterung zu empfehlen. Darüber hinaus können bei diesem Prozess gefährliche Verbrennungsprodukte gebildet werden.

5.4.3.3 Lichtbogenverfahren

Diese Technik für das Entfernen der Beschichtungen erfordert das Führen der Faser durch den Schmelzschweißlichtbogen einer Fusions-Spleißmaschine. Obwohl dieser Prozess feste Primärbeschichtungen wirksam entfernt, bestehen Bedenken hinsichtlich einer möglichen Versprödung und/oder einer Änderung der Brechzahl der Faser sowie einer Gefährdung durch Funkenbildung. Daher ist sie für den allgemeinen Gebrauch nicht zu empfehlen.

5.4.3.4 Heizwendelverfahren

Bei der Heizwendeltechnik wird ebenfalls Wärme für das Entfernen (oder Abbrennen) von Rückständen der Primärbeschichtung eingesetzt. In der Luft- und Raumfahrt wurde diese Technik in den späten 80er/frühen 90er Jahren entwickelt, um Probleme mit „Herauswachsen“ zu überwinden, die an Steckverbindern (mit Juwelausrichtung) und Kabeln mit weichen Primärbeschichtungen aus Silicium auftraten. Es wurde angenommen, dass „Herauswachsen“ auftrat, weil noch ein(e) sehr dünne(r) Siliciumschicht oder -rückstand nach dem Entfernen der Siliciummasse mit konventionellen mechanischen Werkzeugen verblieb.

Das Heizwendelverfahren bestand darin, ein Drahtspulenelement auf eine Temperatur von etwa 650 °C zu erwärmen (bis die Färbung ein dunkles Orange erreicht). Der mechanisch freigelegte Faserabschnitt wird dann mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durch die Heizwendel gezogen und entnommen.

Das Heizwendelverfahren ist nachweislich ein wirksames Verfahren für das Entfernen von Silicium, vorausgesetzt, dass der Großteil des Siliciums bereits in einem anderen Verfahren entfernt wurde. In Bild 18 sind die Ergebnisse einiger Oberflächenanalysen (XPS-Verfahren) dargestellt, die an Fasern mit Siliciumbeschichtung vorgenommen wurden, deren Primärbeschichtung in verschiedenen Verfahren entfernt worden waren.

Die Ergebnisse zeigen, dass die gemessene Menge Silicium von Probe zu Probe unterschiedlich ist. Die saubersten Fasern sind jene mit einem hohen Wert von Siliciumdioxid und einem geringen Wert von Silicium. Von den dargestellten Verfahren ist nur das mit heißer Schwefelsäure wirksamer als das Heizwendelverfahren.

Das Heizwendelverfahren entfernt zwar wirksam das Silicium, muss jedoch sorgfältig und kontrolliert angewendet werden. Bei Kontakt mit der Faser beschädigt die Heizwendel diese nachweislich und verringert deren Festigkeit. Darüber hinaus muss die Geschwindigkeit, mit der die Faser eingeführt und entnommen wird, für die größtmögliche Wirksamkeit streng kontrolliert werden. Außerdem besteht die Wahrscheinlichkeit, dass die Wärme bei zu nahem Einwirken Verformen/Verbrennen der Sekundärbeschichtung verursacht, wodurch die leicht zu reinigende Faserlänge begrenzt sein kann. Daher ist das Heizwendelabstreifen bei allgemeinen Anschlussprozessen mit vorhandener Silicium-Polsterungsschicht durchführbar, vorausgesetzt der Anwender verfügt über ausreichende Fähigkeiten in der Durchführung dieses Prozesses. Die vorzuziehende Option ist jedoch die Anwendung von Fasern, deren Silicium-Primärbeschichtung direkt mit der Glasoberfläche verbunden ist.

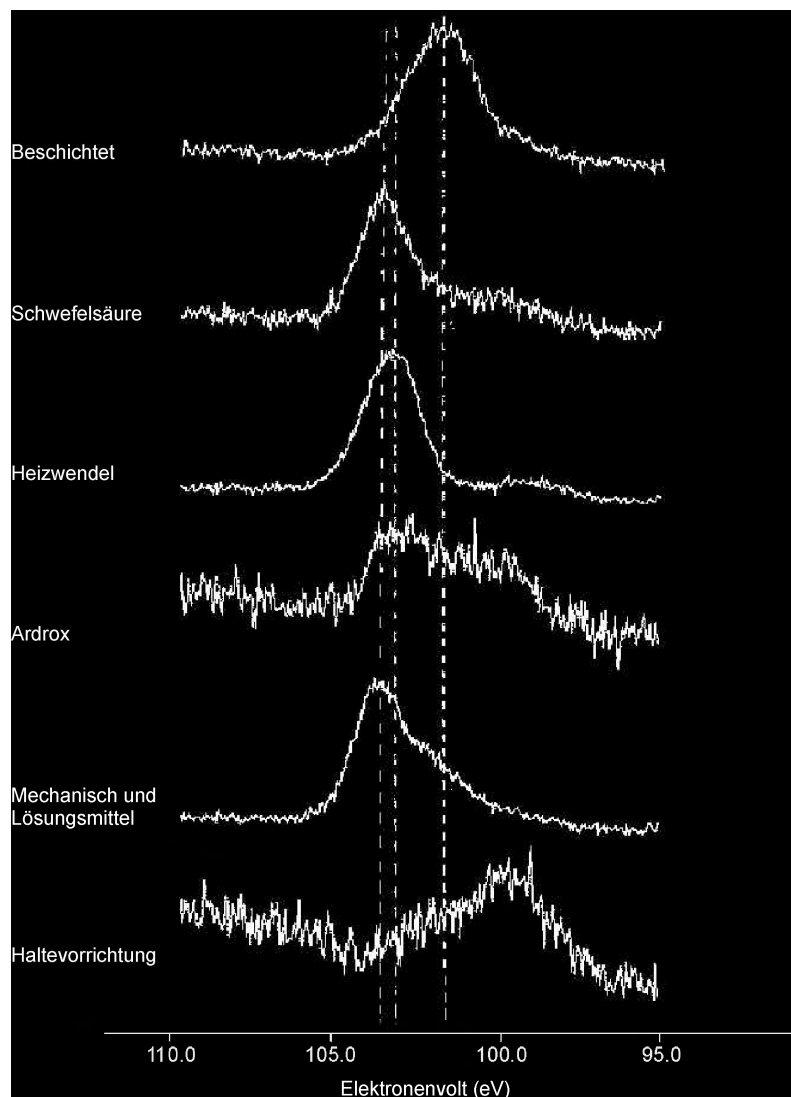


Bild 18 — Ergebnisse der XPS-Oberflächenanalyse von freigelegten Quarzglasfasern

5.4.4 Entfernen problematischer Beschichtungen

Die zwei Hauptbeschichtungen in dieser Kategorie sind Polyimid und Silicium.

Polyimid-Primärbeschichtungen sind gewöhnlich dafür ausgelegt, auf der Faser zu verbleiben (für deren Schutz und hohe Leistung) und sind daher absichtlich schwer entfernbar. Polyimid wird gewöhnlich als Beschichtung mit geringen Grenzabweichungen aufgebracht und muss daher üblicherweise nicht freigelegt werden. Unter bestimmten Umständen kann dies jedoch unvermeidbar sein. Muss das Polyimid entfernt werden, sind mechanische Handwerkzeuge im Allgemeinen unwirksam.

Es gibt einige anwendbare Alternativtechniken. Laut Angaben eines Herstellers dieses Kabeltyps ist die vorzuziehende Technik das Eintauchen der Faser in heiße (125 °C bis 135 °C) konzentrierte Schwefelsäure zuzüglich Wasserstoffperoxidlösung. Die Faser ist danach in entionisiertem Wasser¹⁾ zu spülen. Bei dieser erhöhten Temperatur beträgt die Dauer des Prozesses gewöhnlich 10 s bis 30 s. Bei Raumtemperatur kann dieser Prozess eine lange Zeit erfordern, bevor eine Wirkung eintritt. Diese Lösung greift alle organischen Stoffe

1) Schwefelsäure karbonisiert das Polyimid durch Entfernen der OH-Gruppe, wonach das Wasserstoffperoxid die Kohlenstoffschicht oxidiert und das freiliegende Glas zurückbleibt.

an, so dass jeglicher Kontakt mit dem Körper oder normaler Kleidung zu vermeiden ist. Das Tragen von persönlicher Schutzkleidung, insbesondere einer Schutzbrille, ist zwingend erforderlich. Das Kabel selbst betreffend wurde bei Abstreifprüfungen an typischen Lichtwellenleiterkabeln für die Luft- und Raumfahrt beobachtet, dass Kevlar®, Sekundärbeschichtung und Siliciumschichten insbesondere bei Eintauchen in die Lösung schwer beschädigt wurden.

Ein grobes Abbrennverfahren ist ebenfalls anwendbar, wobei die Faser gleichmäßig durch die Mitte einer Flamme geführt wird, bis das Polyimid eine schwarze Färbung annimmt. Die verbrannte Beschichtung kann daraufhin mit in Lösemittel (IPA) getränktem Zellstoff abgewischt werden. Dieser Prozess muss möglicherweise mehrfach wiederholt werden. Diese Technik führt jedoch bekanntlich zur Versprödung der Glasfaser und ist daher nicht allgemein zu empfehlen.

Einige Fasern sind mit einer Silicium-Primärpolsterungsschicht ausgestattet. Obwohl derzeit in der Luft- und Raumfahrt einige Fasern mit Silicium-Primärbeschichtungen in Gebrauch sind, ist dies nicht die Beschichtung der Wahl bei der Spezifikation oder Gestaltung zukünftiger Kabel für die Luft- und Raumfahrt. Silicium-Beschichtungen sind generell schwer zu entfernen, da ein Rückstand auf der Faser verbleibt, der die Verbindungsfestigkeit in einem Steckverbinder beeinträchtigen kann. Mechanische Handwerkzeuge können für das Entfernen des Großteils einer Silicium-Beschichtung verwendet werden und ein scheinbar effektives Ergebnis erzielen. Anschließendes Reinigen oder alternative Techniken (bereits beschrieben) sind jedoch für das Entfernen des nach dem mechanischen Prozess verbleibenden Siliciumrückstands erforderlich.

5.4.5 Nachweis verringerter Festigkeit beim Abstreifen von Polsterungsbeschichtungen

Verschiedene Abstreifprozesse für die Primärpolsterschicht sind bereits erläutert worden. Hinsichtlich Beschädigungen der Glasfaseroberfläche ist es möglich, zwischen verschiedenen Abstreifprozessen zu unterscheiden. Dies ist in Bild 19 dargestellt.

Die graphische Darstellung zeigt die kumulative Anzahl von Ausfällen in einer Charge von freigelegten Fasern bei Prüfung in einem Zugversuch. Die Daten der höchsten Festigkeit (am äußeren rechten Rand der Darstellung) stehen für die Fasern, deren Primärpolster vor dem Abstreifen mit Dichlormethan zum Anschwellen gebracht wurde. Die Daten der nächsthöheren Festigkeit stehen für Fasern, bei denen eine automatische Abstreifmaschine (die die Polsterung erwärmt und daraufhin mechanisch freilegt) eingesetzt wurde. Obwohl die Fasern relativ fest sind, stehen die meisten Daten für den unteren Grenzwert, da die Fasern während der Prüfung aus den geklebten Halterungen gegliitten sind. Dies ist der Nachweis, dass nach dem automatischen Abstreifprozess ein Rückstand verbleiben kann.

Die Ergebnisse für mechanische Handwerkzeuge sind ebenfalls graphisch dargestellt. Handwerkzeuge mit Klingen für Stirnflächen sowie Vorrichtungen für das Zentrieren der Faser und geringeres Biegen verursachen weniger Beschädigungen als ein einfaches Handwerkzeug mit einer Scherklingenöffnung. Die Abstreiföffnung war bei allen Werkzeugen gleich (300 µm). Der Faserdurchmesser betrug 280 µm.

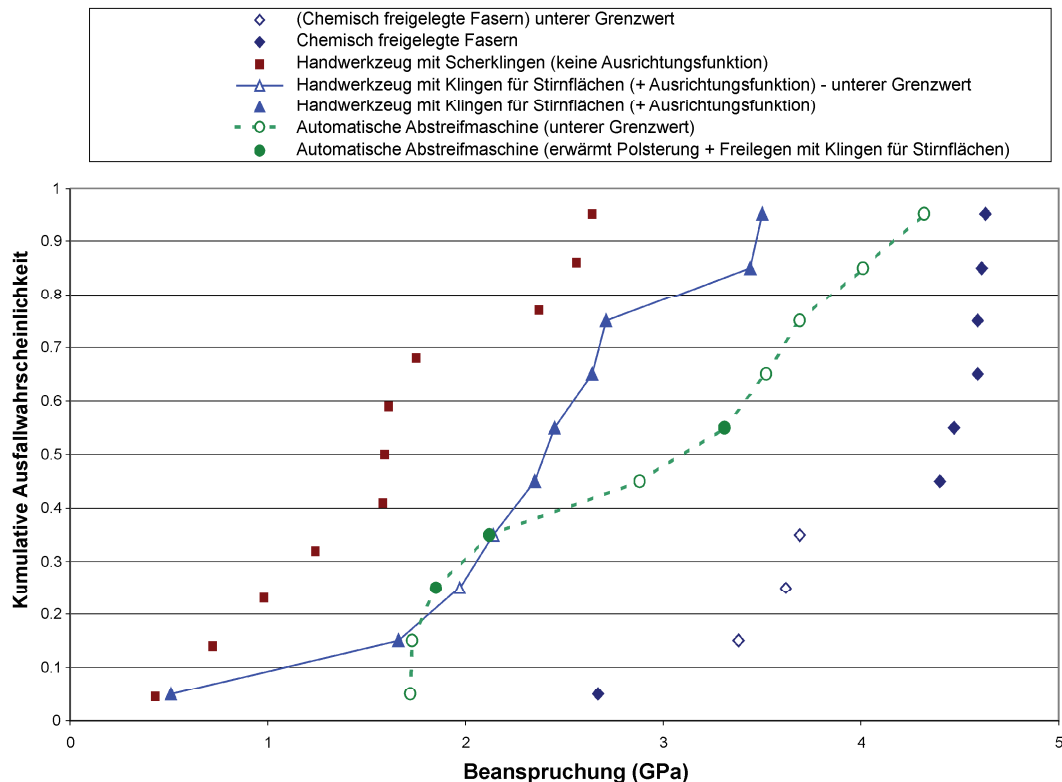


Bild 19 — Kurve für die Festigkeit der Faser nach dem Abstreifen mit verschiedenen Werkzeugen

Der Abstreifprozess beinhaltet einen sich daraus ergebenden Anschluss. Idealerweise sollten Fehler und Schäden (Beschädigungen) an der Faser minimiert werden und die sich daraus ergebende Faseroberfläche sollte sauber sein, um eine gute Bindung mit dem Klebstoff zu erzielen. Ein streng kontrollierter chemischer Abstreifprozess sollte dies erreichen. Ist dies unzulässig (z. B. aus Gründen der Gesundheit und Sicherheit), sollte der automatische Prozess gute Ergebnisse erzielen. Die Abstreifparameter sind zu optimieren, um die Polsterung möglichst sauber zu entfernen. Derzeitige Kenntnisstand zufolge ist eine hohe Temperatur bei kurzer Verweildauer vorzuziehen. Reinigung der Faser kann auch nach diesem Prozess erforderlich sein. Mechanische Handwerkzeuge sind bequemer in der Anwendung, führen aber zu größerer Beschädigung der darunterliegenden Faser. Die Wahl von Werkzeugen mit Klingen für Stirnflächen und Faserausrichtungsfunktion verursachen geringere Beschädigung der angeschlossenen Faser. Das Entfernen von Mehrschichtpolsterungen kann ebenfalls weniger Beschädigungen der Faser verursachen als nur das Entfernen der Primärpolsterung (mit mechanischen Techniken). In Abhängigkeit von Größe und Härte der Polsterungswerkstoffe kann bei diesem Prozess die Abnutzung des Werkzeugs beschleunigt werden.

Es sollte betont werden, dass Beschädigungen bei angeschlossenen Faserabschnitten künftige Ausfallpunkte in einem Steckverbinder werden können. Beanspruchungen der Faser können an Fehler-(Riss-)spitzen konzentriert sein und Fehler könnten ebenfalls durch Wechselwirkung mit Feuchtigkeit wachsen. Ein guter Abstreifprozess ist daher einer, der Größe und Anzahl von Fehlern minimiert und eine saubere Faseroberfläche für die Bindung erzielt.

5.4.6 Reinigen oder nicht reinigen

Derzeitige Kenntnisstand zufolge verringern alle Prozesse, die mechanischen Kontakt mit der freiliegenden Faseroberfläche beinhalten, deren Festigkeit (durch Einbringen mikroskopisch kleiner Oberflächenfehler). Die Reinigung beinhaltet gewöhnlich einen mechanischen Prozess und damit die Möglichkeit der Beschädigung. Experimentellen Ergebnissen der LWL-Kabelbaum-Studie zufolge ist die Verringerung der Festigkeit durch vorsichtige Reinigung weitaus geringer als durch den Einsatz von Handwerkzeugen beim Abstreifen der Beschichtung, aber dennoch vermeidbar. Reinigungsversuche sind generell zu unterlassen, wenn die Faser sauber aussieht (und der Abstreifprozess für das Primärpolster bekanntlich keinen Rückstand hinterlässt). Einige Polsterungen sind aber möglicherweise nicht sauber entfernbar und hinterlassen einen deutlich sicht-

baren Rückstand auf der Faser. Bei einigen Abstreiftechniken (die Chemikalien oder das Erwärmen der Primärbeschichtung beinhalten) besteht ebenfalls die Möglichkeit eines mikroskopischen Rückstands auf der freigelegten Faser. In diesem Fall sollte das Reinigen der Faser die Bindung innerhalb des Anschlusses verbessern.

Bei Bedarf wird ein vorsichtiger Reinigungsvorgang mit einem milden Lösemittel empfohlen. Diesbezüglich ist IPA vorzuziehen. Aceton kann zu aggressiv sein und könnte die verbleibenden Polsterungsschichten beeinträchtigen. Wiederholtes „Scheuern“ der Faser ist zu vermeiden. Ein befeuchtetes, fusselfreies Zellstofftuch wird einmal um die zu reinigende Faserlänge gelegt und unter vorsichtig aufgebrachtem Druck vom Anfang bis zum Ende der freiliegenden Faser geführt. Das Zellstofftuch ist anschließend zu entsorgen und darf nicht wiederverwendet werden. Sieht die Faser in diesem Zustand sauber aus, sollte keine weitere Reinigung vorgenommen werden. Es sollte sichergestellt sein, dass sich das Lösemittel vollständig verflüchtigt hat, bevor die gereinigte Faser in einen Steckverbinderstift eingeführt wird. 60 Sekunden sollten eine ausreichende Zeitspanne für eine vollständige Verflüchtigung bei üblicher Raumtemperatur sein.

Das „Eindringen“ des Lösemittels entlang der verbleibenden Polsterungsschicht sollte sorgfältig vermieden werden. Dadurch könnte der Schutz der Faser beeinträchtigt werden.

5.5 Klebstoffe

5.5.1 Allgemeines

Die Anforderung an den Klebstoff besteht in der sicheren Befestigung der Faser im Steckverbinder für die Betriebsdauer. Über diese Lebensdauer hinaus sollte der Klebstoff sicherstellen, dass sich Faser und Stift nicht gegeneinander bewegen.

5.5.2 Klebstofftypen

Es gibt eine Vielzahl von Klebstofftechnologien, die für das Befestigen der Faser im Steckverbinderstift erhältlich sind, beispielsweise:

- Acrylate;
- Anaerobe Klebstoffe (Aushärten ohne Luft);
- Cyanacrylate (Superkleber);
- Epoxidharze;
- Urethane.

Die folgende Tabelle legt einige der Vor- und Nachteile dieser Klebstoffarten fest. Die ausführliche Auflistung von Eigenschaften und Einschränkungen der in Tabelle 1 beschriebenen Klebstofftechnologien ermöglicht es dem Leser, die Schlüsselbeschränkungen vieler erhältlicher Klebstoffsysteme zu identifizieren.

Tabelle 1 — Vor- und Nachteile von Klebstoffarten

	Eigenschaften	Einschränkungen
UV-Acrylate	Schnelles Aushärten (15 s). Vorverpackt in Spritzenform. Ausgezeichnet für Glas-Substrate. Anmischen nicht erforderlich. Gute Abzieh- und Scherfestigkeit. Gute Fugenhärtung. Gute Abbindezeit.	Erfordert UV-Lichtquelle, die den Klebstoff erreicht. Schlechte Beständigkeit gegen hohe Temperaturen. Absoluter Höchstwert 150 °C. Oft verbleibt eine „klebrige“ Oberflächenschicht
Anaerobe Klebstoffe	Schnelles Aushärten bei Raumtemperatur. Gute Chemikalienbeständigkeit. Gute Abbindezeit. Anmischen nicht erforderlich.	Begrenzte Fugenhärtung. Kein Aushärten an der Luft. Erfordert häufig Grundierungen. Schlechte Temperaturbeständigkeit.
Cyan-acrylate	Schnelles Aushärten bei Raumtemperatur. Anmischen nicht erforderlich. Gute Abbindezeit.	Begrenzte Fugenhärtung. Geringe Lösemittelbeständigkeit. Geringe Beständigkeit gegen niedrige Temperaturen. Klebt Haut zusammen.
Epoxid-harze	Gute Fugenfüllfähigkeit. Hohe Festigkeit. Gute Temperaturbeständigkeit. Gute Lösemittelbeständigkeit. Schnelles Aushärten bei hohen Temperaturen.	Kann während des Abbindezyklus ausdünnen. Mischen von zwei Komponenten erforderlich. Die Menge jedes Teils ist exakt abzumessen. Kurze Abbindezeit. Erfordert gewöhnlich Wärme.
Urethane	Ausgezeichnete Festigkeit und Flexibilität. Aushärten bei Raumtemperatur oder Erwärmen. Unterschiedliche Abbindezeiten.	Geringe Beständigkeit gegen Raumtemperatur. Empfindlich gegenüber Eindringen von Feuchtigkeit. Zwei-Komponenten-Mischung. Kurze Abbindezeit.

Das Aushärten von anaeroben Klebstoffen erfordert den Ausschluss von Luft und wird dadurch in einer Produktionsumgebung erschwert und während des Gebrauchs in einem Luftfahrzeug extrem schwierig.

Derzeit erhältliche Klebstoffsysteme auf der Grundlage von Cyanacrylat, Urethan und Acrylat verbindet eine geringe Temperatur- und/oder Lösemittelbeständigkeit, was ihren Einsatz in Luftfahrzeugsystemen ausschließt, ausgenommen in Bereichen mit kontrollierten Umgebungsbedingungen. Die Tatsache, dass unter Wärmeeinwirkung ausgehärtete Epoxidharze in Anschlüssen von Lichtwellenleitern weit verbreitet sind, beweist deren Festigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Innerhalb dieser Familie ist jedoch sorgfältig auszuwählen, um einen Klebstoff mit geeigneten thermomechanischen Eigenschaften zu finden.

Bei Prüfung oder Auswahl eines Klebstoffes sind dessen Schlüsseleigenschaften zu untersuchen:

- Ausmaß der Aushärtung,
- Kleb-/Scherfestigkeit;
- Maßhaltigkeit (z. B. Schrumpfen, Ausdehnung);

- thermomechanische Beständigkeit – viskoelastische Eigenschaften (T_g);
- Entspannungs-/Kriecheffekte ebenfalls in Verbindung mit T_g ;
- Alterung – Änderung von T_g ;
- Viskosität während der Aushärtung.

Die meisten Arbeiten zu Klebstoff im Rahmen der LWL-Kabelbaum-Studie behandelten geeigneten Leim.

5.5.3 Die Bedeutung der Glasübergangstemperatur (T_g)

Wie oben ersichtlich, beinhalten einige der Schlüsseleigenschaften von Klebstoff den damit verbundenen Parameter T_g oder können aus diesem korreliert werden. Was bedeutet also T_g ? Epoxidharz-Klebstoffe sind viskoelastisch und besitzen Eigenschaften zwischen denen von viskosen Flüssigkeiten und elastischen Feststoffen. Bei niedrigeren Temperaturen werden sie glasartig (Steifigkeitsmodul $E \approx 10^9 \text{ Nm}^{-2}$) und bei höheren Temperaturen eher gummiartig ($E \approx 10^7 \text{ Nm}^{-2}$). Zwischen diesen beiden Zuständen liegt ein Glasübergangsbereich und dieses Verhalten wird durch die Glasübergangstemperatur (T_g) beschrieben. Viele technische Arbeiten betonen die Bedeutung hoher T_g -Werte als wichtiger Kontrollparameter bei der Herstellung zuverlässiger Anschlüsse.

5.5.4 Aushärtungsprogramm für Epoxidharze

5.5.4.1 Allgemeines

Die Qualität der Aushärtung von Zwei-Komponenten-Epoxidharzen wird von vielen Faktoren beeinflusst. Sobald das Epoxidharz angemischt ist, tritt eine Reaktion zwischen den beiden Komponenten bis zur vollständigen Aushärtung ein. Dieser Prozess kann bei Umgebungstemperatur erfolgen, allerdings wird der Klebstoff letztendlich zwar abbinden, in diesem Verfahren aber wahrscheinlich nicht vollständig aushärten.

Ein viel schnelleres und vollständigeres Aushärten kann durch Erwärmen des Klebstoffs erreicht werden. Das Maß an Wärme und deren Einwirkzeit beeinflussen das Verhalten des Klebstoffs.

Ein weiterer Hauptfaktor, der das optimale Aushärtungsprogramm beeinflusst, ist die Menge des aufgetragenen Klebstoffs. Große Mengen eines Klebstoffgemisches härten viel schneller aus als kleine Mengen, da beim Mischen der beiden Epoxidharz-Komponenten eine exotherme Reaktion innerhalb des Klebstoffs Wärme erzeugt. Je mehr Klebstoff vorhanden ist, desto stärker ist die Reaktion (mehr Wärme wird erzeugt) und desto schneller härtet der Klebstoff aus. Da die beim Anschluss eines Lichtwellenleiters aufgetragene Klebstoffmenge sehr gering ist, hat dies wahrscheinlich keinen wesentlichen Einfluss auf das Aushärtungsprogramm, sollte aber bei der Wahl und beim Anmischen des Klebstoffs berücksichtigt werden.

Das abschließende Verhalten eines Epoxidharz-Klebstoffs wird durch eine Anzahl verschiedener Parameter beeinflusst, wie z. B.:

- das exakte Mischungsverhältnis der einzelnen Klebstoffkomponenten;
- das Vorhandensein einer geeigneten Menge, die eine streng kontrollierte und bekannte exotherme Reaktion aufweist;
- das Sicherstellen der vollständigen Durchmischung der beiden Epoxidharz-Komponenten.

An geeignetem Klebstoff durchgeführte Prüfungen, bei denen jede Klebstoffmenge für die gleiche Zeitdauer durchmischt und anschließend verschiedenen Temperaturen und Aushärtungsprogrammen ausgesetzt wurde, haben erwiesen, dass der T_g -Wert zwischen 103 °C und 134 °C schwankt, siehe nachfolgende Tabelle 2.

Tabelle 2 — Auswirkung des Aushärtungsprogramms auf Tg

Aushärtungsprogramm 1		Aushärtungsprogramm 2		Gemessener Tg-Wert
Temperatur °C	Zeit Minuten	Temperatur °C	Zeit Minuten	°C
100	30	—	—	115
100	45	—	—	119
100	60	—	—	121 ^a
150	60	—	—	103
100	30	120	60	134
100	30	120	120	126
100	30	120	180	119
100	60	120	60	119
100	60	120	120	117
100	60	120	180	118

^a Für die Arbeit im Rahmen der LWL-Kabelbaum-Studie ausgewähltes Aushärtungsprogramm.

Das empfohlene Aushärtungsprogramm sollte jedoch nicht nur das Verhalten des Klebstoffs berücksichtigen, sondern auch die Wechselwirkung zwischen der Faser und dem Klebstoff sowie zwischen dem Klebstoff und dem Anschluss.

Vorgänge wie die Verringerung der Beanspruchung von Fasern während der Aushärtung durch Temperaturschock müssen bei der Wahl des optimalen Aushärtungsprogramms ebenfalls berücksichtigt werden. Es besteht die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ausgleich zwischen dem Tg-Endwert und der praktischen Durchführbarkeit des Aushärtungsprogramms erfolgt. Eine Aushärtung über 24 h bei 100 °C kann beispielsweise einen sehr guten Tg-Wert ergeben, wäre aber absolut undurchführbar bei der Reparatur eines Anschlusses in einem Luftfahrzeug. Eine sehr viel kürzere Aushärtung von z. B. 1 h dagegen ergibt nur eine leichte Verringerung des Tg-Werts und kann eine annehmbare Dauer sein, um einen Anschluss zu ermöglichen.

Aufgrund dieser Arbeit und bei Anwendung des geeigneten Klebstoffes empfiehlt die Kabelbaumstudie ein Aushärtungsprogramm für „Standard“-Anschlüsse entsprechend Bild 20.

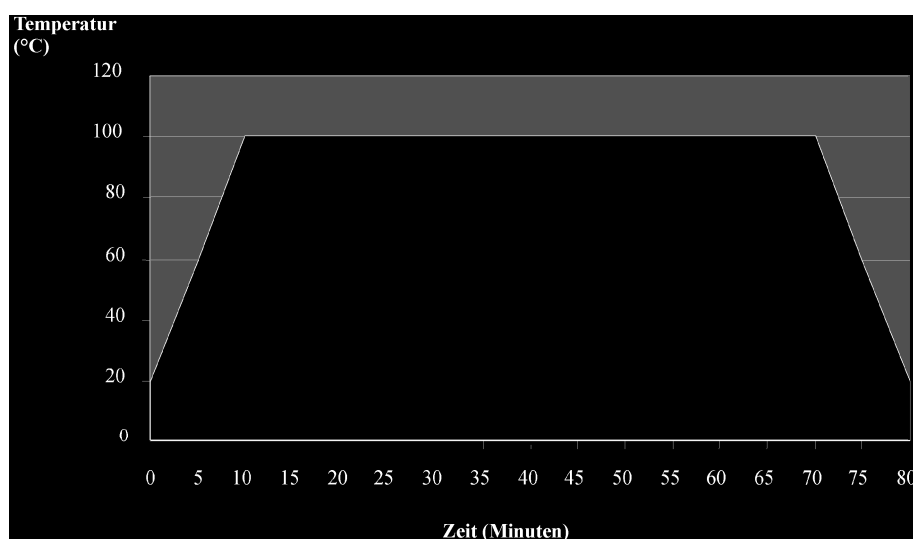


Bild 20 — Empfohlenes Aushärtungsprogramm