

DIN EN 61755-6-1

ICS 33.180.20

Einsprüche bis 2013-12-11

Ersatz für

E DIN IEC 61755-2-3:2010-08

Entwurf

**Lichtwellenleiter – Verbindungselemente und passive Bauteile –
Optische Schnittstellen von Lichtwellenleiter-Steckverbindern –
Teil 6-1: Verbindung von nicht abgeschrägten Mehrmodenfasern mit
50 µm Kerndurchmesser mit physikalischem Kontakt
(IEC 86B/3659/CD:2013)**

Fibre optic interconnecting devices and passive components –

Fibre optic connector optical interfaces –

Part 6-1: Connection of 50,0 µm multimode, non-angled physically contacting fibres
(IEC 86B/3659/CD:2013)**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2013-10-11 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@din.de 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 im DIN und VDE (Hausanschrift: 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 38 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Leistungsklassen	4
4 Kriterien für die Einordnung in Leistungsklassen	5
4.1 Allgemeines	5
4.2 Dämpfungsstatistiken Verbindung 0	5
4.3 Dämpfungsstatistiken Verbindung 1	6
4.4 Kriterien von Dämpfungsklassen	7
4.5 Kurve für Verbindung 1 für Klasse Bm	8
Anhang A (informativ) Simulation von Dämpfungen für Verknüpfungen von zufälligen Elementen von Mehrmodenfasern im Zusammenhang mit einer konformen Einkopplung mit eingeschlossenem Strahlungsfluss	9
Literaturhinweise	19
 Bilder	
Bild 1 – Systemaufbau mit Darstellung der Verbindungen 0 und 1	5
Bild 2 – Verbindung 0 Statistiken	6
Bild 3 – Dämpfung von Verbindung 1 (Mittelwert und 97%) gegen Versatz von Verbindung 0 (99 %) für Mehrmodenfasern mit Kerndurchmesser 50 µm bei 850 nm	7
Bild 4 – Dämpfung von Verbindung 1 (Mittelwert und 97%) gegen Verbindung 0 Mittelwert der Dämpfung für Mehrmodenfasern mit Kerndurchmesser 50 µm bei 850 nm	7
Bild 5 – Ansprechfläche, welche Kerndurchmesser, numerische Apertur und Versatz in Beziehung zur Dämpfung setzt; Punkte auf oder unterhalb der Oberfläche entsprechen den Anforderungen der Dämpfungsklasse Bm	8
Bild A.1 – Dämpfung Verbindung 0	14
Bild A.2 – Dämpfung Verbindung 1	14
Bild A.3 – Verbindung 0 Auswahlrate	15
Bild A.4 – Dämpfung Verbindung 1 in Bezug zu Dämpfung Verbindung 0	15
Bild A.5 – Statistiken der kumulativen Dämpfung	17
 Tabellen	
Tabelle 1 – Mehrmoden-Dämpfungsklassen bei 850 nm	4
Tabelle 2 – Mehrmoden-Rückflusssdämpfung bei 850 nm für nicht abgeschrägte Aderendhülsen mit physikalischem Kontakt	5
Tabelle 3 – Anforderungen an Eigenschaften von Fasern	7
Tabelle A.1 – Einkopplungsbedingungen Verbindung 0 von 2008	12
Tabelle A.2 – Passende Parameter	15
Tabelle A.3 – Schlussfolgerungen für Klasse Bm	16
Tabelle A.4 – Kumulative Dämpfung gegen Verbindung	16

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 86B/3659/CD:2013 „Fibre optic interconnecting devices and passive components – Fibre optic connector optical interfaces – Part 6-1: Connection of 50,0 µm multimode, non-angled physically contacting fibres“ (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 im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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

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

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen 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.

**Lichtwellenleiter – Verbindungselemente und passive Bauteile –
Optische Schnittstellen von Lichtwellenleiter-Steckverbindern –
Teil 6-1: Verbindung von nicht abgeschrägten Mehrmodenfasern mit 50 µm
Kerndurchmesser mit physikalischem Kontakt**

1 Anwendungsbereich

In diesem Teil der Normenreihe IEC 61755 werden eine Reihe von Bedingungen definiert, die zur Erfüllung der Anforderungen an die Dämpfung und das Rückflusssdämpfungsverhalten von zufällig gesteckten Paaren von Mehrmodenfasern mit 50 µm Kerndurchmesser einzuhalten sind. Um die Werte der zufälligen Dämpfung zu erhalten, ist zunächst die Definition des Referenzdämpfungsverhaltens (Hersteller) unter Bedingungen des eingeschlossenen Strahlungsflusses erforderlich. Sowohl Referenzverbindungen als auch zufällige Verbindungen sind in diesem Dokument festgelegt. Die Dämpfungswerte für zufällige Steckung gelten unter den in IEC 61300-1 festgelegten Bedingungen von Moden geringerer Ordnung bei eingeschlossenem Strahlungsfluss (EF, en: encircled flux). Die Leistungsklassen für zufällige Steckung sind für Dämpfungsmessungen in vier Kategorien und für Rückflusssdämpfungsmessungen in eine Kategorie eingeteilt. Die vorliegende Norm wurde entsprechend der Beschreibung in Anhang A entwickelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 61280-4-1, *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 4-1: Installed cable plant – Multimode attenuation measurement*

IEC/TR 61282-11, *Fibre optic communication system design guides – Part 11: Multimode launch conditions*

IEC 61300-3-34, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-34: Examinations and measurements – Attenuation of random mated connectors*

IEC 60793-2-10, *Optical fibres – Part 2-10: Product specifications – Sectional specification for category A1 multimode fibres*

IEC 61300-3-45, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-45: Examinations and measurements – Attenuation of random mated multi-fibre connectors*

3 Leistungsklassen

In den Tabellen 1 und 2 sind empfohlene Leistungsklassen für zufällig gesteckte, nicht abgeschrägte Fasern mit Kontakt angegeben. Die Leistungsklassen bezüglich der Rückflusssdämpfung gelten nur für Fasern mit Kontakt.

Tabelle 1 – Mehrmoden-Dämpfungsklassen bei 850 nm

Klasse	Dämpfung ≥ 97 %	Dämpfung (Mittelwert)
Am	Nicht definiert zu dieser Zeit	Nicht definiert zu dieser Zeit
Bm	0,6 dB	0,30
Cm	1,0 dB	0,50

Tabelle 2 – Mehrmoden-Rückflussdämpfung bei 850 nm für nicht abgeschrägte Aderendhülsen mit physikalischem Kontakt

Klasse	Rückflussdämpfung dB (gesteckt)
1m	≥ 20

4 Kriterien für die Einordnung in Leistungsklassen

4.1 Allgemeines

Das nachstehende Schema zeigt die zwei wesentlichen Verbindungen in der Normenreihe IEC 61755-5. Die erste Verbindung, Verbindung Null (0), repräsentiert die Werksmessung gegen einen Stecker des Referenzsteckverbinders. Die Faser in diesem Steckverbinder (A) sollte einen Kerndurchmesser von $50 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ und eine numerische Apertur (NA) von $0,200 \pm 0,003$ aufweisen. Die zweite Verbindung, Verbindung Eins (1), repräsentiert die zufällige Verbindung. Wie nachstehend dargestellt, wird für Verbindung 0 ein Stecker der Referenzklasse für Steckverbinder verwendet, welcher auf eine Nennfaser montiert ist. Die „B“-Seite von Verbindung 0 ist eine zufällige Faser in einem zufälligen Stecker. Beide Seiten von Verbindung 1 sind für alle drei Parameter (seitlicher Versatz, numerische Apertur (NA) und Kerndurchmesser (en: core diameter, CD) zufällig. Die Einkopplung zu Verbindung 1 ist zufällig und hängt davon ab, wie die EF-Einkopplung von Steckverbinder A geändert wird, wenn sie zu Steckverbinder B durchgeht.

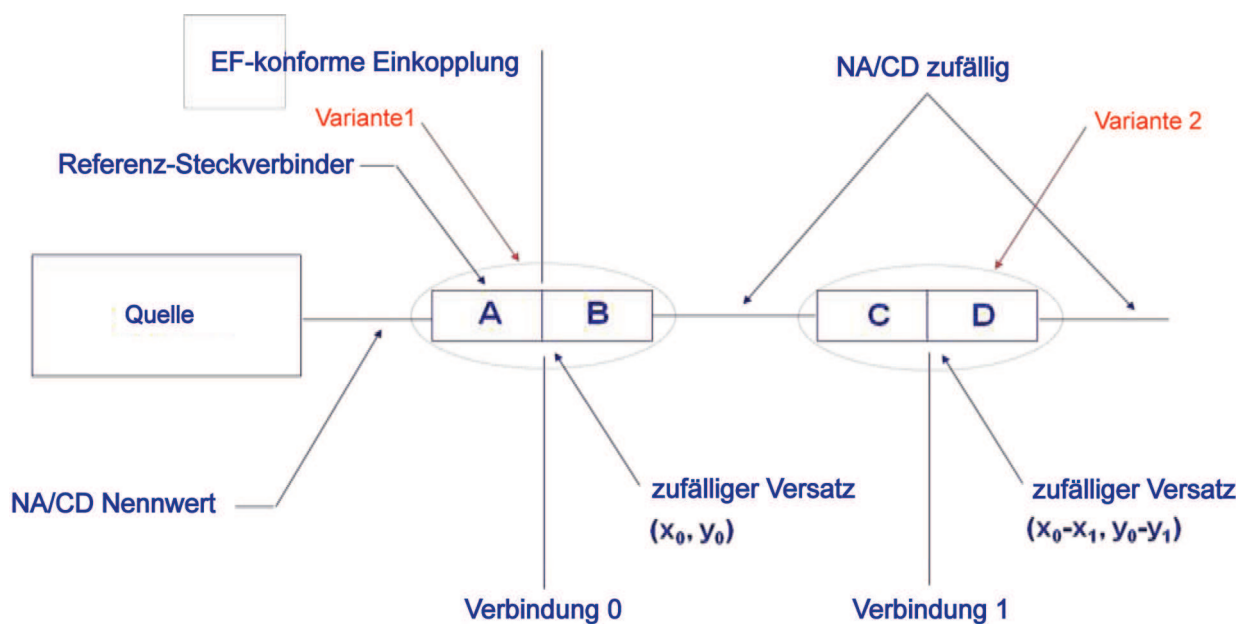


Bild 1 – Systemaufbau mit Darstellung der Verbindungen 0 und 1

4.2 Dämpfungsstatistiken Verbindung 0

Die an Verbindung 0 gemessenen Dämpfungswerte sind auf einen Höchstwert von 0,50 dB bei 850 nm begrenzt. Auf dieser Grundlage können die Kurven für Dämpfungswerte für Verbindung 0 in Bild 2 gefunden werden. Dieser Graph basiert auf einer 5000 Verknüpfungen Monte Carlo Simulation.

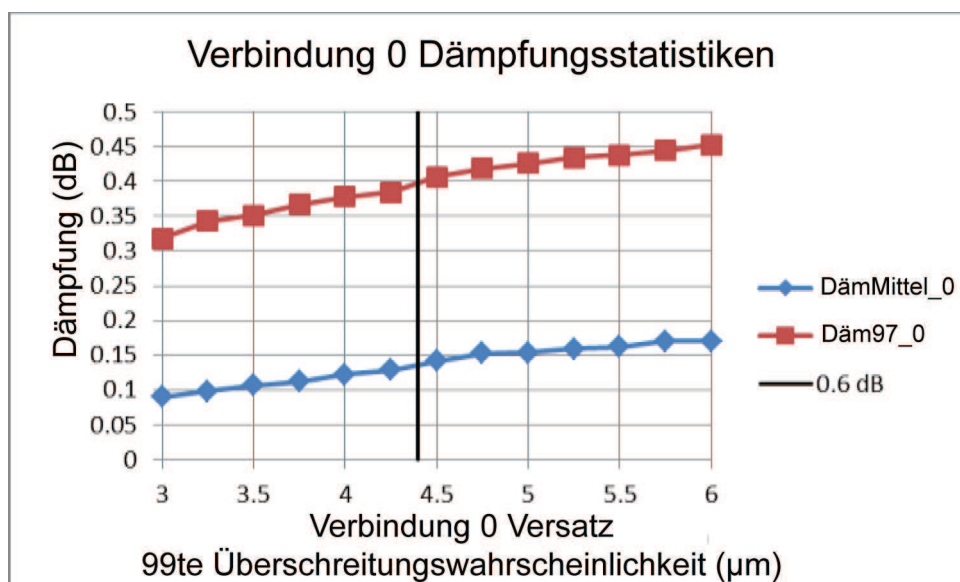


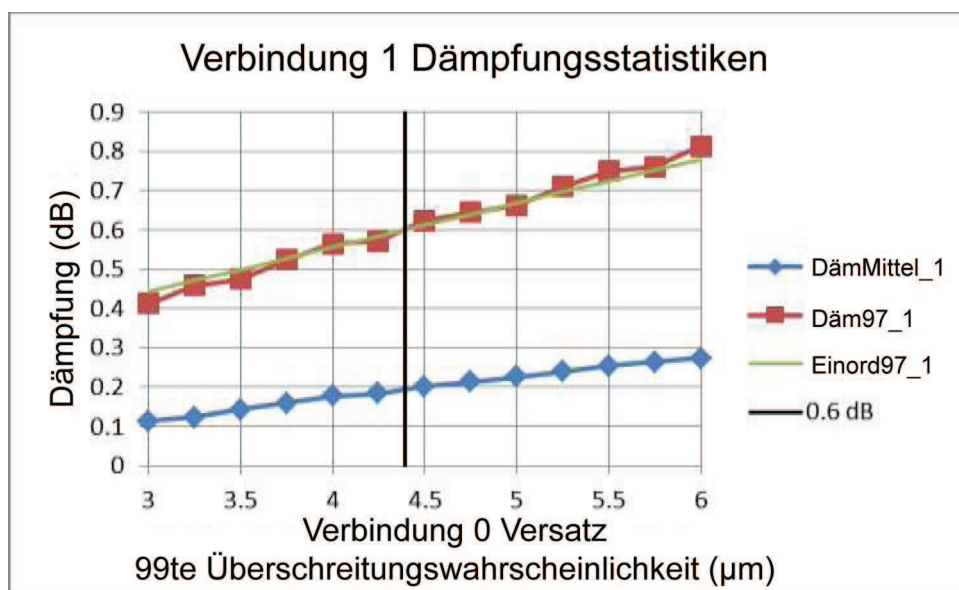
Bild 2 – Verbindung 0 Statistiken

4.3 Dämpfungsstatistiken Verbindung 1

Die folgenden Bilder und Tabellen geben die Kriterien zur Einhaltung der in den Tabellen 1 und 2 aufgelisteten Leistungsklassen an. Die für die Definition von Kriterien gewählten Parameter basieren auf dem Stellenwert der Auswirkung auf das in Prüfung befindliche Betriebsverhalten. Die gewählten Kriterien basieren auf dem theoretischen Modell.

Die in Bild 3 dargestellte Kennlinie zeigt den höchstzulässigen Wert für den seitlichen Versatz bei Verbindung 1 für die 97te Überschreitungswahrscheinlichkeit des Kerndurchmessers (CD) und der numerischen Apertur (NA) für Verbindungen C und D. Bild 4 zeigt den Mittelwert und Dämpfung der 97ten Überschreitungswahrscheinlichkeit gegen Versatzverhalten für Verbindung 1.

Die Kurven werden erzeugt, indem zuerst ein Durchlauf einer Monte-Carlo-Simulation an Verbindung 0 ausgeführt wird. Dabei wird der Einkopplungs-Steckverbinder gegen einen Stecker mit zufälliger/em (NA), Kerndurchmesser (CD) und Versatz verwendet. Die Standardabweichungen des Kerndurchmessers (CD) und der numerischen Apertur (NA) wurden anhand der 3-Sigma-Eigenschaft festgesetzt. Diese Grundgesamtheit wird bei 0,5 dB gekürzt, um die Einschränkungen der Verteilung von Verbindung Eins zu verringern. Aus dieser Monte-Carlo-Simulation erhält man eine Gesamtheit von Einkopplungen für die Erzeugung der Dämpfungsgesamtheit der Verbindung Eins. An Verbindung Eins haben beiden Stecker zufällige/n CD, NA und Versatz. Dämpfungen werden erzeugt, indem an Verbindung 1 eine Monte-Carlo-Simulation unter Verwendung der modalen Leistungsverteilungen, welche aus der Verteilung 0 kommen, durchgeführt wird.



ANMERKUNG Die zur Erzeugung dieser Darstellung verwendete Excel-Datei wird zusammen mit Verkaufsexemplaren dieses Dokuments geliefert.

Bild 3 – Dämpfung von Verbindung 1 (Mittelwert und 97%) gegen Versatz von Verbindung 0 (99 %) für Mehrmodenfasern mit Kerndurchmesser 50 µm bei 850 nm

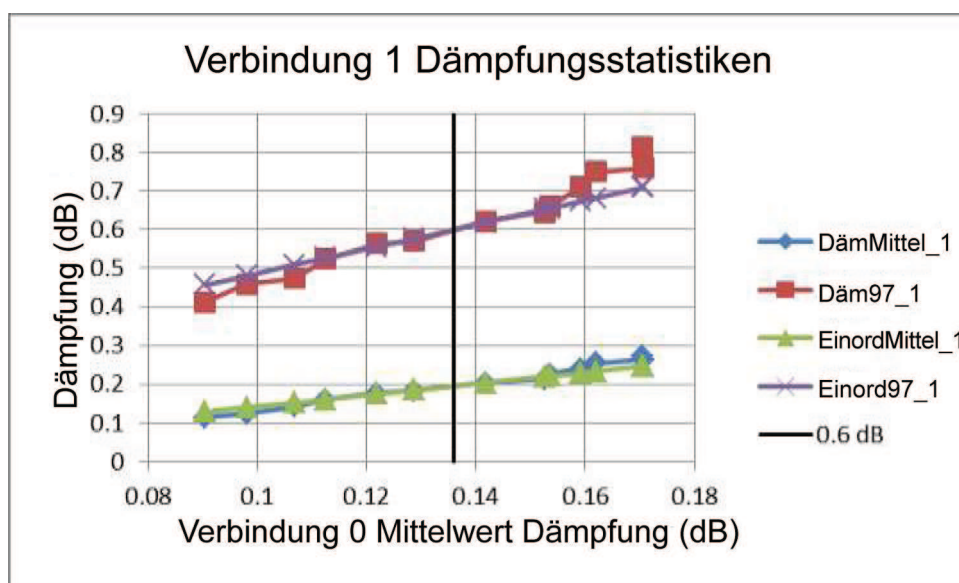


Bild 4 – Dämpfung von Verbindung 1 (Mittelwert und 97%) gegen Verbindung 0 Mittelwert der Dämpfung für Mehrmodenfasern mit Kerndurchmesser 50 µm bei 850 nm

4.4 Kriterien von Dämpfungsklassen

Tabelle 3 – Anforderungen an Eigenschaften von Fasern

Fasertyp	Kerndurchmesser (µm)		Numerische Apertur (NA)	
	Geringstwert	Höchstwert	Geringstwert	Höchstwert
50 µm MMF	47,5	52,5	0,185	0,215

4.5 Kurve für Verbindung 1 für Klasse Bm

Die nachstehende Gleichung und der zugehörige Graph zeigen, wie seitlicher Versatz (δ), NA und Kerndurchmesser (CD) abweichen, und trotzdem noch zur Klasse Bm gehören können.

$$\delta = -1604,084 + 41,838 \times CD + 12640,219 \times NA - 5,181 \times 10^{-1} \times CD^2 - 42251,161 \times NA^2 +$$

$$2,523 \times 10^{-3} \times CD^3 + 50276,123 \times NA^3 - 146,769 \times CD \times NA + 6,391 \times 10^{-1} \times$$

$$CD^2 \times NA + 202,813 \times CD \times NA^2$$

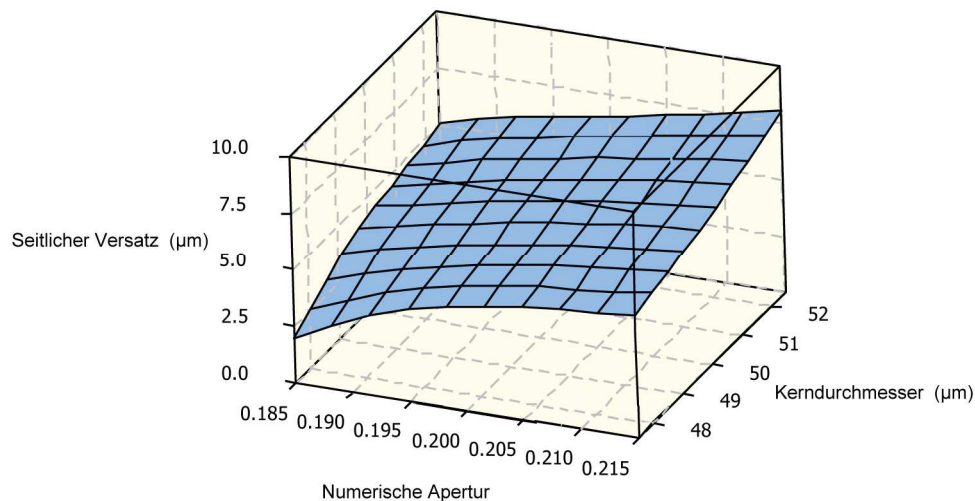


Bild 5 – Ansprechfläche, welche Kerndurchmesser, numerische Apertur und Versatz in Beziehung zur Dämpfung setzt; Punkte auf oder unterhalb der Oberfläche entsprechen den Anforderungen der Dämpfungsklasse Bm

Anhang A (informativ)

Simulation von Dämpfungen für Verknüpfungen von zufälligen Elementen von Mehrmodenfasern im Zusammenhang mit einer konformen Einkopplung mit eingeschlossenem Strahlungsfluss

A.1 Einleitung

IEC 61300-3-34 definiert eine Prüfung der Dämpfung bei zufälliger Steckung, diese umfasst:

- Verbinden einer zufälligen Faser zur Einkopplung;
- Messen der Ausgangsleistung;
- Verbinden einer anderen Faser mit der ersten Faser;
- Messen der Ausgangsleistung der zweiten Faser;
- Berechnen der Dämpfung (dB) aus dem Verhältnis der Leistungen der zweiten zur ersten Faser.

IEC 61280-4-1 legt die Prüfverfahren für Dämpfung von in Verkabelung installierten Mehrmodenfasern fest. Dies umfasst Anforderungen für die Einkopplungsbedingungen bezüglich von Grenzwerten des eingeschlossenen Strahlungsflusses (EF). Wenn sich der EF den unteren Grenzwerten nähert, steigt die gemessene Dämpfung der Verkabelung. Wenn der EF sich den unteren Grenzwerten nähert, tritt das Gegenteil ein.

Die Theorie und Methodologie, welche zu den EF-Grenzwerten führen, sind in IEC 61282-11 dokumentiert. Schlüsselaspekte davon werden in diesem Anhang behandelt.

Der Normentwurf IEC 61755-5 zu Schnittstellen von Mehrmodenfasern legt die Klassen von Verbindungssteckern fest, von welchen Bm eine ist. (in Betrachtung)

Diese Klasse ist teilweise durch die Statistik der Verbindungsdämpfungen definiert, welche erreicht würden, wenn Verbindungsstecker dieser Klasse verwendet würden. Die Dämpfungsstatistiken sind der Mittelwert und die 97te Überschreitungswahrscheinlichkeit, mit Grenzwerten von 0,30 dB beziehungsweise 0,60 dB. Diese Statistiken müssen mindestens die zufälligen Auswirkungen von Kerndurchmesser (CD) und numerischer Apertur (NA) und Verbindungsversatz umfassen.

Im Jahr 2008 wurden Monte-Carlo-Simulationen für die Verbindung 0 durchgeführt, wobei zufällige CD und NA mit Gaußscher Form für jeden Wert einer Anzahl von Versatzwerten angenommen wurden. Die Standardabweichungen von CD/NA wurden auf 3-Sigma-Fähigkeit gegen die Standardfestlegung von $\pm 2,5 \mu\text{m}$ beziehungsweise $\pm 0,015$ eingestellt. Dies wurde sowohl für den angestrebten eingeschlossenen Strahlungsfluss als auch für Einkopplungen in der Nähe der oberen und unteren Grenzwerte vorgenommen, wobei eine Spektralbreite der Quelle von 50 nm angenommen wurde. Gleichzeitig wurden Dämpfung der Verbindung 0 gegen alle Permutationen von CD, NA und Versatz innerhalb bestimmter Grenzen und Datendichten berechnet, und in einer Reihe von Dateien tabellarisiert, welche für alle Anzahlen von Beziehungen analysiert werden könnten.

Von Interesse ist die Dämpfung von Verbindung 1. Die Beziehung der Dämpfung bei Verbindung 0 zur Dämpfung bei Verbindung 1 ist auch von Interesse, weil Werksmessungen üblicherweise bei Verbindung 0 durchgeführt werden. Vorausgesetzt, dass die meisten Verkabelungen mehrere Verbindungen umfassen, ist auch die kumulative Gesamtdämpfung über n Verbindungen von Interesse, da einige Geräte bezüglich des Gesamtbeitrags der Verbindung zur Gesamtdämpfung spezifiziert sind.

Ein deterministischer Ansatz auf der Grundlage der Tabellen der Dämpfung in Abhängigkeit von CD, NA und Versatz könnte als nützlich erachtet werden. Dieser Ansatz weist jedoch bestimmte Einschränkungen auf. Die wesentliche Einschränkung besteht darin, dass die Dämpfung von Verbindung 1 (nicht zu erwähnen Verbindung n) eine nicht lineare Beziehung zur Dämpfung von Verbindung 0 hat. Eine EF-konforme Einkopplung vorausgesetzt, welche bezüglich der Gewichte von Modengruppen definiert ist, tragen

CD/NA/Versatz bei Verbindung 0 zur Dämpfung bei, ändern aber auch die Gewichte der Modengruppe von Faser 0. Sie ändern die Einkopplung in Verbindung 1 und folglich wird die Dämpfung von Verbindung 1 auch geändert.

Unter der Annahme, dass CD/NA/Versatz-Werte beider Verbindungen in den Tabellen für eine einzelne EF-Einkopplung mit 25 diskreten Werten für jeden Parameter (6 Parameter) wiedergegeben werden, wäre eine Gesamtmenge von $2,44 \times 10^8$ Permutationen erforderlich. Dies ist eine übermäßige Menge von Berechnungen, welche auf den meisten Computern einige Monate erfordern würden.

Eine zweite Einschränkung des deterministischen Ansatzes ist es, dass er nicht zur Identifizierung der Dämpfungen von Verbindung 1 führt – durch welche die Anforderungen für Verbinder der Klasse Bm angegeben werden. Mit der Voraussetzung von Annahmen für die Verteilungen von CD, NA und Versatz könnte der deterministische Ansatz jedoch genutzt werden, um die Monte-Carlo-Simulation für bestimmte Annahmen zu vervollständigen. Bei sechs gegebenen Vektoren von Parameterwerten, ist eine sechsdimensionale Interpolation der Tabellen vorstellbar, aber dies ist ebenfalls nicht trivial.

Selbst wenn eine Reihe deterministischer Tabellen und ein Verfahren zur Durchführung einer Monte-Carlo-Simulation mit diesen gegeben sind, bleiben Fragen, wie die Folgenden:

- Welcher ist der zulässige Versatz von Verbindung 0?;
- Welche ist die zulässige Dämpfung von Verbindung 0?;
- Diese Fragen können nur beantwortet werden durch das Aufstellen von Annahmen zu:
- Der Verteilung von CD und NA.
- Einer Annahme bezüglich der Leistungsverteilung der Modengruppen der Einkopplung.
- Einer Annahme bezüglich Form/Art der Versatzverteilung.

Dieser Anhang gibt die Ergebnisse der Durchführung einer Reihe von Monte-Carlo-Simulationen mit dem Ziel wieder, eine Bestimmung dazu durchzuführen, welche Versatzverteilung bei Verbindung 0 erforderlich ist, um ein Betriebsverhalten entsprechend Klasse Bm für eine Verbindung 1 zu erreichen. Als eine Folge ergeben sich zugehörige Grenzwerte zu den Statistiken der Dämpfung bei Verbindung 0.

Die Annahmen sind:

- 1) CD/NA sind Gaußsche Zufallsvariablen mit einer Standardabweichung gleich 1/3 der Grenzabweichung der spezifischen Standardabweichung.
- 2) Die Leistungsverteilung der Modengruppen der Einkopplung ist jene, welche nahe dem unteren EF-Grenzwert liegt.

Die Versatzverteilung von Verbindung 0 ist eine Raleigh-Verteilung, oder die Quadratwurzel der Summe der Quadrate von zwei unabhängigen Gaußschen Zufallsvariablen, welche als x/y-Verschiebungen des optischen Mittelpunkts innerhalb von Steckverbinder B gegenüber dem optischen Mittelpunkt des Einkopplungs-Referenzsteckverbinders (Steckverbinder A) anzunehmen sind.

Zusätzlich gibt es die Annahme, dass alle Faser/Steckverbinder-Paare bezüglich Verbindung 0 untersucht wurden. Paare mit einer Dämpfung größer als 0,5 werden aus der Monte-Carlo-Simulation herausgenommen. Das heißt, die Kombination einer Nennfaser 0 und eines zufälligen Steckverbinders B muss weniger oder gleich 0,5 dB sein, und die Kombination der gleichen Nennfaser 0 mit einem zufälligen Steckverbinder C muss ebenfalls weniger oder gleich 0,5 dB sein. Dies wird erreicht, indem der Ringversuch in zwei Stufen durchgeführt wird:

- 3) Voruntersuchung für eine große Anzahl von B/Faser 0/C-Kombinationen, welche die Dämpfungsspezifizierung sowohl in Richtung B/Faser 0/C als auch in Richtung C/Faser 0/B bestehen.
- 4) Zufällige Auswahl von in Schritt 1 gefundenen Instanzen zur Schaffung von Verknüpfungen.

Für jede Monte-Carlo-Simulation werden 4 000 endgültige Verknüpfungen geschaffen, wobei eine Grundgesamtheit von 5 000 Elementen von Schritt 1 verwendet wird.

Einzelheiten bezüglich Berechnungen der Versatzdämpfung:

Hier werden einige Einzelheiten wiedergegeben, welche ebenfalls in IEC/TR 61282-11 zu finden sind.

Verbindungen können durch das Erstellen von Überlappungsintegralen von jeder Eingangsmoden zu jeder Ausgangsmoden simuliert werden. Für eine einzelne Wellenlänge ergibt dies eine Matrix, welche die Gruppenleistung der Eingangsmoden auf die Gruppenleistung der Ausgangsmoden abbildet. Die Gesamtleistung ist die Summe der Leistungen der Modengruppen. Das Verhältnis von Gesamtleistungen wird verwendet, um die Dämpfung zu berechnen. Zum Zweck der Berechnung von Überlappungsintegralen entsprechen Moden der Form Hermite-Gauß.

Wenn die Gruppenleistungen der Ausgangsmoden auf eine Summe von Eins normalisiert werden, können diese verwendet werden, um den eingeschlossenen Strahlungsfluss unter Verwendung der Form Laguerre-Gauß für Modengruppen zu berechnen.

Auf der Ebene der Modengruppen sind diese beiden Formen gleichwertig.

Quellen mit erweitertem Spektrum werden durch eine Sammlung von 19 diskreten monochromatischen Wellenlängen simuliert, welche der Wurzel-Kosinus-Form über eine zentrale Wellenlänge entsprechen. Jede dieser Wellenlängen hat ihre eigene Sammlung von Moden, Modengruppen und Beitrag zur Leistungsabweichung und eingeschlossenem Strahlungsfluss. Gesamtausgangsleistung und eingeschlossener Strahlungsfluss sind gewichtete Gesamtwerte über die Wellenlänge. Die Breite des Spektrums ist mit der Halbwertsbreite (FWHM) festgelegt, was der Hälfte der vollen Breite entspricht. Die Grenze der diskreten Wellenlängen liegt bei $\pm 0,9$ der vollen Breite.

Kurven von eingeschlossenen Strahlungsflüssen von Einkopplungen werden simuliert, indem eine Verknüpfung einer Anzahl von Verbindungen vorgenommen wird, wobei jede einen vorgegebenen seitlichen Versatz zwischen den optischen Mittelpunkten hat. Die Faserparameter für 50- μm -Fasern sind in Bezug auf die Parameter der Nahfeld-Brechung (en: Refracted-Near-Field, RNF) des quadratischen Modells angegeben: Kernradius, a , und relative Höhe Δ , welche als Wellenlängen angenommen werden, die über das Spektrums unveränderlich sind. Die angenommenen Werte sind 25 μm beziehungsweise 0,01.

Wie erwähnt, hat jede diskrete Wellenlänge ihre eigenen Moden. Das Eingangslicht für die Verknüpfung, welches eine Einkopplung definiert, wird für jede Wellenlänge als überbesetzt angenommen. Das heißt, jede Mode der Wellenlänge hat zu Beginn der Verknüpfung die gleiche Eingangsleistung.

Die EF-Grenzwerte wurden auf der Grundlage der Betrachtung der Abweichung der Dämpfung von mehreren simulierten installierten Verkabelungsbeispielen, bei Berücksichtigung einer großen Anzahl von möglichen Einkopplungen, ausgewählt. Diese simulierten Verkabelungsabschnitte sind auch bezüglich der Verknüpfungen von Versatzverbindungen mit Fasern definiert, welche durch die gleichen RNF-Parameter definiert sind wie die Einkopplungsfaser.

Es ist möglich, dass die endgültigen EF-Grenzwerte „nicht repräsentativ“ für jede einzelne Einkopplung sind, weil es Wechselwirkungen zwischen den EF-Steuerradien und einer gegebenen Einkopplung gibt. Eine Einkopplung könnte geringfügig höher als 22 μm liegen und eine andere geringfügig niedriger als 20 μm .

Die Einkopplungen, welche verwendet werden, um die Monte-Carlo-Simulation für Verbindung 0 und deterministische Tabellen von 2008, zusammenhängend mit unterem Grenzwert, Zielwert und oberem Grenzwert von EF zu vervollständigen, befinden sich in Tabelle A.1. Die tatsächlichen EF-Grenzwerte wurden nach dieser Arbeit geändert, wodurch die Einkopplung $6 \times 1,81 \mu\text{m}$ geringfügig über dem endgültigen Grenzwert bei 22 μm und geringfügig unter dem endgültigen Grenzwert bei 20 μm liegt. Die Werte sind 0,9709 beziehungsweise 0,9084. Diese Einkopplung wird bei der hier dargestellten Monte-Carlo-Simulation verwendet. Eine Einkopplung, welche näher an den tatsächlichen oberen EF-Grenzwerten liegt, als jenen in Tabelle 1, entspricht $6 \times 5,0 \mu\text{m}$.

Tabelle A.1 – Einkopplungsbedingungen Verbindung 0 von 2008

EF-Grenzwert	Verbindungen	Versatz (µm)
Unterer	6	1,81
Ziel	6	2,44
Oberer	9	2,51

Die Hermite-Gauß-Funktionen (HG) sind orthogonale Polynome mit einer Wurzelfunktion, welche eine Gaußsche Form hat. Die Funktionen sind das Produkt von Polynomen und der Gaußschen Wurzel. Überlappungsintegrale können unter Verwendung der Gaußschen Quadratur vervollständigt werden. Die HG-Funktionen schließen auch einen Skalierungsfaktor ein. Für die in der Simulation verwendeten optischen Moden ist der Skalierungsfaktor sowohl eine Funktion der RNF-Parameter und Δ , als auch der Wellenlänge.

Bei einer Verbindung zwischen zwei Fasern unterschiedlicher Abmessungen unterscheidet sich der Skalierungsfaktor für die Eingangsmoden vom Skalierungsfaktor der Ausgangsmoden. [Diese Skalierungsfaktoren sind auch von der Wellenlänge abhängig.] Die Anwendung der Gaußschen Quadratur in Kombination mit einer „closing the square“ genannten Technik können die Überlappungsintervalle unter Verwendung von Berechnungen erstellt werden, die dem sehr ähnlich sind, was im Fall von gleichen Skalierungsfaktoren auf beiden Seiten einer Verbindung angewendet wird.

Die Überlappungsintegrale müssen vorsichtig erstellt werden, weil es unterschiedliche Anzahlen von Modengruppen für die Eingangs- und die Ausgangsfasern geben kann, und diese Anzahlen ebenfalls in der Wellenlänge abweichen können.

Die Anforderung der Monte-Carlo-Simulation bezieht sich auf Kerndurchmesser und numerische Apertur, welche optische Parameter sind, die mit erweitertem Spektrum gemessen wurden. Das Modenmodell wird mit den RNF-Parametern spezifiziert. Um die optischen Parameter von den RNF-Parametern zu erhalten, wurde ein Bereich von RNF-Parametern untersucht. Die Werte jedes Paares ergeben ein Nahfeld-Profil, welches die gewichtete Summe der Nahfelder für jede Wellenlänge ist. Dieses Nahfeld kann für Kerndurchmesser (oder optischen Kernradius) beurteilt werden.

Nach Grau [1] kann das Fernfeld aus dem Nahfeld berechnet und für numerische Apertur beurteilt werden. Die Gleichung für das Fernfeld ist in Gleichung (1) angegeben.

$$Q(\theta) = \cos(\theta) I \left[\frac{a}{n_{Kern}(2\Delta)^{1/2}} \sin(\theta) \right] \quad (1)$$

Dabei ist Q das Fernfeld und I das Nahfeld.

Der Kernradius, basierend auf der 2,5 %-Schwelle, und die numerische Apertur, basierend auf der 5 %-Schwelle werden unter Verwendung der Gleichungen (2) und (3) aus den RNF-Parametern abgebildet.

$$NA = -0,005\,94 + 2,080\,786 \times \Delta^{1/2} \quad \sigma = 1,46\text{E-}04 \quad (2)$$

$$CR025 = 0,620\,038 + 0,978\,033 \times (a - 21,489\,3) \times \Delta \quad \sigma = 0,01 \quad (3)$$

A.2 Versatzverteilung

Vom Versatz an Verbindung 0 wird angenommen, dass er aufgrund eines zweidimensionalen Verschiebungsvektors im Steckverbinder B gegenüber dem optischen Mittelpunkt im Einkopplungs-Referenzsteckverbinder (A) vorliegt. Dieser Verschiebungsvektor wird als ein Paar von unabhängigen Gaußschen Zufallsvariablen angenommen, mit einem gemeinsamen Mittelwert, 0, und einer gemeinsamen Standardabweichung σ . Die Verschiebungsverteilung für Steckverbinder C, D und alle anderen, wird als gleich der Verteilung von Steckverbinder B angenommen.