

E DIN EN 4533-001:2025-08 (D)

Erscheinungsdatum: 2025-06-27

Luft- und Raumfahrt - Faseroptische Systeme - Handbuch - Teil 001:
Anschlussverfahren und Werkzeuge; Deutsche Fassung ASD-STAN prEN 4533-
001:2025

Inhalt	Seite
Vorwort	11
Einleitung	12
0.1 Das Handbuch.....	12
0.2 Hintergrund	12
1 Anwendungsbereich.....	13
1.1 Allgemeines.....	13
1.2 Notwendigkeit von hochintegrierten Anschlüssen	14
2 Normative Verweisungen	14
3 Begriffe	14
4 Auswahl der Bauteile	14
4.1 Elemente.....	14
4.2 Lichtwellenleiterkabel	15
4.2.1 Allgemeines.....	15
4.2.2 Aufbau des Kabels.....	15
4.2.3 Auswahl der Faser.....	16
4.2.4 Beschichtungen und Polsterungen — Eine Anmerkung zur Terminologie.....	18
4.3 Primärpolsterungswerkstoffe.....	19
4.3.1 Funktion	19
4.3.2 Acrylat.....	19
4.3.3 Polyimid	19
4.3.4 Silicium	20
4.3.5 Zugentlastungselemente.....	20
4.4 Außenmantel	20
4.5 Lichtwellenleiterverbindungen (Steckverbinder)	21
4.5.1 Einleitung.....	21
4.5.2 Die optische Schnittstelle	22
4.5.3 Einwege-Verbindungen/Steckverbinder.....	29
4.5.4 Mehrwege-Verbindungen/Steckverbinder.....	29
4.5.5 Auswahl der Werkzeuge	30
5 Gesundheits- und Sicherheitsaspekte	31
5.1 Allgemeines.....	31
5.2 Chemikalien	31
5.3 Scharfe Kanten	32
6 Anschlussprozess	32
6.1 Ziel.....	32
6.2 Vorbereitung von Kabeln.....	33
6.2.1 Allgemeines.....	33
6.2.2 Zuschneiden	33
6.2.3 Entfernen des Außenmantels.....	34
6.2.4 Werkzeuge für die Handhabung von Kabeln (Greifen des Kabels).....	39
6.2.5 Zuschneiden/Entfernen von Zugentlastungselementen	40
6.3 Entfernen von Sekundärbeschichtung(en).....	42
6.4 Entfernen der Primärbeschichtungen.....	42

6.4.1	Allgemeines.....	42
6.4.2	Mechanische Techniken für das Entfernen von Primärbeschichtungen.....	43
6.4.3	Alternative Verfahren.....	49
6.4.4	Problematische Beschichtungen — Polyimid und Silicium.....	51
6.4.5	Nachweis verringerter Festigkeit beim Abstreifen von Polsterungsbeschichtungen	53
6.4.6	Reinigen oder nicht reinigen.....	54
6.5	Klebstoffe.....	55
6.5.1	Allgemeines.....	55
6.5.2	Klebstofftypen	55
6.5.3	Bedeutung der Glasübergangstemperatur (T_g).....	57
6.5.4	Aushärtungsprogramm für Epoxidharze	59
6.5.5	Benutzerfreundlichkeit.....	62
6.5.6	Qualifikation	65
6.6	Vorbereitung von Steckverbindern.....	66
6.6.1	Trockenes Anpassen	66
6.7	Anbringen von Fasern an der Endstelle.....	67
6.7.1	Klebstoffauftrag.....	67
6.7.2	Bewährte Verfahrensweise für das Einführen der Faser	70
6.8	Aushärten des Klebstoffs.....	74
6.8.1	Allgemeines.....	74
6.8.2	Ausrichtung.....	74
6.8.3	Ausrüstung für das Aushärten	75
6.9	Entfernen überschüssiger Faser	78
6.9.1	Allgemeines.....	78
6.9.2	Grobes Ritzen nach dem Aushärten	79
6.9.3	Vorritzen	80
6.9.4	Sicherheit.....	80
6.9.5	Ritzwerkzeuge.....	81
6.9.6	Handwerkzeuge mit Federklingen	81
6.9.7	Ritzen von Fasern in Ferrulen mit mehreren Fasern	82
6.10	Polieren	82
6.10.1	Begründung.....	82
6.10.2	Leistungsmetrik.....	82
6.10.3	Geometrien der Endfläche.....	83
6.10.4	Parameter für die Endflächengeometrie.....	84
6.10.5	Polierschritte.....	94
6.10.6	Verfahren für das Kontrollieren der Endflächengeometrie.....	108
7	Inspektion zu Beginn der Gebrauchsdauer	115
7.1	Allgemeines.....	115
7.2	Optische oder visuelle Inspektion (Sichtprüfung)	115
7.3	Interferometrische Inspektion	117
7.3.1	Allgemeines.....	117
7.3.2	Inspektion und Kriterien für „Bestehen“ und „Nichtbestehen“	119
	Literaturhinweise	123

Bilder

Bild 1	— Typischer Aufbau von Lichtwellenleiterkabeln für die Luft- und Raumfahrt.....	16
Bild 2	— Beispiel für Mehrwegekabel.....	18
Bild 3	— Schnittstelle mit Stirnflächenkopplung für Lichtwellenleiter.....	22
Bild 4	— Schnittstelle mit Winkelschliff-Steckverbinder (APC).....	23

Bild 5	— Lichtwellenleiterschnittstellen mit aufgeweitetem Strahl (GRIN = Gradientenindex)	24
Bild 6	— Beispiel für einen Steckverbinder mit aufgeweitetem Strahl mit integrierten Optiken	25
Bild 7	— Beispiel für Steckverbinder mit aufgeweitetem Strahl mit entfernbaren Endstellen. Das Linsenelement ist am Ende der Endstellen sichtbar	25
Bild 8	— Detaildarstellung der Endstelle von Lichtwellenleiter, welche die Keramikferrulen zur genauen Ausrichtung der Faser innerhalb einer Verbindung zeigt	26
Bild 9	— In eine Keramikferrule eingelegte Mehrmodenfaser (Endansicht)	26
Bild 10	— Eine MT-Ferrule mit mehreren Fasern	27
Bild 11	— Eine Mehrmodenfaser (Endansicht) eingelegt in eine MT-Ferrule mit mehreren Fasern	28
Bild 12	— Beispiele für Mehrwege- und Einwege-Steckverbinder	30
Bild 13	— Typischer Mehrwege-Steckverbinder für Lichtwellenleiter (mit angebrachter Stützhülse)	30
Bild 14	— Mehrwege-Steckverbinder mit einem Ferrulenaufbau (MT) aus mehreren Fasern	30
Bild 15	— Beschädigung eines Werkzeugs aus gehärtetem Stahl nach dem Schnitt durch einen Quarzglas-LWL	33
Bild 16	— Abstreifwerkzeug mit Spitze aus Wolframcarbid zur Durchschneidung von Lichtwellenleiterkabeln	34
Bild 17	— Angeschrägtes Ende einer Polyimidfaser	34
Bild 18	— Beispiel eines Rotationswerkzeuges (Einsatz durch Einführung und Rotation um die Kabelummantelung)	35
Bild 19	— Beispiel eines Stripmaster-Werkzeugs und Klingensatzes	35
Bild 20	— Messerartige Klingen (Stripmaster-Werkzeug)	36
Bild 21	— Beispiel einer abgestreiften Ummantelung, zeigt ein gutes Abstreifergebnis durch Messerklingen	36
Bild 22	— Gesenkartige Klingen am Stripmaster-Werkzeug	36
Bild 23	— Beispiel einer abgestreiften Ummantelung, die „Ohren“ aufweist, welche durch Einschluss der verbleibenden Ummantelung in den Gesenkklingen verursacht wurden	37
Bild 24	— Scherenartige Klingen an einem Mantelabstreifer	37
Bild 25	— Links: Präzisionskabelabstreifer mit mehreren Öffnungen Rechts: Abstreifer für elektrische Kabel	38
Bild 26	— Abstreiföffnungen von Werkzeugen sollten so gewählt werden, dass diese gerade etwas größer sind als die darunterliegende Beschichtung oder Kabelschicht	39
Bild 27	— Schaden am Zugentlastungselement durch Öffnung falscher Größe	39
Bild 28	— Schäden an Lichtwellenleiterkabel durch Kabelklemmplatte	40

Bild 29 — Werkzeug für die Handhabung von Lichtwellenleiterkabeln	40
Bild 30 — Sequenz, die das Verfahren das „Schneidens und Abstreifens“ zur Herstellung eines ordentlichen Abschlusses zeigt.....	41
Bild 31 — Unscharfes Zugentlastungselement. Ergebnis stumpfer Klingen und verwobener Fasern.....	41
Bild 32 — Einige Abstreifwerkzeuge zum Entfernen der Primärbeschichtung von Lichtwellenleitern	44
Bild 33 — Abgewinkelt zur Faser gehaltenes Abstreifwerkzeug	45
Bild 34 — Korrekt gehaltenes Abstreifwerkzeug zur Minimierung der Faserbiegung	45
Bild 35 — Neue Klingenöffnung	46
Bild 36 — Klingen mit Versatz.....	46
Bild 37 — Abgenutzte Werkzeugklingen	46
Bild 38 — Scharfer Grat an der Öffnung eines „neuen“ Werkzeugs	47
Bild 39 — Links: Automatisierter Abstreifer für Primärbeschichtungen — Rechts: Zusammengesetztes Bild mehrerer Abstreifklingen.....	48
Bild 40 — Rechts: Flachfaserabstreifer zum Abstreifen von Kabel mit mehreren Fasern — Links: Ein Handhabungswerkzeug für Flachkabel ist dargestellt	49
Bild 41 — Graph für die Festigkeit der Faser nach dem Abstreifen mit verschiedenen Werkzeugen	53
Bild 42 — Schematische Darstellung, die die Erweichung des Klebstoffes (Verringerung des Steifigkeitsmoduls) um den T_g -Wert zeigt.....	58
Bild 43 — Schematische Darstellung eines Faserrückstoßes (linkes Bild: davor, rechtes Bild: danach), welche 3D-Profile der Bewegung nach Exposition gegenüber hohen Temperaturen nahe der Glasübergangstemperatur eines Klebstoffes zeigt.....	58
Bild 44 — Vordosierte Menge an Epoxidharz und -härtner in einem dosierten Mischpäckchen	63
Bild 45 — Anmischen von Epoxid-Klebstoffen innerhalb eines Mischpäckchens vor dem Auftragen. Oberes Bild: Entfernen der Trennklemme — Mittleres und unteres Bild, Anmischen im Päckchen.....	64
Bild 46 —Das rechte Bild zeigt eine kleine Zentrifuge zum Entfernen von Luftbläschen bei größeren Herstellungsprozessen.....	65
Bild 47 — Gemischtes Epoxid in Spritze eingezogen, bereit für den Auftrag.....	65
Bild 48 — Verringerte Festigkeit von freigelegten Fasern nach dem trockenen Anpassen in einer Keramikferrule	66
Bild 49 — Rückseitiger Auftrag eines Klebstoffes auf die Endstelle eines Steckverbinders. Spritzennadel in die Rückseite einer Endstelle eingeführt	68
Bild 50 — Winzige Epoxidwulst an der Ferrulenspitze weist darauf hin, dass das Bohrloch mit Klebstoff gefüllt ist	68

Bild 51 — Spritzenauftrag über die Vorderseite bei Endstelle nach EN 4639	68
Bild 52 — Zu wenig Klebstoff bedeutet schlechten Schutz der Faser im umkreisten Bildausschnitt.....	69
Bild 53 — Aus dem Ende des Ferrulenkörpers austretender, überschüssiger Klebstoff.....	69
Bild 54 — Übermäßiger Klebstoff an der Endfläche der Ferrule	69
Bild 55 — Korrekt dosierte Klebstoffmenge.....	70
Bild 56 — Falsche Abstreiflängen führen zu Mikrokrümmungen im Steckverbinder	71
Bild 57 — Korrekte Klebstoffmenge auf der Endfläche der Ferrule	71
Bild 58 — Übermäßiger Klebstoff an der Fase der Ferrule (rechtes Bild nach Politur).....	72
Bild 59 — Auftrag des Epoxids in eine MT-Ferrule mit mehreren Fasern	72
Bild 60 — Eingeführte Fasern in einer Ferrule mit mehreren Fasern.....	73
Bild 61 — Crimpring an der Rückseite der Endstelle eines Lichtwellenleiters.....	73
Bild 62 — Doppelcrimp zwischen Lichtwellenleiterkabel und Endstelle	74
Bild 63 — Typischer Ofen für die Aushärtung von Steckverbindern für Lichtwellenleiter	75
Bild 64 — Eine geteilte Schutzhülse aus Metall ist über der Endstelle zum Schutz der freigesetzten Faser während der Aushärtung positioniert	76
Bild 65 — Beispiel eines Ofens zur schnellen Aushärtung, der durch Absorption von Infrarotstrahlung arbeitet.....	77
Bild 66 — Beispiel für einen batteriebetriebenen Kompaktofen	78
Bild 67 — Ritzen mittels Handritzstift und Bruchverfahren	79
Bild 68 — Handritz- und Bruchverfahren zum Einritzen. Unteres Bild zeigt das Ergebnis.....	79
Bild 69 — Beispiel eines stiftartigen Ritzwerkzeugs (oben) und eines Kachelritzwerkzeugs aus Keramik (unten)	81
Bild 70 — Federklingen-Ritzwerkzeuge mit voreingestellter Ritzlänge und Ferrulenausrichtung.....	82
Bild 71 — Idealisierte flache Steckverbinder, PC-Steckverbinder und angeschrägte PC-Steckverbinder	83
Bild 72 — Unterschied zwischen den Messungen sphärischer und ebener Faserhöhe.....	85
Bild 73 — Faserunterschneidung und Faserüberstand in einem PC-Steckverbinder	85
Bild 74 — Erlaubte Unterschneidungsgrenzen eines PC-Steckverbinders.....	87
Bild 75 — Stärkerer Faserrückstoß mit Erhöhung des Überstandes.....	88
Bild 76 — Versatz der Spitze in einem PC-Steckverbinder	89
Bild 77 — Interferometer für die Inspektion von Simplex- und Flachbandverbindungen.....	93

Bild 78 — Beispiel der Ausgabe eines Interferometers (Steckverbinder mit einer Faser).....	93
Bild 79 — Grafische Darstellung der Interferometer-Messung eines Anschlusses mit mehreren Fasern	94
Bild 80 — Beschädigung der Polierfolie durch scharfe Faserkanten	95
Bild 81 — Vorpolierungsschritt zum Entfernen übermäßiger Längen und scharfer Kanten der Faser	96
Bild 82 — Auswahl von Polierfolien, die üblicherweise bei der Politur von Fasern der Luft- und Raumfahrt zum Einsatz kommen	96
Bild 83 — Trägerunterlagen verschiedener Härten schränken den Krümmungsradius bei einer Politur von flachem Zustand in ein PC-Profil ein	99
Bild 84 — Typische Materialien für die Handpolitur	100
Bild 85 — Handpolitur mittels klassischer Achtform	100
Bild 86 — Poliermuster	101
Bild 87 — Einfache Polierscheiben	102
Bild 88 — Polierscheiben verbesserter Konstruktion	102
Bild 89 —Automatisierte Faserpoliermaschine; Einschub zeigt eine Vorrichtung für die Polierung von mehreren Fasern. Einschub zeigt eine Vorrichtung für die Polierung von mehreren Fasern	104
Bild 90 — Kommerziell verfügbare, tragbare Poliermaschine.....	105
Bild 91 — Vergrößertes Bild einer Faser während der anfänglichen Politur mit 9-μm-Aluminiumoxidfolie	106
Bild 92 — Faserendfläche während der Zwischenpolitur (mit 1-μm-Folie)	107
Bild 93 — Endfläche der Endstelle nach feiner Politur (mittels 0,5-μm-Diamantfolie)	108
Bild 94 — Unterschiedliche Härten der Polierscheiben, Auswirkungen auf die Politur.....	111
Bild 95 — Links: vor der „Reinigung“; — Rechts: nach der „Reinigung“	115
Bild 96 — Beispiele für Tischmikroskope für die Sichtprüfung.....	116
Bild 97 — Beispiele für tragbare Sichtprüfungseinrichtungen; Oben: direkt einsehendes, tragbares Betrachtungsgerät; Unten: indirekt einsehendes, tragbares Sondensystem)	117
Bild 98 — Oben: Sondensystem im Einsatz, Unten: eine Auswahl an Adapterspitzen für das Sondensystem.....	117
Bild 99 — Interferometrische Inspektion im Vergleich zur optischen/visuellen Inspektion (Sichtprüfung)	118
Bild 100 — Robustes und tragbares Interferometer für Lichtwellenleiter	119
Bild 101 — Beispiele für die Eigenschaften von Endflächen und qualitative Inspektionskriterien... 120	

Bild 102 — Veranschaulichung der Faserendflächen-Zoneneinteilung	121
---	------------

Tabellen

Tabelle 1 — Grundlegende Eigenschaften einer Faser nach ITU-Regeln.....	17
Tabelle 2 — Reflexion und Verlustleistung von optischen Steckverbindern.....	23
Tabelle 3 — Vor- und Nachteile von Klebstoffarten	56
Tabelle 4 — Auswirkung des Aushärtungsprogramms auf T_g.....	60
Tabelle 5 — PC-Parameter für Simplex-Fasern.....	91
Tabelle 6 — Beispiel eines maschinellen Polierprozesses.....	113
Tabelle 7 — Beispiel für ein Polierverfahren eines MT-Ferrulenaufbaus mit mehreren Fasern (für Mehrmodenaufbauten aus 12 Fasern)	114