

DIN EN 61300-3-30



ICS 33.180.20

Entwurf

Einsprüche bis 2016-07-06
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 61300-3-30:2003-09;
Ersatz für
E DIN EN 61300-3-30:2015-02

**Lichtwellenleiter-Verbindungselemente und passive Bauteile –
Grundlegende Prüf- und Messverfahren –
Teil 3-30: Untersuchungen und Messungen –
Polierwinkel und Faserposition von Mehrfaser-Steckverbindern mit
einer Ferrule
(IEC 86B/3965/CD:2015)**

Fibre optic interconnecting devices and passive components –
Basic test and measurement procedures –
Part 3-30: Examinations and measurements – Polish angle and fibre position on single
ferrule multifibre connectors
(IEC 86B/3965/CD:2015)

Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques –
Méthodes fondamentales d'essais et de mesures –
Partie 3-30: Examens et mesures – Angle de la face polie et position de la fibre sur
l'embout des connecteurs multifibres
(IEC 86B/3965/CD:2015)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-05-06 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

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

Gesamtumfang 36 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	3
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Allgemeine Beschreibung.....	5
3 Messbereiche	5
4 Prüfaufbau	7
5 Prüfverfahren.....	8
6 Festzulegende Einzelheiten	10
Anhang A (normativ) Gleichungen zur Berechnung der Endflächengeometrie	11
Anhang B (normativ) Vorzeichenvereinbarung für Oberflächenwinkel (graphisch dargestellt).....	12
Anhang C (normativ) Vereinbarte Faserzählweise (graphisch dargestellt).....	13
Anhang D (normativ) Fehlkoplanarität und Faserebenenwinkel-Bestimmung	14
Anhang E (normativ) Berechnung des Kernüberstandes mittels der Paraboloidmethode.....	16
Anhang F (normativ) Berechnung des Parameters <i>GL</i>	17
Literaturhinweise.....	19
Bilder	
Bild 1 – Messbereiche auf Ferrule	6
Bild 2 – Messaufbau	8
Bild B.1 – Vorzeichenvereinbarung für Oberflächenwinkel	12
Bild C.1 – Vereinbarte Faserzählweise	13
Bild E.1 – Ausgleichsparaboloid zu Faserendfläche zeigt den Kernüberstand.....	16
Tabellen	
Tabelle 1 – Ferrulenmessbereiche und Kennwerte.....	6
Tabelle F.1 – Parameter für Vierfaserferrulen	18
Tabelle F.2 – Parameter für Achtfaserferrulen	18
Tabelle F.3 – Parameter für Zwölfaserferrulen.....	18

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 86B/3965/CD:2015 „Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-30: Examinations and measurements – Polish angle and fibre position on single ferrule multifibre connectors“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 86B „Fibre optic interconnecting devices and passive components“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 412.7 „LWL-Verbindungstechnik und passive optische Komponenten“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61300-3-30:2003-09 und E DIN EN 61300-3-30:2015-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Messung der individuellen Faserspitzenradien jetzt erforderlich;
- b) Einführung der GL-Metrik;
- c) Einführung der Minus-Koplanaritätsmetrik;
- d) neue Methode zur Messung der Faserüberstände;
- e) alle Messbereiche sind jetzt identisch für MM- und SM-Fasern;
- f) die Vereinbarung über Vorzeichen der Ferrulenoberflächenwinkel wurde geändert;
- g) Modifikation der gesamten Struktur des Dokuments gemäß neuester ISO-/IEC-Richtlinien.

**Lichtwellenleiter-Verbindungselemente und passive Bauteile –
Grundlegende Prüf- und Messverfahren –
Teil 3-30: Untersuchungen und Messungen –
Polierwinkel und Faserposition von Mehrfaser-Steckverbindern mit einer Ferrule**

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 61300 beschreibt ein Verfahren zur Beurteilung der Endflächengeometrie von Mehrfaserferrulen und Steckverbindern mit Führungsstiften. Hauptmerkmale sind die Faserposition in Bezug zur Endfläche, mit Unter- oder Überstand, der Endflächenwinkel in Bezug auf die Führungsstiftbohrungen, Faser Spitzenradien und Kernüberstand bei Mehrmodenfasern.

2 Allgemeine Beschreibung

Mehrfaser-Steckverbinder mit Führungsstiften haben im Allgemeinen eine rechteckige Endfläche mit einer langen und einer kurzen Achse. Im Idealfall ist eine flach polierte Endfläche mit leicht überstehenden und in derselben Ebene liegenden Fasern erwünscht, um den physischen Kontakt der Faserkerne sicherzustellen, wenn zwei Steckverbinder zusammengesteckt sind. In der Praxis hat die Endfläche üblicherweise zwei verschiedene Krümmungen über die Oberfläche entlang der langen und der kurzen Achse. Da die gesteckten Ferrulen durch Stifte in den Führungsbohrungen ausgerichtet werden, muss die Endfläche der Ferrule bezüglich der Führungsbohrungen korrekt ausgerichtet sein (Winkel SX und SY), um sicheren Kontakt zu erreichen. Der Endflächenwinkel SX in der X-Achse und der Endflächenwinkel SY in der Y-Achse werden mithilfe der Ausgleichsfläche auf der Basis eines bestimmten Prozentsatzes der höchsten Punkte in einem festgelegten interessierenden Bereich gemessen. Die höchsten Punkte weisen unter einem interferometrischen Gesichtspunkt üblicherweise die höchste Modulation auf. Dies erlaubt stabilere Messungen und eine höhere Wiederholpräzision zwischen verschiedenen Interferometern.

Der Winkel der Ausgleichsfläche wird ermittelt, indem er mit der Bezugsebene verglichen wird, die senkrecht zur Achse der Führungsbohrungen steht. Die Höhe H der Fasern (positiv bei Überstand) ist eine planare Höhe, die als der Abstand zwischen der Faserendfläche und der Ausgleichsfläche festgelegt ist. Der Kernüberstand ist von größerem Interesse für Mehrmodenfasern, weil der große Kern weicher als der Faserrand ist und dazu neigt, sich schneller abzuschleifen. Der Kernüberstand wird durch die in Anhang E beschriebene Paraboloid-Methode ermittelt.

Für die Messung des Polierwinkels und der Faserposition von Mehrfaser-Steckverbindern mit einer Ferrule wird ein Verfahren beschrieben. Es handelt sich dabei um die Untersuchung der Endfläche mit einem dreidimensionalen interferometrischen Oberflächenanalysator.

3 Messbereiche

Für die Messung müssen die folgenden Bereiche auf der Ferrulenendfläche festgelegt werden:

- a) *Interessierender Bereich* (en: region of interest, *ROI*): Der *ROI* liegt auf der Ferrulenendfläche und wird durch einen rechteckigen Bereich mit einer langen Achse (X-Achse) der Länge L und einer kurzen Achse (Y-Achse) der Höhe H festgelegt; der interessierende Bereich wird so gewählt, dass er den beabsichtigten Kontaktbereich der Ferrulenendfläche bei gesteckten Ferrulen umfasst. Der interessierende Bereich muss um die Faseranordnung zentriert sein. Siehe Bild 1. Siehe Tabelle 1 für Messflächen, die für verschiedene Steckverbinder anzuwenden sind.
- b) *Ausbaubereich*: Der Ausbaubereich, der die Faserendfläche und den Klebebereich umfasst, ist durch Kreise mit dem Durchmesser E , die um jede Faser zentriert sind, festgelegt.
- c) *Mittelungsbereich*: Der Mittelungsbereich liegt auf den Faseroberflächen, die benutzt werden sollen, um die Faserhöhe zu berechnen, und ist als Kreis mit dem Durchmesser F definiert. Der Mittelungsbereich ist bei Einmodenfasern (SM) und Mehrmodenfasern (MM) derselbe.
- d) *Kernüberstandsbereich*: Der Kernüberstandsbereich liegt auf den Faseroberflächen, die benutzt werden sollen, um den Faserkernüberstand mittels Paraboloidmethode zu berechnen, und ist festgelegt durch Kreise mit dem Durchmesser CD , die um jede Faser zentriert sind.

Kernüberstands-Anpassungskonstante: Die berechnete Kernüberstandsamplitude wird nach dem Ausgleichen einer Paraboloidfunktion zur Faserendfläche mittels der Konstante R_1 angepasst.

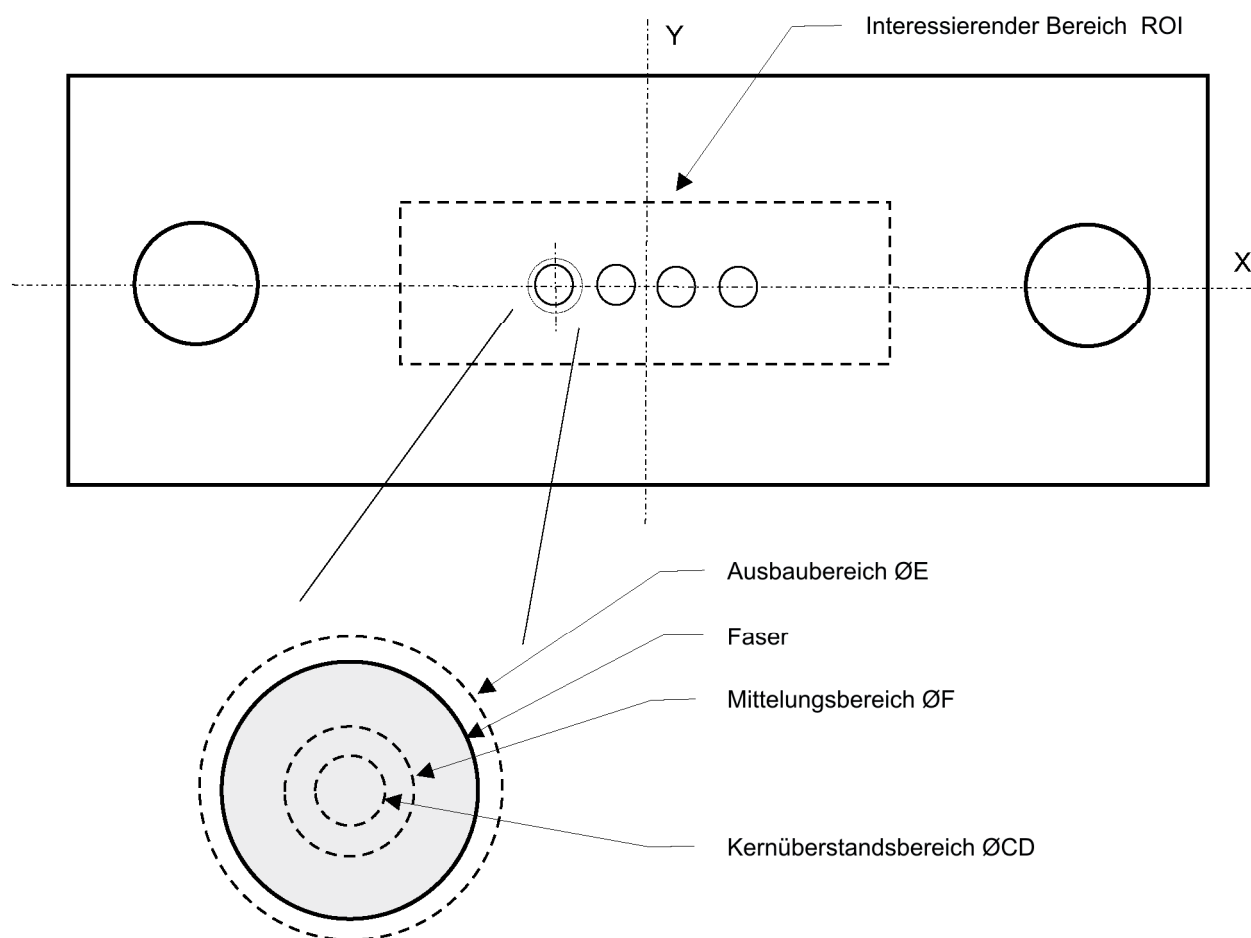


Bild 1 – Messbereiche auf Ferrule

Tabelle 1 – Ferrulenmessbereiche und Kennwerte

Ferrulen- bauart (Aus- führungs- nummer)	Be- schreibung	Interessie- render Bereich – ROI ($L \times H$) mm ²	Oberste aus- genom- mene Pixel %	Nächste benutzte Pixel %	Ausbau- bereich (Durch- messer E) mm	Durch- schnitts- bereich - SM + MM (Durch- messer F) µm	Kern- überstand- Ausgleichs- bereich (Durch- messer CD) mm	Kern- überstands- Anpassungs- konstante R_1 (siehe Anhang E)
x104	MT-04	$2,900 \times 0,675$	3	20	0,140	0,05	0,03	0,03
x108	MT-08	$2,900 \times 0,675$	3	20	0,140	0,05	0,03	0,03
x112	MT-12	$2,900 \times 0,675$	3	20	0,140	0,05	0,03	0,03
x124	MT-24	$2,900 \times 1,160$	3	20	0,140	0,05	0,03	0,03
1002	MiniMT	$0,900 \times 0,675$	3	20	0,140	0,05	0,03	0,03

ANMERKUNG Das x definiert 1 für PPS-Ferrulenwerkstoffe und 2 für duroplastische Werkstoffe; die zweite Ziffer steht für 2,45 mm $\times$ 4,4 mm mit 0 und 2,45 mm $\times$ 6,4 mm mit 1; die letzten zwei Ziffern bezeichnen die Anzahl von Fasern. (IEC 61755-3-31¹⁾, Tabelle 1 und IEC 61755-3-32²⁾.

4 Prüfaufbau

4.1 Allgemeines

Der Prüfaufbau in Bild 2 besteht aus einem geeigneten Ferrulenhalter, einem Positioniertisch und einem dreidimensionalen interferometrischen Oberflächenanalysator, mit dem raue Oberflächen und Höhenstufen untersucht werden können.

4.2 Ferrulenhalter

Der Ferrulenhalter ist eine geeignete Einrichtung, um die Ferrule in einer stationären vertikalen oder horizontalen Lage oder, im Falle von schrägen Ferrulen, einer geneigten Lage zu halten. Es muss eine Methode benutzt werden, die die Achse jeder Führungsbohrung und die senkrecht zu ihnen stehende durchschnittliche Ebene bestimmt. Diese Ebene ist als Bezugsebene P für nachfolgende Messungen zu betrachten.

4.3 Positioniertisch

Der Ferrulenhalter ist an einem Positioniertisch befestigt, mit dem der Ferrulenhalter in die geeignete Position bewegt werden kann. Der Tisch muss starr genug sein, um die Messung der Ferrulenendfläche mit der erforderlichen Genauigkeit zu erlauben.

4.4 Dreidimensionale Interferometrie

Das dreidimensionale Interferometer muss dazu geeignet sein, die Faserhöhen der Ferrulenendfläche mit einer Messunsicherheit von besser als ± 50 nm und die Kernüberstände mit einer Messunsicherheit von besser als ± 20 nm zu messen. Das Interferometer muss aus einer Mikroskopeinheit, einer Oberflächen-datenverarbeitungseinheit und einem Monitor bestehen.

Die Mikroskopeinheit muss aus einem Interferenzmikroskop, einer Phasenschieberstellvorrichtung, einem Bildabtaster und einer Einrichtung zur Bildaufnahme und -verarbeitung bestehen. Das Objektiv des Interferenzmikroskops wird so ausgerichtet, dass es auf die Ferrulenendfläche blickt.

Folgende Parameter des Interferenzmikroskops sind zu kalibrieren:

- optische Vergrößerung des Mikroskops;
- Z-Stellweg der Phasenschieberstellvorrichtung;
- Neigungswinkel des Ferrulenhalters für den Fall einer abgewinkelten Ferrulenbauart.

Die Oberflächendatenverarbeitungseinheit muss die Oberflächenhöheninformationen so verarbeiten, dass die folgenden Parameter gemessen werden können:

- Endflächenwinkel in der X-Achse SX ;
- Endflächenwinkel in der Y-Achse SY ;
- Fehlkoplanarität der Faseranordnung CF ;
- Winkel der Faserebene in der X-Achse GX ;
- Winkel der Faserebene in der Y-Achse GY ;
- Kugelradien der Faserspitzen RF (unter bestimmten Bedingungen, siehe 6.13);

¹⁾ Veröffentlicht in Vorbereitung.

²⁾ Veröffentlicht in Vorbereitung.

- Kernüberstand CD (unter bestimmten Bedingungen, siehe 6.12);
- Geometriegrenzmaß GL ;
- Endflächenradius in der X-Achse RX ;
- Endflächenradius in der Y-Achse RY ;
- Faserüberstand H ;
- Höhendifferenz benachbarter Fasern HA .

Der Monitor muss die gemessenen und berechneten Oberflächenprofile entlang jeder Achse anzeigen.

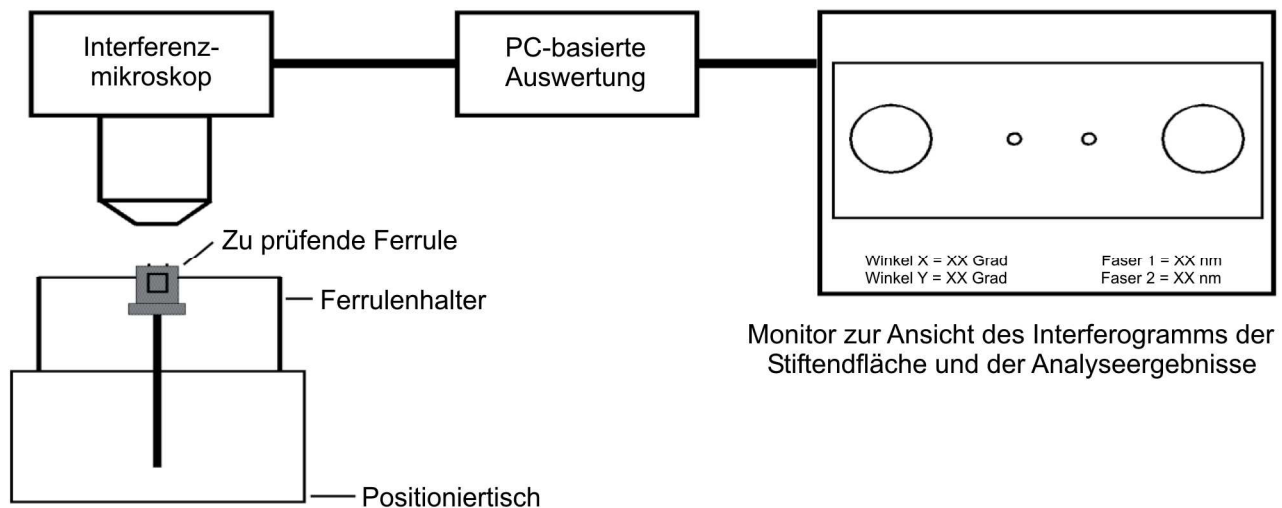
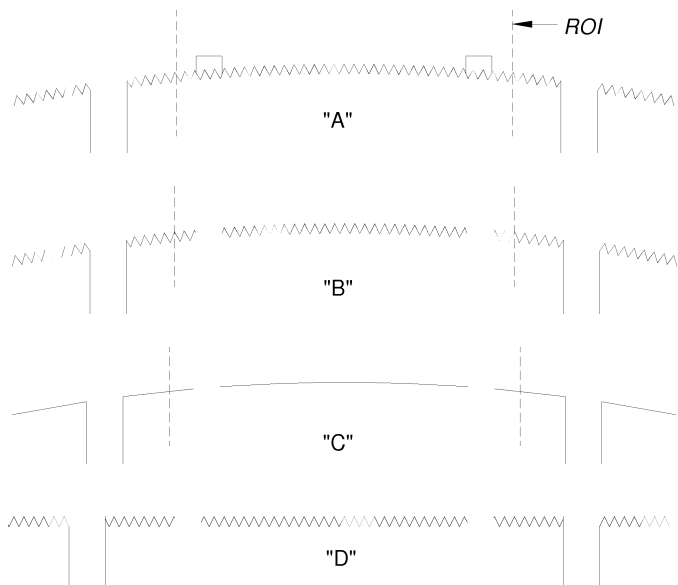


Bild 2 – Messaufbau

5 Prüfverfahren

- Die Ferrule ist so im Ferrulenhalter zu befestigen, dass die Endfläche ausreichend stabil in Bezug auf das Interferometer gehalten wird.
- Das Mikroskop und/oder der Prüfling sind zu fokussieren, bis die Interferenzringe so liegen, dass die Oberfläche abgetastet werden kann.
- Die Ferrulenoberfläche ist aufzuzeichnen. Für die Erzeugung des Datensatzes „A“ sind nur die im ROI enthaltenen Pixel zu verwenden.
- Der Datensatz „B“ ist zu erzeugen, indem die Ausbaubereiche um die Fasern entfernt werden.
- Die Fläche „C“ ist zu erzeugen, indem aus dem Datensatz „B“ eine biparabolische Ausgleichskurve errechnet wird. (Siehe Anhang A für ein empfohlenes Verfahren zur Ausgleichskurvenberechnung.)
- Der Datensatz „D“ ist zu erzeugen, indem die Fläche „C“ vom Datensatz „B“ subtrahiert wird.

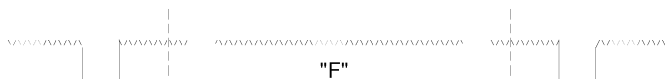


- g) Der Datensatz „E“ ist zu erzeugen, indem die oberen 3 % der Pixel in Datensatz „D“ entfernt werden. Damit werden alle kleinen Punkte entfernt, die im Vergleich zu den anderen extrem hoch sind. Es wird angenommen, dass diese beim Kontakt der Steckverbinder abbrechen.



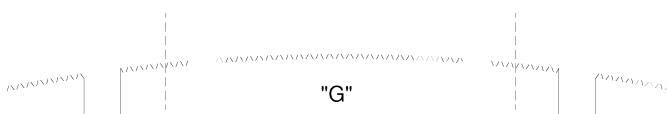
ANMERKUNG Die Punkte werden prozentual aus der gesamten Fläche gewählt, welche Pixel enthält, für die keine Höhen bestimmt werden konnten.

- h) Der Datensatz „F“ ist zu bilden, indem die oberen 20 % der Pixel in Datensatz „E“ identifiziert werden.

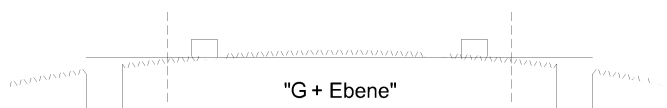


ANMERKUNG Die Punkte werden prozentual aus der gesamten Fläche gewählt, welche Pixel enthält, für die keine Höhen bestimmt werden konnten.

- i) Der Datensatz „G“ ist zu bilden, indem alle Pixel bis auf die in Datensatz „F“ gefundenen Pixel aus Datensatz „A“ entfernt werden.



- j) Aus dem Datensatz „G“ ist eine Ausgleichsebene zu errechnen und diese Ebene zur Berechnung der Winkel SX und SY zu benutzen, wobei Ebene P als Bezugswert verwendet wird. (Siehe Anhang B zu vereinbarten Vorzeichen der Endflächenwinkel.) Die Ausbaubereiche sind wieder „einzufügen“. Die Faserhöhen H sind als Abstand normal zur Fläche an den zugehörigen Fasermittelpunkten zu berechnen. (Siehe Anhang C zur vereinbarten Faserzählweise.) Die angrenzende Höhendifferenz HA ist für jede Faser zu berechnen. HA ist für eine gegebene Faser die größte Höhendifferenz zu den zwei (einzeiliges Ferrulengehäuse) bzw. vier (mehrzeiliges Ferrulengehäuse) benachbarten Fasern.



- k) Aus dem Datensatz „G“ ist eine biparabolische Ausgleichskurve zu errechnen. (Siehe Anhang A für ein empfohlenes Verfahren zur Ausgleichskurvenberechnung.) Die Radien RX und RY der Ferrulenoberfläche sind zu berechnen.

- l) Der Kernüberstand CD (für Mehrmoden- und Einmodenfasern) ist für jede Faser zu bestimmen. Siehe Anhang E für ein ausführliches Verfahren.

Wenn CD einer gegebenen Faser positiv und größer als 10 nm ist, ist CD aufzuzeichnen und der Schritt 6.13 zu überspringen.

Wenn CD einer gegebenen Faser negativ oder kleiner als 10 nm ist, ist CD für diese gegebene Faser nicht aufzuzeichnen und mit Schritt 6.13 fortzufahren.

- m) Der Faserspitzenradius RF einer gegebenen Faser ist zu bestimmen.

Dies erreicht man, indem man eine Ausgleichskugel durch die Oberflächenpunkte des Durchschnittsbereichs berechnet. (Siehe Anhang A für ein empfohlenes Verfahren zur Ausgleichskurvenberechnung.)

Der Radius der Ausgleichskugel wird dann als Faserspitzenradius angenommen.

- n) Die Fehlkoplanarität CF ist zu bestimmen. Siehe Anhang D für ein ausführliches Verfahren.

Die Faserebene wird zur Berechnung der Winkel GX und GY verwendet, wobei das Mittel der

Führungsstiftbohrung als Bezugsgröße benutzt wird. (Siehe Anhang B zu vereinbarten Vorzeichen der Endflächenwinkel).

- o) Wenn CD für mehr als 50 % der Fasern negativ oder kleiner als 10 nm ist, ist das Geometriegrenzmaß GL zu bestimmen, wobei der Median der Werte für RF der Fasern zu benutzen ist, die einen negativen CD aufwiesen.

6 Festzulegende Einzelheiten

- Art der Interferometrie;
- Nennneigungswinkel, z. B. PC/APC;
- jede Abweichung von diesem Verfahren;
- Messunsicherheit.

Anhang A (normativ)

Gleichungen zur Berechnung der Endflächengeometrie

A.1 Angleichung der Ferrulenoberfläche

Die ideale Ferrulenoberfläche, die für Mehrfaser-Steckverbinder berechnet wird, wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$Z = -X^2/(2R_x) - Y^2/(2R_y) + S_x X + S_y Y + C \quad [A.1]$$

Die Koeffizienten für diese Gleichung, die die sich am besten einpassende ideale Oberfläche ergeben, werden durch Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate ermittelt. R_x und R_y sind die Krümmungsradien für eine biparabolische Oberfläche entlang der X-Achse und der Y-Achse: S_x gibt den X-Flächenwinkel und S_y den Y-Flächenwinkel an. C ist die Konstante, die die relative Höhe angibt. Werden die quadratischen Terme auf null gesetzt, ist eine ebene Fläche definiert.

A.2 Angleichung der Faserspitzenradien

Die ideale Oberfläche, die für jede Faserspitze berechnet wird, ist eine Kugel und wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2 = RF^2 \quad [A.2]$$

Die Koeffizienten für diese Gleichung, die die sich am besten einpassende ideale Oberfläche ergeben, werden durch Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate ermittelt. RF ist der Krümmungsradius der Ausgleichskugel. X_0 , Y_0 und Z_0 sind die Koordinaten der Mitte der Ausgleichskugel, die sich nicht notwendigerweise in der Fasermitte befinden müssen (Exzentrizität).