

	DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888-248)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 33.180.10 Ersatz für DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888-248):2008-05 Siehe Anwendungsbeginn Lichtwellenleiter – Teil 1-48: Messmethoden und Prüfverfahren – Polarisationsmodendispersion (IEC 60793-1-48:2017); Deutsche Fassung EN 60793-1-48:2017 Optical fibres – Part 1-48: Measurement methods and test procedures – Polarization mode Dispersion (IEC 60793-1-48:2017); German version EN 60793-1-48:2017 Fibres optiques – Partie 1-48: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion de mode de polarisation (IEC 60793-1-48:2017); Version allemande EN 60793-1-48:2017 Gesamtumfang 52 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2017-09-27 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2018-07-01.

Für **DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888-248):2008-05** besteht eine Übergangsfrist bis 2020-09-27.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888-248):2017-02.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 412.6 „Lichtwellenleiter und Lichtwellenleiterkabel“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 86A „Fibres and cables“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888-248):2008-05** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Diese Ausgabe stellt eine technische Überarbeitung der **DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888-248):2008-05** dar.
- b) Es wurden in **Abschnitt 3** Symbole und Abkürzungen mit entsprechenden Erklärungen in die Norm aufgenommen.
- c) An vielen Stellen wurde der Text ergänzt und redaktionell überarbeitet. So werden z. B. bisher nicht beschriebene Abkürzungen erklärt oder weitere erklärende Sätze hinzugefügt.
- d) Der **Abschnitt 7** wurde von Durchführung in Verfahren umbenannt und damit die Überschrift an die anderen Normen der Reihe angepasst.

Frühere Ausgaben

DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888-248): 2004-06, 2008-05

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnietsnummer, 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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60793-1-1	IEC 60793-1-1	DIN EN 60793-1-1 (VDE 0888-200-1)	VDE 0888-200-1
–	IEC/TR 61292-5	–	–
EN 60793-1-44	IEC 60793-1-44	DIN EN 60793-1-44 (VDE 0888-244)	VDE 0888-244
EN 60793-1-50	IEC 60793-1-50	DIN EN 60793-1-50 (VDE 0888-250)	VDE 0888-250
EN 60793-2-50	IEC 60793-2-50	DIN EN 60793-2-50 (VDE 0888-325)	VDE 0888-325
EN 60794-3	IEC 60794-3	DIN EN 60794-3 (VDE 0888-108)	VDE 0888-108
–	IEC 61280-4-4	–	–
EN 61290-11-1	IEC 61290-11-1	DIN EN 61290-11-1	–
EN 61290-11-2	IEC 61290-11-2	DIN EN 61290-11-2	–
EN 61300-3-32	IEC 61300-3-32	DIN EN 61300-3-32	–
–	IEC/TR 61282-3	–	–
–	IEC/TR 61282-9	–	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60793-1-1 (VDE 0888-200-1), *Lichtwellenleiter – Teil 1-1: Messmethoden und Prüfverfahren – Allgemeines und Leitfaden*

DIN EN 60793-1-44 (VDE 0888-244), *Lichtwellenleiter – Messmethoden und Prüfverfahren – Teil 1-44: Grenzwellenlänge*

DIN EN 60793-1-50 (VDE 0888-250), *Lichtwellenleiter – Teil 1-50: Messmethoden und Prüfverfahren – Feuchte Wärme (konstant)*

DIN EN 60793-2-50 (VDE 0888-325), *Lichtwellenleiter – Teil 2-50: Produktspezifikationen – Rahmenspezifikation für Einmodenfasern der Kategorie B*

DIN EN 60794-3 (VDE 0888-108), *Lichtwellenleiterkabel – Teil 3: LWL-Außenkabel – Rahmenspezifikation*

DIN EN 61290-11-1, *Prüfverfahren für Lichtwellenleiter-Verstärker – Teil 11-1: Polarisationsmodendispersionsparameter – Jones-Matrix-Eigenanalyse (JME)*

DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888-248):2018-07

DIN EN 61290-11-2, *Prüfverfahren für Lichtwellenleiter-Verstärker – Teil 11-2: Polarisationsmodendispersion – Kugelanalyse nach Poincaré*

DIN EN 61300-3-32, *Lichtwellenleiter – Verbindungselemente und passive Bauteile – Grundlegende Prüf- und Messverfahren – Teil 3-32: Untersuchungen und Messungen – Messung der Polarisationsmodendispersion für passive optische Bauteile*

Deutsche Fassung

**Lichtwellenleiter –
Teil 1-48: Messmethoden und Prüfverfahren –
Polarisationsmodendispersion
(IEC 60793-1-48:2017)**

Optical fibres –
Part 1-48: Measurement methods and test
procedures –
Polarization mode Dispersion
(IEC 60793-1-48:2017)

Fibres optiques –
Partie 1-48: Méthodes de mesure et procédures
d'essai –
Dispersion de mode de polarisation
(IEC 60793-1-48:2017)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2017-09-27 angenommen. CENELEC-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 CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

© 2017 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60793-1-48:2017 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 86A/1678/CDV, zukünftige 3. Ausgabe der IEC 60793-1-48, erarbeitet vom SC 86A „Fibres and cables“ des IEC/TC 86 „Fibre optics“ wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 60793-1-48:2017 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2018-06-27
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2020-09-27

Dieses Dokument ersetzt **EN 60793-1-48:2007**.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60793-1-48:2017 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60793-1-44	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60793-1-44 .
IEC 60793-1-50	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60793-1-50 .
IEC 60793-2-50	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60793-2-50 .
IEC 60794-3	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60794-3 .
IEC 61280-4-4	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61280-4-4 .
IEC 61290-11-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61290-11-1.
IEC 61290-11-2	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61290-11-2.
IEC 61300-3-32	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61300-3-32.

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort	2
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	7
3.1 Begriffe	7
3.2 Symbole und Abkürzungen	7
4 Allgemeines	9
4.1 Verfahren zur Messung der PMD	9
4.2 Referenzprüfverfahren	12
4.3 Gültigkeit	12
5 Prüfeinrichtung	13
5.1 Allgemeines	13
5.2 Lichtquelle und Polarisatoren	13
5.3 Eingangsoptik	13
5.4 Eingangspositioniereinrichtung	13
5.5 Mantelmodenabstreifer	13
5.6 Filter für Moden höherer Ordnung	14
5.7 Ausgangspositioniereinrichtung	14
5.8 Ausgangsoptik	14
5.9 Empfänger	14
5.10 Berechnungseinrichtung	14
6 Probenahme und Prüfstücke	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Länge des Prüfstücks	15
6.3 Einsatz	15
6.3.1 Allgemeines	15
6.3.2 Unverkabelte Faser	15
6.3.3 LWL-Kabel	16
7 Verfahren	16
8 Berechnung und Auswertung der Ergebnisse	16
9 Dokumentation	16
9.1 Angaben, die bei jeder Messung vorzulegen sind	16
9.2 Angaben, die auf Anfrage vorzulegen sind	16
10 Spezifikationsangaben	17
Anhang A (normativ) Spezifische Anforderungen für das Verfahren A – Messverfahren mit Festanalysator	18
A.1 Prüfeinrichtung	18

A.1.1	Blockschaltbilder.....	18
A.1.2	Lichtquelle	18
A.1.3	Analysator.....	19
A.2	Verfahren.....	19
A.2.1	Wellenlängenbereich und Zuwachs	19
A.2.2	Durchführung der Abtastungen	20
A.3	Berechnungen	21
A.3.1	Ansätze zur Berechnung der PMD.....	21
A.3.2	Extremwertzählung.....	21
A.3.3	Fouriertransformation	22
A.3.4	Kosinus-Fourieranalyse.....	24
Anhang B (normativ) Spezifische Anforderungen für das Verfahren B – Auswertung der Stokesschen Parameter		28
B.1	Prüfeinrichtung	28
B.1.1	Blockschaltbild.....	28
B.1.2	Lichtquelle	28
B.1.3	Polarimeter	29
B.2	Verfahren.....	29
B.3	Berechnungen	29
B.3.1	Kurzbeschreibung.....	29
B.3.2	Jones-Matrix-Eigenanalyse (JME)	31
B.3.3	Analyse mit der Poincaréschen Kugel (PSA).....	31
B.3.4	Polarisationszustand (SOP)	32
Anhang C (normativ) Spezifische Anforderungen für das Verfahren C (INTY) – Interferometerverfahren.....		33
C.1	Prüfeinrichtung	33
C.1.1	Blockschaltbild.....	33
C.1.2	Lichtquelle	35
C.1.3	Strahlteiler	35
C.1.4	Analysator.....	35
C.1.5	Interferometer	35
C.1.6	Polarisationsmischer	36
C.1.7	Polarisationsstrahlteiler	36
C.2	Verfahren.....	36
C.2.1	Kalibrierung	36
C.2.2	Durchführung.....	36
C.3	Berechnungen	40
C.3.1	Allgemeines	40
C.3.2	TINTY-Berechnungen.....	40

C.3.3 GINTY-Berechnungen.....	41
Anhang D (informativ) Bestimmung des quadratischen Mittelwertes der Breite aus einer Interferenzhüllkurve.....	43
D.1 Überblick	43
D.2 Berechnung des quadratischen Mittelwertes für TINTY	43
D.3 Berechnung des quadratischen Mittelwertes für GINTY	45
Literaturhinweise	47
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	48
Bilder	
Bild A.1 – Blockschaltbilder für Verfahren A.....	18
Bild A.2 – Typische Ergebnisse für Verfahren A	21
Bild A.3 – PMD durch Fourieranalyse	24
Bild A.4 – Kreuzkorrelations- und Autokorrelationsfunktion	27
Bild B.1 – Blockschaltbild für Verfahren B.....	28
Bild B.2 – Typische Ergebnisse bei zufälliger Modenkopplung bei Verfahren B	30
Bild B.3 – Typisches Histogramm der DGD-Werte	30
Bild C.1 – Schematische Darstellung für Verfahren C (allgemeine Realisierung)	33
Bild C.2 – Weitere Blockschaltbilder für Verfahren C.....	35
Bild C.3 – Interferenzhüllkurven bei vernachlässigbarer und zufälliger Modenkopplung eines Messsystems auf TINTY-Basis	37
Bild C.4 – Interferenzhüllkurven bei gemischter, vernachlässigbarer und zufälliger Polarisationsmodenkopplung eines Messsystems auf GINTY-Basis	39
Bild D.1 – Parameter für die Analyse des Interferogramms.....	43
Tabellen	
Tabelle A.1 – Kosinus-Transformationsberechnungen	27

Einleitung

Polarisationsmodendispersion (PMD) verursacht die Ausbreitung eines optischen Impulses im Zeitbereich. Diese Dispersion kann die Leistung eines Telekommunikationssystems beeinträchtigen. Der Effekt kann auf unterschiedliche Phasen- und Gruppenlaufzeiten und entsprechende Empfangszeitpunkte $\Delta\tau$ der unterschiedlichen Polarisationskomponenten des Signals bezogen werden. Bei einer ausreichend schmalbandigen Quelle kann der Effekt bei einer gegebenen Wellenlänge auf eine Differenzgruppenlaufzeit (DGD), $\Delta\tau$, zwischen Paaren orthogonal polarisierter Grundpolarisationszustände (PSP) bezogen werden. Bei der Breitbandübertragung spalten sich die Laufzeiten auf und ergeben einen Ausgangsimpuls, der sich im Zeitbereich ausbreitet. In diesem Fall ergibt die Ausbreitung einen Mittelwert der DGD-Werte.

Bei langen Fasern ist die DGD sowohl im Zeit- als auch im Wellenlängenbereich zufällig, da sie von den Einzelheiten der Doppelbrechung entlang der gesamten Faser abhängt. Sie wird auch von der zeitabhängigen Temperatur und mechanischen Störungen der Faser beeinflusst. Aus diesem Grund ist ein praktischer Weg zur Beschreibung der PMD in langen Fasern die Angabe eines mittleren DGD-Wertes über einen ausreichend großen optischen Frequenzbereich, entweder der quadratische Mittelwert $\text{RMS } \langle \Delta\tau \rangle$, der quadratische Mittelwert der DGD über diesen Frequenzbereich, oder der Mittelwert $\text{MEAN } \langle \Delta\tau \rangle$, der (lineare) Mittelwert der DGD über diesen gleichen Frequenzbereich. Anders als die Parameter $\delta\tau$ oder $\Delta\tau$ unterliegt der gemittelte DGD-Wert ($\text{RMS } \langle \Delta\tau \rangle$ oder $\text{MEAN } \langle \Delta\tau \rangle$) für eine vorgegebene Faser von Tag zu Tag oder Quelle zu Quelle grundsätzlich keinen großen Schwankungen. Darüber hinaus liefert der gemittelte DGD-Wert eine nützliche Vorhersage des Verhaltens des LWL-Systems.

Der Begriff „PMD“ wird sowohl im allgemeinen Sinn für zwei Polarisationsmoden mit unterschiedlichen Gruppenlaufzeiten als auch im speziellen Sinn für den gemittelten DGD-Wert ($\text{RMS } \langle \Delta\tau \rangle$ oder $\text{MEAN } \langle \Delta\tau \rangle$) benutzt. Obwohl die DGD $\Delta\tau$ oder die Impulsverbreiterung $\Delta\delta$ vorzugsweise über die Frequenz gemittelt werden, können sie für bestimmte Situationen über die Zeit oder über die Temperatur gemittelt werden.

Die Kopplungslänge l_c ist die Faser- oder Kabellänge, bei der eine deutliche Kopplung zwischen den beiden Polarisationszuständen beginnt. Erfüllt die Faserlänge L die Bedingung $L \ll l_c$, kann die Modenkopplung vernachlässigt werden und $\langle \Delta\tau \rangle$ steigt mit der Faserlänge. Der entsprechende PMD-Koeffizient ist

$$\text{PMD-Koeffizient für „kurze Längen“} = \langle \Delta\tau \rangle / L.$$

Fasern in praktischen Systemen haben fast immer sehr viel größere Faserlängen als die Kopplungslänge und die zufällige Modenkopplung. Wenn die Modenkopplung zufällig ist, steigt $\langle \Delta\tau \rangle$ mit der Quadratwurzel der Faserlänge und es gilt

$$\text{PMD-Koeffizient für „lange Längen“} = \langle \Delta\tau \rangle / \sqrt{L}.$$

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 60793 gilt für drei Verfahren zur Messung der Polarisationsmodendispersion (PMD), die in [Abschnitt 4](#) beschrieben werden. In diesem Teil werden einheitliche Anforderungen für die Messung der PMD von Einmodenfasern festgelegt, die der Überprüfung von Fasern und Kabeln für kommerzielle Zwecke dienen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 60793-1-1, *Optical fibres – Part 1-1: Measurement methods and test procedures – General and guidance*

IEC TR 61292-5, *Optical amplifiers – Part 5: Polarization mode dispersion parameter – General information*

ITU-T Recommendation G.650.2, *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ITU-T-Empfehlung G.650.2.

ANMERKUNG Weitere Erläuterungen zur Anwendung der Begriffe in diesem Dokument sind in IEC TR 61282-9 enthalten.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <<http://www.electropedia.org/>>;
- ISO-Online-Browsing-Plattform: verfügbar unter <<http://www.iso.org/obp>>.

3.2 Symbole und Abkürzungen

Arg	Argumentfunktion
ASE	verstärkte spontane Emission
BBS	Breitbandquelle
CFT	Kosinus-Fouriertransformation
c/c_0	Lichtgeschwindigkeit im Vakuum/im freien Raum
DGD	Differenzgruppenlaufzeit
$DGD_{\max}$	maximale Differenzgruppenlaufzeit
DOP	Polarisationsgrad
E	Anzahl der Extremwerte in $R(\lambda)$ (Verfahren A)
EC	Extremwertzählung
$f(\Delta\tau)$	Maxwell-Wahrscheinlichkeitsverteilung
FA	Festanalysator (Verfahren A)
FCFT	schnelle Kosinus-Fouriertransformation

FT	Fouriertransformation
FUT	zu prüfende Faser
GINTY	allgemeine Analyse nach Verfahren C
INTY	Interferometerverfahren (Verfahren C)
I/O	Eingang/Ausgang
JME	Jones-Matrix-Eigenanalyse (Verfahren B)
k	Modenkopplungsfaktor
l_c	Kopplungslänge
L	Länge des Faser-/LWL-Kabelprüfstücks
LED	lichtemittierende Diode
N	Gesamtanzahl von Messungen / Grundgesamtheit der modengekoppelten Fasern/Wellenlängenintervalle
$P_A(\lambda)$	optische Leistung, die mit eingesetztem Analysator aufgezeichnet wird (Verfahren A)
P_F	Wahrscheinlichkeit dafür, dass $DGD_{\max}$ überschritten wird
$P_B(\lambda)$	optische Leistung, die mit um 90° gedrehtem Analysator aufgezeichnet wird (Verfahren A)
$P_{TOT}(\lambda)$	optische Leistung, die mit entferntem Analysator aufgezeichnet wird (Verfahren A)
$P_x(\tau)/P_x(\tau)$	empfangene Leistung in Richtung der beiden orthogonalen SOP-Achsen, die den Interferenzstreifen bei Verfahren C entsprechen
PBS	Polarisationsstrahlteiler
PDL	polarisationsabhängiger Verlust
PDV	Polarisationsdispersionsvektor
PMD	Polarisationsmodendispersion
PMD_Q	PMD-Konstruktionswert der Verbindungsstrecke
PSA	Analyse mit der Poincaréschen Kugel (Verfahren B)
PSP	Grundpolarisationszustände
$R(\lambda)$	Ausgangsverhältnis vom PMD-Messsystem (Verfahren A)
RBW	Auflösungsbandbreite
RTM	Referenzprüfverfahren
s	normierte Stokessche Ausgangsvektoren
SOP	Polarisationszustand
SPE	Auswertung der Stokesschen Parameter (Verfahren B)
T	Jones-Matrix
T^{-1}	inverse Jones-Matrix
t_c	Kohärenzzeit der optischen Quelle (Verfahren C)
TINTY	herkömmliche Analyse nach Verfahren C
α	einzelner Parameter, der eine Maxwellverteilung festlegt
χ^2	Chi-Quadrat-Variable
$\Delta \hat{h} / \Delta \hat{v} / \Delta \hat{q} / \Delta \hat{c}$	endliche Differenzen, die aus den Stokesschen Vektoren berechnet werden
$\delta \lambda$	Schrittweite der Wellenlänge
$\Delta \lambda$	Spektralbreite der optischen Quelle (Halbwertsbreite (FWHM), falls nicht anders angegeben)

$\delta\lambda$	Schrittweite der optischen Frequenz
$\Delta\theta$	Rotationswinkel an der Poincaréschen Kugel
$\delta\tau$	Empfangszeit von unterschiedlichen Polarisationskomponenten eines Signals oder Impulsverbreiterung
$\Delta\delta\tau_{\max}$	größter messbarer $\delta\tau$ -Wert
$\Delta\delta\tau_{\min}$	kleinster messbarer $\delta\tau$ -Wert
$\Delta\tau$	DGD-Wert
$\Delta\tau_{\max}$	größte DGD
$\langle\Delta\tau\rangle$	mittlere DGD über dem abgetasteten Wellenlängenbereich oder PMD-Wert
$\sqrt{\langle\Delta\tau^2\rangle}$	mittlere DGD über dem abgetasteten Wellenlängenbereich oder PMD-Wert (Verfahren C)
$\langle\Delta\tau\rangle_0$	maximale PMD-Spezifikation, die jede Faser in einer Grundgesamtheit von modengekoppelten Fasern erfüllen muss
$\langle\Delta\tau\rangle_t$	mittlere DGD über der Zeit
$\langle\Delta\tau\rangle_T$	mittlere DGD über der Temperatur
$\langle\Delta\tau\rangle_\lambda$	mittlere DGD über der Wellenlänge
$\Delta\omega$	Änderung der Kreisfrequenz in Verfahren B
λ	zur Messung der PMD verwendete Prüfwellenlänge
λ_0	Mittenwellenlänge der Lichtquelle
λ_1/λ_2	erste/letzte Wellenlänge in der Menge der Prüfwellenlängen (oder Stelle des ersten/letzten Maximums oder Minimums in $R(\lambda)$ bei Verfahren A)
ν	optische Lichtfrequenz
ρ_1/ρ_2	komplexe Eigenwerte von $T(\omega + \Delta\omega)T^{-1}(\omega)$
σ	einfache Standardabweichung
σ_0	quadratischer Mittelwert der Breite der quadrierten Hüllkurve des Autokorrelations-Interferogramms (Verfahren C, GINTY)
σ_A	quadratischer Mittelwert der Breite der Autokorrelationshüllkurve (Verfahren C)
σ_R	zweites Moment der Fouriertransformationsdaten (Verfahren A)
σ_x	quadratischer Mittelwert der Breite der quadrierten Hüllkurve des Kreuzkorrelations-Interferogramms (Verfahren C, GINTY)
σ_ε	quadratischer Mittelwert der Breite der Kreuzkorrelationshüllkurve (Verfahren C, TINTY)
ω	optische Kreisfrequenz
Ω	PDV

4 Allgemeines

4.1 Verfahren zur Messung der PMD

Zur Messung der PMD werden drei Verfahren beschrieben (zu Einzelheiten siehe [Anhänge A, B und C](#)). Nachfolgend sind die Verfahren in der Reihenfolge ihrer Einführung aufgeführt. Für einige Verfahren werden mehrere Ansätze zur Analyse der Messergebnisse angegeben.

- a) Verfahren A
 - 1) Festanalysator (FA)
 - 2) Extremwertzählung (EC)
 - 3) Fouriertransformation (FT)
 - 4) Kosinus-Fouriertransformation (CFT)
- b) Verfahren B
 - 1) Auswertung der Stokesschen Parameter (SPE)
 - 2) Jones-Matrix-Eigenanalyse (JME)
 - 3) Analyse mit der Poincaréschen Kugel (PSA)
- c) Verfahren C
 - 1) Interferometrie (INTY)
 - 2) herkömmliche Analyse (TINTY)
 - 3) allgemeine Analyse (GINTY)

Der PMD-Wert wird in Bezug auf die Differenzgruppenlaufzeit (DGD) $\Delta\tau$ definiert, die sich gewöhnlich mit der Wellenlänge ändert, und wird als statistisches Maß angegeben. Gleichung (1) ergibt einen linearen Mittelwert der DGD-Werte und wird zur Spezifikation von LWL-Kabeln benutzt. Gleichung (2) ergibt den quadratischen Mittelwert, der durch verschiedene Verfahren angegeben wird. Gleichung (3) kann zur Umrechnung eines Wertes in den anderen benutzt werden, wenn angenommen wird, dass die DGDs einer Maxwell-Verteilung unterliegen.

$$PMD_{AVG} = \langle \Delta\tau \rangle \quad (1)$$

$$PMD_{RMS} = \sqrt{\langle \Delta\tau^2 \rangle} \quad (2)$$

$$\langle \Delta\tau \rangle = \left(\frac{8}{3\pi} \right)^{1/2} \sqrt{\langle \Delta\tau^2 \rangle} \quad (3)$$

Gleichung (3) gilt nur, wenn die DGDs einer Maxwell-Verteilung unterliegen, z. B. wenn die Faser zufällig modengekoppelt ist. Die allgemeine Anwendung von Gleichung (3) kann durch statistische Analyse nachgeprüft werden. Es liegt keine Maxwell-Verteilung vor, wenn Punktquellen mit erhöhter Doppelbrechung (relativ zum Rest der Faser) vorhanden sind, wie z. B. bei einer engen Biegung oder anderen Erscheinungen, die die Modenkopplung verringern, wie z. B. ein dauerhaft geringer Biegeradius mit unter Zugspannung stehender Faser. In diesen Fällen beginnt die Verteilung der DGDs, der Quadratwurzel einer nichtzentralen Chi-Quadrat-Verteilung mit drei Freiheitsgraden zu ähneln. Dabei ist der PMD_{RMS} -Wert gegenüber dem PMD_{MEAN} -Wert im Allgemeinen größer, was in Gleichung (3) angegeben ist. Bei Verfahren im Zeitbereich wie z. B. Verfahren C und Verfahren A, Kosinus-Fouriertransformation, die auf PMD_{RMS} beruhen, kann Gleichung (3) für eine Umrechnung in PMD_{MEAN} benutzt werden. Wird die Modenkopplung verringert, kann der resultierende angegebene PMD-Wert aus diesen Verfahren die Werte übersteigen, die durch Messungen von PMD_{MEAN} im Frequenzbereich ermittelt werden, wie z. B. bei Verfahren B.

Der PMD-Koeffizient ist der auf die Faserlänge normierte PMD-Wert. Bei gewöhnlichen Übertragungsfasern, bei denen zufällige Modenkopplung vorliegt und die DGDs einer Maxwell-Zufallsvariablen unterliegen, wird der PMD-Wert durch die Quadratwurzel der Länge geteilt, und der PMD-Koeffizient wird in der Einheit $\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ angegeben. Bei einigen Fasern mit vernachlässigbarer Modenkopplung wie z. B. polarisationserhaltenden Fasern wird der PMD-Wert durch die Länge geteilt, und der PMD-Koeffizient wird in der Einheit ps/km angegeben.

Alle Verfahren sind für die Labormessung von Fertigungslängen von Lichtwellenleitern und LWL-Kabeln geeignet. Bei allen Verfahren können Änderungen des Einsatzes des Prüflings die Ergebnisse verändern.

Für beweglich oder schwingend installierte Längen von LWL-Kabeln ist entweder Verfahren C oder Verfahren B geeignet (bei einem Messaufbau mit Zeitskala in Millisekunden).

Bei allen Verfahren sind Lichtquellen erforderlich, die mit einem oder mehreren SOPs gesteuert werden. Alle Verfahren erfordern die Einkopplung von Licht mit einem breiten Spektralbereich (d. h. 50 nm bis 200 nm Breite), damit ein für den Bereich (d. h. 1 300 nm oder 1 550 nm) charakteristischer PMD-Wert erhalten wird. Die Verfahren unterscheiden sich in:

- a) den Wellenlängen Kennwerten der Quelle;
- b) den tatsächlich gemessenen physikalischen Kennwerten;
- c) den Analyseverfahren.

Verfahren A misst die PMD, indem die Antwort auf eine Änderung schmalbandigen Lichtes über einem Wellenlängenbereich gemessen wird. An der Quelle ist das Licht mit einem oder mehreren Polarisationszuständen linear polarisiert. Für jeden SOP wird als Funktion der Wellenlänge die Änderung der Ausgangsleistung, die durch einen festen Polarisationsanalysator gefiltert wird, relativ zu der Leistung gemessen, die ohne den Analysator ermittelt wird. Die sich ergebende Messfunktion kann auf eine von drei Arten analysiert werden:

- a) durch Zählen der Anzahl von Bergen und Tälern (Extremwertzählung) der Kurve und Anwendung einer Gleichung, für die nachgewiesen wurde [1]¹⁾, dass sie dem Mittelwert der DGD-Werte genügt, wenn die DGDs einer Maxwell-Verteilung unterliegen. Diese Analyse wird als Ansatz im Frequenzbereich bezeichnet;
- b) durch Ausführen der Fouriertransformation für die Messfunktion. Diese Fouriertransformierte entspricht der Impulsverbreiterung, die durch Breitbandübertragung nach Verfahren C erreicht wird. Die entsprechende Bestimmung der Breite der Transformationsfunktion genügt dem Mittelwert der DGD-Werte, wenn die DGDs einer Maxwell-Verteilung unterliegen;
- c) durch Ausführen der Kosinus-Fouriertransformation für die Differenz der normierten Spektren von zwei orthogonalen Analysatoreinstellungen und Berechnung des quadratischen Mittelwertes der quadrierten Hüllkurve. Der PMD_{RMS} -Wert wird aufgezeichnet. Dies entspricht der Nachbildung des Interferenzmusters der Kreuzkorrelationsfunktion, das sich bei Messungen mit dem Interferometer ergeben würde.

Verfahren B misst $\Delta\tau(\omega)$, indem die Antwort auf eine Änderung schmalbandigen Lichtes über einem Wellenlängenbereich gemessen wird. An der Quelle ist das Licht mit einem oder mehreren Polarisationszuständen linear polarisiert. Für jede Wellenlänge wird der Stokessche Vektor des Ausgangslichtes gemessen. Die Änderung dieser Stokesschen Vektoren mit der optischen Kreisfrequenz ω und mit der (möglichen) Änderung des Eingangszustandes der Polarisation ergibt die DGD als Funktion der Wellenlänge durch Beziehungen, die auf folgenden Definitionen beruhen:

$$\frac{ds(\omega)}{d\omega} = \Omega(\omega) \times s(\omega) \quad (4)$$

$$\Delta\tau(\omega) = |\Omega(\omega)| \quad (5)$$

Dabei ist

- s der normierte Stokessche Ausgangsvektor;
- Ω der Vektor der Polarisationsdispersion (PDV) in Richtung der Grundzustände der Polarisation (PSPs);
- $\Delta\tau$ die DGD.

Für die JME- und die PSA-Analyse müssen für jede Wellenlänge drei lineare SOPs mit nominell 0°, 45° und 90° (orthogonal an der Poincaréschen Kugel) eingekoppelt werden.

Der JME-Ansatz wird durchgeführt, indem die Stokesschen Ausgangsvektoren in Jones-Matrizen [2] umgewandelt werden, geeignete Kombinationen der Matrizen bei benachbarten Wellenlängen gebildet werden und

¹⁾ Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

eine Berechnung mit den Eigenwerten des Ergebnisses durch Anwendung einer Argumentgleichung bei der Grundfrequenz durchgeführt wird, um die DGD zu bestimmen.

Der PSA-Ansatz wird ausgeführt, indem an den normierten Stokesschen Ausgangsvektoren eine Matrizenrechnung ausgeführt wird, um auf die Rotation des Stokesschen Ausgangsvektors an der Poincaréschen Kugel bei zwei benachbarten Wellenlängen zu schließen, gefolgt von der Anwendung einer Arcussinus-Gleichung zum Bestimmen der DGD. Der JME-Ansatz und der PSA-Ansatz sind bei gemeinsamen Annahmen mathematisch gleichwertig (siehe IEC TR 61282-9).

Verfahren C beruht auf einer breitbandigen Lichtquelle, die linear polarisiert ist. Die Kreuzkorrelation des austretenden elektromagnetischen Feldes wird durch Interferenzmuster des Ausgangslichtes, d. h. ein Interferogramm, bestimmt. Die Ermittlung der PMD-Verzögerung für den Wellenlängenbereich, der mit dem Quellspektrum verbunden ist, beruht auf der Hüllkurve des Interferenzmusters des Interferogramms. Zur Ermittlung der PM-Verzögerung stehen zwei Analysen zur Verfügung (siehe IEC TR 61282-9), bei denen der PMD_{RMS} -Wert gemessen wird:

- a) Bei der üblichen Analyse (TINTY) werden für eine erfolgreiche Anwendung eine Reihe bestimmter Betriebsbedingungen und eine Grundeinstellung angewendet.
- b) Bei der allgemeinen Analyse (GINTY) sind die Betriebsbedingungen nicht eingeschränkt, aber zusätzlich zur gleichen Grundeinstellung wie bei TINTY wird ein modifizierter Aufbau benutzt.

Der Analysenansatz stellt eine Weiterentwicklung des Verständnisses der PMD dar. GINTY ist z. B. umfassender als TINTY. Die Vergleichspräzision der PMD hängt vom PMD-Pegel und vom Wellenlängenbereich der Messung ab [3]. Eine bessere relative Vergleichspräzision wird bei breiteren Wellenlängenbereichen und höheren PMD-Werten für einen vorgegebenen Bereich erreicht. Bei Messungen von höheren PMD-Werten, z. B. 0,5 ps, sind die Unterschiede im Analyseverfahren weniger wesentlich als bei Messungen von niedrigen PMD-Werten.

Gemeinsame Informationen für alle drei Verfahren sind in den [Abschnitten 4 bis 10](#) enthalten und Anforderungen für jedes einzelne Verfahren in den [Anhängen A, B und C](#). Die mathematische Formulierung aller Verfahren ist in IEC TR 61282-9 enthalten.

4.2 Referenzprüfverfahren

Das Referenzprüfverfahren (RTM) zur Klärung von Widersprüchen ist Verfahren B.

4.3 Gültigkeit

Die PMD in Fasern ist ein statistischer Parameter. [IEC 60794-3](#) beinhaltet eine statistische Anforderung an die PMD, die als PMD_Q oder Konstruktionswert der Verbindungsstrecke bezeichnet wird und auf Abtastungsmessungen von LWL-Kabeln und Berechnungen für zusammengeschaltete Verbindungen beruht. Die PMD einer verkabelten Faser kann sich aufgrund von Auswirkungen der Kabelanordnung und der Kabelverarbeitung von der PMD der unverkabelten Faser unterscheiden. Zur Begrenzung der PMD_Q der verkabelten Faser ist jedoch eine Begrenzung der PMD_Q der unverkabelten Faser erforderlich. Als konservative Regel wird allgemein die Begrenzung der PMD_Q der unverkabelten Faser auf weniger als die Hälfte der PMD_Q der verkabelten Faser betrachtet. Für einen besonderen Aufbau und eine stabile Kabelverarbeitung dürfen andere Grenzwerte festgelegt werden.

Der Faser- oder Kabeleinsatz sollte so ausgewählt werden, dass die von außen induzierte Modenkopplung möglichst klein ist. Quellen solcher äußeren Modenkopplung können sein:

- a) starker Zug;
- b) starke Biegung durch
 - 1) Faserübergänge auf einer Liefertrommel,
 - 2) Crimpen der Faser in einem Kabel auf einer zu kleinen Trommel,
 - 3) zu kleiner Biegeradius;