

DIN EN 61300-3-32

ICS 33.180.20

**Lichtwellenleiter –
Verbindungselemente und passive Bauteile –
Grundlegende Prüf- und Messverfahren –
Teil 3-32: Untersuchungen und Messungen – Messung der
Polarisationsmodendispersion für passive optische Bauteile
(IEC 61300-3-32:2006);
Deutsche Fassung EN 61300-3-32:2006**

Fibre optic interconnecting devices and passive components –
Basic test and measurement procedures –
Part 3-32: Examinations and measurements – Polarisation mode dispersion measurement
for passive optical components (IEC 61300-3-32:2006);
German version EN 61300-3-32:2006

Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques –
Méthodes fondamentales d'essais et de mesures –
Partie 3-32: Examens et mesures – Mesures de la dispersion de mode de polarisation
pour composants optiques passifs (CEI 61300-3-32:2006);
Version allemande EN 61300-3-32:2006

Gesamtumfang 50 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2006-09-01 angenommene EN 61300-3-32 gilt als DIN-Norm ab 2007-04-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 61300-3-32:2003-02.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 412.7 „LWL-Verbindungstechnik und passive optische Komponenten“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://www.dke.de>) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 86B „Fibre optic interconnecting devices and passive components“ 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.

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

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

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

Lichtwellenleiter –
Verbindungselemente und passive Bauteile –
Grundlegende Prüf- und Messverfahren – Teil 3-32: Untersuchungen und
Messungen – Messung der Polarisationsmodendispersion für passive
optische Bauteile
(IEC 61300-3-32:2006)

Fibre optic interconnecting devices and passive components –
Basic test and measurement procedures –
Part 3-32: Examinations and measurements –
Polarisation mode dispersion measurement for passive optical components
(IEC 61300-3-32:2006)

Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques –
Méthodes fondamentales d'essais et de mesures –
Partie 3-32: Examens et mesures – Mesures de la dispersion de mode de polarisation pour composants optiques passifs
(CEI 61300-3-32:2006)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2006-09-01 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 61300-3-32:2006 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 86B/2325/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61300-3-32, ausgearbeitet von dem SC 86B „Fibre optic interconnecting devices and passive components“ des IEC/TC 86 „Fibre optics“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2006-09-01 als EN 61300-3-32 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): 2007-06-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2009-09-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61300-3-32:2006 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Abkürzungen	5
4 Allgemeine Beschreibung	6
4.1 Modenkopplung	6
4.2 Schmalbandige Bauelemente	7
4.3 Polarisationsempfindlichkeit	7
4.4 Mehrweginterferenz	7
4.5 Anschlussfasern	8
4.6 Referenzprüfverfahren	8
4.7 Koeffizient der Polarisationsmodendispersion	8
4.8 Analysen in den verschiedenen Prüfverfahren	8
4.9 Berechnung der Polarisationsmodendispersion	8
4.10 Kalibrierung	9
5 Zu prüfendes Bauelement	9
6 Bewertungsverfahren der Stokesschen Parameter	11
6.1 Prüfeinrichtung	11
6.2 Prüfverfahren	15
7 Messverfahren der Polarisationsphasenverschiebung	19
7.1 Prüfeinrichtung	20
7.2 Durchführung	22
8 Messverfahren mit dem Festanalysator	24
8.1 Prüfeinrichtung	24
8.2 Durchführung	26
9 Interferometerverfahren	30
9.1 Prüfeinrichtung	30
9.2 Messverfahren	32
10 Verfahren der Modulationsphasenverschiebung	36
10.1 Prüfeinrichtung	36
10.2 Durchführung	41
11 Festzulegende Einzelheiten	43
11.1 Quelle im Wellenlängenbereich	43
11.2 Polarisator/Analysator	43
11.3 Provisorische Verbindungen	43
11.4 Zu prüfendes Bauelement	43
11.5 Prüfverfahren	43
Anhang A (informativ) Analyse mit der Kosinus-Fouriertransformation	44
A.1 Überblick	44
A.2 Spektralbereich	46
Literaturhinweise	47
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	48
Tabelle 1 – Technische Anwendbarkeit der verschiedenen Prüfverfahren für die unterschiedlichen Arten von DUTs	11

Bild 1 – Auswirkung der PMD-Erscheinung auf die Übertragung eines Informationsbitimpulses in einem Bauelement.....	6
Bild 2 – Ermittlung des Polarisationsdispersionsvektors und der Grundpolarisationszustände.....	10
Bild 3 – Funktionsdiagramm eines allgemeinen Messsystems auf der Grundlage der Bewertung der Stokesschen Parameter.....	12
a) Aufbau für die Jones-Matrix-Eigenanalyse.....	13
b) Aufbau für die Analyse mit der Poincaréschen Kugel.....	13
Bild 4 – Arten des Prüfaufbaus für das Bewertungsverfahren der Stokesschen Parameter.....	13
a) Messergebnis mit der Jones-Matrix-Eigenanalyse.....	18
b) Messergebnis mit der Analyse mit der Poincaréschen Kugel.....	18
Bild 5 – Beispielergebnisse für das Bewertungsverfahren der Stokesschen Parameter.....	18
Bild 6 – Prüfaufbau für das Verfahren der Polarisationsphasenverschiebung.....	20
Bild 7 – Gruppenlaufzeitdifferenz in Abhängigkeit von der Wellenlänge für einen 50/100-GHz-Interleaver.....	23
a) Festanalysatorverfahren mit einer schmalbandigen Quelle und einem Empfänger.....	24
b) Festanalysatorverfahren mit einer breitbandigen Quelle und einem optischen Spektralanalysator.....	24
Bild 8 – Blockschaltbilder für das Festanalysatorverfahren.....	24
a) Keine oder vernachlässigbare Modenkopplung.....	26
b) Zufällige Modenkopplung.....	26
Bild 9 – Beispiel der <i>R</i> -Funktion für das Festanalysatorverfahren.....	26
Bild 10 – Polarisationsmodendispersion durch Fourieranalyse.....	29
a) Übliche Analyse (TINTY) auf der Grundlage eines Michelson-Interferometers.....	31
b) Übliche Analyse (TINTY) auf der Grundlage eines Mach-Zehnder-Interferometers.....	31
c) Allgemeine Analyse (GINTY) auf der Grundlage eines Michelson-Interferometers.....	31
Bild 11 – Schematische Darstellung für das Interferometerverfahren für passive LWL-Bauelemente.....	31
a) Keine oder vernachlässigbare Modenkopplung.....	33
b) Zufällige Modenkopplung.....	33
Bild 12 – Typische Daten, die mit dem Interferometerverfahren erhalten werden.....	33
a) Für zufällige Modenkopplung.....	35
b) Für vernachlässigbare Modenkopplung.....	35
c) Für gemischte Modenkopplung.....	35
Bild 13 – Interferenzmuster, die mit GINTY und I/O-SOP-Mischung erhalten werden.....	35
Bild 14 – Einrichtung für die Durchführung von DGD-Messungen.....	37
Bild 15 – Einrichtung zur Durchführung von DGD-Messungen mit der Polarisationsmodulationstechnik.....	40

1 Anwendungsbereich

Der vorliegende Teil von IEC 61300 enthält eine Reihe alternativer Methoden zur Messung der Polarisationsmodendispersion (PMD) eines zu prüfenden passiven Lichtwellenleiter-Bauelementes (DUT). Mit diesen Methoden wird die PMD gewöhnlich im Frequenzbereich oder im Zeitbereich gemessen. Im Frequenzbereich werden die Polarisationsmerkmale des DUT ausgewertet. Im Zeitbereich wird die Impulsverzögerung oder -verbreiterung untersucht.

Das angegebene Verfahren betrifft Messungen von passiven LWL-Bauelementen mit dichtem Breitband- sowie Schmalband-Wellenlängenmultiplexing (DWDM). Im Text werden die Unterschiede zwischen den Messtechniken für diese verschiedenen Klassen von passiven LWL-Bauelementen angegeben.

Das Verfahren kann bei Labor-, Werks- und Feldmessungen der PMD in passiven LWL-Bauelementen angewendet werden. Einschränkungen bei der Anwendung bestimmter Methoden werden im Text gegebenenfalls angegeben.

Das Verfahren kann für transmissive oder reflektive DUTs angewendet werden. Im letzteren Fall erfolgt der Anschluss des DUT über einen Koppler oder Zirkulator, der einen bekannten, sehr geringen PMD-Wert aufweisen sollte.

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 60793-1-48, *Optical fibres – Part 1-48: Measurement methods and test procedures – Polarisation mode dispersion*

IEC 61282-3, *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion*

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

IEC 61300-3-2, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-2: Examinations and measurements – Polarization dependence of attenuation in a single-mode fibre optic device*

3 Abkürzungen

ASE	amplified spontaneous emission	verstärkte Spontanemission
DGD	differential group delay	Differenzgruppenlaufzeit
DOP	degree of polarization	Polarisationsgrad
DUT	device under test	zu prüfendes Bauelement
DWDM	dense wavelength division multiplexing	dichtes Wellenlängenmultiplexing
FA	fixed analyser	Festanalysator
FAFT	fixed analyser Fourier transform	Fouriertransformation mit Festanalysator
FAEC	fixed analyser extrema counting	Extremwertzählung mit Festanalysator
FWHM	full width at half maximum	Halbwertsbreite
INTY	interferometry	Interferometrie
ISI	inter-symbol interference	Intersymbolstörung
JME	Jones matrix eigenanalysis	Jones-Matrix-Eigenanalyse
MMA	Mueller matrix analysis	Mueller-Matrix-Analyse
MPS	modulation phase shift	Modulationsphasenverschiebung
PDL	polarization dependent loss	polarisationsabhängiger Verlust

PMD	polarization mode dispersion	Polarisationsmodendispersion
PDV	polarisation dispersion vector	Polarisationsdispersionsvektor
PPS	polarisation phase shift	Polarisationsphasenverschiebung
PS	Poincaré sphere	Poincarésche Kugel
PSA	Poincaré sphere analysis	Analyse mit der Poincaréschen Kugel
PSP	principal states of polarisation	Grundpolarisationszustände
RBW	resolution bandwidth	Auflösungsbandbreite
RMS	root mean square	quadratischer Mittelwert
SOP	state of polarisation	Polarisationszustand
SPE	Stokes parameter evaluation	Auswertung der Stokesschen Parameter
WDM	wavelength division multiplexing	Wellenlängenmultiplexing

4 Allgemeine Beschreibung

PMD ist die Verbreiterung eines optischen Impulses aufgrund polarisationsabhängiger Anomalien. In optischen Kommunikationssystemen führt die Verbreiterung eines Impulses aufgrund von Intersymbolstörungen (ISI) zu Bitfehlern am Empfänger und damit zu einer Begrenzung der Bandbreite.

Jeder optische Impuls besteht aus einer Kombination von zwei orthogonalen SOPs, die als Grundpolarisationszustände (PSPs) bezeichnet werden und aufgrund der im DUT möglicherweise auftretenden Doppelbrechung entstehen (siehe Bild 1). Diese unterschiedlichen Polarisationskomponenten bewegen sich mit unterschiedlichen Gruppengeschwindigkeiten fort und werden am Ausgang des DUT zu unterschiedlichen Zeitpunkten empfangen. Die PMD wird auf die Differenz zwischen den beiden PSP-Verzögerungen, die Differenzgruppenlaufzeit (DGD) $\Delta\tau$, bezogen.

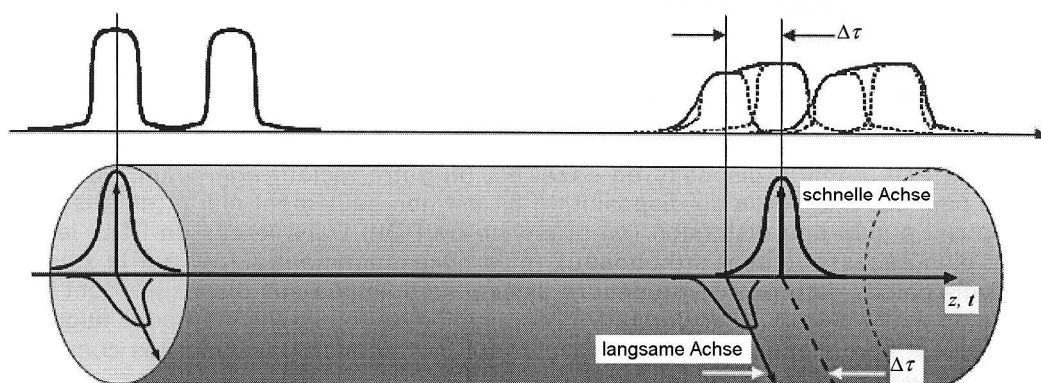


Bild 1 – Auswirkung der PMD-Erscheinung auf die Übertragung eines Informationsbitimpulses in einem Bauelement

4.1 Modenkopplung

PMD in passiven LWL-Bauelementen ist gewöhnlich deterministischer Natur, was bedeutet, dass die Erscheinung vorhersagbar ist und reproduziert und gesteuert werden kann. Es ist jedoch wichtig zu wissen, wie sich die Polarisationsmoden im Bauelement zusammenkoppeln können, denn tatsächlich können sie sich unterschiedlich koppeln. In passiven LWL-Bauelementen wird die Modenkopplung gewöhnlich als vernachlässigbar oder nicht vorhanden betrachtet (einschließlich von Fasern mit konstanter Polarisation und kurzen Längen normaler Fasern), im Gegensatz zu einer zufälligen oder starken Modenkopplung, wie sie oft bei langen Fasern auftritt. Bei nicht vorhandener oder vernachlässigbarer Modenkopplung ist die Doppelbrechungsachse im Bauelement für nur einen Abschnitt der Doppelbrechung festgesetzt und konstant und damit ist die DGD als Funktion der Wellenlänge konstant. In diesem Fall ist die PMD gleich der DGD.

Es gibt jedoch Arten von passiven LWL-Bauelementen, die viele Abschnitte mit fester Doppelbrechung aufweisen, deren Achsen nicht notwendigerweise aufeinander ausgerichtet sind, wodurch sich die DGD in Abhängigkeit von der Wellenlänge zufällig ändert. In diesem Fall ist die Modenkopplung zufällig. Auch wenn sich die DGD als Funktion der Wellenlänge ändert und die Modenkopplung zufällig ist, ist diese Änderung

von einer Messung zur nächsten konstant und kann immer noch vorhergesagt werden und die Erscheinung ist noch deterministisch. In diesem Fall ist die PMD der Mittelwert der spektralen Verteilung der DGD (es ist auch zulässig, den quadratischen Mittelwert (RMS) zu verwenden).

Es kann auch einen Zwischenzustand geben, bei dem das passive LWL-Bauelement wenige Doppelbrechungsabschnitte aufweist und sich die DGD weniger zufällig ändert, wie eine monotone Änderung oder eine Sinuswellenänderung als Funktion der Wellenlänge. Die PMD ist immer noch der Mittelwert oder der quadratische Mittelwert der DGD-Verteilung und die Erscheinung ist noch deterministisch, aber die Modenkopplung ist weder vernachlässigbar noch zufällig.

Die Modenkopplung beschreibt, wie die SOPs als Energie aufrechterhalten werden, die das Bauelement durchfließt. Vielmehr wird für jedes Bauelement eine Polarisationsübertragungsfunktion angegeben, wobei der SOP am Eingang auf einen anderen SOP am Ausgang als Funktion der Wellenlänge abgebildet wird. Diese Übertragungsfunktion wird gewöhnlich mit der Jones-Matrix dargestellt und später im Dokument erläutert.

4.2 Schmalbandige Bauelemente

Es gibt weitere Klassifizierungen für diese PMD-Erscheinung, die zu berücksichtigen sind. Dazu gehören schmalbandige Bauelemente. Ein schmalbandiges Bauelement kann eine schmale DGD-Verteilung aufweisen, während es einem breiten Fourier-Zeit-Spektrum mit einem sehr komplexen Spektrum im Zeitbereich unterliegt. Die Analyse der DGD im Zeitbereich in Abhängigkeit des Spektralbereiches muss ebenfalls sorgfältig vorgenommen werden.

4.3 Polarisationsempfindlichkeit

Ein weiterer Komplikationsfaktor ist das Auftreten von PDL im DUT. Bild 1 zeigt einen solchen Fall, in dem die Bits am Ausgang des DUT nicht nur verbreitert (ohne PDL), sondern auch verzerrt (mit PDL) sind. Beim Auftreten eines PDL sind die beiden PSPs nicht mehr orthogonal (sie liegen auf der Poincaréschen Kugel nicht mehr 180° zueinander). In diesem Fall wird das Prüfverfahren auf Bauelemente mit einem PDL gleich oder kleiner 1 dB beschränkt, um die Anwendung aller vorgeschlagenen Methoden zu ermöglichen. Diese Bedingung wird gewöhnlich innerhalb des Durchlassbereiches von typischen passiven LWL-Bauelementen, die in DWDM-Systemen eingesetzt werden, erfüllt.

Der PDL oder die Polarisationsempfindlichkeit können die genaue Bestimmung der DGD im DUT stark beeinflussen. Der PDL kann nach IEC 61300-3-2 gemessen werden.

Zur Verringerung der Komplexität der Lage können jedoch einige Ausschlüsse oder Annahmen gemacht werden. Z. B. wird ein Bauelement mit hohem PDL (> 10 dB) im Allgemeinen für den Betrieb mit einer einzigen Polarisation benutzt. Daher ist es möglich, für diese Bauelemente anzugeben, dass der PDL der entscheidende Parameter ist und nicht die PMD.

Mit den oben angegebenen Gründen wird der Anwendungsbereich dieses Dokumentes beschränkt und es werden Bauelemente mit hohem PDL (> 10 dB) ausgeschlossen. Solche Bauelemente sind Polarisatoren, polarisationsempfindliche Teiler oder Modulatoren usw.

Für Bauelemente mit niedrigem PDL (< 1 dB), die typische DWDM-Bauelemente sind, stellt der PDL im Allgemeinen ein kleines Problem für die Messung der DGD dar, er erhöht aber die Unsicherheit geringfügig. Wenn der PDL steigt, steigt auch die Messunsicherheit.

Für Bauelemente mit hohem PDL (z. B. > 10 dB) wird dieser Fehler unter Umständen unannehmbar hoch.

4.4 Mehrweginterferenz

Passive LWL-Bauelemente können eine große Anzahl optischer Elemente, Spleiße zwischen Faser und Wellenleiter und Grenzflächen zwischen Faser und Linse usw. besitzen, durch die Reflexionen aufgrund der Fehlanpassung der Brechzahl zwischen den Elementen auftreten. Die Auswirkungen davon können Dispersionen zwischen mehreren Wegen sein, die mit der PMD zusammenhängen (d. h., die Wegdifferenz ist polarisationsempfindlich) oder nicht (polarisationsunempfindliche Wegdifferenzen) [1]¹.

Reflexionen und mehrere Verzögerungswege, die nicht polarisationsempfindlich sind, können einzeln aus der DGD entfernt werden. Jede Art der polarisationsempfindlichen Laufzeitdifferenz wird jedoch als DGD aufgezeichnet.

¹ Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

4.5 Anschlussfasern

Schließlich fügen die Anschlussfasern ihre eigene PMD hinzu, die sich ändert, wenn die Zuleitungen gebogen, aufgewickelt oder verdreht werden.

Die Anschlussfasern in das und aus dem DUT (gewöhnlich in das Bauteilgehäuse eingeschlossen) tragen immer etwas zur PMD bei. Da die Faserzuleitungen gewöhnlich nur wenige Meter lang sind, ist die PMD in den Zuleitungen im Wesentlichen deterministisch mit geringer zufälliger Kopplung. Typische PMD-Werte für einige Meter einer Normfaser liegen im Bereich von 1 fs/m oder weniger. Die PMD in den Zuleitungen wird entweder zur DGD des DUT selbst addiert oder von ihr abgezogen, je nach der axialen Ausrichtung der Doppelbrechung der Zuleitung und des DUT. Dieser Beitrag der Zuleitungen ist eine Quelle der Unsicherheit bei der Bestimmung der DGD des DUT. Um die Einführung von Doppelbrechung durch Biegung zu vermeiden, sollten die Anschlussfasern so gerade wie möglich gehalten werden mit einem Biegeradius von mehr als 50 mm. Darüber hinaus können gegebenenfalls die DGD-Messungen oft wiederholt werden, wobei die Zuleitungen jedes Mal anders angeordnet werden, um einen zufälligen PMD-Beitrag in den Zuleitungen zu erzielen. Die wahre DGD des Bauelementes ist dann der Mittelwert der erhaltenen Ergebnisse. Es ist darauf zu achten, dass die Zuleitungen so angeordnet werden, dass der gesamte Bereich der PMD-Änderung abgedeckt wird.

Bauteile mit Anschlussfasern mit konstanter Polarisation sind im Normalfall stark polarisationsempfindliche oder polarisierte Quellen und als solche ist die Polarisationsachse der Anschlussfaser mit der Polarisationsachse des Bauelementes ausgerichtet und der entscheidende Parameter ist das Extinktionsverhältnis. Jede Fehlausrichtung führt eine wesentliche PMD ein.

Es folgt eine Zusammenfassung der Haupteigenschaften von passiven LWL-Bauelementen:

- diskrete, deterministische Elemente mit Doppelbrechung, die möglicherweise zueinander nicht ausgerichtete optische Achsen aufweisen (geringe Modenkopplung);
- im Allgemeinen deterministische DGD-Eigenschaften, endliche oder geringe Modenkopplung, mit schnellen und langsamen Polarisationsmoden, die relativ unabhängig von der Wellenlänge sind;
- PMD-Werte können gering ($< 0,1$ ps) bis hoch (> 2 ps) sein;
- endlicher, oft relativ schmaler Wellenlängenübertragungs-/reflexionsbereich;
- Anschlussfasern liefern einen veränderlichen Beitrag zur PMD;
- mögliche Reflexionen und andere Mehrweg-Dispersionsquellen innerhalb des DUT;
- möglicherweise große Beträge des PDL (> 1 dB bis < 10 dB).

4.6 Referenzprüfverfahren

Für dieses Prüfverfahren muss das Referenzprüfverfahren ein vollständig polarimetrisches Verfahren sein, das auf der Auswertung der Stokesschen Parameter beruht. Es gibt zwei praktische Analysen, die dieses Kriterium erfüllen und die eigentlich formal gleichwertig sind [2] [4]. Das sind die Jones-Matrix-Eigenanalyse (JME) und die Analyse mit der Poincaréschen Kugel (PSA). Alle anderen aufgeführten Methoden für dieses Prüfverfahren müssen als alternative Methoden betrachtet werden. Mit den nachfolgend angegebenen Ausnahmen entsprechen das JME- und das PSA-Verfahren IEC 60793-1-48.

4.7 Koeffizient der Polarisationsmodendispersion

Da bei passiven LWL-Bauelementen die PMD-Erscheinung deterministisch ist, gilt der PMD-Koeffizient nicht wie bei kurzen oder langen Fasern. Die PMD von passiven LWL-Bauelementen wird nur in der Einheit ps angegeben.

4.8 Analysen in den verschiedenen Prüfverfahren

Das mathematische Modell, mit dem die Analyse der verschiedenen Prüfverfahren erfolgt, kann IEC 61282-9 entnommen werden.

4.9 Berechnung der Polarisationsmodendispersion

Eine mathematische Herleitung zur Berechnung der PMD kann IEC 61282-3 entnommen werden.

4.10 Kalibrierung

Bei nicht vorhandener oder vernachlässigbarer Modenkopplung wird die Einrichtung mit einer Faser mit konstanter Polarisation und bekannter PMD kalibriert. Bei zufälliger Modenkopplung wird ein zertifizierter, zufällig ausgerichteter Stapel von Viertelwellenlängenplättchen empfohlen. Für hohe PMD-Werte (> 1 ps), die für zufällige Modenkopplung repräsentativ sind, liegen noch keine genormten Kalibrierartefakte und Kalibrierverfahren vor.

5 Zu prüfendes Bauelement

Das DUT ist gewöhnlich ein diskretes Bauteil mit Anschlussfasern, das mit einem Schmelzspieß oder einem geeigneten Patchkabel, Anschlussfasern usw. an eine PMD-Prüfeinrichtung angeschlossen ist. Es darf sich in der normalen Laborumgebung befinden oder alternativ darf das DUT gegebenenfalls in einer Klimakammer angeordnet werden, damit es während der Messungen hohen oder niedrigen Temperaturen oder Luftfeuchtigkeit ausgesetzt werden kann.

- Es ist sicherzustellen, dass die PDL des DUT weniger als 10 dB beträgt und dass seine spektrale Bandbreite annähernd bekannt ist.

Da die PMD-Messung eines passiven LWL-Bauelementes von der Art der Modenkopplung für das DUT und folglich von der Anzahl der Doppelbrechungsabschnitte, aus denen es zusammengesetzt ist, abhängt, wurden in diesem Dokument die DUTs in folgende Gruppen unterteilt:

- vernachlässigbare oder keine Modenkopplung;
- zufällige Modenkopplung;
- mittlere Modenkopplung;
- schmalbandiges DWDM.

Aufgrund der Ansprechempfindlichkeit der Messung auf den SOP ist es außerdem erforderlich, die tatsächliche Bauelementeanordnung zu berücksichtigen:

- Faser–Faser;
- Stecker–Stecker;
- Buchse–Buchse;
- Buchse–Stecker.

Der wichtigste zu berücksichtigende Punkt ist, dass bei Bauelementen mit langen Faserzuleitungen (länger als 1 km) die Messung der DGD als Funktion der Faserlänge in bestimmtem Umfang der Zufälligkeit unterliegt. Das hängt mit der Eigenschaft der zufälligen Modenkopplung der meisten Fasern zusammen und macht damit die PMD zu einer stochastischen Erscheinung. Da die betreffenden DUTs kurze Faserzuleitungen von viel weniger als 1 km Länge benutzen, setzt das angegebene Verfahren damit voraus, dass die PMD deterministisch ist.

Für die Anwendung dieses Verfahrens hat das DUT zwei optische Ports, die mit einer nicht umhüllten Faser, einem Stecker oder einer Buchse abgeschlossen werden können. Wenn das Bauelement mit einer Faser abgeschlossen wird, können zum Anschluss des DUT an den Eingangs- und den Ausgangspolarisator provisorische Spleißverbindungen benutzt werden. In diesem Fall sollte darauf geachtet werden, dass Interferenzeffekte aufgrund von Reflexionen vermieden werden. Es wird die Verwendung von in der Brechzahl angepasstem Material empfohlen.

Falls das Bauelement mehrere Ports besitzt, werden die Messungen auf einen einzigen optischen Weg beschränkt, und das Verfahren sollte für alle verfügbaren optischen Wege wiederholt werden. In diesem Fall sollte die DGD oder die PMD für jeden optischen Weg aufgezeichnet werden.

Das DUT und die Anschlussfasern müssen bei einer nominell konstanten Temperatur während der gesamten Messung in ihrer Lage festgehalten werden, um Unsicherheiten aufgrund zufälliger Modenkopplung zu verringern. Die mechanische Stabilität und die Temperaturstabilität des DUT können untersucht werden, indem der Ausgangs-SOP des DUT auf der Anzeige der Poincaréschen Kugel beobachtet wird. Während der Dauer einer Messung sollte die Änderung des Ausgangs-SOP bezogen auf die Änderung, die durch einen Schritt der Wellenlängenerhöhung erzeugt wird, klein sein.

Bei der Messung der PMD oder der DGD eines passiven LWL-Bauelementes muss die Klasse des zu messenden Bauelementes bekannt sein, da sich die Ausführungen in der Spezifikation, im Betriebsverhalten und in der Genauigkeit leicht unterscheiden.

Bei einfachen deterministischen Bauelementen (vernachlässigbare oder keine Modenkopplung) ist die DGD in Abhängigkeit von der Wellenlänge fast konstant. In diesen Fällen beschreibt der Ausgangs-SOP an der Poincaréschen Kugel etwa einen Kreis (siehe Bild 2). Die Winkelgeschwindigkeit ist konstant und die Länge des PDV und damit die DGD sind konstant. Die Anzahl und die Genauigkeit der Wellenlängenpunkte müssen in diesem Fall nicht sehr hoch sein.

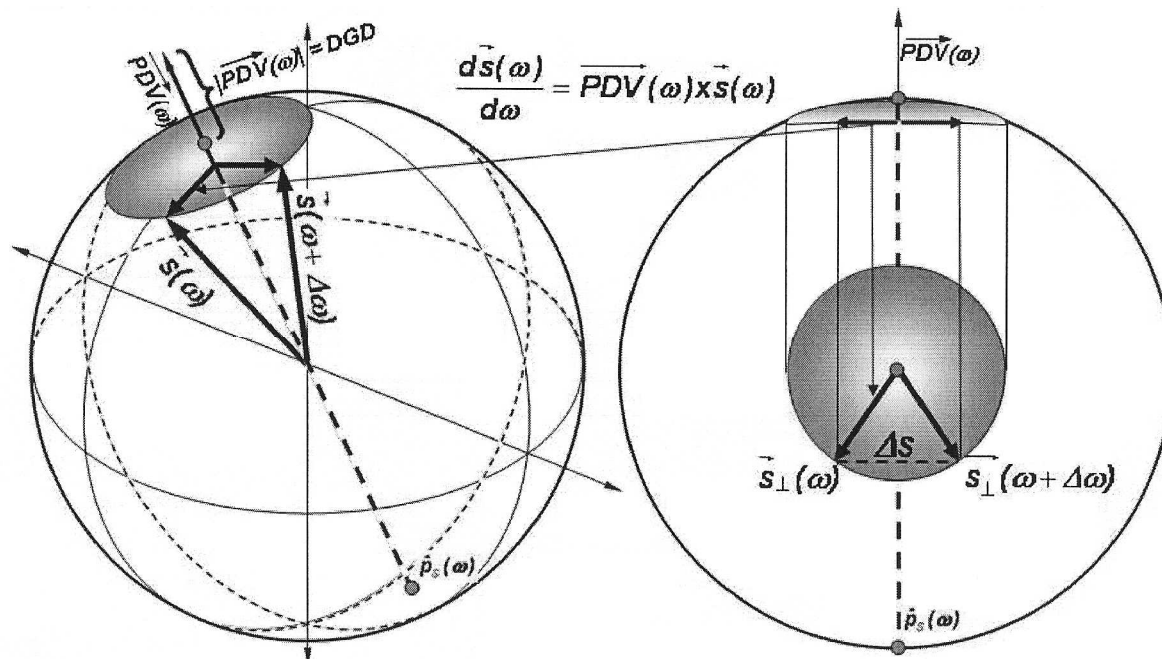


Bild 2 – Ermittlung des Polarisationsdispersionsvektors und der Grundpolarisationszustände

Es gibt jedoch einige DUTs, die einer schwankenden Winkelgeschwindigkeit ihres Ausgangs-SOP unterliegen. Bei einem DUT, das sich aus zwei Abschnitten mit gleicher Doppelbrechung zusammensetzt, ändert sich der PSP als Funktion der optischen Frequenz (Änderung des PDV – seiner Geschwindigkeit – oder seiner ersten Ableitung als Funktion der optischen Frequenz), aber die DGD (die Länge des PDV) bleibt konstant. Bei drei Abschnitten ändert sich sowohl die Länge des PDV (DGD) als auch dessen Geschwindigkeit, aber die Änderung der DGD ist monoton und damit erfährt die DGD eine Art Sinuswellenverhalten als Funktion der Wellenlänge.

Es gibt auch DUTs mit einer großen Anzahl von festen Änderungen der Doppelbrechungsachse (komplizierte DUTs mit vielen Doppelbrechungsabschnitten). Der SOP unterliegt einer Drehung um eine feststehende Doppelbrechungsachse und um die schnelle Achse des PSP. Die Achse des PSP ändert sich aber auch und damit folgt der Ausgangs-SOP dem Versatz der PSP-Achse an der Poincaréschen Kugel. Die Drehung ist nicht mehr monoton, sondern eher komplex. Die DGD erfährt eine komplexe und doch vorhersagbare Änderung als Funktion der Wellenlänge (zufällige Modenkopplung). Dieser Fall tritt auf, wenn das DUT eine große Anzahl von Abschnitten mit fester Doppelbrechung aufweist. Die PMD ist immer noch der Mittelwert dieser komplexen Änderung der DGD als Funktion der Wellenlänge.

DWDM-Bauelemente gleichen sich in der Hinsicht, dass sie eine sehr schmale Bandbreite je Kanal aufweisen und damit eine sehr hohe spektrale Auflösung erfordern, um die DGD als Funktion der Wellenlänge und damit die PMD richtig zu bewerten. Es ist auch zu beachten, dass in diesem Fall das Fourierspektrum dieses schmalbandigen Bauelementes ein sehr komplexes Zeitspektrum ergeben könnte. Dabei ist darauf zu achten, dass das Zeitspektrum eine fragwürdige Interpretation der Zeitverzögerungen ergeben kann, die nicht die DGD sein könnte. Außerdem sollte das Nyquist-Theorem berücksichtigt werden (z. B. sollte die Linienbreite der Quelle mehr als das Doppelte der Schrittweite der Wellenlängenabtastung betragen).

Tabelle 1 ist eine Zusammenfassung der technischen Anwendbarkeit der Prüfverfahren für die unterschiedlichen Arten von DUTs.

Tabelle 1 – Technische Anwendbarkeit der verschiedenen Prüfverfahren für die unterschiedlichen Arten von DUTs

Prüfverfahren	FA		INTY		MPS	PPS	SPE	PS (Bogen)
	FAFT	FAEC	TINTY	GINTY				
Anwendung bei passiven LWL-Bauelementen								
vernachlässigbare oder keine Modenkopplung	(X)	N/A	(X)	X	X	X	X	X**
zufällige Modenkopplung	(X)	(X)	(X)	X	X	X	X	N/A
mittlere Modenkopplung	N/A	N/A	N/A	X	X	X	X	N/A
schmalbandiges DWDM	N/A	N/A	N/A	X	X	X	X	X**
ANMERKUNG 1 Legende: X zutreffend (X) Anwendbarkeit ist im Umfang, im Anwendungsbereich oder in der Leistung eingeschränkt oder die Anwendbarkeit ist noch nicht bestätigt ** gibt an, dass das PS-Bogenverfahren nur für DUTs mit einem einfachen Elementaufbau anwendbar ist, wobei die DGD über dem verwendeten Wellenlängenbereich im Wesentlichen konstant ist (vernachlässigbare Modenkopplung) N/A nicht zutreffend ANMERKUNG 2 Legende für die PMD-Messmethoden: FAFT Verfahren mit Festanalysator (Fourieranalyse) FAEC Verfahren mit Festanalysator (Extremwertzählung) INTY Interferometerverfahren TINTY übliche Analyse GINTY allgemeine Analyse MPS Modulationsphasenverschiebung PPS Polarisationsphasenverschiebung SPE Auswertung der Stokesschen Parameter einschließlich JME, PSA und MMA PS Verfahren mit der Poincaréschen Kugel								

6 Bewertungsverfahren der Stokesschen Parameter

6.1 Prüfeinrichtung

Der Grundaufbau für die gleichwertigen Verfahren der JME und PSA zur Messung der PMD ist in Bild 3 dargestellt. Die verschiedenen Bestandteile dieses Systems werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

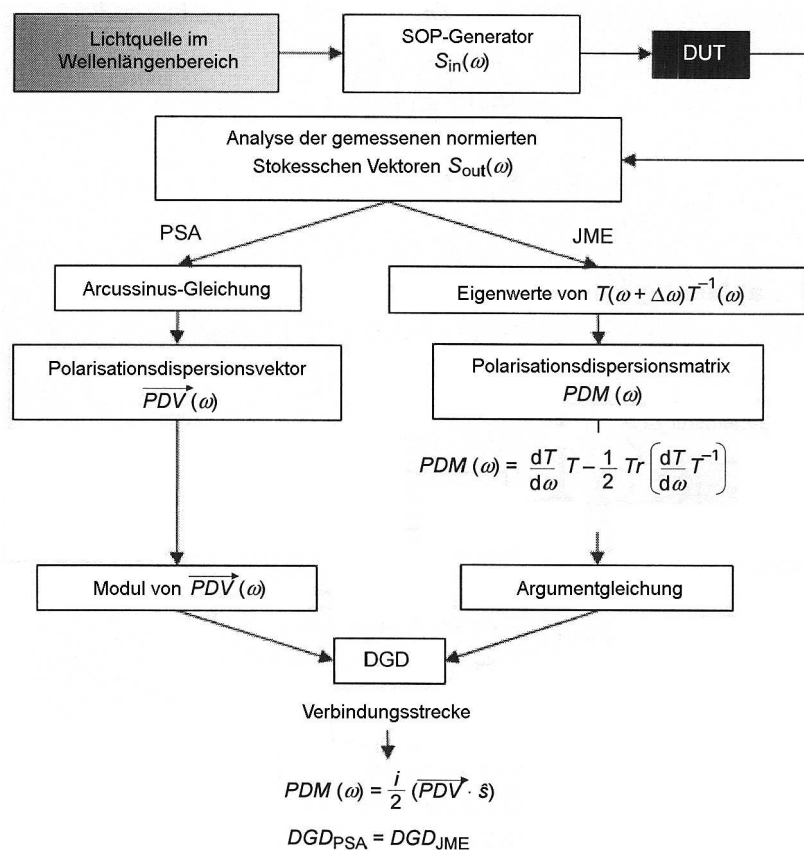
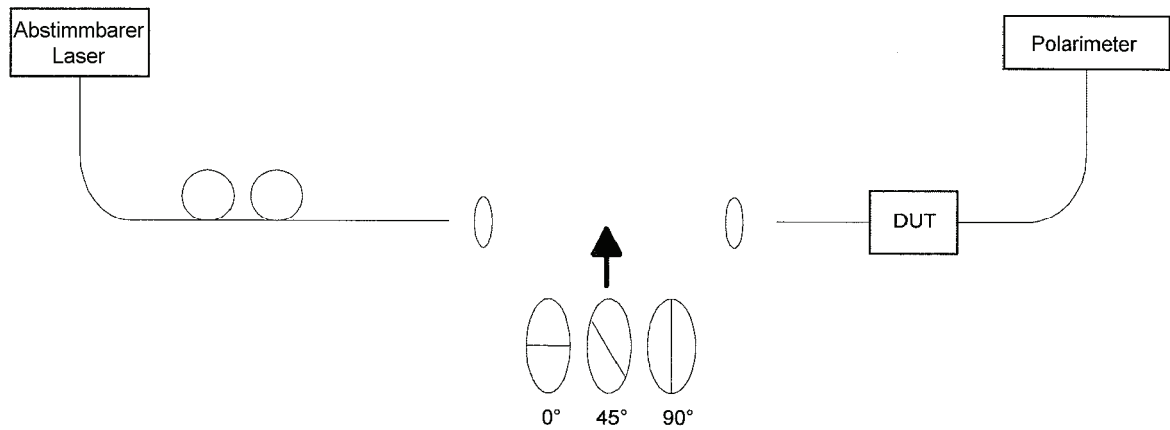
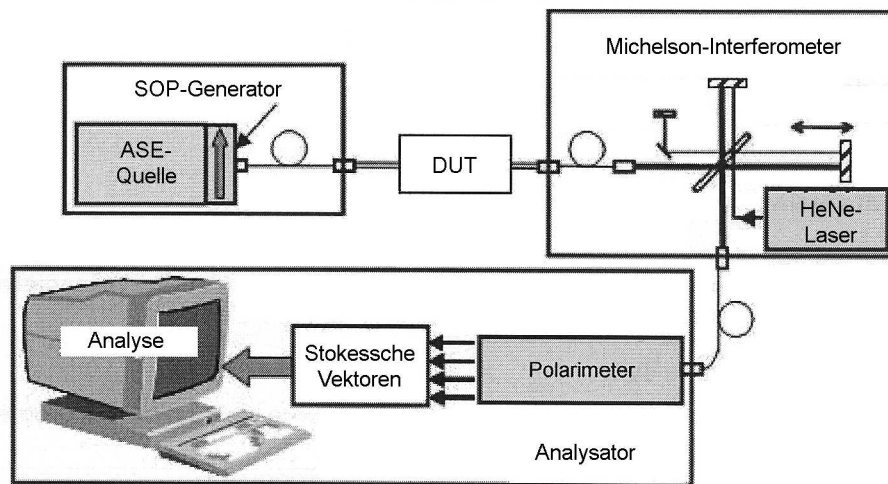


Bild 3 – Funktionsdiagramm eines allgemeinen Messsystems auf der Grundlage der Bewertung der Stokesschen Parameter

Bild 4 zeigt zwei Arten des Prüfaufbaus für das Verfahren der Bewertung der Stokesschen Parameter (SPE).



a) Aufbau für die Jones-Matrix-Eigenanalyse



b) Aufbau für die Analyse mit der Poincaréschen Kugel

Bild 4 – Arten des Prüfaufbaus für das Bewertungsverfahren der Stokesschen Parameter

6.1.1 Lichtquelle

In allen Fällen muss eine polarisierte Lichtquelle im Wellenlängenbereich benutzt werden. Abhängig vom Typ des verwendeten Analysators können besonders zwei Arten von Lichtquellen benutzt werden. Es kann z. B. eine schmalbandige Quelle mit einem polarimetrischen Analysator angewendet werden, während eine breitbandige Quelle zusammen mit einem Schmalbandfilteranalysator benutzt werden kann. Der Analysator kann ein optisches Filter, das vor oder nach dem DUT angeordnet werden kann, ein optischer Spektralanalysator oder ein Interferometer, das als Spektralanalysator mit Fouriertransformation eingesetzt wird, und das Polarimeter sein.

Für die Messung von DWDM-Bauelementen sollte die Wellenlängengenauigkeit des Messsystems der geforderten Genauigkeit entsprechen, damit sinnvolle und zuverlässige Ergebnisse erzielt werden. Zur Erfüllung des Nyquist-Theorems sollte die Wellenlängenaufösung entsprechend der Bandbreite des Bauelementes eingestellt werden. Dies kann gegebenenfalls durch Anwendung eines Wellenlängenmessgerätes im Messaufbau erfolgen.

a) Schmalbandige Quelle

Es ist ein einstrahliger (single-line) Laser oder eine schmalbandige Quelle zu verwenden, die über den vorgesehenen Messwellenlängenbereich abstimmbar ist. Die spektrale Verteilung muss so schmal sein, dass das Licht, das aus dem DUT austritt, unter allen Umständen der Messung polarisiert bleibt, aber nicht zu schmal, um unnötiges Rauschen und Überabtastung zu vermeiden und das Nyquist-Kriterium einzuhalten. Es wird ein Polarisationsgrad (DOP) von 90 % oder mehr bevorzugt, obwohl Messungen mit Werten bis zu 25 % mit verringerter Genauigkeit durchgeführt werden können. Für einen vorgegebenen Wert der DGD $\Delta\tau$ ist der kleinste Polarisationsgrad, der sich ergeben kann: