

	DIN EN 61280-4-4 (VDE 0888-440)	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 33.180.01 Ersatz für DIN EN 61280-4-4:2007-01 Siehe Anwendungsbeginn Prüfverfahren für Lichtwellenleiter-Kommunikationsuntersysteme – Teil 4-4: Kabelnetze und Übertragungsstrecken – Messung der Polarisationsmodendispersion von installierten Übertragungsstrecken (IEC 61280-4-4:2017); Deutsche Fassung EN 61280-4-4:2017 Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 4-4: Cable plants and links – Polarization mode dispersion measurement for installed links (IEC 61280-4-4:2017); German version EN 61280-4-4:2017 Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques – Partie 4-4: Installation de câbles et liens – Mesure de la dispersion de mode polarisation pour les liaisons installées (IEC 61280-4-4:2017); Version allemande EN 61280-4-4:2017 Gesamtumfang 87 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2017-04-11 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2018-05-01.

Für DIN EN 61280-4-4:2007-01 besteht eine Übergangsfrist bis 2020-08-18.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 61280-4-4 (VDE 0888-440):2016-02.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 412.2 „Komponenten für Kommunikationskabelanlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 86C „Fibre optic systems and active devices“ 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.

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61280-4-4:2007-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die theoretischen Teile wurden herausgenommen und durch eine Verweisung auf IEC/TR 61282-9 ersetzt;
- b) ein neues Verfahren, Wellenlängenabtastr-OTDR und SOP-Analyse (WSOSA), wurde als [Anhang G](#) ergänzt;
- c) eine Kurzbeschreibung jedes Verfahrens wurde zu [Abschnitt 5](#) ergänzt;
- d) die Verfahren E und F wurden in die informativen [Anhänge E](#) und [F](#) umgewandelt;
- e) ein neuer [Abschnitt 6](#) zu Messkonfigurationen wurde ergänzt;
- f) ein neuer [Abschnitt 7](#) zu Überlegungen zur Messung wurde ergänzt;
- g) [Abschnitt 10](#) zu Verfahren wurde erweitert;
- h) mehrere Diagramme zum Messaufbau wurden verbessert;
- i) mehrere Klarstellungen über den Inhalt der Messungen und den Zweck der Berechnungen werden in [Anhang H](#) gemacht.

Frühere Ausgaben

DIN EN 61280-4-4: 2007-01

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 Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

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

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 60793-1-44	IEC 60793-1-44	DIN EN 60793-1-44 (VDE 0888-244)	VDE 0888-244
EN 60793-1-48:2003 <i>ersetzt durch:</i>	IEC 60793-1-48:2003 <i>ersetzt durch:</i>	DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888-248):2004-06 <i>ersetzt durch:</i>	VDE 0888-248
EN 60793-1-48:2007	IEC 60793-1-48:2007	DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888-248):2008-05	VDE 0888-248
EN 60793-2-50	IEC 60793-2-50	DIN EN 60793-2-50 (VDE 0888-325)	VDE 0888-325
–	IEC/TR 61282-3	–	–
–	IEC/TR 61282-9	–	–
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	–
EN 61300-3-35	IEC 61300-3-35	DIN EN 61300-3-35	–
–	IEC/TR 62627-01	DIN IEC/TR 62627-01 (DIN SPEC 42627-01)	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

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

DIN EN 60793-1-48 (VDE 0888-248):2008-05, *Lichtwellenleiter – Teil 1-48: Messmethoden und Prüfverfahren – Polarisationsmodendispersion (IEC 60793-1-48:2007); Deutsche Fassung EN 60793-1-48:2007*

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

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

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*

DIN EN 61300-3-35, *Lichtwellenleiter – Verbindungselemente und passive Bauteile – Grundlegende Prüf- und Messverfahren – Teil 3-35: Untersuchungen und Messungen – Visuelle Inspektion von Lichtwellenleiter-Steckverbindern und Faser Stub-Transceivern*

DIN IEC/TR 62627-01 (DIN SPEC 42627-01), *Lichtwellenleiter – Verbindungselemente und passive Bauteile – Teil 01: Reinigungsverfahren für Lichtwellenleiter-Steckverbinder*

**Prüfverfahren für Lichtwellenleiter-Kommunikationsuntersysteme –
Teil 4-4: Kabelnetze und Übertragungsstrecken –
Messung der Polarisationsmodendispersion von installierten
Übertragungsstrecken
(IEC 61280-4-4:2017)**

Fibre optic communication subsystem test
procedures –
Part 4-4: Cable plants and links –
Polarization mode dispersion measurement for
installed links
(IEC 61280-4-4:2017)

Procédures d'essai des sous-systèmes de
télécommunication à fibres optiques –
Partie 4-4: Installation de câbles et liens –
Mesure de la dispersion de mode polarisation
pour les liaisons installées
(IEC 61280-4-4:2017)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2017-04-11 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: Avenue Marnix 17, B-1000 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 61280-4-4:2017 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 86C/1378/CDV, zukünftige 2. Ausgabe der IEC 61280-4-4, erarbeitet vom SC 86C „Fibre optic systems and active devices“ des IEC/TC 86 „Fibre optics“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 61280-4-4:2017 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): 2018-02-18
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2020-08-18

Dieses Dokument ersetzt EN 61280-4-4:2006.

Diese Ausgabe enthält gegenüber der vorherigen Ausgabe die folgenden wesentlichen technischen Änderungen:

EN 61280-4-4:2017 enthält gegenüber EN 61280-4-4:2006 die folgenden wesentlichen technischen Änderungen:

- a) die theoretischen Teile wurden herausgenommen und durch eine Verweisung auf IEC/TR 61282-9 ersetzt;
- b) ein neues Verfahren, Wellenlängenabstast-OTDR und SOP-Analyse (WSOSA), wurde als [Anhang G](#) ergänzt;
- c) eine Kurzbeschreibung jedes Verfahrens wurde zu [Abschnitt 5](#) ergänzt;
- d) die Verfahren E und F wurden in die informativen [Anhänge E](#) und [F](#) umgewandelt;
- e) ein neuer [Abschnitt 6](#) zu Messkonfigurationen wurde ergänzt;
- f) ein neuer [Abschnitt 7](#) zu Überlegungen zur Messung wurde ergänzt;
- g) [Abschnitt 10](#) zu Verfahren wurde erweitert;
- h) mehrere Diagramme zum Messaufbau wurden verbessert;
- i) mehrere Klarstellungen über den Inhalt der Messungen und den Zweck der Berechnungen werden in [Anhang H](#) gemacht.

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 61280-4-4:2017 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 60793-1-48:2003	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60793-1-48:2003 ¹⁾ (nicht modifiziert).
IEC 60793-1-48:2007	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60793-1-48:2007 (nicht modifiziert).
IEC 60793-2-50	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60793-2-50 .
IEC 61280-4-4:2006	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61280-4-4:2006 (nicht modifiziert).
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.

¹⁾ Ersetzt durch **EN 60793-1-48:2007** (IEC 60793-1-48:2007).

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	2
Einleitung	10
1 Anwendungsbereich	11
2 Normative Verweisungen	11
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	11
3.1 Begriffe	11
3.2 Symbole und Abkürzungen	11
4 Hintergrund zu PMD-Eigenschaften	13
5 Messverfahren	14
5.1 Verfahren zur Messung der PMD	14
5.1.1 Allgemeines	14
5.1.2 Verfahren A: Festanalysator mit Fourier-Transformation (FA-FT)	15
5.1.3 Verfahren B: Auswertung der Stokes-Parameter (SPE)	15
5.1.4 Verfahren C: Interferometrisch	16
5.1.5 Verfahren D: Auswertung der Stokes-Parameter mit rückgestrahltem Licht	16
5.1.6 Verfahren E: Modulierte Phasenverschiebungstechnik	16
5.1.7 Verfahren F: Polarisationsphasenverschiebung (PPS)	17
5.1.8 Verfahren G: Wellenlängenabstast-OTDR und SOP-Analyse (WSOSA)	17
5.2 Dokumentstruktur	17
5.3 Referenzprüfverfahren	17
6 Messkonfigurationen	17
6.1 Übertragungsstrecke mit passiver Verkabelung	17
6.2 Übertragungsstrecken mit Verstärkern	18
6.3 Übertragungsstrecken mit Modulen zur Kompensation der chromatischen Dispersion	18
6.3.1 Allgemeines	18
6.3.2 Auf Gittern beruhende DCM	19
6.4 Übertragungsstrecken mit ROADM	19
6.4.1 Allgemeines	19
6.4.2 Mehrkanalige Punkt-zu-Punkt-Konfiguration	19
6.4.3 Einkanalkonfiguration	19
7 Überlegungen zur Messung	19
7.1 Allgemeines	19
7.2 Wellenlängenbereich	19
7.3 PMD-Messbereich	20
7.4 Dynamikbereich der Messung	20
7.5 Faserbewegung	20
7.6 Eingangs- und Ausgangs-SOP-Mischung	21

7.6.1	Allgemeines.....	21
7.6.2	Polarisatoren/Mischer	21
7.6.3	Der 9-Zustands-Müller-Satz	21
7.6.4	Zufälliges Mischen	21
7.7	Polarisationsabhängige Dämpfung	22
7.8	Betrachtungen zum Verstärker	22
7.8.1	Allgemeines.....	22
7.8.2	Optische Isolatoren	22
7.8.3	Wellenlängenbereich.....	22
7.8.4	Leistungspegel	22
7.8.5	Rauschen der verstärkten spontanen Emission (ASE).....	22
7.9	Betrachtungen zum Standort der Messausrüstung.....	22
8	Messaufbau	23
8.1	Allgemeines.....	23
8.2	Lichtquelle und Polarisatoren.....	23
8.3	Eingangsoptik.....	24
8.4	Mantelmodenabstreifer	24
8.5	Modenfilter höherer Ordnung	24
8.6	Ausgangsverbindung	24
8.7	Ausgangsoptik.....	24
8.8	Empfänger	24
8.9	Computer oder Prüfplattform.....	25
8.10	Mittel zur Verringerung der Effekte der verstärkten spontanen Emission.....	25
9	Probenahme und Prüflinge	25
10	Durchführung.....	25
11	Berechnung oder Interpretation der Ergebnisse	25
12	Dokumentation	26
12.1	Angaben, die für jede Messung gefordert sind	26
12.2	Angaben, die verfügbar zur halten sind	26
13	Angaben für die Spezifikation	26
	Anhang A (normativ) Festanalysatorverfahren.....	27
A.1	Messaufbau	27
A.1.1	Blockschaltbilder	27
A.1.2	Lichtquelle	29
A.1.3	Analysator	30
A.1.4	Optionale Polarisationssteuerung am Eingang und Ausgang der zu prüfenden Übertragungsstrecke	30
A.2	Durchführung.....	30
A.2.1	Wellenlängenbereich und -schritt.....	30

A.2.2	Durchführung der Abtastungen	31
A.3	Berechnungen – Fourier-Transformation	32
A.3.1	Allgemeines	32
A.3.2	Datenvorverarbeitung und Fourier-Transformation	33
A.3.3	Anpassung der Transformationsdaten	33
A.3.4	Spektralbereich.....	36
Anhang B (normativ)	Verfahren der Auswertung der Stokes-Parameter	37
B.1	Messaufbau	37
B.1.1	Blockschaltbilder.....	37
B.1.2	Lichtquelle	38
B.1.3	Polarimeter	38
B.2	Durchführung.....	38
B.3	Berechnungen	39
B.3.1	Allgemeines	39
B.3.2	Jones-Matrix-Eigenanalyse (JME)	40
B.3.3	DGD-Berechnung mit der Poincaré-Kugel-Analyse (PSA)	41
Anhang C (normativ)	Interferometerverfahren.....	42
C.1	Allgemeines	42
C.2	Übliche Analyse (TINTY).....	43
C.2.1	Messaufbau	43
C.2.2	Verfahren.....	44
C.2.3	Berechnungen	45
C.3	Allgemeine Analyse (GINTY)	46
C.3.1	Vorteile.....	46
C.3.2	Messaufbau	46
C.3.3	Verfahren.....	47
C.3.4	Berechnungen	49
Anhang D (informativ)	Auswertung der Stokes-Parameter mit rückgestrahltem Licht	50
D.1	Brauchbarkeit	50
D.2	Messaufbau	50
D.2.1	Blockschaltbild.....	50
D.2.2	Richtkoppler.....	50
D.2.3	Steckverbinder für angeschrägte Fasern	50
D.2.4	Anschluss am entfernten Ende	51
D.3	Verfahren.....	51
D.4	Berechnung und Interpretation der Ergebnisse	51
Anhang E (informativ)	Verfahren der Modulationsphasenverschiebung	52
E.1	Messaufbau	52
E.1.1	Überblick und Blockschaltbilder	52

E.1.2	Lichtquelle(n).....	53
E.1.3	Modulation.....	54
E.1.4	Polarisationssteuerung.....	55
E.1.5	Eingangs- und Ausgangsoptik	55
E.1.6	Optischer Empfänger und Phasendetektor-Elektronik.....	56
E.1.7	Referenzsignal	56
E.2	Verfahren.....	56
E.2.1	Modulationsfrequenz.....	56
E.2.2	Wellenlängenabtastung und DGD-Messung.....	56
E.2.3	Kalibrierung	59
E.3	Berechnungen	59
E.3.1	DGD-Berechnungen.....	59
E.3.2	PMD-Berechnungen.....	60
	Anhang F (informativ) Verfahren der Polarisationsphasenverschiebung.....	61
F.1	Messaufbau.....	61
F.1.1	Blockschaltbild.....	61
F.1.2	Lichtquelle	61
F.1.3	Modulation.....	61
F.1.4	Polarisationseinstellung	62
F.1.5	Ausgangsoptik.....	62
F.1.6	Optische Empfänger	62
F.1.7	Amplituden- und Phasenkomparator	63
F.1.8	Referenzsignal	63
F.2	Verfahren.....	63
F.2.1	Modulationsfrequenz.....	63
F.2.2	Wellenlängenschritt.....	63
F.2.3	Abtastwellenlängen und Messung der DGD	64
F.2.4	Kalibrierung	64
F.3	Berechnungen	64
F.3.1	Überblick über die Ergebnisse	64
F.3.2	DGD-Bestimmung	65
F.3.3	PMD-Berechnung.....	66
	Anhang G (normativ) PMD-Prüfverfahren mit Wellenlängenabtast-OTDR und SOP- Analyse (WSOSA).....	67
G.1	Allgemeines.....	67
G.2	Messaufbau.....	68
G.2.1	Blockschaltbild.....	68
G.2.2	Lichtquelle	68
G.2.3	Einkoppelpolarisation	69

G.2.4	Polarisationsmischung.....	69
G.2.5	Eingangs- und Ausgangsoptik.....	69
G.3	Stabilität des Prüfobjekts	69
G.4	Durchführung	70
G.4.1	Einstellen der Messgeräteparameter	70
G.4.2	Bedienung des Messgeräts nach der Einleitung der Messung	70
G.5	Berechnungen	73
G.5.1	Leistungsnormierung	73
G.5.2	Übertragungsdifferenzen	73
G.5.3	Quadratischer Mittelwert der Übertragungsdifferenz und Umlauf-PMD	74
G.5.4	Bestimmung der PMD	75
G.6	Verfahren zur PMD-Messung an installierten Freileitungen.....	75
G.6.1	Ausgleich der Instabilitäten	75
G.6.2	Ansätze zur Verringerung der Auswirkungen von Instabilitäten.....	76
Anhang H (informativ)	PMD-Bestimmung durch Verfahren C	78
H.1	Allgemeines	78
H.2	Übliche Analyse.....	78
H.3	Allgemeine Analyse	80
Literaturhinweise		81
Anhang ZA (normativ)	Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	83
Bilder		
Bild 1 – Übliche Konfiguration einer Übertragungsstrecke mit passiver Verkabelung		18
Bild 2 – Beispielkonfiguration einer Übertragungsstrecke mit Verstärkern		18
Bild A.1 – Blockschaltbild für Festanalysator.....		29
Bild A.2 – Beispiel der R-Funktion für das Festanalysatorverfahren.....		32
Bild A.3 – Eine gechirpte Sinusschwingung		34
Bild A.4 – PMD durch Fourier-Analyse		35
Bild B.1 – Blockschaltbild für Verfahren B mit Schmalbandquelle (abstimmbarer Laser).....		37
Bild B.2 – Blockschaltbild für Verfahren B mit Breitbandquelle (ASE)		38
Bild C.1 – Grundlegender Aufbau für Verfahren C (INTY)		42
Bild C.2 – Blockschaltbild für Verfahren C (TINTY).....		43
Bild C.3 – Typische Daten, die mit Verfahren C (TINTY) ermittelt wurden		45
Bild C.4 – Blockschaltbild für Verfahren C (GINTY)		46
Bild C.5 – Daten einer typischen zufälligen Modenkopplung, die mit Verfahren C (GINTY) ermittelt wurden		48
Bild C.6 – Daten einer typischen gemischten Modenkopplung, die mit Verfahren C (GINTY) ermittelt wurden		48
Bild D.1 – Aufbau für Verfahren D		50
Bild E.1 – Grundlegender Messaufbau.....		52

Bild E.2 – Anordnung des Messaufbaus für Polarisationsmodulation	53
Bild E.3 – Müller-Zustände auf einer Poincaré-Kugel	58
Bild E.4 – DGD in Abhängigkeit von der Wellenlänge	59
Bild E.5 – DGD als Histogramm	60
Bild F.1 – Blockschaltbild für Verfahren F (Verfahren der Polarisationsphasenverschiebung)	61
Bild F.2 – DGD in Abhängigkeit von der Wellenlänge für ein Gerät mit zufälliger Modenkopplung	65
Bild G.1 – Darstellung des Frequenzbereichs und der Parameter für WSOSA.....	67
Bild G.2 – Typische allgemeine experimentelle Ausführung für WSOSA.....	68
Bild G.3 – Typische Leistungsmessergebnisse.....	72
Bild G.4 – Typische $s(\omega)$ -Funktion für zufällige I/O-SOP	73
Bild G.5 – Typische Übertragungsdifferenz für ein Frequenzpaar und I/O-SOP	74
Bild G.6 – Beispiel einer 2-Impuls-Ausführung bei vorhandenen Instabilitäten	77

Tabellen

Tabelle E.1 – Beispiel für einen Müller-Satz	58
--	----

Einleitung

Die Polarisationsmodendispersion (PMD) ist ein statistischer Parameter. Die Reproduzierbarkeit von Messungen hängt vom speziellen Verfahren ab, sie ist aber auch durch das PMD-Niveau der Übertragungsstrecke und den verfügbaren Wellenlängenbereich begrenzt. Gisin [1]²⁾ leitete unter der Annahme idealer Messbedingungen eine theoretische Grenze für diese Reproduzierbarkeit unabhängig vom Messverfahren her.

Ursprünglich waren die Grundlagen von IEC 61280-4-4:2006 hinsichtlich des Lichtwellenleiter- und Lichtwellenleiterkabel-Prüfverfahrens eng an IEC 60793-1-48:2003 angelehnt, die sich auf Aspekte bezüglich der Messung von Fertigungslängen konzentriert. Aus IEC 60793-1-48:2007 wurden jedoch einige der Prüfverfahren entfernt, die nicht länger von Interesse für Faser- und Kabelhersteller sind. Diese wurden als informative Anhänge D, E und F in diesem Dokument beibehalten, und ein neues Prüfverfahren G wurde ergänzt.

Dieses Dokument aktualisiert außerdem die Prüfverfahren A, B und C und fügt weitere Informationen hinzu, die für die Prüfung installierter Verkabelungen verwendbar sind.

ANMERKUNG 1 Prüfverfahren für Fertigungslängen von Lichtwellenleitern und LWL-Kabeln sind in IEC 60793-1-48 angegeben.

ANMERKUNG 2 Prüfverfahren für optische Verstärker sind in IEC 61290-11-1 und IEC 61290-11-2 angegeben.

ANMERKUNG 3 Prüfverfahren für passive optische Bauteile sind in IEC 61300-3-32 angegeben.

ANMERKUNG 4 Leitlinien für die PMD-Berechnung von Übertragungsstrecken, die Bauteile wie Dispersionskompensatoren oder optische Verstärker enthalten, sind in IEC/TR 61282-3 angegeben.

ANMERKUNG 5 Weitere allgemeine Leitlinien zu PMD-Messungen und Hintergrundtheorie sind in IEC/TR 61282-9 enthalten.

²⁾ Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf die Literaturhinweise.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 61280 legt einheitliche Verfahren zur Messung der Polarisationsmodendispersion (PMD) von installierten Einmoden-Übertragungsstrecken fest. Eine installierte Übertragungsstrecke ist der optische Pfad zwischen Sender und Empfänger oder ein Teilstück dieses optischen Pfades. Diese Messungen können benutzt werden, um die Eignung einer bestimmten Übertragungsstrecke für Anwendungen mit hohen Datenübertragungsraten zu bewerten oder um einen Einblick in die Beziehungen zwischen verschiedenen zugehörigen Übertragungseigenschaften zu geben. Dieses Dokument konzentriert sich auf die Messverfahren und Anforderungen für die Messung großer Längen installierter Verkabelungen, die auch andere optische Elemente enthalten, wie Spleiße, Steckverbinder, Verstärker, Module zur Kompensation der chromatischen Dispersion, DWDM-Bauteile, Multiplexer, Wellenlängenwahlschalter, ROADMS usw.

Dieses Dokument konzentriert sich auf den Messaufbau, die Abläufe und die Berechnungen, die zur Durchführung von Messungen benötigt werden. IEC/TR 61282-9 erklärt die Theorie hinter den Prüfverfahren.

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

IEC 61300-3-35, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-35: Examinations and measurements – Visual inspection of fibre optic connectors and fibre-stub transceivers*

IEC TR 61282-9, *Fibre optic communication system design guides – Part 9: Guidance on polarization mode dispersion measurements and theory*

IEC TR 62627-01, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Part 01: Fibre optic connector cleaning methods*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

3.1 Begriffe

In diesem Dokument werden keine Begriffe aufgeführt.

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

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

3.2 Symbole und Abkürzungen

c	Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (299 792 458 m/s)
h	Kopplungslänge (auch h -Parameter genannt)
L	Länge der Übertragungsstrecke
t_c	Kohärenzzeit der optischen Quelle (Verfahren C)
$\delta\lambda$	Wellenlängenschritt (Intervall, Abstand oder Schrittweite)
$\delta\nu$	optischer Frequenzschritt (Intervall, Abstand oder Schrittweite)

$\Delta\lambda$	spektrale Breite oder Linienbreite der optischen Quelle (FWHM, wenn nicht anders festgelegt)
$\Delta\theta$	Rotationswinkel auf der Poincaré-Kugel
$\delta\tau$	differentieller Empfangszeitpunkt verschiedener Polarisationskomponenten
$\delta\tau_{\max}$	größter messbarer Wert von $\delta\tau$
$\delta\tau_{\min}$	kleinster messbarer Wert von $\delta\tau$
$\Delta\tau$	Wert der differentiellen Gruppenlaufzeit
$\langle\Delta\tau\rangle$	mittlerer DGD-Wert über einem Wellenlängenbereich oder PMD_{average} -Wert
$\langle\Delta\tau^2\rangle^{1/2}$	quadratischer Mittelwert der DGD über einem Wellenlängenbereich oder PMD_{RMS} -Wert
$\Delta\tau_{\max}$	größter Wert von $\Delta\tau$, der gemessen werden kann
$\Delta\omega$	Kreisfrequenzänderung bei Verfahren B
λ	Prüfwellenlänge für die PMD-Messung
λ_0	Mittenwellenlänge der Lichtquelle
ν	Frequenz des optischen Lichts
σ_R	zweites Moment der Fourier-Transformationsdaten
σ_0	quadratischer Mittelwert der Breite der quadrierten Hüllkurve der Autokorrelation
σ_x	quadratischer Mittelwert der Breite der quadrierten Hüllkurve der Kreuzkorrelation
σ_ε	quadratischer Mittelwert der Breite des Interferogramms
ω	optische Kreisfrequenz
ASE	verstärkte spontane Emission (en: amplified spontaneous emission)
DCF	(chromatisch) dispersionskompensierende Faser (en: dispersion compensating fibre)
DCM	(chromatisch) dispersionskompensierendes Modul (en: dispersion compensating module)
DGD	differentielle Gruppenlaufzeit (en: differential group delay)
DOP	Polarisationsgrad (en: degree of polarisation)
DUT	Prüfobjekt (en: device under test)
DWDM	Wellenlängenmultiplex oder Wellenlängenmultiplexer mit hoher Dichte (en: dense wavelength division multiplexing or multiplexer)
FA	Festanalysator (en: fixed analyzer)
FA-FT	Festanalysator – Fourier-Transformation (PMD-Prüfverfahren) (en: fixed analyzer – Fourier transform)
FBG	Faser-Bragg-Gitter (en: fibre Bragg grating)
FET	Feldeffekttransistor (en: field effect transistor)
FWHM	Halbwertsbreite (en: full-width half-maximum)
GINTY	allgemeine Interferometeranalyse (PMD-Prüfverfahren) (en: general interferometric analysis)
INTY	Interferometrie (PMD-Prüfverfahren) (en: interferometry)
I/O-SOP	Eingangs-/Ausgangs-Polarisationszustand (en: input-output state of polarization)
JME	Jones-Matrix-Eigenanalyse (en: Jones matrix eigenanalysis)
LED	lichtemittierende Diode (en: light emitting diode)
NLE	nichtlinearer Effekt (en: non-linear effect)
OA	optischer Verstärker (en: optical amplifier)
OSA	optischer Spektrumanalysator (en: optical spectrum analyzer)

PDL	polarisationsabhängige Dämpfung (en: polarization dependent loss)
PIN (diode)	PIN-Diode
PMD	Polarisationsmodendispersion (en: polarization mode dispersion)
PPS	Polarisationsphasenverschiebung (en: polarisation phase shift)
PSA	Analyse mit Poincaré-Kugel (en: Poincaré sphere analysis)
PSP	Hauptpolarisationszustand (en: principal state of polarisation)
RBW	Auflösungsbandbreite (en: resolution bandwidth)
RMC	zufällige Modenkopplung (en: random mode coupling)
RMS	quadratischer Mittelwert (en: root mean square)
ROADM	rekonfigurierbarer optischer Add-Drop-Multiplexer (en: re-configurable optical add drop multiplexer)
RTM	Referenzprüfverfahren (en: reference test method)
SMF	Einmodenfaser (en: single mode fibre)
SOP	Polarisationszustand (en: state of polarisation)
SPE	Auswertung der Stokes-Parameter (en: Stokes parameter evaluation)
TINTY	übliche Interferometeranalyse (PMD-Prüfverfahren) (en: traditional interferometric analysis)
WSOSA	Wellenlängenabtast-OTDR und SOP-Analyse (PMD-Prüfverfahren) (en: wavelength scanning OTDR and SOP analysis)
WSS	Wellenlängenwahlschalter (en: wavelength selective switch)

4 Hintergrund zu PMD-Eigenschaften

PMD bewirkt eine Verbreiterung optischer Impulse im Zeitbereich. Diese Dispersion könnte die Leistungsfähigkeit eines Telekommunikationssystems nachteilig beeinflussen. Der Effekt kann auf unterschiedlichen Phasen- und Gruppenlaufzeiten und entsprechenden Empfangszeitpunkten $\delta\tau$ verschiedener Polarisationskomponenten des Signals beruhen. Bei einer genügend schmalbandigen Quelle kann der Effekt zur differentiellen Gruppenlaufzeit (DGD) $\Delta\tau$ zwischen Paaren orthogonal polarisierter Hauptpolarisationszustände (PSP) bei einer bestimmten Wellenlänge in Beziehung gesetzt werden. Bei der Breitbandübertragung spalten sich die Laufzeiten auf und ergeben einen Ausgangsimpuls, der sich im Zeitbereich verbreitert. In diesem Fall kann die Verbreiterung auf den quadratischen Mittelwert (RMS) der DGD-Werte bezogen werden.

Auf langen Faserstrecken verändert sich die DGD zufällig als Funktion der Zeit und der Wellenlänge, weil sie von den Einzelheiten der Doppelbrechung entlang der ganzen Faserlänge abhängt. Sie ist auch empfindlich für zeitveränderliche Temperaturen und mechanische Störungen entlang der Faser. Deshalb ist es sinnvoll, die PMD von langen Fasern als mittlere DGD über einen ausreichend großen optischen Frequenzbereich anzugeben, und zwar entweder als $\text{RMS } \langle \Delta\tau^2 \rangle^{1/2}$, dem quadratischen Mittelwert der DGD über diesen Frequenzbereich, oder als $\text{MEAN } \langle \Delta\tau \rangle$, der (linearen) mittleren DGD über diesen gleichen Frequenzbereich. Im Gegensatz zu den Parametern $\delta\tau$ oder $\Delta\tau$ unterliegt der mittlere DGD-Wert ($\text{RMS } \langle \Delta\tau^2 \rangle^{1/2}$ oder $\text{MEAN } \langle \Delta\tau \rangle$) für eine vorgegebene Faser von Tag zu Tag oder von Quelle zu Quelle keinen großen Schwankungen. Außerdem ist der mittlere DGD-Wert nützlich, um die Übertragungsqualität vorherzusagen.

Der Begriff „PMD“ wird sowohl allgemein für zwei Polarisationsmoden mit unterschiedlichen Gruppenlaufzeiten benutzt (eine Polarisationsmode mit der größten Geschwindigkeit und entsprechend dem frühesten Empfangszeitpunkt, die andere mit der geringsten Geschwindigkeit und entsprechend dem spätesten Empfangszeitpunkt, wobei die Differenz zwischen den beiden Empfangszeitpunkten die DGD ist), als auch speziell für den mittleren DGD-Wert ($\text{RMS } \langle \Delta\tau^2 \rangle^{1/2}$ oder $\text{MEAN } \langle \Delta\tau \rangle$). Letzterer ergibt die genaue Definition der PMD für dieses Dokument. Obwohl die DGD $\Delta\tau$ oder die Impulsverbreiterung $\Delta\delta$ vorzugsweise über die Frequenz gemittelt wird, kann sie für bestimmte Situationen auch über die Zeit oder die Temperatur gemittelt werden. Für die PMD gibt es zwei Maße der mittleren DGD:

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

$$PMD_{RMS} = \left(\Delta \tau^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

Der Ausdruck in Gleichung (1) ist die PMD-Definition als linearer Mittelwert der DGD-Werte. Der Ausdruck in Gleichung (2) ist die PMD-Definition als quadratischer Mittelwert der DGD-Werte.

Bei vielen Übertragungsstrecken unterliegen die DGD-Werte einer zufälligen Verteilung, die sich einer Maxwell-Verteilung annähert. Unter der Annahme einer perfekten Anpassung durch eine Maxwell-Verteilung ergibt sich als Verknüpfung der beiden Maße der linearen gemittelten DGD und des quadratischen Mittelwertes der DGD die Gleichung (3):

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

ANMERKUNG Gleichung (3) gilt, wenn die DGD-Werte einer Maxwell-Verteilung unterliegen. Diese Annahme gilt möglicherweise nicht, wenn im optischen Pfad stark doppelbrechende Elemente (im Verhältnis zum Rest der Übertragungsstrecke) vorhanden sind. Abhängig von den Wahrscheinlichkeitsgrenzen, denen der Betreiber der Übertragungsstrecke zugestimmt hat, wird zur Bestimmung der größten DGD, die für mit ITU-T übereinstimmende Übertragungsstrecken festgelegt ist, für den PMD_{AVG} -Wert ein Multiplikator zwischen 3 und 3,7 (siehe IEC/TR 61282-3) angewendet.

Dieser Multiplikator beruht auf der Annahme einer Maxwell-Verteilung und spiegelt ein sehr langes Verteilungsende wieder. Wenn die Übertragungsstrecke ein stark doppelbrechendes Element enthält, steigen PMD_{AVG} und PMD_{RMS} in Bezug auf das tatsächliche Ende der DGD-Verteilung an (was nach sich zieht, dass ein verringerter Multiplikator verwendet werden könnte), aber Gleichung (3) kann nicht mehr aufrechterhalten werden, weil die DGD-Verteilung beginnt, einer Verteilung auf der Grundlage der Quadratwurzel einer nichtzentralen Chi-Quadrat-Verteilung mit drei Freiheitsgraden zu ähneln. Dabei ist der PMD_{RMS} -Wert gegenüber dem in Gleichung (3) angegebenen PMD_{RMS} -Wert im Allgemeinen größer. Diese Bedingung wird durch „flache Spitzen“ an den Hüllkurven der Interferenzstreifen aus Messverfahren im Zeitbereich wie Verfahren C und durch bimodale DGD-Verteilungen aus Messverfahren im Frequenzbereich wie Verfahren B angezeigt.

Der Operator des Erwartungswertes in den angegebenen Gleichungen bezieht sich auf den Langzeiterwartungswert über alle Wellenlängen. In der Praxis wird ein endlicher Wellenlängenbereich zu einem bestimmten Zeitpunkt und in einem bestimmten Zustand abgetastet, und es wird eine Form des Mittelwerts der Daten berechnet. Der Erwartungswert dieser berechneten Mittelwerte ist unter der Annahme von Ergodizität über der Zeit, der Wellenlänge und des Zustands gleich dem Langzeiterwartungswert. Trifft diese Annahme nicht zu, ändert sich das Ergebnis in Abhängigkeit von den bestimmten Wellenlängen, die abgetastet werden. Bei ergodischen Bedingungen ändert sich die Reproduzierbarkeit der Messung mit dem Wellenlängenbereich und dem PMD-Niveau [1].

ANMERKUNG Ergodisch: bezieht sich auf einen Prozess, bei dem jede Folge oder jede größere Stichprobe für die Gesamtheit gleich repräsentativ ist.

5 Messverfahren

5.1 Verfahren zur Messung der PMD

5.1.1 Allgemeines

Für die Messung der PMD werden sieben grundlegende Verfahren angegeben. Für die Verfahren A, B, C und G sind spezifische Details in normativen Anhängen angegeben. Für die Verfahren D, E und F sind spezifische Details in informativen Anhängen angegeben. Die Verfahren A, B, C und G sind in weitverbreiteter gewerblicher Benutzung und wurden in Einsatzprüfausrüstung implementiert. Die Verfahren A, B und C sind ebenso für die Prüfung von Fasern und Kabeln in einer Werksumgebung geeignet, wie in IEC 60793-1-48:2007 ausgeführt. Für einige Verfahren sind außerdem mehrere Ansätze zur Auswertung der Messergebnisse angegeben.

- Verfahren A Festanalysator (FA)
 - Fourier-Transformation (FT).
- Verfahren B Auswertung der Stokes-Parameter (SPE)
 - Jones-Matrix-Eigenanalyse (JME);
 - Analyse mit Poincaré-Kugel (PSA).
- Verfahren C Interferometrie (INTY)
 - übliche Analyse (TINTY);
 - allgemeine Analyse (GINTY).
- Verfahren D Auswertung der Stokes-Parameter mit rückgestrahltem Licht
 - Jones-Matrix-Eigenanalyse (JME);
 - Analyse mit Poincaré-Kugel (PSA).
- Verfahren E Modulierte Phasenverschiebung
 - vollständige Suche;
 - Müller-Satz-Analyse.
- Verfahren F Polarisationsphasenverschiebung (PPS)
- Verfahren G Wellenlängenabtastr-OTDR und SOP-Analyse (WSOSA)
 - DGD-Analyse;
 - PMD-Analyse.

Jedes Verfahren hat in mancher Hinsicht Vorteile, in anderer jedoch Nachteile. Diese werden in größerer Ausführlichkeit in [Abschnitt 7](#) diskutiert.

5.1.2 Verfahren A: Festanalysator mit Fourier-Transformation (FA-FT)

Verfahren A benötigt, abhängig von der Implementation, nur einen Eingangs-SOP von einer Breitbandquelle oder einer abstimmbaren Laserquelle. Ein Festanalysator wird dazu benutzt, die relative Änderung der Leistung eines Elements der Stokes-Vektoren als Funktion der Wellenlänge zu verfolgen. Wenn eine Fourier-Transformation auf diese Daten angewendet wird, ist das Ergebnis ein virtuelles Halb-Interferogramm, das in ähnlicher Art und Weise wie bei Verfahren C (TINTY) ausgewertet wird.

5.1.3 Verfahren B: Auswertung der Stokes-Parameter (SPE)

Bei Verfahren B wird $\Delta\tau(\omega)$ durch die Messung der polarimetrischen Antwort auf eine Änderung von schmalbandigem Licht über einem Wellenlängenbereich gemessen. Für jede Wellenlänge müssen drei bekannte und eindeutige SOP, wie z. B. lineare SOP bei nominal 0° , 45° und 90° (orthogonal auf der Poincaré-Kugel), eingekoppelt und der durch die Übertragungsstrecke übertragene Stokes-Ausgangsvektor gemessen werden.

Die Änderung dieser Stokes-Vektoren mit der optischen Kreisfrequenz (Wellenlänge) ω und mit der Änderung des Eingangs-SOP ergibt die DGD als Funktion der Wellenlänge mit Hilfe von Beziehungen, die auf den folgenden Definitionen beruhen:

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

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

Dabei ist

- $\hat{s}$ der Stokes-Ausgangsvektor bei der optischen Kreisfrequenz ω ,
 $\hat{\Omega}$ der PSP-Vektor, auch als Polarisationsdispersionsvektor (PDV) bezeichnet, bei der optischen Kreisfrequenz ω ,
 $\Delta\tau$ die DGD bei der optischen Kreisfrequenz ω .

Die JME erfolgt durch Umwandlung der Stokes-Ausgangsvektoren zu Jones-Matrizen [2], geeignete Kombination der Matrizen bei benachbarten Wellenlängen und Berechnung der Eigenwerte des Ergebnisses, gefolgt von der Anwendung einer Argumentgleichung, um die DGD bei der Grundfrequenz zu erhalten.

Die PSA erfolgt durch Anwendung von Matrixalgebra auf die normierten Stokes-Ausgangsvektoren, um daraus den Stokes-Ausgangsvektor herzuleiten, der zur zirkularen Doppelbrechung bei benachbarten Wellenlängen gehört, gefolgt von der Anwendung einer Arkussinusfunktion, um die DGD bei der Grundfrequenz zu erhalten.

Sowohl bei der JME als auch der PSA ergibt der Mittelwert der DGD-Werte über einem gegebenen Wellenlängenbereich den PMD-Wert für diesen Bereich. JME und PSA sind mathematisch äquivalent. Bei Benutzung einer Schmalbandquelle ist wie gewöhnlich darauf zu achten, optische Reflexionen, die Kohärenzinterferenzeffekte verursachen können, so klein wie möglich zu halten.

Außerdem muss bei einem Start-Stopp-Messsystem (im Gegensatz zu einem Wobbelsystem) die Schrittweite der Schmalbandquelle sorgfältig entsprechend dem erwarteten DGD-Spektrum (DGD-Änderung als Funktion der Wellenlänge) ausgewählt werden. Für Einzelheiten zur Auswahl der Schrittweite siehe B.2. Die Linienbreite der Schmalbandquelle muss dann nach dem Nyquist-Kriterium auf die ausgewählte Schrittweite eingestellt werden.

5.1.4 Verfahren C: Interferometrisch

Verfahren C basiert auf einer breitbandigen Lichtquelle, die zu einem oder mehreren bekannten und eindeutigen SOP polarisiert ist. Die Kreuzkorrelation des austretenden elektromagnetischen Feldes wird durch das Interferenzmuster des Ausgangslichtes bestimmt. Die Charakterisierung dieses Musters erfolgt bei TINTY durch Berechnung des quadratischen Mittelwertes der Breite der Hüllkurve der Kreuzkorrelation des Interferogramms oder bei GINTY durch Berechnung der quadrierten quadratischen Mittelwerte (en: squared RMS) der Breiten der Hüllkurven sowohl der Kreuz- als auch der Autokorrelation des Interferogramms. Diese quadratischen Mittelwerte der Breiten ergeben den PMD-Wert für den Wellenlängenbereich, der durch das Spektrum der Quelle (die Quellenbandbreite) vorgegeben ist. Mit Verfahren C kann nur der PMD_{RMS} -Wert gemessen werden.

5.1.5 Verfahren D: Auswertung der Stokes-Parameter mit rückgestrahltem Licht

Verfahren D gleicht im Grundsatz Verfahren B, jedoch werden die Stokes-Ausgangsvektoren gemessen, die vom Ende der Übertragungsstrecke zurück zur Quelle reflektiert werden, um die DGD-Werte zu erhalten. Für die Berechnung des PMD-Wertes für ein gegebenes Band wird eine modifizierte Formel benutzt, die die Reflexion berücksichtigt. Da die Reflexion erforderlich ist, ist das Verfahren nicht für Übertragungsstrecken brauchbar, die Isolatoren enthalten (die oft in optischen Verstärkern zu finden sind). Wie in allen weiteren Fällen, in denen eine schmalbandige Lichtquelle benutzt wird, sollten Kohärenzinterferenzeffekte und Fabry-Perot-Resonatoreffekte sorgfältig vermieden werden, die sich als falsche DGD zeigen könnten. Diese Effekte bewirken Verzögerungen, die in jedem Fall aufgezeichnet werden. Aus der Literatur [12] bekannte Messergebnisse zeigen, dass Verfahren D auf Längen in der Größenordnung von 40 km begrenzt ist, es sei denn, dass ein Reflektor am Ende der Anlage benutzt wird, um die Lichtstärke des reflektierten Lichts zu erhöhen.

5.1.6 Verfahren E: Modulierte Phasenverschiebungstechnik

Bei Verfahren E wird der Phasenunterschied zwischen zwei oder mehr SOP einer modulierten schmalbandigen Lichtquelle gemessen. Das Verfahren der vollständigen Suche erfordert, dass ein alternierendes Paar orthogonaler Eingangs-SOP eingekoppelt wird, um eine gegebene Phasenverschiebung zu erhalten. Die Achsenlage dieses Paares wird über der gesamten Poincaré-Kugel variiert, um die maximale Phasenver-

schiebung zu erhalten. Die ermittelte maximale Phasenverschiebung wird benutzt, um die DGD bei der Mittenwellenlänge des Quellspektrums zu bestimmen. Das Müller-Satz-Verfahren [3] verlangt die Einkopplung von vier SOP je Wellenlänge (Quellspektrum), die einen Müller-Satz darstellen. Die Analyse der diesen SOP zugeordneten Phasenverschiebungen ergibt einen DGD-Wert für die Wellenlänge. Wenn die Messung für eine Anzahl von Wellenlängen in einem Wellenlängenbereich durchgeführt wird, ergibt der Mittelwert der DGD-Werte den PMD-Wert für diesen Bereich.

5.1.7 Verfahren F: Polarisationsphasenverschiebung (PPS)

Bei Verfahren F werden die Phasenunterschiede zwischen unterschiedlichen bekannten und eindeutigen SOP wie linearen und orthogonalen Eingangs-SOP gemessen, ähnlich wie bei Verfahren E. Es unterscheidet sich von Verfahren E dadurch, dass nur zwei orthogonale Eingangs-SOP benötigt werden. Allerdings werden deshalb Messergebnisse bei zwei Wellenlängen benötigt, um einen DGD-Wert zu berechnen.

5.1.8 Verfahren G: Wellenlängenabtastr-OTDR und SOP-Analyse (WSOSA)

Verfahren G verwendet ein OTDR mit einem abstimmbaren Laser, um zwei Lichtimpulse bei eng beieinander liegenden Wellenlängen durch einen Polarisationsmischer in die zu prüfende Übertragungsstrecke einzukoppeln. Die reflektierten Lichtimpulse vom entfernten Ende der zu prüfenden Übertragungsstrecke laufen auf ihrem Weg zurück durch den Polarisationsmischer in das OTDR, und es wird ein polarisierender Strahlteiler verwendet, um die verschiedenen Polarisationskomponenten zu einem Paar von Empfängern zu leiten. Die Differenz der Signalpegel an den beiden Empfängern wird gemessen und zwischen den beiden Wellenlängen verglichen. Dieser Vorgang kann für viele verschiedene Eingangs-/Ausgangs-SOP bei jedem Wellenlängenpaar und bei vielen verschiedenen Wellenlängenpaaren wiederholt werden, um die PMD über einen repräsentativen Wellenlängenbereich auszuwerten.

5.2 Dokumentstruktur

Informationen, die für alle sieben Verfahren zutreffen, sind in den Abschnitten 1 bis 13 enthalten, und Anforderungen bezüglich jedes einzelnen Verfahrens erscheinen in den entsprechenden Anhängen A, B, C, D, E, F und G.

5.3 Referenzprüfverfahren

Es gibt kein Referenzprüfverfahren, da jedes Verfahren seine eigenen besonderen optimalen Anwendungen hat.

6 Messkonfigurationen

6.1 Übertragungsstrecke mit passiver Verkabelung

Die zu prüfende Übertragungsstrecke reicht üblicherweise von 10 km bis zu 160 km, mit den meisten Strecken auf einem Langstreckennetzwerk, das üblicherweise nicht länger als 80 km lang ist, mit einer Dämpfung von weniger als 22 dB bei 1 550 nm. Diese Strecken bestehen normalerweise aus vielen Kabeltrommeln mit jeweils 2 km bis 10 km Länge, an den Enden zusammengespleißt (siehe Bild 1).



Bild 1 – Übliche Konfiguration einer Übertragungsstrecke mit passiver Verkabelung

Dies bedeutet, dass die Übertragungsstrecke als Strecke mit „zufälliger Modenkopplung“ (en: random mode coupling, RMC) angesehen werden kann. Auch ist es wahrscheinlich, dass installierte Fasern nach 2 000 (und viele davor) „verdreht“ sein und so zusätzliche Modenkopplung hervorrufen werden.

Normalerweise werden die Fasern an Schalttafeln abgeschlossen, indem Anschlussfasern angespleißt werden, um Steckverbinderschnittstellen an optischen Verteilerrahmen (en: optical distribution frames, ODF) innerhalb von Gebäuden zur Verfügung zu stellen.

An dieser Art von Messkonfiguration können alle Prüfverfahren erfolgreich eingesetzt werden, vorausgesetzt, dass die Implementation einen ausreichenden Dynamikumfang besitzt und dass die PMD in den Messbereich des Systems fällt. Üblicherweise liegt die gesamte PMD einer Übertragungsstrecke zwischen 0,1 ps (z. B. 10 km bei 0,03 ps/√km) und 12 ps (z. B. 160 km bei 1 ps/√km).

6.2 Übertragungsstrecken mit Verstärkern

Ein DWDM-System kann über eine Übertragungsstrecke funktionsfähig sein, die Verstärker enthält (siehe Bild 2). Wenn das System aufgerüstet werden soll, um beispielsweise bei einer höheren Datenrate zu arbeiten, kann es erforderlich sein, die PMD der gesamten Übertragungsstrecke einschließlich der Verstärker zu prüfen.

Eine solche Übertragungsstrecke liegt üblicherweise zwischen 100 km und 2 000 km für Festlandssysteme und kann sich über bis zu 6 500 km für transatlantische und 13 000 km für transpazifische Unterseekabel erstrecken.

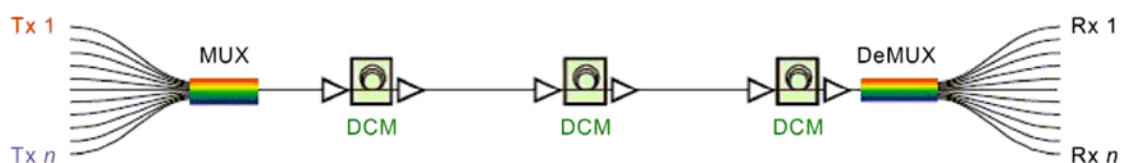


Bild 2 – Beispielkonfiguration einer Übertragungsstrecke mit Verstärkern

Mit Ausnahme der Verfahren D und G können alle Verfahren in diesem Dokument benutzt werden, um die PMD im Verstärkungsband von Übertragungsstrecken zu messen, die gepumpte optische Verstärker enthalten. Verfahren D und G beruhen auf Reflexionen, die vom entfernten Ende der zu prüfenden Faser zurückkehren. Verstärker enthalten gewöhnlich optische Isolatoren, die alles Licht blockieren, das sich in der Rückwärtsrichtung bewegt.

6.3 Übertragungsstrecken mit Modulen zur Kompensation der chromatischen Dispersion

6.3.1 Allgemeines

Wie in Bild 2 zu sehen, ist es wahrscheinlich, dass eine Langstrecken-Übertragungsstrecke, die Verstärker enthält, ebenfalls Module zur Kompensation der (chromatischen) Dispersion enthält.

Ein auf Fasern beruhendes DCM enthält üblicherweise eine große Länge (viele Kilometer) dispersionskompensierter Faser, die eine starke negative Dispersion aufweist, um der positiven chromatischen Dispersion einer Strecke mit typischen Übertragungsfasern entgegenzuwirken. Dieses DCM kann wesentliche PMD-Beträge hervorrufen und sollte deshalb in der Messkonfiguration enthalten sein.

Alle Prüfverfahren, die auf verstärkten Übertragungsstrecken angewendet werden können, können auch auf Übertragungsstrecken eingesetzt werden, die auf Fasern beruhende DCM enthalten.

6.3.2 Auf Gittern beruhende DCM

Zunehmend werden DCM, die durchgestimmte (en: chirped) Faser-Bragg-Gitter benutzen, anstelle von auf Fasern beruhenden DCM verwendet. Die Anwendbarkeit der Prüfverfahren auf Übertragungsstrecken mit FBG ist in Beratung.

6.4 Übertragungsstrecken mit ROADM

6.4.1 Allgemeines

Viele Netzwerke werden heute mit rekonfigurierbaren optischen Add-Drop-Multiplexern (ROADM) aufgebaut. Dies sind Netzwerke, die ein Routing verschiedener Wellenlängen in einem DWDM-System zu verschiedenen Zielen erlauben, während sie im optischen Bereich bleiben. ROADMs sind üblicherweise komplexe Geräte, die viele Funktionselemente enthalten, einschließlich Verstärker und Wellenlängenwahlschalter (WSS), die zu enger optischer Filterung um die Betriebswellenlängen herum führen. Das Vorhandensein dieser Elemente kann die Wahl des Prüfverfahrens einschränken. Beispielsweise verhindert das Vorhandensein von Verstärkern die Verwendung der Verfahren D und G. Der TINTY-Teil von Verfahren C erfordert ein kontinuierliches Spektrum und kann deshalb aufgrund der Filterung nicht benutzt werden.

Es kann jedoch möglich sein, PMD und/oder DGD in den folgenden Messkonfigurationen zu messen.

6.4.2 Mehrkanalige Punkt-zu-Punkt-Konfiguration

Wenn die ROADMs für die Übertragung verschiedener Wellenlängen zwischen zwei Orten eingestellt sind, können Verfahren A und der GINTY-Teil von Verfahren C innerhalb der Durchlassbereiche eines Satzes von Wellenlängen benutzt werden, und Verfahren B kann benutzt werden, indem ein abstimmbarer Laser auf die DWDM-Wellenlängen eingestellt wird, für die das ROADM entworfen wurde.

6.4.3 Einkanal-Konfiguration

Abhängig von der Konfiguration des ROADMs kann es möglich sein, die DGD innerhalb des Durchlassbereiches eines einzelnen Kanals zu messen, beispielsweise entweder nach Verfahren B oder Verfahren E.

7 Überlegungen zur Messung

7.1 Allgemeines

Bei der Durchführung von PMD-Messungen an installierter Verkabelung gibt es eine Reihe von Überlegungen, die die Auswahl der Messtechnik und die Genauigkeit der erhaltenen Ergebnisse beeinflussen können. Abschnitt 7 umreißt einige dieser Themen und deren Einfluss auf die Messung. Für umfassende Beschreibungen der Themen, die Einfluss auf die Auswahl der Messverfahren haben, ist IEC/TR 61282-9 heranzuziehen.

7.2 Wellenlängenbereich

Je breiter der Wellenlängenbereich der Messung ist, desto genauer wird im Allgemeinen das Ergebnis sein – dies ist als Gisin-Unsicherheit bekannt [1].

Verfahren E kann DGD-Ergebnisse bei der schmalsten beanspruchten optischen Bandbreite aller Verfahren liefern, erfordert aber, dass die DGD der Übertragungsstrecke etwa 0,5 ps überschreitet. Die Bandbreitenanforderung der Verfahren B, D und F ist größer als die des Verfahrens E, da eine numerische Differentiation der gesammelten Ausgangsdaten bei zwei nahe beieinander liegenden Wellenlängen erforderlich ist, aber diese Verfahren können die DGD bei kleinsten Pegeln messen. Verfahren C liefert keine Messungen individueller DGD-Werte, sondern den quadratischen Mittelwert der DGD (PMD_{RMS}) über die Wellenlängen des Quellspektrums.

Verfahren F ist Verfahren E ähnlich, wenn Verfahren E mit dem Müller-Matrix-Ansatz realisiert wird. Verfahren F erfordert jedoch Messungen bei zwei benachbarten Wellenlängen, um einen DGD-Wert zu erhalten, ähnlich den Verfahren B und D.

7.3 PMD-Messbereich

Einige der Prüfverfahren haben Grenzwerte an den oberen oder unteren Grenzen des Betrages der PMD, den sie abhängig von der jeweiligen Realisierung messen können. Beispielsweise ist das Folgende zu beachten:

- Die kleinste PMD, die mit Verfahren A gemessen werden kann, ist durch den Spektralbereich der Messung zu üblicherweise 0,1 ps bestimmt, wenn nicht ein DGD-Versatz verwendet wird, um diese Begrenzung aufzuheben.
- Die größte PMD, die mit Verfahren A gemessen werden kann, ist durch die spektrale Auflösung des Erkennungssystems bestimmt. Wenn ein Spektrumanalysator mit hoher Auflösung verwendet wird, so kann diese Grenze bei 80 ps oder mehr liegen.
- Die kleinste PMD, die mit Verfahren C (TINTY) gemessen werden kann, ist durch die Spektralbreite der verwendeten Quelle bestimmt. Je breiter die Quelle, desto kleiner ist die PMD, die gemessen werden kann. Übliche Grenzwerte liegen etwa bei 0,1 ps.
- Die größte PMD, die mit Verfahren C gemessen werden kann, wird durch den Bereich der Spiegelbewegung im Interferometer begrenzt. Typische Grenzen sind einige hundert ps.

7.4 Dynamikbereich der Messung

Es ist sicherzustellen, dass das Messsystem über einen größeren Bereich als die erwartete Dämpfung der Übertragungsstreckenkonfiguration messen kann. Einseitige Messtechniken (D und G), die auf einem vom fernen Ende der Übertragungsstrecke reflektierten Signal beruhen, leiden besonders häufig unter einem schlechten Dynamikbereich. Das Betriebsverhalten derartiger Systeme kann verbessert werden, indem am fernen Ende der zu prüfenden Übertragungsstrecke ein reflektierender Abschluss angebracht wird.

Wenn eine Breitbandlichtquelle benutzt wird, sollte sie eine ausreichende spektrale Leistungsdichte für die Durchführung der Messung haben.

Einige Messtechniken (z. B. Verfahren C) können bei Vorhandensein großer PMD-Beträge einen verringerten Dynamikbereich haben.

7.5 Faserbewegung

Die Verfahren A, B, D, E, F und G können auf Messungen beruhen, die gestört werden können, wenn die Übertragungsstrecke vibriert, wie im Fall von Freileitungen, wenn sich die optischen Eigenschaften der Faser innerhalb der zur Messung der Daten für die Berechnung der einzelnen DGD-Werte gebrauchten Zeit ändern. In einigen handelsüblichen Einsatzprüfsystemen wurden schnelle Messraten realisiert, um diesen Effekt zu verringern. Für die Verfahren A, B und G wurde in einem Feldversuch gezeigt, dass sie zufriedenstellende Leistung für eine Vielzahl von Installationsumgebungen aufweisen [4], [5]. Die Daten dieses Versuchs über die Änderungsrate des SOP zeigten, dass sogar Erdkabel plötzlichen Transienten im SOP ausgesetzt sein konnten, und es gab viele Umgebungsfaktoren, die eine Änderung des SOP verursachen konnten, einschließlich Netzbrummen von 50 Hz des Wechselstroms auf Fasern, die an Netzleitungsrouten befestigt waren [6].

Verfahren C kann im Fall von Faserbewegungen verwendet werden, da es eine Breitbandquelle und Interferometrie benutzt, um die PMD aus der Hüllkurve der Zeitbereichs-Kreuzkorrelation des gemessenen Interferogramms herzuleiten.

7.6 Eingangs- und Ausgangs-SOP-Mischung

7.6.1 Allgemeines

Die statistische Grundlage einiger der PMD-Prüfverfahren (Verfahren A, C, G) kann verbessert werden, indem Messungen mit Veränderungen im Eingangs- (und/oder Ausgangs-) Polarisationszustand zwischen den Messvorgängen wiederholt werden. Dies kann helfen, die Messunsicherheit zu verbessern, insbesondere für geringe PMD-Niveaus.

7.6.2 Polarisatoren/Mischer

Technisch besteht das SOP-Mischen darin, steuerbare Polarisatoren einzufügen, einen am Eingang und einen am Ausgang des DUT, so dass verschiedene Input-SOP und Analysator-Achsen für eine Messabtastung eingestellt werden. Um einen vollständigeren Satz von Messungen zu erhalten, als es mit nur einer I/O-SOP-Einstellung möglich wäre, können mehrere Eingangs-/Ausgangs-SOP ausgewählt werden. Während eine mit nur einer Einstellung erhaltene Messung eine Möglichkeit ist, die keinen Mischer erfordert, verbessert die Durchführung mehrerer Messungen die Genauigkeit des Ergebnisses bis zu einem PMD-Wert, der gleich einem Ergebnis von Verfahren B ist. Mehrfache Analysatoreinstellungen können ebenfalls benutzt werden, um mehrere Einstellungen zu erhalten (siehe C.2.1.3). Konzeptionell kann der Mischprozess wie folgt gesehen werden:

- der Eingangspolarisator, gefolgt vom Mischer, agiert als einzelne Einheit, ein äquivalenter Polarisator, dessen Achse auf irgendeinen Punkt auf der Poincaré-Kugel gesetzt ist, um den Eingangs-SOP festzulegen;
- der Mischer, gefolgt von einem Analysator, agiert als äquivalenter Analysator, dessen Achse auf irgendeinen Punkt der Poincaré-Kugel gesetzt ist, um den Ausgangs-SOP festzulegen.

Ein Satz einer Eingangs-SOP-/Analysator-Achsenkombination wird als ein I/O-SOP gekennzeichnet. Das Ziel ist, einen Satz von Messungen über gleichverteilte I/O-SOP zu erhalten. In der Praxis existiert eine Reihe von Wegen, dieses Ziel zu erreichen, wie im Folgenden gezeigt wird.

7.6.3 Der 9-Zustands-Müller-Satz

Die Summe von neun quadrierten Hüllkurven, beobachtet mit neun spezifischen I/O-SOP, ist exakt gleich der gleichförmig gemischten quadratisch gemittelten Hüllkurve. Diese neun I/O-SOP sind drei Analysatorachsen, die ein rechtwinkliges Dreiein bilden, wobei jeweils drei Eingangs-SOP ebenfalls ein rechtwinkliges Dreiein bilden.

7.6.4 Zufälliges Mischen

Das zufällige Eingangs/Ausgangs-SOP-Mischen wurde auf verschiedenen Wegen realisiert, einschließlich den folgenden:

- Abtastung-für-Abtastung-Mischen: automatische/manuelle Einstellung der Mischer bei jeder Abtastung.
- Durchgängiges Mischen: Für einige Messverfahren einschließlich Verfahren C kann, wenn quadrierte Hüllkurven aufsummiert werden, das Mischen während der Abtastung ausgeführt werden. Automatische Mischer sind so eingestellt, dass sie die Kugel durchgängig als Funktion der Zeit abdecken.
- Schnelles Einzelabtastungs-Mischen: Für einige Messverfahren einschließlich Verfahren C können gut gemischte quadrierte Hüllkurven während einer einzelnen Abtastung beobachtet werden, falls die Mischer ausreichend schnell sind. Dies erfordert jedoch spezielle Vorkehrungen, um Übersprechen zwischen dem Wechselanteil und dem vorhergehenden Gleichanteil des Interferogramms zu vermeiden.

7.7 Polarisationsabhängige Dämpfung

Keines der Verfahren ist geeignet, die PMD von Übertragungsstrecken zu messen, deren polarisationsabhängige Dämpfung (PDL) 10 dB überschreitet. Übertragungsstrecken mit PDL-Werten kleiner als 1 dB können mit annehmbarer Genauigkeit gemessen werden. Die Messgenauigkeit kann bei Vorhandensein von PDL über 1 dB beeinträchtigt sein.

7.8 Betrachtungen zum Verstärker

7.8.1 Allgemeines

Wenn die zu prüfende Übertragungsstrecke optische Verstärker enthält, gibt es verschiedene Betrachtungen, die größtenteils das Vorhandensein konventioneller EDFA (erbiumdotierte LWL-Verstärker) betreffen.

7.8.2 Optische Isolatoren

Die meisten Verstärker enthalten optische Isolatoren, die das gesamte Licht blockieren, das sich in der Rückwärtsrichtung bewegt. Dies bedeutet, dass einseitige Prüfverfahren nicht angewendet werden können.

7.8.3 Wellenlängenbereich

Die Verstärker haben nur einen begrenzten Betriebswellenlängenbereich, gewöhnlich nur das C-Band (oder manchmal das L-Band). In diesem Wellenlängenbereich müssen alle Messungen ausgeführt werden. Dies kann einige Realisierungen bestimmter Prüfverfahren einschränken.

7.8.4 Leistungspegel

Es ist wichtig, dass die Prüfsignale mit den vorgesehenen Betriebsleistungspegeln der Verstärker in der Übertragungsstrecke verträglich sind.

7.8.5 Rauschen der verstärkten spontanen Emission (ASE)

Wenn Übertragungsstrecken geprüft werden, die Verstärker enthalten, kann das Rauschen der verstärkten spontanen Emission (ASE) depolarisierte spektrale Energie in der Nähe der Messwellenlänge erzeugen. Dies verringert im Allgemeinen die Messgenauigkeit. Für die Verfahren A, B, C, E und F kann dieser Effekt durch die Realisierung eines optischen oder elektrischen Filters am Empfangsende abgemildert werden. Allerdings entfernt optische Filterung nicht die ASE direkt unter dem Signalspektrum. Die Genauigkeit ist dann durch einen niedrigeren Polarisationsgrad (DOP) begrenzt, wenn die Spektralbreite des Filters nicht ausreichend verringert werden kann, wie bei einer Breitbandquelle. Ein niedrigerer DOP kann es erforderlich machen, das Signal länger zu integrieren, um aussagekräftig zu sein, oder das Signal ist zu verrauscht und die Interpretation wird fehlerhaft.

7.9 Betrachtungen zum Standort der Messausrüstung

Bei den Verfahren A und C befinden sich Quellen- und Empfangsgeräte üblicherweise an entgegengesetzten Enden der Übertragungsstrecke, es wird aber keine aktive Koordinierung von Quellen- und Empfangsgeräten während der Durchführung einer Messung benötigt.

Verfahren B, E und F erfordern während einer Messung eine Kommunikationsverbindung und Koordinierung zwischen Quellen- und Empfangsausrüstung, die einen zusätzlichen Kommunikationskanal benötigt. Die Übertragungsstrecke selbst kann ebenfalls für diesen Kanal benutzt werden.

Bei den Verfahren D und G ist die gesamte Messausrüstung an einem Ende der zu prüfenden Übertragungsstrecke angeordnet, dies erfordert jedoch besondere Aufmerksamkeit am entfernten Ende, um sicherzustellen, dass eine geeignete Reflexion erhalten werden kann; dazu kann es erforderlich sein, einen reflektierenden Abschluss am entfernten Ende anzubringen.

8 Messaufbau

8.1 Allgemeines

Der folgende Messaufbau ist allen Messverfahren gemeinsam. Die [Anhänge A, B, C, D, E, F](#) und [G](#) enthalten entsprechende Schaltpläne und andere Geräteanforderungen für jedes der sieben Verfahren.

Alle Verfahren erfordern Lichtquellen, die an einem oder mehreren bekannten und eindeutigen Polarisationszuständen (SOP) gesteuert werden. Alle Verfahren erfordern es, Licht über einem Spektralbereich einzuspeisen, um einen PMD-Wert zu erhalten, der für diesen Bereich charakteristisch ist (z. B. C-Band, C+L-Bänder, S+C+L-Bänder).

Die Verfahren unterscheiden sich in:

- den spektralen Eigenschaften der Quelle;
- den Bandbreiteigenschaften des Empfängersystems;
- den physikalischen Eigenschaften, die tatsächlich gemessen werden;
- den Analyseverfahren.

Alle Übertragungselemente des Messaufbaus können zum PMD-Messergebnis beitragen. Es ist wichtig, dass die Elemente nach dem kleinsten Höchstwert von DGD und PDL im gleichen Spektralbereich der PMD-Messung ausgesucht werden. Es kann notwendig sein, den Gesamtbeitrag dieser Elemente durch Messungen an einer kurzen Faser (2 m) mit kleiner PMD zu bewerten. Wenn der PMD-Beitrag dieser Elemente erheblich ist, besteht eine Möglichkeit darin, den PMD-Wert des Messsystems vom PMD-Wert der gemessenen Übertragungsstrecke in der Quadratur abzuziehen, bevor das Endergebnis aufgezeichnet wird.

8.2 Lichtquelle und Polarisatoren

In den [Anhängen A, B, C, D, E, F](#) und [G](#) finden sich ausführlich beschriebene Varianten der spektralen Eigenschaften der Lichtquelle. Die Quelle muss genügend Strahlung bei der (den) vorgesehenen Wellenlänge(n) erzeugen, über einen für die Messung ausreichenden Zeitraum mit stabiler Lichtstärke arbeiten und den für die Bestimmung der PMD erforderlichen Wellenlängenbereich im interessierenden Band abdecken.

Bei allen Verfahren muss die Lichtquelle vor der Einspeisung in die zu prüfende Übertragungsstrecke zu einem oder mehreren bekannten und eindeutigen SOP polarisiert werden. Die Einstellung des Quellen-SOP am Eingang der zu prüfenden Faser sowie der Polarisationsachse des Analysators am Ausgang der zu prüfenden Übertragungsstrecke kann mit Polarisatoren, Polarisationsstellern mit Wellenplatten, Flüssigkristall-Verzögerungsplatten, mechanisch bewegten Schleifen aus doppelbrechenden Fasern oder elektro-optischen Kristallen realisiert werden. Die Leistungsfähigkeit des Polarisationsstelleraufbaus kann überprüft werden, indem die Ausgangsleistung bei drei linearen bekannten und eindeutigen SOP gemessen wird. Der Aufbau ist dann tauglich, wenn die Ausgangsleistungen um nicht mehr als 3 dB voneinander abweichen.

Bei den Verfahren A, B, D (bei Realisierung mit einer abstimmbaren schmalbandigen Lichtquelle (en: tuneable light source, TLS)), E, F und G muss die effektive spektrale Breite (Gaußsches Spektrum, Halbwertsbreite (FWHM)) der Quelle, $\Delta\lambda$, so schmal sein, dass das aus der Faser austretende Licht unter allen Messbedingungen und für alle gemessenen DGD-Werte polarisiert bleibt. Ein DOP von mindestens 90 % wird bevorzugt, wenngleich Messungen mit verringerter Genauigkeit auch bei niedrigen Werten von bis zu 25 % möglich sind. Die Beziehung zwischen DOP, Spektralbreite $\Delta\lambda$, Mittenwellenlänge λ_0 und DGD $\Delta\tau$ ist gegeben durch:

$$DOP(\%) = 100 \exp \left[- \frac{1}{4 \ln(2)} \left(\frac{\pi c \Delta \tau \Delta \lambda}{\lambda_0^2} \right)^2 \right] \quad (6)$$