

	DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888 Teil 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 Lichtwellenleiter – Teil 1-48: Messmethoden und Prüfverfahren – Polarisationsmodendispersion (IEC 60793-1-48:2003); Deutsche Fassung EN 60793-1-48:2003 Optical fibres – Part 1-48: Measurement methods and test procedures – Polarization mode dispersion (IEC 60793-1-48:2003); German version EN 60793-1-48:2003 Fibres optiques – Partie 1-48: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion de mode de polarisation (CEI 60793-1-48:2003); Version allemande EN 60793-1-48:20033 Gesamtumfang 57 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2003-11-01 angenommene EN 60793-1-48 gilt als DIN-Norm ab 2004-06.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888 Teil 248):2002-12.

Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 412.6 „Lichtwellenleiter, -kabel und – subsysteme“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.

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

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2005 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60793-1-1:2003	IEC 60793-1-1:2002	DIN EN 60793-1-1:2003-07	–
EN 60793-1-44:2002	IEC 60793-1-44:2001	DIN EN 60793-1-44 (VDE 0888 Teil 244):2002-11	VDE 0888 Teil 244
EN 60793-1-50:2002	IEC 60793-1-50:2001	DIN EN 60793-1-50 (VDE 0888 Teil 250):2002-10	VDE 0888 Teil 250
EN 60793-2-50:2002	IEC 60793-2-50:2002	DIN EN 60793-2-50 (VDE 0888 Teil 325):2002-11	VDE 0888 Teil 325
EN 60794-3:2002	IEC 60794-3:2001	DIN EN 60794-3 (VDE 0888 Teil 108):2002-11	VDE 0888 Teil 108
EN 61280-1-1:1998	IEC 61280-1-1:1998	DIN EN 61280-1-1:1999-05	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60793-1-1:2003-07, *Lichtwellenleiter – Teil 1-1: Mess- und Prüfverfahren – Allgemeines und Leitfaden* (IEC 60793-1-1:2002); Deutsche Fassung EN 60793-1-1:2003.

DIN EN 60793-1-44 (VDE 0888 Teil 244):2002-11, *Lichtwellenleiter – Teil 1-44: Messmethoden und Prüfverfahren; Grenzwellenlänge* (IEC 60793-1-44:2001); Deutsche Fassung EN 60793-1-44:2002.

DIN EN 60793-1-50 (VDE 0888 Teil 250):2002-10, *Lichtwellenleiter – Teil 1-50: Messmethoden und Prüfverfahren; Feuchte Wärme (konstant)* (IEC 60793-1-50:2001); Deutsche Fassung EN 60793-1-50:2002.

DIN EN 60793-2-50 (VDE 0888 Teil 325):2002-11, *Lichtwellenleiter – Teil 2-50: Produktspezifikation; Rahmenspezifikation für Einmodenfasern der Kategorie B* (IEC 60793-2-50:2002); Deutsche Fassung EN 60793-2-50:2002.

DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888 Teil 248):2004-06

DIN EN 60794-3 (VDE 0888 Teil 108):2002-11, *Lichtwellenleiterkabel – Teil 3: Rahmenspezifikation – Außenkabel (IEC 60794-3:2001); Deutsche Fassung EN 60794-3:2002.*

DIN EN 61280-1-1:1999-05, *Lichtwellenleiter-Kommunikationsuntersysteme – Grundlegende Prüfverfahren – Teil 1-1: Prüfverfahren für allgemeine Kommunikationsuntersysteme – Messung der Senderausgangsleistung für Einmoden-LWL-Kabel (IEC 61280-1-1:1998); Deutsche Fassung EN 61280-1-1:1998.*

Deutsche Fassung

Lichtwellenleiter
Teil 1-48: Messmethoden und Prüfverfahren – Polarisationsmodendispersion
(IEC 60793-1-48:2003)

Optical fibres
Part 1-48: Measurement methods and test
procedures – Polarization mode dispersion
(IEC 60793-1-48:2003)

Fibres optiques
Partie 1-48: Méthodes de mesure et procédures
d'essai – Dispersion de mode de polarisation
(CEI 60793-1-48:2003)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2003-11-01 angenommen. Die 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 Zentralsekretariat 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 Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, Slovenien, der Slowakei, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 86A/849/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 60793-1-48, ausgearbeitet von dem SC 86A „Fibres and cables“ des IEC/TC 86 „Fibre optics“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2003-11-01 als EN 60793-1-48 angenommen.

Diese Norm muss in Verbindung mit **EN 60793-1-1:2003** gelesen werden.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2004-08-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2006-11-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm sind die Anhänge A, B, C und ZA normativ und sind die Anhänge D bis K informativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Die Reihe EN 60793-1-4X besteht aus folgenden Teilen unter dem allgemeinen Titel „Lichtwellenleiter“:

- **Teil 1-40:** Messmethoden und Prüfverfahren – Dämpfung;
- **Teil 1-41:** Messmethoden und Prüfverfahren – Bandbreite;
- **Teil 1-42:** Messmethoden und Prüfverfahren – Chromatische Dispersion;
- **Teil 1-43:** Messmethoden und Prüfverfahren – Numerische Apertur;
- **Teil 1-44:** Messmethoden und Prüfverfahren – Grenzwellenlänge;
- **Teil 1-45:** Messmethoden und Prüfverfahren – Modenfelddurchmesser;
- **Teil 1-46:** Messmethoden und Prüfverfahren – Überwachung der optischen Übertragungsänderungen;
- **Teil 1-47:** Messmethoden und Prüfverfahren – Makrogebietverlust;
- Teil 1-48: Messmethoden und Prüfverfahren – Polarisationsmodendispersion;
- **Teil 1-49:** Messmethoden und Prüfverfahren – Gruppenlaufzeitdifferenz.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60793-1-48:2003 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Allgemeines	6
3.1 Referenzprüfverfahren.....	8
3.2 Gültigkeit.....	8
4 Prüfeinrichtung.....	8
4.1 Lichtquelle und Polarisatoren	9
4.2 Eingangsoptik	9
4.3 Eingangspositionierer	9
4.4 Mantelmodenabstreifer.....	9
4.5 Filter für Moden höherer Ordnung.....	10
4.6 Ausgangspositioniereinrichtung.....	10
4.7 Ausgangsoptik	10
4.8 Empfänger	10
4.9 Berechnungseinrichtung.....	10
5 Probenahme und Prüfstücke	10
5.1 Länge des Prüfstücks	11
5.2 Einsatz	11
6 Durchführung.....	12
7 Berechnungen und Auswertung der Ergebnisse.....	12
8 Dokumentation.....	12
8.1 Angaben, die bei jeder Messung vorzulegen sind.....	12
8.2 Angaben, die auf Anfrage vorzulegen sind	12
9 Spezifikationsangaben	13
Anhang A (normativ) Messverfahren mit Festanalysator	14
Anhang B (normativ) Auswertung der Stokesschen Parameter	21
Anhang C (normativ) Interferometerverfahren.....	27
Anhang D (informativ) Vergleichsergebnisse der PMD und Untersuchungen	31
Anhang E (informativ) Strategien zur Verbesserung der Genauigkeit	34
Anhang F (informativ) Algorithmus zur Ermittlung von Spitzen für die Extremwertzählung in Verfahren A.....	36
Anhang G (informativ) Theoretischer Hintergrund der Fourieranalyse für Verfahren A.....	38
Anhang H (informativ) Bestimmung der Art der Modenkopplung aus den DGD-Werten	41
Anhang I (informativ) Formale Gleichwertigkeit von PSA und JME und Vergleich der Ergebnisse.....	44
Anhang J (informativ) PMD-Bestimmung nach Verfahren C für ein Interferogramm mit einer Autokorrelationsspitze	49
Anhang K (informativ) Glossar.....	51

	Seite
Literaturhinweise	52
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen.....	53
 Bild A.1 – Blockdiagramme für Festanalysatoren	14
Bild A.2 – Beispiele der R-Funktion für das Verfahren mit Festanalysator.....	17
Bild A.3 – PMD durch Fourieranalyse	20
Bild B.1 – Blockdiagramm für Verfahren B	21
Bild B.2 – DGD in Abhängigkeit von der Wellenlänge	23
Bild B.3 – Histogramm der DGD-Werte. Das Histogramm wird von einer Maxwell-Kurve überlagert.....	23
Bild C.1 – Blockschaltbild für Verfahren C (Interferometerverfahren).....	27
Bild C.2 – Typische Daten, die mit Verfahren C erreicht werden	29
Bild D.1 – PMD-Wellenlängen-Abtastdaten des Ringversuchs	32
Bild H.1 – Beispielbewertungen für die PMD-Messstatistik – gemessene und ideale DGD-Werte mit überlagerten Maxwell-Kurven	43
Bild I.1 – DGD als Funktion der optischen Frequenz.....	45
Bild I.2 – PSP-Trajektorien an der Poincaréschen Kugel	46
Bild I.3 – Unterschiede zwischen den PSP-Trajektorien und zwischen den drei Stokesschen Parametern in Bild I.2	46
Bild I.4 – Durch die Stokesschen Antwortvektoren festgelegtes rechtwinkliges Koordinatensystem und Richtungswinkel des Polarisationsdispersionsvektors in diesem Koordinatensystem.....	47
Bild I.5 – Kreisbogen, der durch den Ausgangs-SOP des Intervalls $[\omega, \omega + \Delta\omega]$ beschrieben wird	48
 Tabelle D.1 – Vergleich der PMD-Verfahren und Berechnungen aus dem PMD-Ringversuch COST 241	33
Tabelle D.2 – Matrix des PMD-Messverfahrens	33

Einleitung

Polarisationsmodendispersion (en: polarisation mode dispersion, PMD) verursacht die Ausbreitung eines optischen Impulses im Zeitbereich. Diese Dispersion kann die Leistung eines Kommunikationssystems beeinträchtigen. Der Effekt bedingt unterschiedliche Phasen- und Gruppengeschwindigkeiten und entsprechende Empfangszeitpunkte $\delta\tau$ der unterschiedlichen Polarisationskomponenten des Signals. Bei einer ausreichend schmalbandigen Quelle bedingt der Effekt bei einer gegebenen Wellenlänge eine Differenzgruppenlaufzeit (en: differential group delay, DGD) $\Delta\tau$ zwischen Paaren orthogonal polarisierter Grundpolarisationszustände (en: principal states of polarization, PSP). 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 des Erwartungswertes $\langle\Delta\tau\rangle$ oder der mittleren DGD über der Wellenlänge. Anders als die Parameter $\delta\tau$ oder $\Delta\tau$ unterliegt der Erwartungswert $\langle\Delta\tau\rangle$ für eine vorgegebene Faser von Tag zu Tag oder Quelle zu Quelle grundsätzlich keinen großen Schwankungen. Darüber hinaus liefert $\langle\Delta\tau\rangle$ 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 Erwartungswert $\langle\Delta\tau\rangle$ benutzt. Die DGD $\Delta\tau$ oder die Impulsverbreiterung $\delta\tau$ kann über der Wellenlänge gemittelt werden (ergibt $\langle\Delta\tau\rangle_\lambda$), über der Zeit (ergibt $\langle\Delta\tau\rangle_t$) oder über der Temperatur (ergibt $\langle\Delta\tau\rangle_T$). In den meisten Fällen ist für die Ermittlung von $\langle\Delta\tau\rangle$ keine Unterscheidung zwischen diesen verschiedenen Möglichkeiten erforderlich.

Die Kopplungslänge l_c ist die Faser- oder Kabellänge, bei der eine deutliche Kopplung zwischen den beiden Polarisationszuständen (en: state of polarization, SOP) 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

$$\text{PMD-Koeffizient für „kurze Längen“} = \langle\Delta\tau\rangle/L \quad (1)$$

Bei Faser in praktischen Systemen trifft fast immer $L \gg l_c$ zu, Betriebszustand und Modenkopplung sind dann zufällig. Wenn die Modenkopplung zufällig ist, steigt $\langle\Delta\tau\rangle$ mit dem Quadrat der Faserlänge und es gilt

$$\text{PMD-Koeffizient für „lange Längen“} = \langle\Delta\tau\rangle/\sqrt{L} \quad (2)$$

Das Dokument liefert Entscheidungshilfen dafür, wann Gleichung (1) oder Gleichung (2) zur Berechnung des PMD-Koeffizienten geeignet ist. Übliche Einheiten sind ps für $\Delta\tau$, km für L , ps/km für die PMD bei kurzen Längen und ps/ $\sqrt{\text{km}}$ für die PMD bei langen Längen. Einzelheiten zur Bestimmung der Modenkopplungsart siehe 5.1 und Anhang H.

1 Anwendungsbereich

Der vorliegende Teil der IEC 60793 gilt für drei Verfahren zur Messung der PMD, die in Abschnitt 3 beschrieben werden. In diesem Teil werden einheitliche Anforderungen für die Messung der Polarisationsmodendispersion von Lichtwellenleitern (LWL) festgelegt, die der Überprüfung von Fasern und Kabeln für kommerzielle Zwecke dienen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60793-1-1, *Optical fibres – Part 1-1: Generic specification – General*.

IEC 60793-1-44:2001, *Optical fibres – Part 1-44: Measurement methods and test procedures – Cut-off wavelength*.

IEC 60793-1-50:2001, *Optical fibres – Part 1-50: Measurement methods and test procedures – Damp heat (steady state)*.

IEC 60793-2-50:2002, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*.

IEC 60794-3:2001, *Optical fibre cables – Part 3: Sectional specification – Outdoor cables*.

IEC 61280 (alle Teile), *Fibre optic communication subsystem basic test procedures*.

IEC 61282-3:2002, *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarisation mode dispersion in fibre optic systems*.

3 Allgemeines

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.

Verfahren A Festanalysator

Extremwertzählung (en: extrema counting, EC)

Fouriertransformation (FT)

Verfahren B Auswertung der Stokesschen Parameter

Jones-Matrix-Eigenanalyse (JME)

Analyse mit der Poincaréschen Kugel (en: poincaré sphere analysis, PSA)

Polarisationszustand (en: state of polarization, SOP)

Verfahren C Interferometrie

Vernachlässigbare Modenkopplung

Zufällige Modenkopplung

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 installierte Längen ist nur Verfahren C geeignet, und zwar für die Messung installierter beweglicher oder schwingender LWL-Kabel.

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) dem 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 mehr Polarisationszuständen linear polarisiert. Für jeden Zustand 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 zwei Arten analysiert werden:

- 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. Diese Analyse wird als Ansatz im Frequenzbereich bezeichnet;
- durch Ausführen der Fouriertransformation für die Messfunktion. Diese Transformierte entspricht der Impulsverbreiterung, die durch Breitbandübertragung nach Verfahren C erreicht wird. Die entsprechende Bestimmung der Breite der Transformationsfunktion genügt dem Mittelwert der DGD-Werte.

Verfahren B 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 mehr Polarisationszuständen linear polarisiert. Für jede Wellenlänge wird der Stokessche Vektor des Ausgangslichtes gemessen. Die Änderung dieser Stokesschen Vektoren mit der optischen Kreisfrequenz (Wellenlänge) ω und mit der (möglichen) Änderung des Eingangszustandes der Polarisation ergibt die DGD als Funktion der Wellenlänge durch Beziehungen, die auf folgenden Definitionen beruhen:

$$\frac{ds(\omega)}{d\omega} = \Omega(\omega) \times s(\omega) \quad (3a)$$

$$\Delta\tau(\omega) = \|\Omega(\omega)\| \quad (3b)$$

Dabei ist:

- s der Stokessche Ausgangsvektor;
- Ω der Vektor der Polarisationsdispersion in Richtung der Grundzustände der Polarisation;
- $\Delta\tau$ die Gruppenlaufzeitdifferenz.

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) einge koppelt werden. Für die SOP-Analyse ist nur ein Eingangszustand erforderlich.

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 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 den Stokesschen Ausgangsvektor zu schließen, der mit der kreisförmigen Doppelbrechung bei zwei benachbarten Wellenlängen verbunden ist, gefolgt von der Anwendung einer Arcussinus-Gleichung zum Bestimmen der DGD.

Der SOP-Ansatz beruht auf der schrittweisen Bewertung von Gleichung (3a) unter Anwendung der gemessenen normierten Stokesschen Vektoren.

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

Der JME-Ansatz und der PSA-Ansatz sind bei gemeinsamen Annahmen gleichwertig. Der SOP-Ansatz ergibt gültige Ergebnisse, wenn der Übergang des Stokesschen Ausgangsvektors gut zu vollziehen ist (vernachlässigbare Modenkopplung), kann aber falsche Ergebnisse erzeugen, wenn sich der Stokessche Ausgangsvektor schnell und zufällig ändert. Die zusätzliche Messzeit, die für die drei Eingangszustände der Polarisierung für JME und PSA erforderlich ist, führt zu einer zuverlässigeren Messung.

Verfahren C beruht auf einer breitbandigen Lichtquelle, die linear polarisiert ist. Die Kreuzkorrelation des austretenden elektromagnetischen Feldes wird durch Interferenzmuster des Ausgangslichtes bestimmt. Die Auswertung dieser Muster erfolgt entweder durch Berechnung der mittleren Breite für Prüflinge mit zufälliger Modenkopplung oder durch Bewertung der höchsten „Spitzen“ des Interferogramms für Prüflinge mit vernachlässigbarer Modenkopplung. Für Prüflinge mit zufälliger Modenkopplung hängt die mittlere Breite mit der mittleren DGD (PMD) zusammen.

Gemeinsame Informationen für alle drei Verfahren sind in den [Abschnitten 3 bis 8](#) enthalten und Anforderungen für jedes einzelne Verfahren in den [Anhängen A, B bzw. C](#).

3.1 Referenzprüfverfahren

Das Referenzprüfverfahren (en: reference test method, RTM) zur Klärung von Widersprüchen ist Verfahren B, Auswertung der Stokesschen Parameter (nur JME- und PSA-Ansatz).

3.2 Gültigkeit

PMD in Fasern ist ein statistischer Parameter. [IEC 60794-3](#) beinhaltet statistische Voraussetzungen für PMD, die auf Abtastungsmessungen von LWL-Kabeln und Berechnungen für zusammengeschnittene Verbindungen beruhen. [IEC 60793-2-50](#) enthält als Unterstützung für Ergebnisse von verkabelten Fasern ein mögliches Maximum für einzelne unverkabelte Fasern – vorausgesetzt, dass für die Beziehung der Messungen an unverkabelter Faser und verkabelter Faser nachgewiesen wurde, dass sie für den vorgegebenen Kabelaufbau stabil sind.

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

- a) äußerer Zug;
- b) äußere Biegung durch:
 - Faserübergänge auf einer Liefertrommel;
 - Crimpen der Faser in einem Kabel auf einer zu kleinen Trommel;
 - zu kleiner Biegeradius;
- c) starkes Verdrillen.

Nach der Störung der Faser sollte die Reproduzierbarkeit einzelner Messungen bewertet werden, um die Abtastung des gesamten Bereiches der Kombinationen der Modenkopplung zu ermöglichen. Das kann beispielsweise durch leichte Temperaturänderung oder Vornehmen kleiner Änderungen beim Einsatz erreicht werden. [Anhang D](#) enthält Informationen über den Vergleich zwischen den Verfahren in einem Ringversuch. Gisin [3] gibt grundlegende Reproduzierbarkeitsgrenzen für Messungen an, die darstellen, dass die Reproduzierbarkeit steigt, wenn die PMD und die spektrale Breite der Quelle steigen. [Anhang E](#) enthält Informationen über Ansätze zur Verbesserung der Genauigkeit.

Richtlinien für die Berechnung der PMD für Systeme, die andere Bauelemente wie Dispersionskompensatoren oder optische Verstärker enthalten, sind in IEC 61282-3 angegeben. Prüfverfahren für optische Verstärker sind in IEC 61280 angegeben.

4 Prüfeinrichtung

Für alle drei Messverfahren wird folgende Messeinrichtung verwendet. Die [Anhänge A, B und C](#) enthalten Übersichtsbilder bzw. andere Geräteanforderungen für jedes der drei Messverfahren.

4.1 Lichtquelle und Polarisatoren

Einzelheiten über die spektralen Kennwerte der Lichtquelle siehe [Anhänge A, B und C](#). Die Quelle muss eine ausreichende Strahlung bei der (den) vorgesehenen Wellenlänge(n) erzeugen und über eine für die Durchführung der Messung ausreichende Zeitperiode eine stabile Intensität aufweisen.

Für alle Verfahren muss das Licht vor Einkopplung in die Faser linear polarisiert werden. Mit einem Polarisationsregler wird das Quellenlicht in einen Zustand umgewandelt, der um die Mitte des angewendeten Wellenlängenbereiches etwa zirkular ist. Mit einem Polarisator wird dieses Licht in einem oder mehr Zuständen linear polarisiert. Der Polarisator kann einer aus einer Gruppe von drei Polarisatoren sein, die mit 0°, 45° und 90° ausgerichtet sind. Bei einem Messaufbau mit offenem Strahl kann ein Wellenplättchen die Polarisationsregelung übernehmen. Der Polarisationsregleraufbau kann durch Messung der Ausgangsleistung bei den drei linearen Polarisierungen überprüft werden. Wenn die Ausgangsleistungen innerhalb von 3 dB zusammen liegen, ist der Regleraufbau geeignet.

Für Verfahren A und B muss die effektive Spektralbreite der Quelle $\Delta\lambda$ so schmal sein, dass das Licht, das aus der Faser austritt, unter allen Umständen der Messung polarisiert bleibt. Es wird ein Polarisationsgrad (en: degree of polarisation, DOP) von 90 % oder mehr bevorzugt, obwohl Messungen mit Werten bis zu 25 % mit verringerter Genauigkeit durchgeführt werden können. Für einen vorgegebenen Wert der DGD $\Delta\tau$ ist der kleinste DOP, der sich ergeben kann:

$$\text{DOP (\%)} = 100 \exp \left[-\frac{1}{4 \ln(2)} \left(\frac{\pi c \Delta \tau \Delta \lambda}{\lambda_0^2} \right)^2 \right] \quad (4)$$

mit einer Gaußschen Spektralbreite (Halbwertsbreite) um den Mittelpunkt λ_0 . (c ist die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.)

Für Verfahren C muss das Extinktionsverhältnis des Polarisators über die spektrale Breite der Quelle > 20 dB betragen.

Für Verfahren B, SOP-Ansatz, wird der Polarisationsregler so eingestellt, dass die Bedingungen für die Bestimmung des Rotationswinkels an der Poincaréschen Kugel optimiert werden, gegebenenfalls durch Auswahl eines Eingangszustandes, für den die Änderung der Stokesschen Ausgangsvektoren mit der Wellenlänge am größten ist.

4.2 Eingangsoptik

Zur Anregung des Prüflings kann ein optisches Linsensystem oder eine Anschlussfaser benutzt werden. Es wird empfohlen, dass die in den Prüfling eingekoppelte Leistung relativ unempfindlich für die Stelle der Eingangsendfläche ist. Das kann mit einem Einkopplungsstrahl erreicht werden, der die Eingangsendfläche räumlich und winkelabhängig voll anregt.

Bei Anwendung eines Stirnflächenpleißes werden zur Vermeidung von Interferenzeffekten zwischen der Anschlussfaser und dem Prüfling Werkstoffe mit angepasster Brechzahl eingesetzt. Für die Dauer der Messung muss die Kopplung stabil sein.

4.3 Eingangspositionierer

Es sind Mittel vorzusehen, mit denen das Eingangsende des Prüflings zur Lichtquelle ausgerichtet wird. Beispiele sind X-Y-Z-Mikropositionierstufen oder mechanische Kopplungseinrichtungen, wie Steckverbinder, Vakuumspleiße, Dreiwalzenspleiße usw. Die Lage der Faser muss für die Dauer der Messung stabil bleiben.

4.4 Mantelmodenabstreifer

Es ist eine Einrichtung zur Entfernung von Mantelmoden einzusetzen. Unter bestimmten Umständen übernimmt die Faserbeschichtung diese Funktion.

4.5 Filter für Moden höherer Ordnung

Es sind Mittel zur Entfernung von sich ausbreitenden Moden höherer Ordnung im gewünschten Wellenlängenbereich, der größer oder gleich der Grenzwellenlänge (siehe [IEC 60693-1-44](#)) des Prüflings ist, vorzusehen. Im Allgemeinen ist beispielsweise der Biegeradius von 30 mm einer Faserwicklung ausreichend.

4.6 Ausgangspositioniereinrichtung

Es sind geeignete Mittel zu verwenden, um die Ausgangsendfläche der Faser auf die Ausgangsoptik auszurichten. Eine derartige Kopplung kann die Verwendung von Linsen einschließen oder ein mechanischer Steckverbinder mit einer Empfänger-Anschlussfaser sein.

Zur Anordnung der Faser in einem festen Abstand von der Ausgangsoptik sind Mittel wie ein Schrägsichtmikroskop oder eine Kamera mit einem Fadenkreuz anzuwenden. Es kann ausreichen, nur eine Längseinstellung vorzusehen, wenn die Faser in der Querebene mit einer Einrichtung wie einer Unterdruckspannvorrichtung eingespannt ist.

4.7 Ausgangsoptik

Siehe entsprechender [Anhang A](#), [B](#) oder [C](#).

4.8 Empfänger

Zum Signalempfang wird ein optischer Empfänger benutzt, der über den Intensitätsbereich und die Messzeiten, die bei der Durchführung der Messungen auftreten, linear und stabil ist. Ein typisches System könnte einen Synchronempfang mit einem Chopper/Lock-in-Verstärker, ein optisches Leistungsmessgerät, einen optischen Spektralanalysator oder ein Polarimeter umfassen. Zur Anwendung des gesamten Spektralbereiches der Quelle muss das Empfangssystem einen Wellenlängenbereich aufweisen, der die Wellenlängen umfasst, die von der Lichtquelle erzeugt werden. Weitere Einzelheiten siehe entsprechender [Anhang A](#), [B](#) oder [C](#).

4.9 Berechnungseinrichtung

Zur Ausführung der Operationen wie Steuerung der Vorrichtung, Aufnahme der Intensitätsmessungen und Verarbeitung der Daten zum Erhalten der Endergebnisse wird ein Rechner benutzt.

5 Probenahme und Prüfstücke

Ein Prüfstück besteht aus einer Einmodenfaser bekannter Länge ([IEC 60793-2-50](#)), die verkabelt sein kann, aber nicht sein muss. Während der gesamten Messung müssen Prüfstück und Anschlussfasern bei einer nominell konstanten Temperatur in einer festen Lage gehalten werden. Wenn es nicht anders festgelegt ist, müssen Normumgebungsbedingungen gelten. Bei installierten Fasern und Kabeln gelten die herrschenden Einsatzbedingungen.

Die mechanische Stabilität und die Temperaturstabilität der Prüfeinrichtung können mit folgenden Verfahren geprüft werden: Für Verfahren A wird die Ausgangsleistung der Faser bei einer festen Wellenlänge mit angeschlossenem Ausgangsanalysator gemessen. In einem Zeitintervall, das der Dauer einer üblichen vollständigen Messung entspricht, sollte die Änderung der Ausgangsleistung relativ zu den Änderungen, die durch eine schrittweise Erhöhung der Wellenlänge hervorgerufen werden, klein sein. Für Verfahren B wird der Ausgangszustand der Polarisierung der Prüffaser an einer Anzeige der Poincaréschen Kugel betrachtet. In einem Zeitintervall, das der Dauer eines benachbarten Paares von Jones-Matrix-Messungen entspricht, sollte die Änderung der Ausgangspolarisation relativ zur Änderung, die durch eine schrittweise Erhöhung der Wellenlänge hervorgerufen wird, klein sein. Verfahren C ist gegenüber leichten Temperaturänderungen oder Faserbewegungen normalerweise widerstandsfähig.

Endflächen für die Eingangs- und Ausgangsenden des Prüfstücks müssen so hergestellt werden, dass sie für die Anforderungen und Verfahren geeignet sind. Es sind Vorkehrungen zur Vermeidung von Reflexionen zu treffen.

5.1 Länge des Prüfstücks

Die Länge des Prüfstücks wird von drei Faktoren vorgeschrieben:

- a) kleinster gewünschter PMD-Koeffizient
- b) Art der Modenkopplung
- c) Signal-Rausch-Verhältnis

Jedes Prüfverfahren und jede Realisierung besitzt einen kleinsten messbaren PMD-Wert (ps). In vielen Fällen kann dieser Kleinstwert theoretisch ermittelt werden. Er kann aber auch experimentell durch Untersuchung der gemessenen Verteilung bestimmt werden. Für Fasern mit Kopplung von Moden höherer Ordnung wird der kleinste PMD-Koeffizient durch Division des PMD-Wertes durch die Quadratwurzel der Faserlänge (km) ermittelt. Bei vernachlässigbarer Modenkopplung erfolgt die Division durch die Länge. Die gemessene Länge und der kleinste messbare PMD-Wert bestimmen daher den kleinsten messbaren PMD-Koeffizient. Für die Messung können zum Erreichen dieses Kleinstwertes ausreichend lange Fasern und Kabel ausgewählt werden. Alternativ dazu können die Prüfstücke auf eine passende Länge geschnitten werden. Der kleinste messbare PMD-Wert und die Länge der einzelnen Prüfstücke müssen aufgezeichnet werden.

ANMERKUNG Die Länge kann auch durch den Einsatz (siehe 5.2) und den dynamischen Bereich der Messgeräte beschränkt sein.

Die in [IEC 60794-3](#) und [IEC 60793-1-50](#) festgelegten Werte geben den PMD-Koeffizient in $\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ an – diese Dokumente setzen voraus, dass die gemessene Länge ausreicht, um eine zufällige Modenkopplung herbeizuführen. Für einen vorgegebenen Fasertyp oder eine gegebene Kabelanordnung kann dies bestätigt werden, indem ein Rückschneideversuch durchgeführt wird, bei dem der PMD-Wert an einem Prüfstück bei mehreren Längen gemessen wird, die durch Rückschneiden des Prüflings zwischen den Messungen erhalten werden. Für Längen, bei denen eine Quadratwurzel-Abhängigkeit des PMD-Wertes von der Länge vorliegt, kann eine zufällige Modenkopplung angenommen werden. [Anhang H](#) enthält weitere Informationen über die Bestätigung der Annahme einer zufälligen Modenkopplung.

Der Dynamikbereich wird durch das Verfahren, die Quellenleistung und den von der Länge abhängigen Gesamtverlust des Prüflings beschränkt. Dieser Grenzwert muss generell auf der Grundlage der bestimmten Realisierung durch einen Versuch bestimmt und dokumentiert werden.

5.2 Einsatz

Der Einsatz der Faser oder des Kabels kann das Ergebnis beeinflussen. Für normale Messungen, die bei der Bewertung der Einhaltung der Spezifikation angewendet werden, gelten folgende Anforderungen.

5.2.1 Unverkabelte Faser

Die Faser muss unter geringer Zugspannung stehen, indem sie entweder lose um eine Trommel mit glatter Oberfläche gewickelt wird oder in Schleifen auf einer ebenen glatten Fläche (Glätte, die Papier mit einer flächenbezogenen Masse von 88 g/m^2 entspricht) verlegt wird.

In beiden Fällen muss die Faser verlegt werden, ohne sich selbst zu kreuzen und mit einem Biegeradius von mehr als 15 cm. Auch Anschlussfasern, mit denen die Faser verbunden ist, müssen einen Biegeradius von mehr als 15 cm haben.

Für die hochgenaue Messung von Prüfstücken mit niedriger PMD wird das Verfahren der Auswertung der Stokesschen Parameter benutzt. Bei optischen Fasern und LWL-Kabeln weisen die PMD-Messungen eine eigene Veränderlichkeit der Abtastung auf, die sich vergrößert, wenn der PMD-Wert sinkt oder sich das Wellenlängenfenster, das bei der Messung abgetastet wird, verkleinert [\[3\]](#). Wenn PMD-Messungen zur Bewertung der statistischen Spezifikation eines LWL-Kabels kombiniert werden (siehe [IEC 60794-3](#)), führt diese Veränderlichkeit zu einer möglichen Überbewertung des Konstruktionswertes der Zusammenschaltung (PMD_0). Für Versuche, in denen genaue PMD-Werte erforderlich sind, werden die Verfahren in [Anhang E](#) empfohlen. Dieser Anhang fordert Wiederholungsprüfungen nach mehrfachen Störungen der einzelnen Prüfstücke.

ANMERKUNG Wenn die Gültigkeit der Werte, die an den verkabelten Fasern gemessen wurden, oder der Einsatzbedingungen nachgewiesen wurde, können andere Einsatzverfahren angewendet werden.

5.2.2 LWL-Kabel

PMD-Messungen an Fasern in Kabeln, die auf Liefertrommeln gewickelt sind, geben nicht immer die funktionell zutreffenden PMD-Werte von Fasern in installierten Kabelanordnungen wieder. Folglich dürfen zum Nachweis der Einhaltung der PMD-Spezifikation für verkabelte Fasern alternative Einsatzanordnungen oder Abbildungsfunktionen angewendet werden, bei denen der PMD-Wert auf Trommeln mit dem PMD-Wert außerhalb von Trommeln in Beziehung gesetzt wird. Die genaue Einsatzanordnung muss zwischen Lieferant und Kunde vereinbart werden.

6 Durchführung

- 6.1 Einsetzen der Faser oder des Kabels und Vorbereitung der Enden.
- 6.2 Anschließen der Enden an die Eingangs- und Ausgangsoptik.
- 6.3 Benutzung des Rechners zur Vervollständigung der Abtastungen und der Messungen für die drei Messverfahren nach den [Anhängen A, B und C](#).
- 6.4 Vervollständigung der Dokumentation.

7 Berechnungen und Auswertung der Ergebnisse

Mit den Gleichungen (1) und (2) werden die PMD-Koeffizienten aus dem gemessenen PMD-Wert errechnet. In [5.1](#) und [Anhang H](#) sind Informationen darüber enthalten, wie zu bestimmen ist, welche Gleichung anzuwenden ist. Für Fasern und Kabel über 1 km Länge wird normalerweise eine zufällige Modenkopplung beobachtet.

In [den Anhängen A, B und C](#) sind Berechnungen zur Umrechnung der Messwerte in PMD-Werte angegeben.

[IEC 60794-3](#) und IEC 61282-3 enthalten Berechnungen für den Konstruktionswert der Zusammenschaltung PMD_Q , die größte Differenzgruppenlaufzeit DGD_{max} und die Wahrscheinlichkeit dafür, diese zu überschreiten, P_F . IEC 61282-3 enthält auch Berechnungen zur Kombination dieser Werte mit den PMD-Werten anderer Netzwerkelemente.

8 Dokumentation

8.1 Angaben, die bei jeder Messung vorzulegen sind

- a) Kennzeichnung des Prüfstücks;
- b) Prüfdatum;
- c) Länge des Prüfstücks;
- d) PMD-Koeffizient und seine Einheit ($ps/\sqrt{km}$ oder ps/km);
- e) Wellenlängenbereich (z. B. 1 300 nm oder 1 550 nm).

8.2 Angaben, die auf Anfrage vorzulegen sind

- a) Verwendetes Messverfahren;
- b) verwendeter Berechnungsansatz;
- c) Beschreibung des Einsatzverfahrens (einschließlich von Mechanismen zur Halterung der Faser);
- d) Wellenlängenbereich;
- e) für Verfahren A und B die Anzahl der abgetasteten Wellenlängen;

- f) für Verfahren C den Typ der Interferenzstreifenerkennung;
- g) Beschreibung der Messeinrichtung;
- h) Datum der letzten Kalibrierung;
- i) Aussage über die Art der Modenkopplung (wird durch die Einheiten des PMD-Koeffizienten angegeben);
- j) für Verfahren B mit schmalbandiger Quelle die Auflösung des Wellenlängenbereiches und die Anzahl der Wellenlängen;
- k) für Verfahren B mit breitbandiger Quelle die Mittenwellenlänge und die -3 -dB-Linienbreite.

9 Spezifikationsangaben

- a) Typ der Faser oder des Kabels;
- b) Fehler- oder Annahmekriterien;
- c) Wellenlängenbereich;
- d) Abweichungen von diesem Verfahren.

Anhang A (normativ)

Messverfahren mit Festanalysator

Dieser Anhang enthält spezielle Anforderungen für Verfahren A: Messverfahren mit Festanalysator.

A.1 Messvorrichtung

Bild A.1 zeigt mögliche Blockschaltbilder.

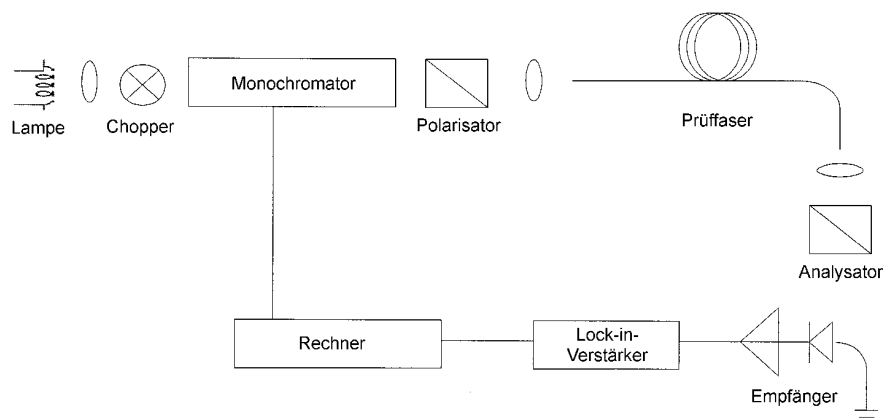


Bild A.1a – Schmalbandige Lichtquelle

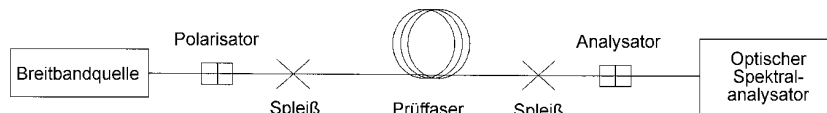


Bild A.1b – Breitbandige Lichtquelle

Bild A.1 – Blockdiagramme für Festanalysatoren

A.1.1 Lichtquelle

In allen Fällen können abhängig vom Typ des Analysators zwei Arten von Lichtquellen benutzt werden. Es kann eine schmalbandige Quelle wie die Kombination aus Breitbandlampe und Monochromator wie in Bild A.1a dargestellt mit einem Polarisationsanalysator angewendet werden. Es kann auch eine breitbandige Quelle nach Bild A.1b zusammen mit einem Schmalbandfilteranalysator wie einem optischen Spektralanalysator oder einem Interferometer, der als ein Spektralanalysator mit Fouriertransformation vor dem Analysator benutzt wird, eingesetzt werden. Bei einer breitbandigen Quelle wird für die Berechnung die Filterbreite als Spektralbreite angewendet.

In beiden Fällen muss die Spektralbreite ausreichend klein sein, um den gewünschten Polarisationsgrad aufrechtzuerhalten (siehe 4.1), und der Wellenlängenbereich muss ausreichen, um im festgelegten Wellenlängenbereich eine PMD-Messung mit ausreichender Genauigkeit zu liefern (siehe A.3).

Um sicherzustellen, dass alle Einzelheiten im optischen Spektrum angemessen aufgelöst werden, sollte die Spektralbreite folgender Gleichung genügen:

$$\Delta\lambda/\lambda_0 < (8v\Delta\tau_{\max})^{-1} \quad (\text{A.1})$$