

DIN EN 61280-4-4



ICS 33.180.01

**Prüfverfahren für Lichtwellenleiter-Kommunikationsuntersysteme –
Teil 4-4: Kabelnetze und Übertragungsstrecken –
Messung der Polarisationsmodendispersion von installierten
Übertragungsstrecken (IEC 61280-4-4:2006);
Deutsche Fassung EN 61280-4-4:2006**

Fibre optic communication subsystem test procedures –
Part 4-4: Cable plants and links –
Polarization mode dispersion measurement for installed links (IEC 61280-4-4:2006);
German version EN 61280-4-4:2006

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
(CEI 61280-4-4:2006);
Version allemande EN 61280-4-4:2006

Gesamtumfang 60 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2006-02-01 angenommene EN 61280-4-4 gilt als DIN-Norm ab 2007-01-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 61280-4-4:2003-10.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 412.2 „Komponenten für Kommunikationskabelanlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://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 auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ mit den Daten zu dieser Publikation angegebenen Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

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

IEC 61280 besteht aus folgenden Teilen mit dem allgemeinen Titel „Prüfverfahren für Lichtwellenleiter-Kommunikationsuntersysteme“¹⁾:

Teil 1: Allgemeine Kommunikationsuntersysteme²⁾

Teil 2: Digitale Systeme³⁾

Teil 3: in Vorbereitung

Teil 4: Kabelanlagen und Kabelverbindungen⁴⁾

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

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

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

¹⁾ Der allgemeine Titel der Normenreihe IEC 61280 wurde geändert. Die früheren Teile wurden unter dem allgemeinen Titel „Lichtwellenleiter-Kommunikationsuntersysteme – Grundlegende Prüfverfahren“ veröffentlicht.

²⁾ Der Titel von Teil 1 wurde geändert. Die Teile 1-1 und 1-3 wurden unter dem Titel „Prüfverfahren für allgemeine Kommunikationsuntersysteme“ veröffentlicht.

³⁾ Der Titel von Teil 2 wurde geändert. Die Teile 2-1, 2-2, 2-4 und 2-5 wurden unter dem Titel „Prüfverfahren für digitale Systeme“ veröffentlicht.

⁴⁾ Der Titel von Teil 4 wurde geändert. Teil 4-2 wurde unter dem Titel „Lichtwellenleiter-Kabelanlagen“ veröffentlicht.

Prüfverfahren für Lichtwellenleiter-Kommunikationsuntersysteme –
Teil 4-4: Kabelnetze und Übertragungsstrecken –
Messung der Polarisationsmodendispersion von installierten
Übertragungsstrecken
(IEC 61280-4-4:2006)

Fibre optic communication subsystem test
procedures –
Part 4-4: Cable plants and links –
Polarization mode dispersion measurement for
installed links
(IEC 61280-4-4:2006)

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
(CEI 61280-4-4:2006)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2006-02-01 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, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

© 2006 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 61280-4-4:2006 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 86C/683/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61280-4-4, ausgearbeitet von dem SC 86C „Fibre optic systems and active devices“ des IEC/TC 86 „Fibre optics“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2006-02-01 als EN 61280-4-4 angenommen.

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): 2006-12-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2009-02-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61280-4-4:2006 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 | ANMERKUNG | Harmonisiert als EN 60793-1-48:2003 (nicht modifiziert). |
| IEC 61290-11-1 | ANMERKUNG | Harmonisiert als EN 61290-11-1:2003 (nicht modifiziert). |
| IEC 61290-11-2 | ANMERKUNG | Harmonisiert als EN 61290-11-2:2005 (nicht modifiziert). |

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Symbole und Abkürzungen	6
4 Hintergrund zu Eigenschaften der <i>PMD</i>	7
5 Messverfahren	8
5.1 Verfahren zur Messung der <i>PMD</i>	8
5.2 Referenz-Prüfverfahren	11
6 Messaufbau	11
6.1 Lichtquelle und Polarisatoren	11
6.2 Eingangsoptik	11
6.3 Mantelmodenabstreifer	12
6.4 Modenfilter höherer Ordnung	12
6.5 Ausgangspositionierung	12
6.6 Ausgangsoptik	12
6.7 Empfänger	12
6.8 Computer	12
6.9 Mittel zur Verringerung der Auswirkungen der verstärkten spontanen Emission	12
7 Probenahme und Prüfobjekte	13
8 Durchführung	13
9 Berechnungen oder Interpretation der Ergebnisse	13
10 Dokumentation	13
10.1 Informationen, die für jede Messung benötigt werden	13
10.2 Verfügbare Informationen	14
11 Spezifikation	14
Anhang A (normativ) Festanalysatorverfahren	15
Anhang B (normativ) Auswertung der Stokes-Parameter	21
Anhang C (normativ) Interferometerverfahren	27
Anhang D (normativ) Auswertung der Stokes-Parameter mit reflektiertem Licht	36
Anhang E (normativ) Verfahren der Modulationsphasenverschiebung	38
Anhang F (normativ) Verfahren der Polarisationsphasenverschiebung	47
Anhang G (informativ) <i>PMD</i> -Bestimmung mit Verfahren C	54
Literaturhinweise	57
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	58
Bild A.1 – Blockschaltbilder für das Festanalysatorverfahren	15
Bild A.2 – Beispiel der R-Funktion beim Festanalysatorverfahren	17

	Seite
Bild A.3 – <i>PMD</i> -Bestimmung durch Fourier-Analyse	20
Bild B.1 – Blockschaltbild für Verfahren B bei Benutzung einer Schmalbandquelle (abstimmbarer Laser)	21
Bild B.2 – Blockschaltbild für Verfahren B bei Benutzung einer Breitband(ASE)-Quelle	21
Bild C.1 – Allgemeiner Aufbau für Verfahren C (INTY)	27
Bild C.2 – Blockschaltbild für Verfahren C (TINTY)	28
Bild C.3 – Typische Daten aus Verfahren C (TINTY)	30
Bild C.4 – Blockschaltbild für Verfahren C (GINTY)	31
Bild C.5 – Daten einer typischen zufälligen Modenkopplung, die mit Verfahren C (GINTY) ermittelt wurden	33
Bild C.6 – Daten einer typischen gemischten Modenkopplung, die mit Verfahren C (GINTY) ermittelt wurden	34
Bild D.1 – Anordnung für Verfahren D	36
Bild E.1 – Grundlegender Aufbau	38
Bild E.2 – Messaufbau für Polarisationsmodulation	41
Bild E.3 – Mueller-Zustände auf der Poincaré-Kugel	44
Bild E.4 – DGD als Funktion der Wellenlänge	45
Bild E.5 – DGD-Werte als Histogramm	45
Bild F.1 – Blockdiagramm für Verfahren F (Verfahren der Polarisationsphasenverschiebung)	47
Bild F.2 – DGD-Werte als Funktion der Wellenlänge für ein Bauteil mit zufälliger Modenkopplung	50
Tabelle E.1 – Beispiel für einen Mueller-Satz	44

1 Anwendungsbereich

Der vorliegende Teil der 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. Die Messungen können benutzt werden, um die Eignung einer gegebenen Übertragungsstrecke für hohe Datenübertragungsraten festzustellen oder um einen Einblick in die Beziehungen zwischen verschiedenen Übertragungseigenschaften zu geben. Die Grundlagen dieses Dokuments sind in Einklang mit denen der Prüfverfahren für Lichtwellenleiter und LWL-Kabel nach IEC 60793-1-48 (siehe Literaturhinweise), die sich auf die Aspekte der Messung von Fertigungslängen konzentriert. Hingegen liegt der Schwerpunkt des vorliegenden Dokuments auf der Messung von großen Längen, die auch installiert sein können und andere optische Elemente wie Verstärker, DWDM-Komponenten, Multiplexer usw. umfassen können.

PMD ist ein statistischer Parameter. Die Wiederholpräzision von Messungen hängt vom speziellen Verfahren ab, sie ist aber auch durch die *PMD* der Übertragungsstrecke begrenzt. Gisin [3]⁵⁾ leitete unter der Annahme eines unbegrenzten Messwellenlängenbereichs und idealer Messbedingungen eine theoretische Grenze für diese Wiederholpräzision her.

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 Komponenten sind in IEC 61300-3-32 angegeben.

ANMERKUNG 4 Richtlinien für die *PMD*-Berechnung von Übertragungsstrecken, die Komponenten wie Dispersionskompensatoren oder optische Verstärker enthalten, sind in IEC 61282-3 angegeben.

Mit Ausnahme von Verfahren D können alle in diesem Dokument festgelegten Verfahren benutzt werden, um die *PMD* im Verstärkungsband von Übertragungsstrecken zu messen, die gepumpte optische Verstärker enthalten. Bei solchen Übertragungsstrecken kann Rauschen durch verstärkte spontane Emission (ASE) depolarisierte spektrale Energie in der Nähe der Messwellenlänge erzeugen. Dadurch wird im Allgemeinen die Messgenauigkeit reduziert. Bei Verfahren A, B, C, E und F kann dieser Effekt durch Verwendung eines optischen oder elektrischen Filters auf der Empfängerseite verringert werden. Optische Filterung beseitigt die ASE im Signalspektrum jedoch nicht vollständig. Die Genauigkeit wird dann durch einen geringeren Polarisationsgrad (DOP) begrenzt, da die spektrale Breite des Filters nicht genügend verringert werden kann, wie es mit einer Breitbandquelle möglich wäre. Ein geringerer DOP kann eine längere Integrationszeit des Signals erfordern, damit es aussagekräftig ist, oder das Ergebnis wird zu stark gestört und die Interpretation ist fehlerhaft.

Kein Verfahren ist für die *PMD*-Messung von Übertragungsstrecken mit polarisationsabhängiger Dämpfung (PDL) von mehr als 10 dB brauchbar. Übertragungsstrecken mit PDL-Werten von weniger als 1 dB können mit vernünftiger Genauigkeit gemessen werden. Bei Werten über 1 dB kann die Messgenauigkeit durch die PDL eingeschränkt sein.

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

⁵⁾ Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf die Literaturhinweise.

3 Symbole und Abkürzungen

c	Lichtgeschwindigkeit in Vakuum (299 792 458 m/s)
h	Kopplungslänge
L	Länge der Übertragungsstrecke
t_c	Kohärenzzeit der optischen Quelle (Verfahren C)
$\delta\lambda$	Wellenlängenschritt (Schrittweite)
$\delta\nu$	optischer Frequenzschritt (Schrittweite)
$\Delta\lambda$	spektrale Breite der optischen Quelle oder Linienbreite (wenn nicht anders festgelegt FWHM)
$\Delta\theta$	Rotationswinkel auf der Poincaré-Kugel
$\delta\tau$	differentieller Empfangszeitpunkt unterschiedlicher Polarisationskomponenten
$\delta\tau_{\min}$	kleinster messbarer $\delta\tau$ -Wert
$\Delta\tau$	Wert der Gruppenlaufzeitdifferenz
$\langle\Delta\tau\rangle$	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 messbarer $\delta\tau$ -Wert
$\Delta\omega$	Winkelfrequenzänderung bei Verfahren B
λ	Prüfwellenlänge bei der PMD -Messung
λ_0	Mittenwellenlänge der Lichtquelle
ν	optische Lichtfrequenz
σ_R	zweites Moment der Fourier-transformierten Daten
σ_0	quadratischer Mittelwert der Breite der quadrierten Hüllkurve der Autokorrelation
σ_x	quadratischer Mittelwert der Breite der quadrierten Hüllkurve der Kreuzkorrelation
σ_e	quadratischer Mittelwert der Breite des Interferogramms
ω	optische Winkelfrequenz
ASE	verstärkte spontane Emission (en: amplified spontaneous emission)
DGD	Gruppenlaufzeitdifferenz (en: differential group delay)
DOP	Polarisationsgrad (en: degree of polarisation)
DUT	Prüfobjekt (en: device under test)
FA	Festanalysator (en: fixed analyzer)
FET	Feldeffekttransistor (en: field effect transistor)
FWHM	Halbwertsbreite (en: full-width half-maximum)
GINTY	allgemeine Interferometeranalyse
I/O	Eingang/Ausgang (en: input/output)
JME	Jones-Matrix-Eigenanalyse (en: Jones matrix eigenanalysis)
LED	lichtemittierende Diode (en: light emitting diode)
MPS	Modulationsphasenverschiebung (en: modulation phase shift)
PDL	polarisationsabhängige Dämpfung (en: polarisation dependent loss)
PIN (Diode)	PIN (Diode) (en: positiv intrinsic negativ)
PMD	Polarisationsmodendispersion (en: polarisation mode dispersion)
PPS	Polarisationsphasenverschiebung (en: polarisation phase shift)

PSA	Analyse mit der Poincaré-Kugel (en: Poincaré sphere analysis)
PSP	Hauptpolarisationszustand (en: principal state of polarisation)
RBW	Auflösungsbandbreite (en: resolution bandwidth)
RMS	quadratischer Mittelwert (en: root mean square)
SOP	Polarisationszustand (en: state of polarisation)
SPE	Auswertung der Stokes-Parameter (en: Stokes parameter evaluation)
TINTY	übliche Interferometeranalyse

4 Hintergrund zu Eigenschaften der *PMD*

PMD bewirkt eine Verbreiterung optischer Impulse im Zeitbereich. Die Dispersion kann die Leistungsfähigkeit eines Telekommunikationssystems nachteilig beeinflussen. Der Effekt bedingt unterschiedliche Phasen- und Gruppenlaufzeiten und entsprechende Empfangszeitpunkte $\delta\tau$ der unterschiedlichen Polarisationskomponenten des Signals. Bei einer genügend schmalbandigen Quelle kann der Effekt zur Gruppenlaufzeitdifferenz (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 einen 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 Faser abhängt. Sie ist auch empfindlich für zeitveränderliche Temperaturen und mechanische Störungen entlang der Faser. Deshalb ist es sinnvoll, die *PMD* von langen Fasern als Erwartungswert $\langle\Delta\tau\rangle$ oder als mittlere DGD über der Wellenlänge anzugeben. 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. Außerdem ist $\langle\Delta\tau\rangle$ nützlich, um die Übertragungsqualität vorherzusagen.

Der Begriff „*PMD*“ wird sowohl allgemein für zwei Polarisationsmoden mit unterschiedlichen Gruppenlaufzeiten benutzt (ein Polarisationsmode mit der geringsten Laufzeit und entsprechend dem frühesten Empfangszeitpunkt, der andere Polarisationsmode mit der längsten Laufzeit und entsprechend dem spätesten Empfangszeitpunkt, wobei die Differenz zwischen den beiden Empfangszeitpunkten die DGD ist) als auch speziell für den Erwartungswert $\langle\Delta\tau\rangle$. Letzterer ergibt die genaue Definition der *PMD* für dieses Dokument. Die DGD $\Delta\tau$ oder die Impulsverbreiterung $\delta\tau$ kann über die Wellenlänge gemittelt werden, wobei sich $\langle\Delta\tau\rangle_\lambda$ ergibt, oder über die Frequenz, wobei sich $\langle\Delta\tau\rangle_\nu$ ergibt, oder über die Zeit, wobei sich $\langle\Delta\tau\rangle_t$ ergibt, oder über die Temperatur, wobei sich $\langle\Delta\tau\rangle_T$ ergibt. Für die meisten Zwecke ist es nicht notwendig, zwischen diesen verschiedenen Möglichkeiten für $\langle\Delta\tau\rangle$ zu unterscheiden.

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

Der Ausdruck in Gleichung (1a) wird manchmal als linearer Mittelwert der DGD-Werte bezeichnet. Er wird zur Festlegung von LWL-Kabeln und vielen anderen Komponenten angegeben. Außerdem wird von einigen Messgeräten, vor allem solchen nach Verfahren C, ein anderes Maß und zwar der quadratische Mittelwert der DGD-Werte angegeben. Er ist wie folgt definiert:

$$PMD_{RMS} = \langle\Delta\tau^2\rangle^{1/2} \quad (1b)$$

Bei vielen Übertragungsstrecken unterliegen die DGD-Werte einer zufälligen Verteilung, die sich einer Maxwell-Verteilung annähert. Unter der Annahme einer perfekten Anpassung an eine Maxwell-Verteilung ergibt sich als Verknüpfung der beiden Maße der linearen DGD und des quadratischen Mittelwertes der DGD Gleichung (1c):

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

ANMERKUNG 1 Gleichung (1c) gilt nur, wenn die DGD-Werte einer Maxwell-Verteilung unterliegen. Diese Annahme gilt nicht, wenn im optischen Pfad stark doppelbrechende Elemente (in Bezug auf den 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 61282-3) angewendet. Dieser Multiplikator beruht auf der Annahme einer Maxwell-Verteilung und spiegelt ein sehr langes Verteilungsende wider. Wenn die Übertragungsstrecke ein stark doppelbrechendes Element umfasst, steigen PMD_{AVG} und PMD_{RMS} in Bezug auf das tatsächliche Ende der DGD-Verteilung an (was nach sich zieht, dass ein geringerer Multiplikator verwendet werden könnte), aber Gleichung (1c) 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 PMD_{AVG} -Wert im Allgemeinen größer, wie in Gleichung (1c) angegeben. 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 unter einer bestimmten Bedingung abgetastet, und es wird der Mittelwert der Daten berechnet. Der Erwartungswert dieser berechneten Mittelwerte ist unter der Annahme von Ergodizität über der Zeit, der Wellenlänge und den Bedingung 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 Wiederholpräzision der Messung mit dem Wellenlängenbereich und dem PMD -Pegel [3].

ANMERKUNG 2 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

Es werden sechs grundsätzliche Verfahren zur Messung der PMD angegeben. Für jedes Verfahren sind spezifische Details in den normativen Anhängen angegeben. Die Verfahren sind in der Reihenfolge ihrer Einführung nachfolgend aufgeführt. Bei einigen Verfahren sind 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 der Poincaré-Kugel (PSA) |
| Verfahren C | Interferometrie (INTY) |
| | – übliche Analyse (TINTY) |
| | – allgemeine Analyse (GINTY) |
| Verfahren D | Auswertung der Stokes-Parameter mit reflektiertem Licht |
| | – Jones-Matrix-Eigenanalyse (JME) |
| | – Analyse mit der Poincaré-Kugel (PSA) |
| Verfahren E | Modulationsphasenverschiebung |
| | – vollständige Suche |
| | – Mueller-Analyse |
| Verfahren F | Polarisationsphasenverschiebung (PPS) |

Jedes Verfahren hat unter bestimmten Umständen Vorteile und unter anderen Umständen Nachteile. Zum Beispiel:

Die Verfahren A, B, D, E und F beruhen auf Messungen, die bei Schwingungen der Übertragungsstrecke unterbrochen werden können, zum Beispiel bei Luftkabeln, wenn sich die optischen Eigenschaften der Faser innerhalb der Messzeit der Daten zur Berechnung der einzelnen DGD-Werte ändern. Zur Verringerung dieses Effektes wurden in einigen technischen Feldprüfsystemen schnelle Messfolgen realisiert. In diesem Fall kann Verfahren C benutzt werden, weil dabei mit einer Breitbandquelle und Interferometrie die *PMD* aus der Hüllkurve der Kreuzkorrelation im Zeitbereich des gemessenen Interferogramms bestimmt wird.

Die Verfahren B, E und F benötigen während der Messung eine Kommunikation und Koordination zwischen Quelle und Empfänger, also einen zusätzlichen Nachrichtenkanal, wenn die beiden Enden der Übertragungsstrecke sich nicht direkt nebeneinander befinden. Für diesen Kanal kann auch die Übertragungsstrecke selbst benutzt werden. Bei Verfahren D befinden sich die Messgeräte am selben Ort, unabhängig davon, ob sich die Streckenenden am selben Ort befinden, beide Faserenden sind aber besonders sorgfältig vorzubereiten. Bei den Verfahren A und C müssen Quelle und Empfangseinrichtung möglicherweise getrennt werden, es besteht aber keine Notwendigkeit einer aktiven Koordination von Quelle und Empfangseinrichtung während der Messung.

Verfahren E kann DGD-Ergebnisse für die schmalste optische Bandbreite aller Verfahren liefern, bedingt aber, dass die DGD der Übertragungsstrecke größer als etwa 0,5 ps ist. Die Bandbreitenanforderungen der Verfahren B, D und F sind größer als diejenigen des Verfahrens E, weil eine numerische Differenzierung der Ausgangsdaten von zwei dicht nebeneinander liegenden Wellenlängen nötig ist. Diese Verfahren können aber die DGD bei niedrigsten Pegeln messen. Verfahren C liefert keine individuellen DGD-Messergebnisse, sondern den quadratischen Mittelwert der DGD (PMD_{RMS}) über dem Wellenlängenspektrum der Quelle.

Verfahren F ähnelt Verfahren E, wenn Verfahren E mit dem Mueller-Matrix-Ansatz realisiert wird. Dahingegen benötigt Verfahren F Messergebnisse bei zwei benachbarten Wellenlängen, um einen DGD-Wert zu erhalten, ähnlich wie bei den Verfahren B und D.

Bei allen Verfahren werden Lichtquellen benötigt, bei denen ein oder mehrere und ausgeprägte Polarisationszustände (SOP) einstellbar sind. Alle Verfahren erfordern die Lichteinkopplung über einem Spektralbereich, um einen *PMD*-Wert zu erzielen, der charakteristisch für diesen Bereich ist (z. B. 1 300 nm oder 1 550 nm).

Die Verfahren unterscheiden sich in:

- den Spektralkennwerten der Quelle;
- den Bandbreitenkennwerten des Empfangssystems;
- den tatsächlich gemessenen physikalischen Kennwerten;
- den Auswertungsverfahren.

Verfahren A benötigt nur einen Eingangs-SOP und benutzt einen Festanalysator, um die relative Änderung der Leistung eines Elements der Stokes-Vektoren zu verfolgen. Wenn eine Fourier-Transformation auf diese Daten angewendet wird, ist das Ergebnis ein virtuelles Halb-Interferogramm, das in ähnlicher Art und Weise ausgewertet wird wie bei Verfahren C (TINTY).

Bei Verfahren B wird PMD_{AVG} durch die Messung der polarimetrischen Antwort auf eine Änderung von schmalbandigem Licht über einem Wellenlängenbereich gemessen. Für jede Wellenlänge müssen drei bekannte und ausgeprägte SOPs wie z. B. lineare SOPs bei nominal 0°, 45° und 90° (orthogonal auf der Poincaré-Kugel) eingekoppelt und der Stokes-Ausgangsvektor nach der Übertragungsstrecke gemessen werden.

Die Änderung dieser Stokes-Vektoren mit der optischen Winkelfrequenz (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:

$$\frac{d\hat{s}(\omega)}{d\omega} = \hat{\Omega}(\omega) \cdot \hat{s}(\omega) \quad (2)$$

$$\Delta\tau(\omega) = \left| \hat{\Omega}(\omega) \right| \quad (3)$$

Dabei sind:

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

Die JME erfolgt durch Umwandlung der Stokes-Ausgangsvektoren zu Jones-Matrizen [2], geeignete Kombination der Matrizen bei benachbarten Wellenlängen, Berechnung der Eigenwerte des Ergebnisses und durch Anwendung einer Argumentsgleichung, mit deren Hilfe die DGD bei der Grundfrequenz berechnet wird.

Die PSA erfolgt durch Anwendung von Matrixalgebra auf die normierten Stokes-Ausgangsvektoren, um daraus den Stokes-Ausgangsvektor abzuleiten, der zur zirkularen Doppelbrechung bei zwei benachbarten Wellenlängen gehört, gefolgt durch die Anwendung einer Arkussinusfunktion, mit deren Hilfe die DGD bei der Grundfrequenz berechnet wird.

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 darauf zu achten, optische Reflexionen so klein wie möglich zu halten, weil sie kohärente Interferenzeffekte verursachen können.

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

Verfahren C basiert auf einer breitbandigen Lichtquelle, die mit einem oder mehreren bekannten und ausgeprägten SOPs 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 quadratischen Mittelwerte der Breiten der Hüllkurven von Kreuz- und 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. Die Genauigkeit von Verfahren C (TINTY) kann bei Übertragungsstrecken mit Verstärkern, die das Quellspektrum begrenzen können, möglicherweise beeinträchtigt sein. Das ist bei GINTY nicht der Fall. Außerdem unterliegt TINTY einer Menge strenger Anforderungen, die für GINTY nicht gelten. Mit Verfahren C kann nur der *PMD*_{RMS}-Wert gemessen werden.

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. Eine modifizierte Gleichung, die die Reflexion berücksichtigt, wird benutzt, um den *PMD*-Wert für ein gegebenes Band zu berechnen. Da die Reflexion notwendig ist, ist das Verfahren nicht für Übertragungsstrecken brauchbar, die Isolatoren enthalten (die oft in optischen Verstärkern zu finden sind). Wie in allen Fällen, in denen eine schmalbandige Lichtquelle benutzt wird, sollten kohärente Interferenzeffekte und Fabry-Perot-Resonatoreffekte sorgfältig vermieden werden, weil sich daraus falsche DGD-Werte ergeben könnten. Diese Effekte bewirken Laufzeitveränderungen, die in jedem Fall aufgezeichnet werden. Aus der Literatur bekannte Messergebnisse zeigen, dass Verfahren D auf Längen von 40 km begrenzt ist, es sei denn, dass ein Reflektor am Ende der Strecke benutzt wird, um die Intensität des reflektierten Lichts zu erhöhen.

Bei Verfahren E wird der Phasenunterschied zwischen zwei oder mehr SOPs einer modulierten schmalbandigen Lichtquelle gemessen. Das Verfahren der vollständigen Suche erfordert, dass ein alternierendes Paar orthogonaler Eingangs-SOPs eingekoppelt wird, um eine gegebene Phasenverschiebung zu erhalten. Die Achsenlage dieses Paares wird über der gesamten Poincaré-Kugel variiert, um die maximale Phasenverschiebung zu erzielen. Die ermittelte maximale Phasenverschiebung wird benutzt, um die DGD bei der Mitwellenlänge des Quellspektrums zu bestimmen. Das Mueller-Verfahren [1] verlangt die Einkopplung von vier SOPs pro Wellenlänge (Quellspektrum), die einen Mueller-Satz darstellen. Die Analyse der diesen SOPs zugeordneten Phasenverschiebungen ergibt einen DGD-Wert für die Wellenlänge. Wenn die Messung über eine Anzahl von Wellenlängen in einem Wellenlängenbereich durchgeführt wird, ergibt der Mittelwert der DGD-Werte den *PMD*-Wert für diesen Bereich.

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

Die Abschnitte 1 bis 8 enthalten Informationen, die gemeinsam für alle sechs Verfahren gelten. Anforderungen bezüglich der einzelnen Verfahren sind in den Anhängen A, B, C, D, E bzw. F festgelegt.

5.2 Referenz-Prüfverfahren

Ein Referenz-Prüfverfahren wurde nicht festgelegt, weil es für jedes Verfahren eigene optimale Anwendungen gibt.

6 Messaufbau

Der im Folgenden beschriebene Messaufbau ist allen Prüfverfahren gemeinsam. Die Anhänge A, B, C, D, E bzw. F enthalten Schaltpläne und andere Geräteanforderungen für jedes der sechs Verfahren.

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

6.1 Lichtquelle und Polarisatoren

In den Anhängen A, B, C, D, E und F 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 leistungsstabil sein und den für die Bestimmung der *PMD* erforderlichen Wellenlängenbereich abdecken.

Bei allen Verfahren muss die Lichtquelle vor der Einkopplung in die zu prüfende Faser mit einem oder mehreren bekannten und ausgeprägten SOPs polarisiert werden. Die Einstellung des Quellen-SOP am Eingang der zu prüfenden Faser sowie der Polarisationsachse des Analysators am Ausgang der zu prüfenden Faser 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 ausgeprägten SOPs 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 (TLS)], E und F 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, spektraler Breite $\Delta\lambda$, Mittenwellenlänge λ_0 und DGD $\Delta\tau$ ist gegeben durch:

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

6.2 Eingangsoptik

Zur Einkopplung des Lichts in die Übertragungsstrecke kann eine mit Steckern versehene Anschlussfaser benutzt werden. Die übrige Eingangsoptik befindet sich vor dieser Anschlussfaser. Die Verbindung ist während der Messung stabil zu halten.

Bei Verfahren D gibt es spezielle Anforderungen bezüglich des Übergangs zwischen der Anschlussfaser des Messsystems und der Übertragungsstrecke, um Reflexionen zu steuern (siehe Anhang D).

6.3 Mantelmodenabstreifer

Es ist eine Vorrichtung einzusetzen, die Mantelmoden von der Übertragungsfaser abstreift. Unter Umständen kann die Faserbeschichtung diese Funktion übernehmen.

6.4 Modenfilter höherer Ordnung

Es ist eine Vorrichtung einzusetzen, die die Ausbreitung von Moden höherer Ordnung im gewünschten Wellenlängenbereich oberhalb der Grenzwellenlänge der Übertragungsstrecke verhindert (siehe IEC 60693-1-44). Im Allgemeinen reicht beispielsweise eine einfache Faserschleife mit einem Radius von 30 mm aus.

6.5 Ausgangspositionierung

Zur Ausrichtung der Übertragungsstrecke auf die Ausgangsoptik kann eine mit Steckern versehene Anschlussfaser benutzt werden. Diese Verbindung ist während der Messung stabil zu halten.

Bei Verfahren D ist zur maximalen Reflexion des Lichts vom fernen Ende der Übertragungsstrecke (in Bezug auf die Lichtquelle) eine besondere Vorbereitung der Enden erforderlich. Für dieses Verfahren gleicht die Ausgangsverbindung der Eingangsverbindung.

6.6 Ausgangsoptik

Siehe jeweiliger Anhang (A, B, C, D, E oder F).

Manche Messungen an Übertragungsstrecken können eine Kombination aus einem optischen Verstärker und einem einstellbaren Dämpfungsglied im Prüfaufbau notwendig machen, um die Leistung auf einem für den Empfänger des Analysators geeigneten Pegel zu halten. In diesem Fall wird eine solche Leistungseinstelleinrichtung im Allgemeinen direkt vor dem Empfänger platziert.

Bei Verfahren D ist die Ausgangsoptik am selben Ort angeordnet wie die Eingangsoptik.

6.7 Empfänger

Für den Signalempfang wird ein optischer Empfänger verwendet, der im Intensitätsbereich, im Wellenlängenbereich und über die Messzeiten, die während der Messung auftreten, linear und stabil ist. Ein typisches System kann einen Synchronempfänger mit einem Chopper/Lock-in-Verstärker, einen optischen Leistungsmesser, einen optischen Spektrumanalysator, ein Interferometer oder ein Polarimeter umfassen. Um den gesamten Spektralbereich der Quelle benutzen zu können, muss das Empfangssystem einen Wellenlängenbereich besitzen, der die von der Lichtquelle erzeugten Wellenlängen einschließt. Die entsprechenden Anhänge (A, B, C, D, E oder F) enthalten weitere Angaben.

6.8 Computer

Zur Durchführung der nötigen Abläufe wie Steuerung des Messaufbaus, Aufnahme der Intensitätsmessergebnisse und Verarbeitung der Daten zu Endergebnissen ist ein Computer einzusetzen.

6.9 Mittel zur Verringerung der Auswirkungen der verstärkten spontanen Emission

ASE bewirkt eine Depolarisation des empfangenen Lichts. Abhängig von der Realisierung und dem Verfahren können die folgenden Alternativen verwendet werden:

- Modulation des Signallichts in Verbindung mit einem elektrischen Filter als Teil der Empfangselektronik;
- ein abstimmbares optisches Filter, das auf die Signalwellenlänge eingestellt ist und am Ausgang der Faserübertragungsstrecke angeordnet wird.

7 Probenahme und Prüfobjekte

Die gesamte Länge der Übertragungsstrecke einer Einmodenfaser stellt das Prüfobjekt dar. Außer bei Verfahren C sollte die Übertragungsstrecke nach Möglichkeit zu einem Zeitpunkt gemessen werden, an dem Schwingungen und Temperaturänderungen während der Messung minimal sind. Wenn die Übertragungsstrecke optische Verstärker enthält, sollten diese eingeschaltet werden.

8 Durchführung

- a) Die Enden der Übertragungsstrecke werden durch Befestigung der geforderten Steckverbinder vorbereitet.

ANMERKUNG Bei Verfahren D wird eingangsseitig ein abgewinkeltes Faserende benötigt, um Reflexionen vom Eingangsende so gering wie möglich zu halten.

- b) Die Enden werden mit der Eingangs- und Ausgangsoptik verbunden.

ANMERKUNG Bei Verfahren D sind Eingangs- und Ausgangsoptik identisch; das damit verbundene Ende der Übertragungsstrecke wird Eingangsende genannt. Möglicherweise ist das Ausgangsende der Strecke speziell vorzubereiten, um eine ausreichende Reflexion zurück zum Eingangsende sicherzustellen.

- c) Mit Hilfe des Computers werden die Abtastungen und Messungen durchgeführt, wie in den Anhängen A, B, C, D, E oder F für die vier Prüfverfahren beschrieben.
- d) Fertigstellung der Dokumentation.

9 Berechnungen oder Interpretation der Ergebnisse

Die Anhänge A, B, C, D, E und F enthalten die Berechnungen, mit denen die Messdaten in DGD- oder *PMD*-Werte umgerechnet werden.

IEC 61282-3 enthält Informationen zur *PMD*-Berechnung von Übertragungsstrecken basierend auf statistischen Werten von Lichtwellenleitern und Komponenten.

10 Dokumentation

10.1 Informationen, die für jede Messung benötigt werden

- Übertragungsstrecke
 - Identifikation
 - Beschreibung, z. B. Vorhandensein optischer Verstärker oder anderer Komponenten
 - Länge (km)
 - Faser- und Kabeltyp
- Prüfdatum
- Prüfergebnisse
 - *PMD*-Werte wie PMD_{AVG} oder PMD_{RMS}
 - Spektrum und Linienbreite der Lichtquelle des Prüfaufbaus
 - DGD als Funktion der Wellenlängen und/oder Frequenzen für Verfahren B, D, E, F
 - Interferogramm für Verfahren C
 - Intensität als Funktion der Wellenlängen oder Frequenzen und Fourier-Transformation für Verfahren A
- gemessener Wellenlängen- oder Frequenzbereich

10.2 Verfügbare Informationen

Durch Aufzeichnung der Produkt-, Modell- und Seriennummer sowie der entsprechenden Einzelheiten der Bauteile der verwendeten Einrichtung kann üblicherweise auf die folgenden Informationen geschlossen werden.

- Prüfaufbau
 - Prüfverfahren
 - Berechnungsansatz (Analyse)
 - Beschreibung der Einrichtung
 - genaue Kennwerte der Quelle
 - genaue Kennwerte des Analysators
 - gegebenenfalls sonstiges Zubehör
 - Kalibrierung
 - Datum der letzten Kalibrierung
 - Kalibrierverfahren
 - Unsicherheitsanalyse
- bei Verfahren B, D und E die Anzahl der abgetasteten Wellenlängen
- bei Verfahren C die Art der Interferenzmustererkennung

11 Spezifikation

- Wellenlängenbereich
- jede Abweichung vom beschriebenen Verfahren

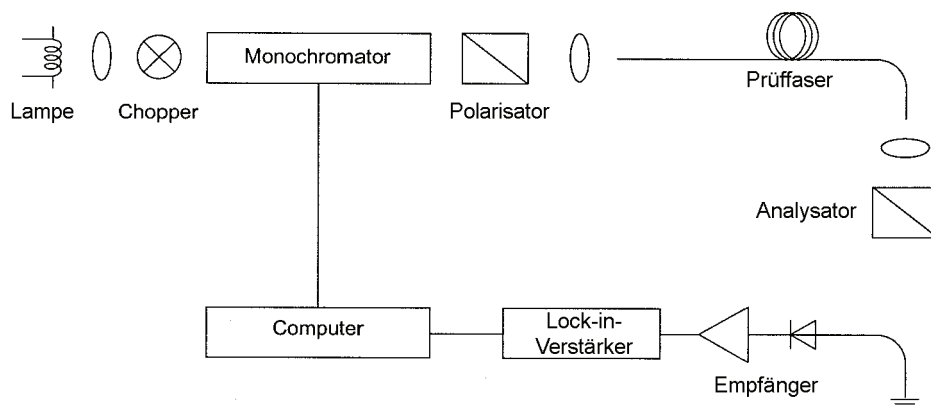
Anhang A (normativ)

Festanalysatorverfahren

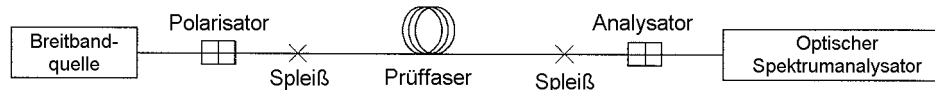
Dieser Anhang enthält Anforderungen für Verfahren A, das Festanalysator- (FA-)Messverfahren.

A.1 Messaufbau

Bild A.1 zeigt mögliche Blockschaltbilder.



(a) Aufbau mit einer Schmalbandquelle auf der Grundlage von Lampe und Monochromator



(b) Aufbau mit einer Breitbandquelle

Bild A.1 – Blockschaltbilder für das Festanalysatorverfahren

A.1.1 Lichtquelle

Abhängig vom Analysatortyp können immer zwei Arten von Lichtquellen verwendet werden. Eine Schmalbandquelle, wie zum Beispiel die in Bild A.1(a) gezeigte Kombination aus breitbandiger Lampe und Monochromator, kann in Verbindung mit einem Polarisationsanalysator benutzt werden. Eine Breitbandquelle, wie in Bild A.1(b) gezeigt, kann zusammen mit einem Schmalbandanalysator verwendet werden, wie zum Beispiel einem optischen Spektrumanalysator oder einem Interferometer, das als Spektrumanalysator mit Fourier-Transformation benutzt wird und vor dem Analysator angeordnet wird. Im Fall der Breitbandquelle wird für die Berechnungen die Filterbreite als spektrale Breite benutzt.

In beiden Fällen muss die spektrale Breite schmal genug sein, um den gewünschten DOP aufrechtzuerhalten (siehe 5.1), sie darf aber im Vergleich zur ausgewählten Schrittweite nicht zu schmal sein, damit unnötige Interferenzeffekte durch Kohärenz und anderes unerwünschtes Rauschen vermieden werden. In beiden Fällen muss der Wellenlängenbereich so groß gewählt werden, dass eine *PMD*-Messung mit ausreichender Genauigkeit im festgelegten Wellenlängenbereich möglich ist (siehe A.3).

Um sicherzustellen, dass alle Einzelheiten im optischen Spektrum angemessen aufgelöst werden, sollte die spektrale Breite folgende Bedingung erfüllen:

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

Dabei sind:

- $\nu = c/\lambda$ die optische Frequenz,
- $\Delta\lambda$ die spektrale Breite und
- $\Delta\tau_{\max}$ der maximal erwartete DGD-Wert.

Bei λ nahe 1 550 nm reduziert sich Gleichung (A.1) auf die Bedingung, dass $\Delta\lambda$ (in nm) kleiner als der Kehrwert von $\Delta\tau$ (in ps) sein sollte.

A.1.2 Analysator

Die Winkelstellung des Analysators ist nicht kritisch, sollte aber während der Messung nicht verändert werden. Bei vernachlässigbarer Modenkopplung oder niedrigen *PMD*-Werten kann eine geringfügige Nachstellung des Analysators hilfreich für die Maximierung der Oszillationsamplitude in Bild A.2 sein. Der gleiche Effekt kann auch erzielt werden, indem die Faser an Spleißen oder Steckverbindungen gedreht wird.

ANMERKUNG Der Analysator kann durch ein Polarimeter ersetzt werden.

A.2 Durchführung

A.2.1 Wellenlängenbereich und Wellenlängenschritt

Das Verfahren baut darauf auf, dass die Leistung als Funktion der Wellenlänge (oder der optischen Frequenz) über einem Wellenlängenbereich und mit einem definierten Wellenlängenschritt gemessen wird, und zwar einmal mit dem Analysator im optischen Pfad und einmal ohne. Der Wellenlängenbereich kann die Genauigkeit des Messergebnisses beeinflussen (siehe A.3). Der Wellenlängenschritt sollte so ausgewählt werden, dass Gleichung (A.1) erfüllt wird, wobei $\Delta\lambda$ der Wellenlängenschritt ist.

Wenn das Fourier-Transformationsverfahren benutzt wird, sollte der Wellenlängenschritt in der optischen Frequenz idealerweise einheitlich sein, und die Schrittzahl sollte eine Zweierpotenz betragen. Die Schrittweite des Monochromators, angegeben als optische Frequenz $\delta\nu$, muss um das Doppelte kleiner sein als die „Schwingfrequenz“, die dem größten gemessenen DGD-Wert entspricht. Wegen der großen Leistungsanteile außerhalb des zweiten Moments bei stark modengekoppelten Fasern verlangt die Nyquist-Bedingung einen Frequenzschritt, der kleiner ist als die dreifache Frequenz des quadratischen Mittelwertes der Breite (zweites Moment) für den größten erwarteten DGD-Wert. Das heißt:

$$\frac{1}{6\delta\nu} > \Delta\tau_{\max} \quad (\text{A.2})$$

ANMERKUNG 1 Falls aus der Fourier-Transformation offensichtlich ist, dass erhebliche Energie nahe $\Delta\tau_{\max}$ vorhanden ist, sollte die Messung mit einer reduzierten Schrittweite wiederholt werden.

ANMERKUNG 2 Die spektrale Breite der Quelle ist üblicherweise gleich oder kleiner als der kleinste Wellenlängenschritt. Beispielsweise ist für $\Delta\tau_{\max} = 0,67$ ps eine Monochromator-Spektralbreite von 2 nm bei 1 550 nm ($\delta\nu = 249$ GHz) typisch.

A.2.2 Durchführung der Abtastung

Die Abtastung erfolgt mit dem Analysator im Lichtpfad. Die empfangene Leistung ist als $P_A(\lambda)$ aufzuzeichnen.

Der Analysator wird aus dem Lichtpfad entfernt und die Abtastung wiederholt. Die empfangene Leistung ist als $P_{\text{Tot}}(\lambda)$ aufzuzeichnen.

Das Leistungsverhältnis $R(\lambda)$ wird wie folgt berechnet.

$$R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_{\text{Tot}}(\lambda)} \quad (\text{A.3})$$