

DIN EN 61757-1-1

ICS 33.180.99

**Lichtwellenleistersensoren –
Teil 1-1: Dehnungsmessungen –
Dehnungssensoren basierend auf Faser-Bragg-Gatter
(IEC 61757-1-1:2016);
Deutsche Fassung EN 61757-1-1:2017**

Fibre optic sensors –
Part 1-1: Strain measurement –
Strain sensors based on fibre Bragg gratings
(IEC 61757-1-1:2016);
German version EN 61757-1-1:2017

Capteurs à fibres optiques –
Partie 1-1: Mesure de déformation –
Capteurs de déformation basés sur des réseaux de Bragg à fibres
(IEC 61757-1-1:2016);
Version allemande EN 61757-1-1:2017

Gesamtumfang 54 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2016-03-31 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2017-11-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 61757-2-1:2015-09.

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.

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

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten 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.

Diese Norm muss in Verbindung mit DIN EN 61757-1:2013-03 angewendet werden.

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.

Lichtwellenleistersensoren –
Teil 1-1: Dehnungsmessungen –
Dehnungssensoren basierend auf Faser-Bragg-Gatter
(IEC 61757-1-1:2016)

Fibre optic sensors –
Part 1-1: Strain measurement –
Strain sensors based on fibre Bragg gratings
(IEC 61757-1-1:2016)

Capteurs à fibres optiques –
Partie 1-1: Mesure de déformation –
Capteurs de déformation basés sur des réseaux
de Bragg à fibres
(IEC 61757-1-1:2016)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2016-03-31 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 61757-1-1:2017 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 86C/1322/CDV, zukünftige 1. Ausgabe der IEC 61757-1-1, 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 61757-1-1:2017 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): 2017-08-17
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2020-02-17

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Diese Norm muss zusammen mit EN 61757-1:2012 gelesen werden.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61757-1-1:2016 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 60793-1-30	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60793-1-30.
IEC 60793-1-31	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60793-1-31.
IEC 60793-1-33	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60793-1-33.
ISO 527-4	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN ISO 527-4.
ISO 7500-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN ISO 7500-1.
ISO 14125	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN ISO 14125.

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	2
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole	14
5 Aufbau und Eigenschaften	15
5.1 Faser-Bragg-Gitter (FBG)	15
5.2 FBG-Dehnungssensor	18
5.3 Messpunkt und Installation	18
5.4 Messlänge	19
5.5 Dehnungsbeanspruchung und Referenzdehnung	19
5.6 Referenzwellenlänge	19
5.7 Stabilitätsverhalten	20
5.7.1 Drift und Kriechen	20
5.7.2 Formbeständigkeit der Bragg-Gitter-Spitze	20
5.7.3 Hysterese	20
5.8 Prüfling	21
5.9 Messwertanzeige	21
5.10 Nullpunktbezogene Messung	21
5.11 Nicht nullpunktbezogene Messung	21
5.12 Herstellungscharge	21
5.13 FBG-Dehnungssensor-Standardmodell	21
5.14 FBG-Dehnungssensor-Serie	21
6 Berichtspflichtige Merkmale und Kennwerte	22
6.1 Einzelheiten des Aufbaus und geometrische Abmessungen	22
6.2 Bauform des FBG-Dehnungssensors	22
6.3 Temperatur- und Feuchtebereich	22
6.4 Anforderung an den Anschluss	22
7 Zu messende Merkmale und Kennwerte	22
7.1 Probenahme und statistische Bewertung	22
7.1.1 Probenahme	22
7.1.2 Zufällige Probenahme	22
7.1.3 Typprüfung	23
7.1.4 Serienprüfung	23
7.1.5 Einzelne Stichprobenprüfung	23
7.1.6 Ausweisen des Messergebnisses	23

	Seite
7.1.7 Aufbereitung des Prüflings	23
7.1.8 Umgebungsprüfbedingungen	23
7.1.9 Für die speziellen Kennwerte geforderte Art der Prüfung	23
7.2 Bragg-Wellenlänge λ_B	24
7.2.1 Allgemeines	24
7.2.2 Messverfahren	25
7.2.3 Auswertung	25
7.2.4 Berichterstattung	25
7.3 Spektralbreite des FBG	25
7.3.1 Messverfahren	25
7.3.2 Auswertung	26
7.3.3 Berichterstattung	26
7.4 FBG-Reflexionsgrad	26
7.4.1 Messverfahren	26
7.4.2 Auswertung	26
7.4.3 Berichterstattung	27
7.5 FBG-Dehnungsempfindlichkeit	27
7.5.1 Allgemeines	27
7.5.2 Dehnungseinrichtung	28
7.5.3 Messverfahren der Dehnungsprüfung	28
7.5.4 Auswertung	29
7.5.5 Berichterstattung	29
7.6 Dehnungsfaktor k	29
7.6.1 Allgemeines	29
7.6.2 Biegeeinrichtung	29
7.6.3 Messverfahren	31
7.6.4 Auswertung	32
7.6.5 Berichterstattung	33
7.7 Maximaler Dehnungsbereich bei Raumtemperatur	33
7.7.1 Allgemeines	33
7.7.2 Prüfaufbau	33
7.7.3 Messverfahren	33
7.7.4 Auswertung	33
7.7.5 Berichterstattung	34
7.8 Ermüdungsverhalten	34
7.8.1 Prüfaufbau	34
7.8.2 Messverfahren	34
7.8.3 Auswertung	35
7.8.4 Berichterstattung	35

	Seite
7.9 Krümmungsradius der Mindestbetriebsbereitschaft.....	35
7.9.1 Messverfahren	35
7.9.2 Auswertung	35
7.9.3 Berichterstattung	35
7.10 Temperatur- und Feuchtigkeitsbereiche	36
7.10.1 Allgemeines.....	36
7.10.2 Messverfahren	36
7.10.3 Auswertung	37
7.10.4 Berichterstattung	37
7.11 Weitere Umwelteinflüsse.....	37
7.12 Temperaturbedingte Dehnungsreaktion	37
7.12.1 Allgemeines.....	37
7.12.2 Prüfaufbau.....	38
7.12.3 Messverfahren	38
7.12.4 Auswertung	38
7.12.5 Berichterstattung	39
7.13 Abnahmeprüfung und Lebensdauerbetrachtungen	39
7.13.1 Allgemeines.....	39
7.13.2 Messverfahren	40
7.13.3 Auswertung	40
7.13.4 Berichterstattung	40
8 Empfehlungen für den Einsatz von FBG-Messgeräten	41
Anhang A (informativ) Weitere Eigenschaften der FBG-Dehnungssensoren	42
A.1 Allgemeines.....	42
A.2 Ausführliche Erläuterung zu Seitenkeulen eines FBG für unterschiedliche Einsatzbedingungen.....	42
Anhang B (informativ) Vordruck für Bauartspezifikation	46
B.1 Allgemeines.....	46
B.2 Mechanischer Aufbau des FBG-Dehnungssensors.....	46
B.3 Betriebseigenschaften des FBG-Dehnungssensors	46
B.4 Einschränkungende Parameter des FBG-Dehnungssensors	47
B.5 Temperaturdaten des FBG-Dehnungssensors	47
B.6 Weitere Angaben zum FBG-Dehnungssensor, die auf Anforderung anzugeben sind	47
B.7 Wichtige Leistungsdaten der FBG-Messeinrichtung.....	47
Anhang C (informativ) Auswirkungen der Polarisation.....	49
Anhang D (informativ) Eingesetzte FBG-Dehnungssensoren.....	50
D.1 Allgemeines.....	50
D.2 Empfohlenes Anbindungsverfahren	50
Literaturhinweise	51

	Seite
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	52
Bilder	
Bild 1 – Merkmale des Reflexionsspektrums des Bragg-Gitters	10
Bild 2 – Funktionsprinzip eines Faser-Bragg-Gitters im Lichtwellenleiter	16
Bild 3 – Reflexionsspektrum eines FBG-Arrays	17
Bild 4 – Messlänge zwischen den Befestigungspunkten.....	18
Bild 5 – Reflexionsspektrum eines FBG (berechnetes (links) und gemessenes Spektrum (rechts)).....	25
Bild 6 – Bestimmung des R_{FBG} aus dem FBG-Reflexionsspektrum (links, Gleichung (9)) und dem Übertragungsspektrum (rechts, Gleichung (10)).....	27
Bild 7 – Beispiel des Aufbaus einer Dehnungseinrichtung.....	28
Bild 8 – Prüfaufbau (links) für die Vier-Punkt-Biegeprüfung mit Darstellung der Querkraft- und Biegemomentwirkung (rechts).....	30
Bild 9 – Bestimmung der Dehnungsbeanspruchung über Wegmessung.....	30
Bild 10 – Ganzflächig auf einem gebogenen Biegebalken aufgebrachter Sensor	31
Bild 11 – Prüfling mit angebrachtem FBG-Dehnungssensor.....	35
Bild A.1 – Seitenkeulen im Fall eines einzelnen FBG als Dehnungssensor	43
Bild A.2 – Grundwellenlängenspitzen und erkannte Seitenkeulenspitzen im Fall in Reihe geschalteter Multiplex-FBGs	43
Bild A.3 – Spektrale Spitzen im Fall in Reihe geschalteter Multiplex-FBGs.....	44
Bild A.4 – Parameter zur Unterscheidung von Grundwellenlängenspitzen und Seitenkeulen.....	44
Bild A.5 – Unterscheidung von Grundwellenlängenspitzen und Seitenkeulen.....	45
Tabellen	
Tabelle 1 – Für die speziellen Kennwerte geforderte Art der Prüfung	24

Einleitung

Es wurde beschlossen, die Normenreihe IEC 61757 nach folgendem Prinzip neu zu strukturieren. Fortan werden die Unterteile als IEC 61757-*M-T* neu benummert, wobei *M* die Messung angibt und *T* die Technologie.

Der bestehende Teil IEC 61757-1:2012 wird als IEC 61757 neu benummert, nachdem er als Ausgabe 2.0 überarbeitet wurde, und dient dann als Übersichtsdokument für die gesamte Normenreihe.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 61757 legt detailliert Spezifikationen fest für faseroptische Sensoren, die eine oder mehrere Faser-Bragg-Gitter (FBG) als empfindliches Element für Dehnungsmessungen enthalten. Allgemeine Spezifikationen für LWL-Sensoren sind in IEC 61757-1 festgelegt.

Diese Norm führt die wichtigsten Eigenschaften und Merkmale eines faseroptischen Sensors für Dehnungsmessungen auf Basis eines Faser-Bragg-Gitters als empfindliches Element auf und legt die Verfahren zu deren Bestimmung fest. Darüber hinaus sind die grundlegenden Leistungsparameter und Kennwerte der entsprechenden Messgeräte zum Auslesen des optischen Signals aus dem FBG enthalten. Diese Norm bezieht sich auf die Messung von statischen und dynamischen Werten für die Dehnungsbeanspruchung in einem Frequenzbereich.

Ein Vordruck für Bauartspezifikation ist in Anhang B enthalten.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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 60050 (alle Teile), *International Electrotechnical Vocabulary* (erhältlich unter: <http://www.electropedia.org>)

IEC 60068-2 (alle Teile), *Environmental testing – Part 2: Tests*

IEC 60793-2, *Optical fibres – Part 2: Product specifications – General*

IEC 60874-1, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Connectors for optical fibres and cables – Part 1: Generic specification*

IEC 61300-2 (alle Teile), *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 2: Tests*

IEC 61757-1:2012, *Fibre optic sensors – Part 1: Generic specification*

IEC 62129-1, *Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments – Part 1: Optical spectrum analyzers*

IEC 62129-2, *Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments – Part 2: Michelson interferometer single wavelength meters*

IEC TS 62129-3, *Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments – Part 3: Optical frequency meters using optical frequency combs*

IEC TR 61931, *Fibre optic – Terminology*

ISO/IEC Guide 99, *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 61757-1:2012, der Normenreihe IEC 60050, IEC TR 61931, ISO/IEC Guide 99 (VIM) und die folgenden Begriffe.

ANMERKUNG Langperiodengitter, ungleichmäßige Gitter, Gitter mit einem abgewinkelten Verlauf und FBGs in einer polarisationserhaltenden Faser sind nicht berücksichtigt.

3.1

FBG

Faser-Bragg-Gitter

in silikabasierten optischen Einmodenfasern integriertes Phasenbeugungsgitter nach IEC 60793-2, Kategorie B, zum selektiven Reflektieren eines sehr schmalen Bereichs von Wellenlängen, während andere übertragen werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Um diese Eigenschaft zu erreichen, werden Zonen in regelmäßigen Abständen im Faserkern verändert, um unterschiedliche Brechzahlen zu erhalten, die etwas höher als der Kern sind.

3.2

FBG-Dehnungssensor

Bauelement, das ein oder mehrere Faser-Bragg-Gitter (3.1) als empfindliches Element für Dehnungsmessungen enthält

Anmerkung 1 zum Begriff: Verschiedene Bauformen sind möglich (siehe 5.2).

3.3

Bragg-Wellenlänge

λ_B

Wellenlänge des Faser-Bragg-Gitter (3.1), in der Regel zurückzuführen auf die Bragg-Reflexionspitze oder das Übertragungsminimum, ohne Dehnungsbeanspruchung bei Referenzumgebungsbedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Sofern mit einem FBG-Dehnungssensor (siehe 3.2) verbunden auf die Konfiguration vor dem Einbau bezogen.

3.4

Referenzwellenlänge

λ_0

Wellenlängenempfindlichkeit eines Faser-Bragg-Gitter nach dem Einbau oder zu Beginn der Messung auf die sich auswirkenden Belastungen und Umgebungsbedingungen

3.5

FBG-Reflexionsgrad

R_{FBG}

Verhältnis zwischen der einfallenden optischen Leistung P_0 und der reflektierten optischen Leistung P_{λ_B} bei der Bragg-Wellenlänge λ_B

Anmerkung 1 zum Begriff: Die zum FBG-Dehnungssensor gelangende Leistung ist aufgrund der Dämpfung in der Faser am Steckverbinder und auch im Gitter geringer als die einfallende optische Leistung (Eingang). Die Definition des FBG-Reflexionsgrads sollte daher die einfallende optische Leistung P_0 verwenden (siehe Gleichungen in 7.4.2), die den messbaren Teil am Steckverbinder eines LWL-Sensors stellt.

Anmerkung 2 zum Begriff: P_0 hängt vom Messgerät ab und ist kein absoluter Kennwert. Für die Betrachtung des Anwenders ist der Reflexionsgrad dann wichtig, wenn Betriebs- oder Einbaubedingungen vorhanden sind, welche die Reflexionseigenschaften beeinflussen.

3.6

Übertragungsdämpfung eines FBG-Sensors

Dämpfung der Leistung des übertragenen optischen Signals entlang der optischen Faser, des Faser-Bragg-Gitters und der Bauteile zum Anschließen eines FBG-Dehnungssensors außerhalb des FBG-Spektrums

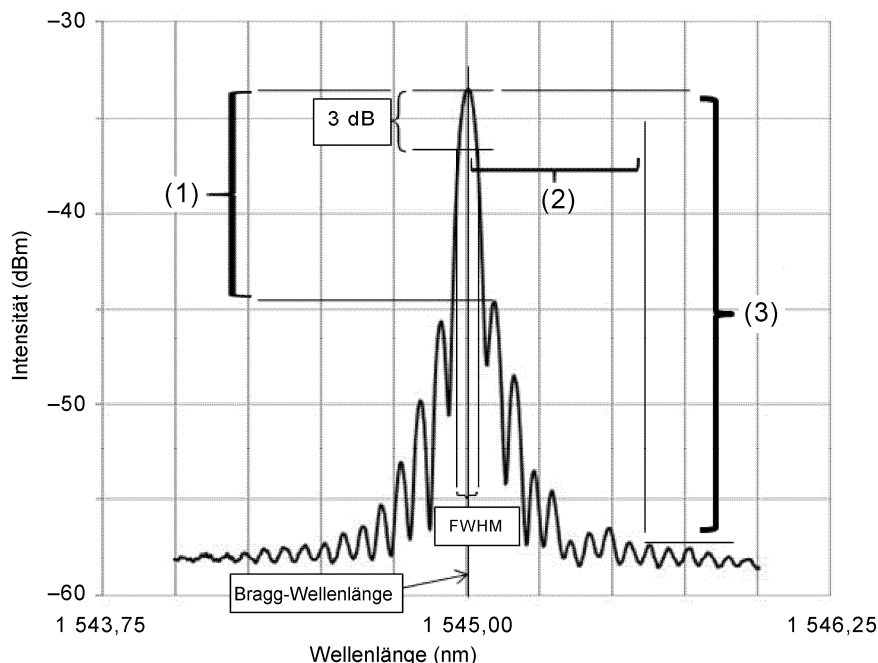
Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Betrachtung der Übertragungsdämpfung in einem FBG-Sensor sind alle Teile, die zur Leistungsminderung beitragen, z. B. Übertragungsdämpfungen durch Verbindungs- und Anschlussteile, zu berücksichtigen. Die Übertragungsspektren der Gitter können bedingt von Einflüssen auf die Gitterleistung eine Verminderung der Gitterdurchlässigkeit aufweisen. Solche Übertragungsdämpfungen im Gitter sollten getrennt betrachtet werden. Die Anmerkung gilt nur für Wellenlängen von Multiplex-FBG-Dehnungssensoren in Reihenschaltung mit zwei Enden.

3.7

Spektralbreite des FBG

Halbwertsbreite (FWHM) der Reflexionsspitze oder des Übertragungsminimums bei Bragg-Wellenlänge

Anmerkung 1 zum Begriff: Die FWHM eines FBG-Spektrums ist der Wellenlängenbereich des Spektrums, über den die Amplitude den größten Wert der Reflexion um mehr als 50 % (3 dB) bei λ_B übersteigt (siehe Bild 1).



Legende

- (1) Intensitätsunterschied zwischen Bragg-Spitze und der größten Seitenkeule (relativer Seitenkeulenpegel genannt)
- (2) Aufgezeichneter spektraler Abstand (siehe 3.12) vom höchsten Wert einer oder beider Seiten der Bragg-Wellenlänge
- (3) FBG-Signal-Rausch-Verhältnis SNR_{FBG} für (2)

Bild 1 – Merkmale des Reflexionsspektrums des Bragg-Gitters

3.8

Seitenkeulen

Reflexionsspitzen an jeder Seite der Bragg-Wellenlängenspitze eines FBG-Spektrums

Anmerkung 1 zum Begriff: Seitenkeulen werden auch als Seitenmoden bezeichnet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei Seitenkeulen müssen die Anwendungsbedingungen berücksichtigt werden (siehe Bild 1 und A.2).

3.9

relativer Seitenkeulenpegel

Verhältnis des größten Werts der Amplitude der festgelegten Feldkomponente in einer Seitenkeule zu dem größten Wert in einer Referenzkeule

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Referenzkeule eines FBG ist die Spitzenleistung bei Bragg-Wellenlänge λ_B ; die Spitzenleistung der größten Seitenkeule im FBG-Spektrum ist die damit verbundene Feldkomponente (siehe Bild 1).

Anmerkung 2 zum Begriff: Der relative Seitenkeulenpegel wird im Allgemeinen in Dezibel ausgedrückt.

3.10

Pegelbreite

relative Amplitudendifferenz zwischen einem lokalen Höchstwert und einer bestimmten Amplitude, bei der ein spektrales Merkmal anhand einer zweiseitigen Schwellenüberschreitung zur Bestimmung angewandt wird, ob der lokale Höchstwert entweder als Grundwellenlängenspitze oder als Seitenkeule zu bewerten ist.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Pegelbreite wird zur Bewertung einer relativen Schwelle eines lokalen Höchstwerts angewandt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Pegelbreite wird in Dezibel ausgedrückt.

3.11

Spitzenbreite

Breite, über die ein lokaler Höchstwert ein zweiseitiges Spektrum aufweist, das bei einem festgelegten Pegelbreitenparameter einen Schwellenwert überschreitet

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Größe der spektralen Breite des FBGs ist definiert als die spektrale Breite des Grundmodus des FBG und entspricht mindestens der Spitzenbreitenanforderung des Algorithmus der Spitzenerkennung, wenn die Pegelbreite mit 3 dB festgelegt ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Anforderung an die Spitzenbreite gilt in Verbindung mit dem Pegelbreitenparameter, um die Grundwellenlängenspitzen von Nebenkeulen in einem System zu unterscheiden, wo Nebenmoden bei einer absoluten Amplitude höher sein können als benachbarte Grundwellenlängenspitzen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Spitzenbreite wird in nm ausgedrückt.

3.12

FBG-Signal-Rausch-Verhältnis

SNR_{FBG}

Verhältnis des größten Werts der Amplitude der Bragg-Wellenlängenspitze zu dem der gleichzeitig daneben verlaufenden Amplitude der Seitenkeule bei einem Wellenlängenabstand von 1 nm und unbelasteten Bedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: SNR_{FBG} darf nicht mit den durch den Beschriftungsvorgang und in Abhängigkeit von der Anzahl der Gitter sowie dem Gitterabstand Λ und der Brechzahländerung des FBG verursachten Seitenkeulen eines FBG verwechselt werden. Das Rauschen wird durch die Messvorrichtung erzeugt; die Seitenkeulen werden während des Beschriftungsvorgangs des Gitters erzeugt und sind für die Verwendung eines FBG als Dehnungssensor von großer Bedeutung (siehe Bild 1 und 3.7).

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Wert „1 nm“ ist immer noch gültig, wenn die zentrale Wellenlänge des FBG in den sichtbaren Bereich ausgedehnt wird.

Anmerkung 3 zum Begriff: Das FBG-Signal-Rausch-Verhältnis wird in Dezibel ausgedrückt

3.13

FBG-Dehnungsempfindlichkeit

Verhältnis der relativen Änderung der Wellenlänge $\Delta\lambda/\lambda_0$ für eine festgelegte Dehnungsbeanspruchung $\Delta\varepsilon$, definiert durch diese Gleichung

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = (1 - p) \Delta\varepsilon$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die FBG-Dehnungsempfindlichkeit drückt die Reaktion eines FBG auf eine einachsige Dehnungsverformung $\Delta\varepsilon$ der Gitterfläche aus. Das Dehnungsverhalten wird durch den photoelastischen Koeffizienten p ausgedrückt. Für die praktische Anwendung wird der Dehnungsfaktor k als lineare Näherung für $(1 - p)$ eingeführt. In diesem Fall kann die Empfindlichkeit als lineare Funktion eines nicht-integrierten, in eine Richtung gedehnten Gitterbereichs betrachtet werden (siehe 7.6), d. h. nur die optische Faser und die Beschichtung werden verformt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Häufig wird diese Benennung als Spitzen-Verschiebung ($\Delta\lambda$ in nm) für die Änderung der einwirkenden Dehnung ($\Delta\varepsilon$ in $\mu\text{m}/\text{m}$) definiert. Häufig wird diese Benennung aus praktischen Gründen als Spitzen-Verschiebung ($\Delta\lambda$ in nm) über der einwirkenden Dehnungsbeanspruchung ($\Delta\varepsilon$ in $\mu\text{m}/\text{m}$) bezogen auf eine Referenzwellenlänge λ_0 angegeben.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Dehnungsempfindlichkeit kann durch temperaturbedingte Verformung der optischen Faser überlagert werden.

Anmerkung 4 zum Begriff: Sofern die Dehnungsempfindlichkeit eine nichtlineare Kennlinie aufgrund der Konfiguration, beispielsweise eines Dehnungssensors aufweist, dürfen höhere Auflagebedingungen angewandt werden. Die Kalibrierfunktion und die Parameter müssen definiert werden.

3.14

Dehnungsfaktor

k

Verhältnis der relativen Änderung der Wellenlänge $\Delta\lambda/\lambda_0$ zu einer mechanischen Dehnungsbeanspruchung $\Delta\varepsilon$ auf einen FBG-Dehnungssensor, das durch den dimensionslosen Dehnungsfaktor k ausgedrückt wird und vom Hersteller zu messen ist

$$k = \frac{\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}}{\Delta\varepsilon}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Dehnungsfaktor k wird von den Herstellern genutzt, um die Dehnungsempfindlichkeit ihrer Produkte auszudrücken.

Anmerkung 2 zum Begriff: Beim Dehnungsfaktor k werden alle Einflüsse auf den FBG-Dehnungssensor bezüglich der Dehnungsempfindlichkeit berücksichtigt. Der Dehnungsfaktor kann abhängig von der gewählten Ausführung des Dehnungssensors variieren (z. B. Fasern mit Bragg-Gitter und spezieller Schutzschicht oder FBG-Dehnungsmessstreifen) und somit von der Dehnungsempfindlichkeit eines Bragg-Gitters im LWL abweichen (siehe 3.13).

Anmerkung 3 zum Begriff: Der Dehnungsfaktor k eines FBG-Dehnungssensors nimmt eine lineare Kennlinie an. Betrachtet man das gesamte Messsystem (Sensor, Vorrichtung, Verkabelung), kann der Dehnungsfaktor k für die Komponenten des Messsystems eigenständig definiert werden. Dies gilt nur für festgelegte Bedingungen. Im Falle einer nichtlinearen Kennlinie (z. B. durch Verzögerung des Dehnungsübertragungsverhaltens) kann der Dehnungsfaktor k innerhalb definierter Fehlergrenzen linearisiert werden.

3.15

Messlänge

Länge, innerhalb der eine Dehnungsbeanspruchung eine Messwertänderung des FBG-Dehnungssensors bewirkt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Messlänge ist abhängig von der Art des jeweiligen FBG-Dehnungssensors, siehe 5.2.

3.16

Krümmungsradius der Mindestbetriebsbereitschaft

Mindestradius, bis zu dem ein FBG ohne Änderung der angegebenen Leistungsparameter gebogen werden kann

3.17

FBG-Sensor-Dehnungsbereich

maximaler Dehnungsbereich, dem ein FBG axialer Zug- oder Druckspannung ohne Veränderung der angegebenen Leistungsparameter ausgesetzt sein kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies könnte axiale Zugspannung und Druck beinhalten.

Anmerkung 2 zum Begriff: Außerhalb dieses Bereichs darf die festgelegte Leistungsmessung beeinträchtigt, der FBG-Dehnungssensor jedoch physikalisch nicht beschädigt werden.

3.18

FBG-Periode

Λ

Abstand zwischen den sich periodisch ändernden Brechzahlbereichen (Gitterebenen) in der Faser, ausgedrückt durch Λ

Anmerkung 1 zum Begriff: Die FBG-Periode definiert die Bragg-Wellenlänge (siehe 3.3) durch die Gleichung

$$\Lambda = \frac{\lambda_B}{2 \cdot n_{\text{eff}}}$$

3.19

Ermüdungsverhalten

Änderungen der Sensoreigenschaften infolge sinusförmiger Lastwechsel bei Referenzumgebungsbedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die entsprechenden Sensoreigenschaften, die das Ermüdungsverhalten bestimmen, sind die Nullpunktverschiebung (siehe 3.20) und die Änderungen im Reflexionsspektrum des FBG-Dehnungssensors in Abhängigkeit von der Anzahl der Lastwechsel.

3.20

Nullpunkt

Anfangswert eines Messzyklus, auf den sich alle folgenden Messwerte beziehen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Nullpunkt wird auch als Nullmenge bezeichnet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Nullpunkt muss für alle Arten von Messungen (statisch, dynamisch) aufgezeichnet werden. Im Falle von Offline-Messungen, bei denen Aufnahmegeräte ausgeschaltet oder nicht angeschlossen sind, müssen die fortgesetzten Messungen auf den Nullpunkt zurückzuführen sein.

3.21

Temperatureinfluss auf einen FBG-Dehnungssensor

Änderung der Bragg-Wellenlänge (3.3) des FBG-Dehnungssensors, der nur thermischer Anregung ausgesetzt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die temperaturbedingte Dehnung wird als eine scheinbare Dehnung wahrgenommen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Benennung „Temperaturempfindlichkeit“ wird nicht verwendet, da diese sich auf die Temperaturmessung bezieht, während das hier betrachtete Merkmal auf die „Temperaturkompensation“ des Signals bezogen ist.

3.22

Doppelbrechung

optische Eigenschaft eines optisch anisotropen Werkstoffs mit richtungsabhängigen Brechzahlen, die zu unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Licht in unterschiedlichen Ausbreitungsrichtungen führt

Anmerkung 1 zum Begriff: Doppelbrechung ist eine Eigenschaft von optischen Materialien.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für LWL-Sensoren trifft die Benennung „Doppelbrechung“ dann zu, wenn optische Fasern mit doppelbrechender Eigenschaft verwendet werden, z. B. Fasern mit Panda- oder bow-tie-Struktur.

3.23

Polarisationsabhängigkeit

tritt auf, wenn Querbelastrung auf eine Faser bewirkt, dass der kreisförmige Nennquerschnitt elliptisch wird mit dem Ergebnis des Teilens der rückreflektierten Bragg-Spektren in zwei ungleich reflektierte oder übertragene Wellen, die eine doppelte Spitze in dem Spektrum erzeugen

Anmerkung 1 zum Begriff: Polarisationsabhängigkeit der Bragg-Wellenlänge kann auch während des Schreibens des Bragg-Gitters auftreten, wenn der Laser nicht genau auf die Kernmitte fokussiert, sondern stattdessen in Richtung einer Seite des Mantels ausgerichtet ist. In diesem Fall werden asymmetrische Brechzahlen des Glases durch die Asymmetrie bei der Erstellung erzeugt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Polarisationsabhängigkeit der Bragg-Wellenlänge kann auch zu Unsicherheiten bei Messungen der Bragg-Wellenlänge, Spektralbreite und des FBG-Reflexionsgrads führen.

4 Symbole

Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Symbole:

h	Dicke des deformierten Messobjekts;
I_{ref}	Intensität der optischen Leistung der Referenzfaser;
k	Dehnungsfaktor k ;
l, L	Länge;
L_0	ursprüngliche Länge des Messobjekts;
L_1	Länge des Messobjekts nach Verformung;
L_F	Länge der freien Faser in einem Dehnungssensor;
L_G	Länge zwischen den Verankerungspunkten des FBG-Dehnungssensors und dem Messobjekt (Messlänge);
n	Brechzahl der Wellenlänge;
n_{eff}	effektive Brechzahl des Bragg-Gitters (siehe 5.1);
p_ε	effektiver photoelastischer Koeffizient;
p	photoelastischer Koeffizient;
P_0	einfallende optische Leistung;
P_{AB}	optische Leistung des FBG;
R_{FBG}	FBG-Reflexionsgrad;
R_{ref}	FBG-Reflexionsgrad der Referenzfaser;
s	Abstand des LWL-Sensors von der Oberfläche des Messobjekts;
SNR_{FBG}	Signal-Rausch-Verhältnis des FBG;
T	Temperatur;
$\bar{x}$	Mittelwert;
x_i	der i -te Messwert;
X	physikalischer Parameter (z. B. Temperatur, Dehnung oder Druck);
α	Wärmeausdehnungskoeffizient des Glasfaserwerkstoffs;
α_{gm}	Wärmeausdehnungskoeffizient des Trägermaterials des Dehnungsmessstreifens;
α_{sp}	Wärmeausdehnungskoeffizient des Prüflings;
$\Delta\lambda$	$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, Verschiebung der FBG-Spitzenwellenlänge bei einer festgelegten Dehnungsbeanspruchung $\Delta\varepsilon$;
ε	Dehnungsbeanspruchung (hier immer in Richtung der Faserachse betrachtet);
ε_a	am Prüfling angelegte Dehnungsbeanspruchung;
$\varepsilon_{\text{neff}}$	temperaturbedingte Dehnung (Wärmeleistung);
ε_{OF}	Biegedehnung an der Oberfläche des Messobjekts;

ε_{OSS}	mit einem FBG-Dehnungssensor gemessene Dehnungsbeanspruchung (für gebogene Messobjekte, siehe 7.6.2);
ε_p	Dehnungsbeanspruchung auf der Oberfläche eines Biegeelements;
ε_p'	mit einem angebrachten Sensor endlicher Dicke gemessene Dehnungsbeanspruchung eines Biegeelements;
ε_s	scheinbare Dehnung;
λ_0	Referenzwellenlänge;
λ_B	Bragg-Wellenlänge;
Λ	FBG-Periode;
ξ	thermooptischer Koeffizient;
φ	logarithmische Dehnung.

5 Aufbau und Eigenschaften

5.1 Faser-Bragg-Gitter (FBG)

Faser-Bragg-Gitter sind in Lichtwellenleiter eingeschriebene Phasenbeugungsgitter. Sie werden häufig unter Verwendung von UV-Licht (z. B. mit einem Excimerlaser bei 248 nm) erzeugt. Die Faser wurde dieser UV-Strahlung ausgesetzt, um ein Interferenzmuster zu erzeugen. Durch die Empfindlichkeit gegenüber UV-Strahlung werden in diesem Verfahren dann Änderungen der Brechzahl des Faserkerns erzeugt, der dafür geeignet ist. Das Interferenzmuster ist eine Abbildung einer periodisch wechselnden Brechzahl im Faserkern. Das einfallende und entlang der Faser übertragene Licht wird zusätzlich an diesen Punkten von einer bestimmten Wellenlänge überlagert (konstruktive Interferenz); dieser spektrale Anteil des einfallenden Lichts wird reflektiert. Im übertragenen Licht wird genau diese Wellenlänge (bezeichnet als Bragg-Wellenlänge λ_B) entsprechend des FBG-Reflexionsvermögens gedämpft. Im Bild 2 ist das Prinzip eines Faser-Bragg-Gitters in einem Lichtwellenleiter dargestellt.

Der Wert der reflektierten Bragg-Wellenlänge λ_B wird bestimmt von der Bragg-Bedingung:

$$\lambda_B = 2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot \Lambda \quad (1)$$

Nach Gleichung (1) hängt die Bragg-Wellenlänge λ_B des FBG von der effektiven Brechzahl des FBG und der FBG-Periode Λ ab. Die Spektralbreite der Bragg-Wellenlängenspitze wird im Wesentlichen durch die Anzahl der Gitterperioden und die Modulation der effektiven Brechzahl bestimmt.

Gemäß Gleichung (1) ist das FBG gegenüber Veränderungen der FBG-Periode und der effektiven Brechzahl empfindlich, die im Wesentlichen durch Änderungen der Dehnungsbeanspruchung und Temperatur beeinflusst werden. Die Bragg-Wellenlänge λ_B ändert sich (wird „verschoben“) mit den Änderungen der FBG-Periode Λ oder mit den Änderungen der effektiven Brechzahl n_{eff} .

Die Wellenlänge wird auf höhere Werte verschoben, wenn das LWL-Gitter gedehnt wird oder die Temperatur ansteigt. Der umgekehrte Prozess tritt auf bei Druckbeanspruchung und einem Absinken der Temperatur. Diese Auswirkungen auf n_{eff} und Λ werden mit Gleichung (2) beschrieben:

$$\frac{1}{\lambda_B} \frac{\partial \lambda_B}{\partial X} = \frac{1}{n_{\text{eff}}} \frac{\partial n_{\text{eff}}}{\partial X} + \frac{1}{\Lambda} \frac{\partial \Lambda}{\partial X} \quad (2)$$

Dabei ist

X der physikalische Parameter (z. B. Temperatur, Dehnungsbeanspruchung oder Druck).