DIN EN IEC 61757-1-1

DIN

ICS 33.180.99

Entwurf

Einsprüche bis 2019-07-03
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 61757-1-1:2017-11

Lichtwellenleitersensoren – Teil 1-1: Dehnungsmessungen – Dehnungssensoren basierend auf Faser-Bragg-Gitter (IEC 86C/1570/CD:2018); Text Deutsch und Englisch

Fibre optic sensors –
Part 1-1: Strain measurement –
Strain sensors based on fibre Bragg gratings
(IEC 86C/1570/CD:2018);
Text in German and English

Capteurs à fibres optiques –
Partie 1-1: Mesure de déformation –
Capteurs de déformation basés sur des réseaux de Bragg à fibres
(IEC 86C/1570/CD:2018);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-05-03 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 101 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 86C/1570/CD:2018 „Fibre optic sensors – Part 1-1: Strain measurement – Strain sensors based on fibre Bragg gratings“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 86C „Fibre optic systems and active devices“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

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.

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

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

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.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61757-1-1:2017-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Aktualisierung der zitierten Normen;

b) Präzisierung der Definitionen und Prüfspezifikationen.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

Inhalt

Seite

Einleitung 7
1 Anwendungsbereich 8
2 Normative Verweisungen 8
3 Begriffe 9
4 Symbole 15
5 Aufbau und Eigenschaften 16
5.1 Faser-Bragg-Gitter (FBG) 16
5.2 FBG-Dehnungssensor 19
5.3 Messpunkt und Installation 19
5.4 Messlänge 19
5.5 Dehnungsbeanspruchung und Referenzdehnung 20
5.6 Referenzwellenlänge 20
5.7 Stabilitätsverhalten 21
5.7.1 Drift und Kriechen 21
5.7.2 Formbeständigkeit der Bragg-Gitter-Spitze 21
5.7.3 Hysterese 21
5.8 Prüfling 21
5.9 Messwertanzeige 22
5.10 Nullpunktbezogene Messung 22
5.11 Nicht nullpunktbezogene Messung 22
5.12 Herstellungscharge 22
5.13 FBG-Dehnungssensor-Standardmodell 22
5.14 FBG-Dehnungssensor-Serie 22
6 Berichtspflichtige Merkmale und Kennwerte 22
6.1 Einzelheiten des Aufbaus und geometrische Abmessungen 22
6.2 Bauform des FBG-Dehnungssensors 23
6.3 Temperatur- und Feuchtebereich 23
6.4 Anforderung an den Anschluss 23
7 Zu messende Merkmale und Kennwerte 23
7.1 Probenahme und statistische Bewertung 23
7.1.1 Probenahme 23
7.1.2 Zufällige Probenahme 23
7.1.3 Typprüfung 23
7.1.4 Serienprüfung 24
7.1.5 Einzelne Stichprobenprüfung 24
7.1.6 Ausweisen des Messergebnisses 24
7.1.7 Aufbereitung des Prüflings 24
7.1.8 Umgebungsprüfbedingungen 24
7.1.9 Für die speziellen Kennwerte geforderte Art der Prüfung 24
7.2 Bragg-Wellenlänge λ_B 25
7.2.1 Allgemeines 25

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

Seite

7.2.2 Messverfahren ... 26
7.2.3 Auswertung ... 26
7.2.4 Berichterstattung ... 26
7.3 FBG-Spektralbreite ... 26
7.3.1 Messverfahren ... 26
7.3.2 Auswertung ... 27
7.3.3 Berichterstattung ... 27
7.4 FBG-Reflexionsgrad ... 27
7.4.1 Messverfahren ... 27
7.4.2 Auswertung ... 27
7.4.3 Berichterstattung ... 28
7.5 FBG-Dehnungsempfindlichkeit ... 28
7.5.1 Allgemeines ... 28
7.5.2 Dehnungseinrichtung ... 29
7.5.3 Messverfahren der Zugprüfung ... 29
7.5.4 Auswertung ... 30
7.5.5 Berichterstattung ... 30
7.6 Dehnungsfaktor k ... 30
7.6.1 Allgemeines ... 30
7.6.2 Biegeeinrichtung ... 30
7.6.3 Messverfahren ... 33
7.6.4 Auswertung ... 34
7.6.5 Berichterstattung ... 34
7.7 Maximaler Dehnungsbereich bei Raumtemperatur ... 34
7.7.1 Allgemeines ... 34
7.7.2 Prüfaufbau ... 34
7.7.3 Messverfahren ... 35
7.7.4 Auswertung ... 35
7.7.5 Berichterstattung ... 35
7.8 Ermüdungsverhalten ... 36
7.8.1 Prüfaufbau ... 36
7.8.2 Messverfahren ... 36
7.8.3 Auswertung ... 36
7.8.4 Berichterstattung ... 37
7.9 Krümmungsradius der Mindestbetriebsbereitschaft ... 37
7.9.1 Messverfahren ... 37
7.9.2 Auswertung ... 37
7.9.3 Berichterstattung ... 37
7.10 Temperatur- und Feuchtigkeitsbereiche ... 37
7.10.1 Allgemeines ... 37
7.10.2 Messverfahren ... 38
7.10.3 Auswertung ... 38
7.10.4 Berichterstattung ... 38
7.11 Weitere Umwelteinflüsse ... 38

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

Seite

7.12 Temperaturbedingte Dehnungsreaktion 39
7.12.1 Allgemeines 39
7.12.2 Prüfaufbau 39
7.12.3 Messverfahren 40
7.12.4 Auswertung 40
7.12.5 Berichterstattung 40
7.13 Abnahmeprüfung und Lebensdauerbetrachtungen 40
7.13.1 Allgemeines 40
7.13.2 Messverfahren 41
7.13.3 Auswertung 41
7.13.4 Berichterstattung 42
8 Empfehlungen für den Einsatz von FBG-Messgeräten 42
Anhang A (informativ) Weitere Eigenschaften der FBG-Dehnungssensoren 43
A.1 Allgemein 43
A.2 Ausführliche Erläuterung zu Seitenkeulen eines FBG für unterschiedliche Einsatzbedingungen 43
Anhang B (informativ) Vordruck für Bauartspezifikation 47
B.1 Allgemein 47
B.2 Mechanischer Aufbau des FBG-Dehnungssensors 47
B.3 Betriebseigenschaften des FBG-Dehnungssensors 47
B.4 Einschränkende Parameter des FBG-Dehnungssensors 48
B.5 Temperaturdaten des FBG-Dehnungssensors 48
B.6 Weitere Angaben zum FBG-Dehnungssensor, die auf Anforderung anzugeben sind 48
B.7 Wichtige Leistungsdaten der FBG-Messeinrichtung 48
Anhang C (informativ) Auswirkungen der Polarisation 50
Anhang D (informativ) Eingesetzte FBG-Dehnungssensoren 51
D.1 Allgemeines 51
D.2 Empfohlenes Anbindungsverfahren 51
Literaturhinweise 52

Bilder

Bild 1 – Merkmale des Reflexionsspektrums des Bragg-Gitters 10
Bild 2 – Funktionsprinzip eines Faser-Bragg-Gitters im Lichtwellenleiter 17
Bild 3 – Reflexionsspektrum eines FBG-Arrays 18
Bild 4 – Messlänge zwischen zwei Befestigungspunkten 19
Bild 5 – Reflexionsspektrum eines FBG (berechnetes (links) und gemessenes Spektrum (rechts)) 26
Bild 6 – Bestimmung des R_{FBG} aus dem FBG-Reflexionsspektrum (links, Gleichung (9)) und dem Übertragungsspektrum (rechts, Gleichung (10)) 28
Bild 7 – Beispiel des Aufbaus einer Dehnungseinrichtung 29
Bild 8 – Prüfaufbau (links) für die Vier-Punkt-Biegeprüfung mit Darstellung der Querkraft- und Biegemomentwirkung (rechts) 31
Bild 9 – Bestimmung der Dehnungsbeanspruchung über Wegmessung 32
Bild 10 – Ganzflächig auf einem gebogenen Biegebalken aufgebrachter Sensor 33
Bild 11 – Prüfling mit angebrachtem FBG-Dehnungssensor 36
Bild A.1 – Seitenkeulen im Fall eines einzelnen FBG als Dehnungssensor 44

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

Seite

Bild A.2 – Grundwellenlängenspitzen und erkannte Seitenkeulenspitzen im Fall in Reihe geschalteter Multiplex-FBGs 44
Bild A.3 – Spektrale Spitzen im Fall in Reihe geschalteter Multiplex-FBGs 45
Bild A.4 – Parameter zur Unterscheidung von Grundwellenlängenspitzen und Seitenkeulen 45
Bild A.5 – Unterscheidung von Grundwellenlängenspitzen und Seitenkeulen 46

Tabellen

Tabelle 1 – Für die speziellen Kennwerte geforderte Art der Prüfung 25

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

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.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

Lichtwellenleitersensoren – Teil 1-1: Dehnungsmessungen – Dehnungssensoren basierend auf Faser-Bragg-Gitter

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 61757 legt detailliert Spezifikationen fest für faseroptische Sensoren, die ein oder mehrere Faser-Bragg-Gitter (FBG) als empfindliches Element für Dehnungsmessungen enthalten. Fachgrundspezifikationen für Lichtwellenleitersensoren sind in IEC 61757 definiert.

Dieses Dokument 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. Dieses Dokument 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 werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050 (alle Teile), *International Electrotechnical Vocabulary*

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, *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)*

Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 61757-1:2018, 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.

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

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

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.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Anmerkung gilt nur für die französische Sprachfassung.

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
λ_{Bref}
Bragg-Wellenlänge
Wellenlänge des Faser-Bragg-Gitter (3.1), in der Regel zurückzuführen auf die Bragg-Reflexionsspitze 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.

Anmerkung 2 zum Begriff: λ_B ist die vom Hersteller angegebene Wellenlänge des FBG-Dehnungssensors ohne jede weitere Festlegung von mechanischen und umgebungsbezogenen Bedingungen.

3.4
λ_0
Referenzwellenlänge
Wellenlängenempfindlichkeit eines Faser-Bragg-Gitter nach dem Einbau oder zu Beginn der Messung auf die sich auswirkenden Belastungen und Umgebungsbedingungen

3.5
R_{FBG}
FBG-Reflexionsgrad
Verhältnis zwischen der einfallenden optischen Leistung P_0 und der reflektierten optischen Leistung $P_{\lambda B}$ bei der Bragg-Wellenlänge λ_B in einem definierten Spektralfenster

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

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 darstellt.

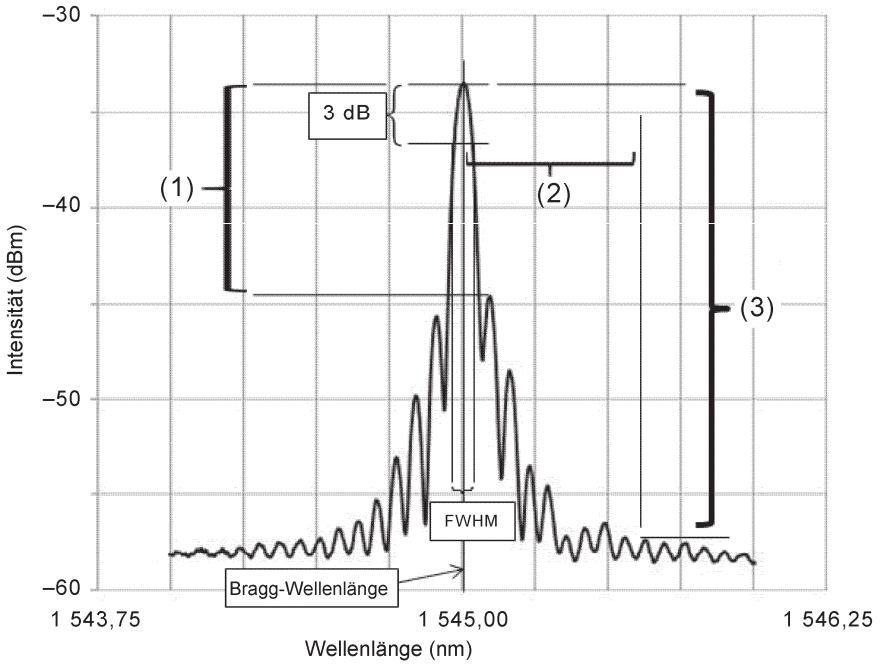
Anmerkung 2 zum Begriff: P_0 hängt vom Messgerät ab und ist kein absoluter Kennwert. Für die Betrachtung des Anwenders ist der Reflexionsgrad dann wichtig, wenn Betriebs- oder Einbaubedingungen vorhanden sind, welche die Reflexionseigenschaften beeinflussen.

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

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

3.8
Seitenkeulen
Reflexionsspitzen an jeder Seite der Bragg-Wellenlängenspitze λ_B 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).

Anmerkung 3 zum Begriff: Für die Beschreibung der Übertragungseigenschaften sollten die folgenden Merkmale angegeben werden:

– maximale Dämpfung des Übertragungsspektrums aufgrund parasitärer optischer Effekte (in dB);
– maximale Dämpfung des Übertragungsspektrums innerhalb des Wellenlängenbereiches $\lambda_B \pm 1$ nm.

Anmerkung 4 zum Begriff: Die Qualität des Nutzsignals wird durch das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) angegeben. Der angegebene Wellenlängenbereich kann von dem Bereich abweichen, auf den das SNR üblicherweise bezogen wird. Dies muss in diesem Fall ausdrücklich angegeben werden.

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 angegeben.

Anmerkung 3 zum Begriff: Einige Hersteller verwenden hierfür die Benennung Seitenkeulen-Unterdrückungsverhältnis (SLSR – en: side-lobe suppression ratio).

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 angegeben.

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 dürfen als benachbarte Grundwellenlängenspitzen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Wenn mehrere Sensoren in einem Bragg-Gitter-Array verwendet werden, muss die Übertragungseigenschaft besonders beachtet werden. Bei der Anwendung des Wellenlängenmultiplex ist unbeabsichtigtes Signal-Nebensprechen der Bragg-Gitter-Pulse möglich. Die Bragg-Gitter-Wellenlängen müssen im nutzbaren Spektrum

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

mit einem ausreichenden Abstand der Bragg-Spitzen bestimmt werden, um eine Überlappen der Bragg-Wellenlänge zu vermeiden. Störende Reflexionen müssen, falls erheblich, unterdrückt werden.

Anmerkung 4 zum Begriff: Die Spitzenbreite wird in nm angegeben.

3.12
SNR_{FBG}
FBG-Signal-Rausch-Verhältnis
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 angegeben.

Anmerkung 4 zum Begriff: Diese Anmerkung gilt nur für die französische Sprachfassung.

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 aus praktischen Gründen als Spitzen-Verschiebung ($\Delta\lambda$ in nm) über der einwirkenden Dehnungsbeanspruchung ($\Delta\varepsilon$ in µm/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.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

3.14
k
Dehnungsfaktor
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 das Dehnungsverhalten ihrer Produkte anzugeben.

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 darf

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
Λ
FBG-Periode
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

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

mit k_B = 1, 2, 3.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

3.19
Ermüdungsverhalten
Änderung der Sensoreigenschaften als ein Ergebnis andauernder (langdauernder) Wechselbeanspruchung oder Dauerbeanspruchung unter 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
auftretende Abhängigkeit der Bragg-Wellenlänge, wenn Querbelastung 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 den Spektren 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.

3.24
Signal-Nebensprechen
Wellenlängeneinfluss, wenn spektral benachbarte Sensoren im Wellenlängen-Multiplexbetrieb eingesetzt werden

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

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_{λ_B}	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;
ε_{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;
$\varepsilon_{p'}$	mit einem angebrachten Sensor endlicher Dicke gemessene Dehnungsbeanspruchung eines Biegeelements;

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

ε_s scheinbare Dehnung;

λ_0 Referenzwellenlänge;

λ_B Bragg-Wellenlänge;

λ_{Bref} Bragg-Wellenlänge unter Referenzumgebungsbedingungen;

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:

$$\lambda_B = 2 \cdot n_{eff} \cdot \Lambda \tag{1}$$

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.

Nach 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 dürfen. 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:

$$\frac{1}{\lambda_B}\frac{\partial \lambda_B}{\partial X} = \frac{1}{n_{eff}}\frac{\partial n_{eff}}{\partial X} + \frac{1}{\Lambda}\frac{\partial \Lambda}{\partial X} \tag{2}$$

Dabei ist

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

Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

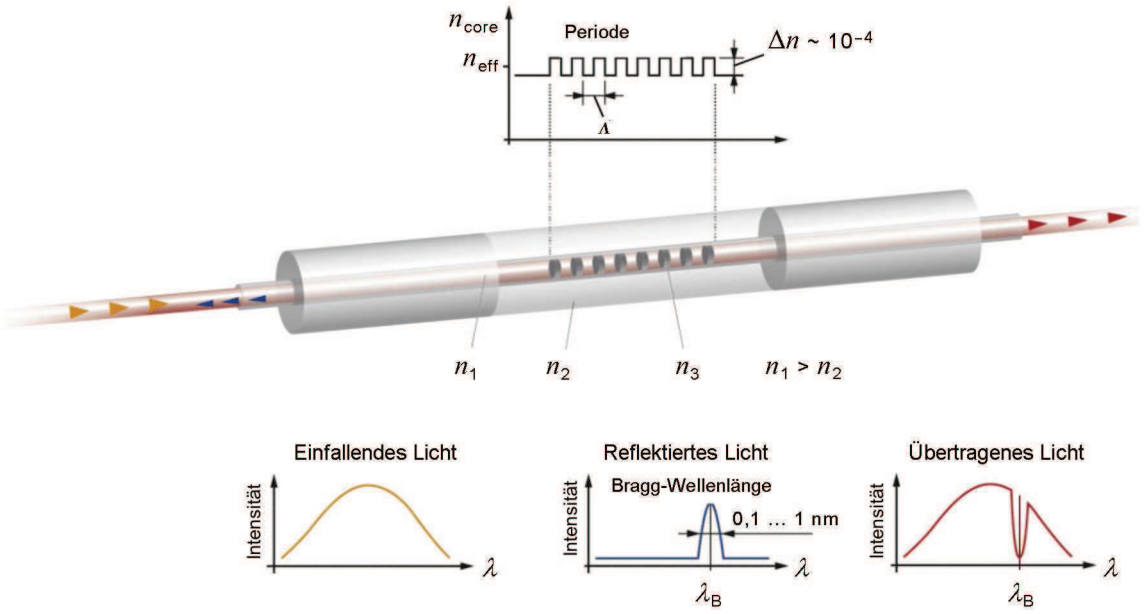


Bild 2 – Funktionsprinzip eines Faser-Bragg-Gitters im Lichtwellenleiter

Faser-Bragg-Gitter sind so in Dehnungsmessungen eingebunden, dass nur die Veränderungen der Dehnungsbeanspruchung entlang der Faserachse und die Temperaturänderungen von Bedeutung sind (die störende Wirkung der Temperatur wird in 7.12 behandelt).

Dadurch ergibt sich die allgemeine Veränderung der Bragg-Wellenlänge durch

$$\Delta\lambda_B = 2\cdot\left(\Lambda\frac{\partial n_{eff}}{\partial L} + n_{eff}\frac{\partial\Lambda}{\partial L}\right)\cdot\Delta L + 2\cdot\left(\Lambda\frac{\partial n_{eff}}{\partial T} + n_{eff}\frac{\partial\Lambda}{\partial T}\right)\cdot\Delta T \quad (3)$$

Der erste Term in Gleichung (3) beschreibt die Wirkung der mechanischen Verformung ($\partial\Lambda/\partial L$) und die elastooptische Reaktion ($\partial n_{eff}/\partial L$) des Lichtwellenleiters. Der zweite Term in Gleichung (3) beschreibt den Temperatureinfluss auf n_{eff} und Λ.

Der Term ($\partial\Lambda/\partial T$) beschreibt die Wirkung der thermischen Ausdehnung des Bragg-Gitters auf die Gitterperiode Λ. Die thermische Wirkung auf die Brechzahl der optischen Faser wird wiederum durch den Term ($\partial n_{eff}/\partial T$) ausgedrückt.

Die Auswirkungen von Dehnungsbeanspruchung und Temperatur werden praktisch in etwa durch die lineare Beziehung beschrieben:

$$\frac{\Delta\lambda_B(\varepsilon,T)}{\lambda_B} = (1-p_\varepsilon)\varepsilon + (\alpha+\xi)\Delta T \quad (4)$$

Handelsübliche FBG, die sowohl thermischen als auch mechanischen Veränderungen ausgesetzt sind, reagieren auf diese Kombination mit einer entsprechenden Änderung der Bragg-Wellenlänge. Die gemessene Wellenlängenänderung lässt keine Unterscheidung zwischen den Veränderungen durch Spannungsbeanspruchung bzw. Temperatur zu; es sind besondere Maßnahmen erforderlich, um die beiden Werte zu trennen (siehe 7.12).

Da jedes Bragg-Gitter, das als Sensor in einer Faser integriert ist, eine eigene Bragg-Wellenlänge besitzen kann, die verschieden von den übrigen ist, können mit Hilfe des Wellenlängenmultiplex-Verfahrens verschiedene Temperatur- oder Dehnungssensoren in einer optischen Faser erkannt und ausgelesen werden. Bild 3

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

zeigt ein Beispiel von Sensorsignalen (Bragg-Wellenlängen) einer Sensorfaser mit zahlreichen sequentiell angeordneten Bragg-Gittern (FBG-Array).

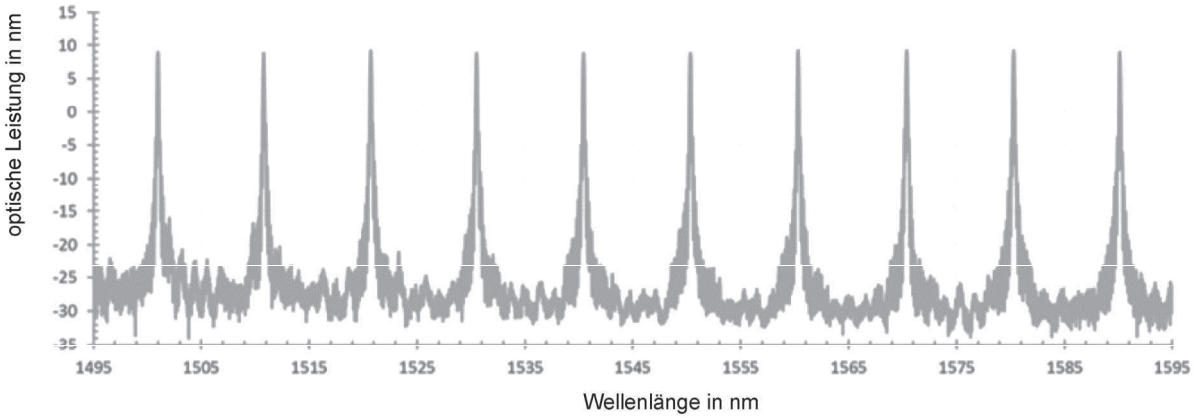


Bild 3 – Reflexionsspektrum eines FBG-Arrays

Um ein FBG bewerten zu können, müssen grundsätzlich die folgenden Parameter gemessen und angegeben werden (siehe Bild 1):

– Länge des FBG;
– Bragg-Wellenlänge in nm (siehe 3.3 und 7.2);
– Reflexionsgrad in % (siehe 3.5 und 7.4);
– Spektralbreite des FBG (FWHM) in nm (siehe 3.7 und 7.3);
– relativer Seitenkeulenpegel in dB (siehe 3.9).

Weitere Merkmale müssen auf Verlangen des Kunden angegeben werden:

– Fasertyp nach IEC 60793-2;
– vollständiges Spektrum;
– Parameter des Mantelwerkstoffs;
– Betriebstemperaturbereich (siehe 7.10);
– Stabilität bei umgebungsbedingten Einflüssen;
– Art des Beschriftungsvorgangs (z. B. beschriftet vor der Beschichtung, während des Ziehverfahrens, Wiederbeschichtung, Beschriftung durch die Beschichtung);
– Signal-Rausch-Verhältnis in dB (siehe 3.12);
– Gitterprofil (beispielsweise einheitlich oder apodisiert);
– durch die Polarisation verursachte Unsicherheit bei der Messung der Bragg-Wellenlänge in pm (siehe Anhang C);
– durch die Polarisation verursachte Unsicherheit bei der Messung der FBG-Reflexion in % (siehe Anhang C);
– durch die Polarisation verursachte Unsicherheit bei der Messung der FBG-Spektralbreite in pm (siehe Anhang C);
– der Abstand zwischen den aufeinanderfolgenden FBGs eines FBG-Arrays;
– Genauigkeit der Markierungen, welche die Position des FBG in der Faser anzeigen;
– Vorspannen des FBG-Dehnungssensors;
– Wasserbeständigkeit.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

5.2 FBG-Dehnungssensor

Der FBG-Dehnungssensor kann aus unterschiedlichen Materialien bestehen und verschiedene Bauformen annehmen:

– als ein Fasersegment mit einem oder mehreren FBG-Dehnungssensoren (nachfolgend als Bragg-Gitter-Faser bezeichnet); Mehrere hintereinander angeordnete FBGs werden auch als FBG-Array bezeichnet;

– als ein FBG-Dehnungssensor, bei dem die Verbindungsfasern des FBG-Elements auf dem Messobjekt an Verankerungsflächen/-punkten in einem definierten Abstand angebracht sind (allgemein Extensometer oder Dehnungsaufnehmer genannt);

– als ein FBG-Dehnungssensor, in dem das FBG von einem Schutzmantel, der als Übergangszone zwischen dem Sensorelement und dem Messobjekt dient, umgeben ist. Die Übergangszone ist in der Regel flach bzw. eben und wird im Allgemeinen als Dehnungsmessstreifen, als Patch oder Pad bezeichnet.

Der Hersteller sollte die Länge definieren, die für die Bestimmung des Dehnungsfaktors verwendet wird. Im Fall eines Extensometers oder Dehnungsaufnehmers (siehe Bild 4) liegt die Messlänge zwischen den beiden Befestigungspunkten (L_G in Bild 4); bei vielen Dehnungsaufnehmern wird die Faser jedoch auf die Verankerungen geklebt, die eine Größe von einigen Millimetern oder Zentimeter besitzen. Die freie Faserlänge L_F könnte von L_G verschieden sein; dies führt zu einem Problem bei der Kalibrierung. Die Anwender sollten wissen, welche Länge vom Hersteller für die Kalibrierung verwendet wurde.

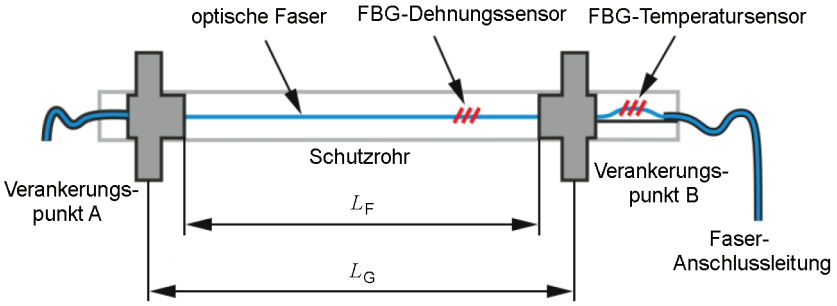


Bild 4 – Messlänge zwischen zwei Befestigungspunkten

5.3 Messpunkt und Installation

Die Methode der formschlüssigen Verbindung des FBG-Dehnungssensors zu einer Baugruppe und dessen Kopplung mit einer photonischen Einrichtung wird als FBG-Dehnungssensor Installation bezeichnet. Unabhängig von Material und Form ist der FBG-Dehnungssensor am Messobjekt auf eine der folgenden Arten angebracht oder eingebettet:

– Kontinuierliche Kontaktstruktur: Der FBG-Dehnungssensor und das Messobjekt besitzen eine kraftschlüssige Verbindung auf einer durchgehenden Fläche; der FBG-Dehnungssensor misst die durchschnittliche Dehnungsbeanspruchung oder eine Komponente der Dehnungsbeanspruchung, die über das Objekt auf die durchgehende Fläche wirkt.

– Diskontinuierliche Kontaktstruktur: Der FBG-Dehnungssensor und das Messobjekt besitzen eine kraftschlüssige Verbindung an einzelnen Verankerungsflächen/-punkten (einer Gruppe von Verankerungsflächen/-punkten), die nicht miteinander verbunden sind; der FBG-Dehnungssensor misst die durchschnittliche Dehnungsbeanspruchung oder eine Komponente der Dehnungsbeanspruchung, die zwischen den einzelnen Verankerungsflächen/-punkten wirkt.

Die Anschlussleitungen oder Kabel, die den FBG-Dehnungssensor verlassen, sind so anzuordnen, dass diese weder das Messobjekt behindern noch das Messsignal beeinträchtigen.

5.4 Messlänge

Die Messlänge ist die Länge von einem Messobjekt, über die der Sensor Informationen erfasst. Bei einem Dehnungssensor ist dies die Länge, innerhalb der eine Dehnungsbeanspruchung eine Messwertänderung

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

des FBG-Dehnungssensors bewirkt. Die Messlänge ist abhängig von der Art des jeweiligen FBG-Dehnungssensors.

Im Fall eines punktuell befestigten FBG-Dehnungssensors (durch Kleben, Schweißen, Klemmen an die einzelnen Verankerungsflächen/-punkte) wird die Messlänge anhand der Messstrecke L zwischen den beiden Befestigungspunkten bzw. der Aneinanderreihung von Punkten auf der Oberfläche bestimmt.

Für einen FBG-Dehnungsmessstreifen ist die Messlänge die gemittelte und umgewandelte Länge, über der die angelegte Dehnungsbeanspruchung gemessen wurde. Diese Messlänge entspricht in der Regel nicht der Faser-Bragg-Gitterlänge.

5.5 Dehnungsbeanspruchung und Referenzdehnung

Die Dehnungsbeanspruchung ε wird in der Dehnungsmesstechnik üblicherweise als technische Dehnung bezeichnet und beschreibt die Erweiterung oder Schrumpfung ΔL eines Messobjekts bei einer bekannten mechanischen oder thermischen Belastung, bezogen auf die ursprüngliche Länge L_0.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \tag{5}$$

Bei der Messung von Verformungen in Folge mehrfacher Belastungen können verschiedene Referenzsysteme erforderlich sein, um die Dehnungsbeanspruchung zu berechnen. Die Dehnungskomponenten sind auf die jeweilige ursprüngliche Länge des Messobjekts bezogen, die nach vorheriger Beanspruchung bestimmt wurde. Dieser Dehnungswert wird als die logarithmische oder „wahre“ Dehnung φ bezeichnet und für kleine Dehnungsabweichungen näherungsweise berechnet als

$$\varphi = \int_{L_0}^{L_1} \frac{dl}{l} = \ln \frac{L_1}{L_0} \tag{6}$$

Das FBG innerhalb des FBG-Dehnungssensors erfasst die an das Element angelegte Dehnungsbeanspruchung über die Schutzbeschichtung, das Trägermaterial oder das Klebemittel. Die vom FBG-Dehnungssensor gemessene Dehnungsbeanspruchung kann durch das plastische/unelastische Verhalten dieser Materialien beeinflusst werden.

Sofern Bragg-Gitter-Fasern verwendet werden, kann eine unzureichende Übermittlung der Dehnungsbeanspruchung zu Abweichungen führen. Dies führt folglich bei dem Messobjekt zu einer fehlerhaften Dehnungsempfindlichkeit.

5.6 Referenzwellenlänge

Verschiedene Auswertungsverfahren und unterschiedliche Geräte führen bei der gleichen Filterfunktion des Bragg-Gitters zu unterschiedlichen Wellenlängen, die aufgezeichnet werden. Entsprechend dieser Norm wird daher das Ergebnis der Wellenlängenmessung nach der Installation des FBG-Dehnungssensors mit der festgelegten Einrichtung als Referenzwellenlänge λ_0 gewertet.

Die Referenzwellenlänge muss nicht notwendigerweise gleich der vom Hersteller des FBG festgelegten Bragg-Wellenlänge sein. Aufgrund der sehr geringen Differenz zwischen Referenzwellenlänge und Bragg-Wellenlänge dürfen in den nachfolgenden Gleichungen beide Wellenlängenwerte verwendet werden, ohne erhebliche Fehler herbeizuführen.

Sofern die Referenzwellenlänge am Anfang eines Messzyklus gemessen wird, kann diese Wellenlängenmessung als Nullpunkt-Messwert betrachtet werden (siehe 3.20).

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

5.7 Stabilitätsverhalten

5.7.1 Drift und Kriechen

Stabilität ist im Allgemeinen die Fähigkeit eines Messsystems, seine messtechnischen Merkmale über die vorgesehene Betriebszeit beizubehalten und andere Spezifikationen zu erfüllen. Stabilität im Sinne dieses Dokuments ist die Eigenschaft des eingesetzten FBG-Dehnungssensors, seine optischen Kennwerte über einen durch die Zielsetzung vorgegebenen Zeitraum der Nutzung gleichbleibend beizubehalten bzw. nur eine geringe zulässige Abweichung aufzuweisen.

Messwertabweichungen dürften nur auftreten:

– wenn die betreffenden Werkstoffe einer Langzeitbeanspruchung ausgesetzt sind (Kriechen);
– ohne dass eine Beanspruchung auftritt (Nullpunktdrift).

Dies kann durch langsames Fortschreiten chemischen oder physikalischen Abbaus innerhalb der Werkstoffe verursacht werden (z. B. bei Alterung) oder durch eine Änderung der physikalischen Anfangsbedingungen (z. B. Temperatur oder Luftfeuchtigkeit).

Kriechen ist eine Größe, die von den eingesetzten Werkstoffen, dem Aufbau des Sensors und der Betriebsweise abhängig ist und nur experimentell ermittelt werden kann. Nach den bisher gesammelten Erfahrungen bleibt die Fehlerauswirkung infolge des Kriechens innerhalb der festgelegten Messunsicherheit auf den Dehnungsfaktor k unerheblich, sofern das vom Hersteller vorgeschriebene Klebemittel verwendet wird.

Drift wird durch eine langsame Veränderung der messtechnischen Merkmale des Messsystems verursacht. Der Driftfehler des FBG-Dehnungssensors ist nach dem Stand der Technik vernachlässigbar klein; daher sind für den Zweck dieses Dokuments keine weiteren Angaben erforderlich. Wenn Drift jedoch beispielsweise durch ein verändertes Herstellungsverfahren oder unzureichendes Wiederbeschichtungsmaterial erzeugt wird, sollte die Drift angegeben werden.

5.7.2 Formbeständigkeit der Bragg-Gitter-Spitze

Bei einem fehlerfreien Betrieb sollten keine erheblichen Abweichungen im Profil der spektralen Empfindlichkeit auftreten. Die spektrale Empfindlichkeit und Stabilität eines FBG-Elements ist vom Herstellungsverfahren und der anschließenden Behandlung des Gitters abhängig. Bei der Weiterverarbeitung des FBG in einen FBG-Dehnungsmessstreifen oder einen FBG-Dehnungssensor können Schwankungen bei der spektralen Empfindlichkeit auftreten, die zu einer Verschlechterung der erforderlichen Stabilitätseigenschaften führen dürfen. Ein Spektrum ist annehmbar, wenn die höchste Seitenkeule mindestens 5 dB unterhalb der Hauptspitze liegt. Die Spezifikation des FBG gilt für den Auslieferungszustand des FBG-Dehnungssensors.

5.7.3 Hysterese

Hysterese in der Werkstoffkunde bedeutet, dass nach dem Wegfall der Eingangsgröße ein bestimmter Werkstoff nicht bzw. erst nach einer Zeitverzögerung seinen ursprünglichen Zustand erreicht. Dies bedeutet, dass der Ausgangswert eines elasto-plastischen Verformungsverhaltens nicht nur vom Eingangswert, sondern auch von zeitabhängigen Umkehrprozessen abhängig ist.

Bei Änderung der Dehnung (oder der Temperatur) erfolgt die Spitzen-Verschiebung bei silikabasierten FBGs üblicherweise ohne Hysterese-Effekt. Beschichtungen von silikabasierten FBGs oder FBG-Dehnungssensoren, in denen (nach 5.2) das FBG von einem Schutzmantel, der als Übergangszone zwischen dem Sensorelement und dem Messobjekt dient, umgeben ist, können Hysterese-Effekte hervorrufen. Sofern Hysterese bei wiederholter oder zyklischer Beanspruchung innerhalb des festgelegten Betriebsbereiches des Sensors auftritt, sollte das Maß der Hysterese beschrieben werden.

5.8 Prüfling

Die Biegeelemente, Platten oder andere Gegenstände, auf denen FBG-Dehnungssensoren installiert sind, um deren Eigenschaften zu bestimmen und zu überprüfen, werden als Prüfling bezeichnet. Das Konzept

AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

eines „Normprüflings“ wird zusammen mit der Kalibrierung und der Prüfung angewandt. Für die allgemeine Beschreibung der Messverfahren wird der Begriff „Messobjekt“ verwendet.

5.9 Messwertanzeige

Die in dem FBG erzeugten dehnungsabhängigen Veränderungen in der Bragg-Wellenlänge werden durch ein angeschlossenes Messgerät erfasst (Messwerte) und für die messtechnische Auswertung verarbeitet (Ergebnis der Messung). Es ist üblich, dass die Messeinrichtung das optische Eingangssignal für den Sensor bereitstellt und das Antwortsignal des Sensors aufzeichnet.

5.10 Nullpunktbezogene Messung

Mit „Nullpunktmessung“ bzw. statischer oder quasi-statischer Messung werden alle Messungen bezeichnet, bei denen der Messwert sich auf einen Anfangswert (den Nullpunkt, siehe 3.20) bezieht.

Dabei müssen auch die folgenden Einflussfaktoren berücksichtigt werden:

– die Drift des Messgeräts;

– das Bewertungsverfahren:

  Verschiedene Bewertungsverfahren (Messgeräte) können in Bezug auf den Nullpunkt zu unterschiedlichem Messversatz führen. Bei einem Austausch des Messgerätes sollte der Nullpunktversatz zwischen dem alten und dem neuen Messgerät dementsprechend bestimmt werden.

– Kriechen beim eingesetzten Sensor.

Der Abtastvorgang durch die FBG-Dehnungssensoren muss auf neutrale Weise erfolgen, so dass die Eigenschaften der Anschlussleitungen und der optischen Steckverbinder oder Spleiße keinen Einfluss auf den Nullpunkt haben. Dennoch wird eine regelmäßige Überprüfung des Nullpunkts empfohlen.

5.11 Nicht nullpunktbezogene Messung

Bei nicht nullpunktbezogenen oder periodischen dynamischen Messungen sind die gemessenen Werte nicht auf einen festen Anfangswert bezogen. Dies gilt nur für die Amplitudenmessung einer periodischen Schwingung.

5.12 Herstellungscharge

Eine FBG-Charge ist eine Gruppe von FBGs, die im gleichen Fertigungsprozess hergestellt wurde.

5.13 FBG-Dehnungssensor-Standardmodell

Das Standardmodell eines FBG-Dehnungssensors ist eine Gruppe von FBG-Dehnungssensoren mit identischen physikalischen Eigenschaften (geometrische Abmessungen, Herstellungsverfahren, verwendete Werkstoffe, Nachbearbeitung, Bragg-Wellenlänge).

5.14 FBG-Dehnungssensor-Serie

Eine Serie ist eine Gruppe von FBG-Dehnungssensoren, bei denen die verwendeten Werkstoffe und die Herstellungsprozesse identisch sind, deren Bragg-Wellenlänge oder Abmessungen jedoch unterschiedlich sein dürfen.

6 Berichtspflichtige Merkmale und Kennwerte

6.1 Einzelheiten des Aufbaus und geometrische Abmessungen

Die Merkmale, die anzugeben sind, müssen sich auf das entsprechende Sensormodell nach 5.2 beziehen. Die einschlägige Modellbezeichnung muss angegeben werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

Die geometrischen Angaben für Länge, Breite, Höhe und den Abstand des Sensors vom Messobjekt sowie die entsprechenden Maße für die Montage müssen vom Hersteller bereitgestellt werden.

6.2 Bauform des FBG-Dehnungssensors

Die Bauform des FBG-Dehnungssensors nach 5.2 muss vom Hersteller angegeben werden. Sofern über mehr als eine Bauform berichtet wird, müssen für jede Bauform die nach Abschnitt 7 gemessenen Merkmale und Eigenschaften angegeben werden.

6.3 Temperatur- und Feuchtebereich

Vom Hersteller müssen Temperatur- und Feuchtebereich für Lagerung, Montage und Betrieb vorgegeben sein.

6.4 Anforderung an den Anschluss

Es muss angegeben werden, ob der Sensor mit einem optischen Steckverbinder bereitgestellt wird. Ist dies der Fall, muss der Typ nach IEC 60874-1 angegeben werden. Der kleinste zulässige Radius für die Verlegung der Anschlussleitungen muss festgelegt werden. Sofern der Sensor mit dem Anschlusskabel verbunden ist, muss die Kompatibilität bezüglich des Durchmessers des Modenfeldes sichergestellt werden. Spleißdämpfungen entstehen durch fehlerhafte Anpassung. Wenn es zu Spleißdämpfungen kommt, muss der Hersteller über die Faserparameter und diese zusätzliche Dämpfung informieren. Wenn der FBG-Dehnungssensor nur von einer Seite betrieben werden kann, muss der Hersteller die Verbindungsseite markieren. Dies kann der Fall sein, wenn FBG-Arrays mit einem hohen Reflexionsgrad eingesetzt werden.

7 Zu messende Merkmale und Kennwerte

7.1 Probenahme und statistische Bewertung

7.1.1 Probenahme

Die folgenden Probenahmeverfahren müssen entsprechend dem beabsichtigten Umfang der Prüfung angewandt werden:

– zufällige Probenahme;
– Typprüfung;
– Serienprüfung;
– einzelne Stichprobenprüfung.

Viele Eigenschaften des FBG-Dehnungssensors können nur an einem installierten Sensor bestimmt werden. In diesem Fall muss eine statistische Auswertung durchgeführt werden. Die Anzahl der verwendeten Sensorproben sowie das Datum der Auswertung sollten angegeben werden.

7.1.2 Zufällige Probenahme

Bei der Anforderung nach einer zufälligen Probenahme wird davon ausgegangen, dass die Kennlinie nach einer Gaußschen Verteilung verläuft. Alle Sensoren, die zur Prüfung der Kennwerte ausgewählt wurden, müssen der gleichen Herstellungscharge entstammen. Eine aussagefähige Anzahl von Proben (mindestens fünf) muss ausgewählt werden. Das Ergebnis einer Prüfung mit zufälliger Probenahme gilt für die gesamte Herstellungscharge.

7.1.3 Typprüfung

Die Typprüfung ist eine Prüfung mit zufälliger Probenahme nach 7.1.2. Hier ist das Ergebnis der Prüfung mit mindestens fünf Prüflingen dieses Modells für alle Herstellungschargen gültig.

AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

7.1.4 Serienprüfung

Die Serienprüfung ist eine Prüfung mit zufälliger Probenahme nach 7.1.2, wobei das Ergebnis für ein einzelnes Muster aus einer Dehnungssensor-Serie bestimmt und für die komplette Serie als gültig erklärt wird.

7.1.5 Einzelne Stichprobenprüfung

Hier muss jeder Prüfling aus einer Sensorserie oder nur ein Prototyp eines charakteristischen FBG-Dehnungssensors geprüft werden.

7.1.6 Ausweisen des Messergebnisses

Das Ergebnis der Serienprüfungen, Typprüfungen und Prüfungen mit zufälliger Probenahme wird als arithmetischer Mittelwert mit seiner entsprechenden Standardabweichung angegeben. Die Form der Angabe der Standardabweichung muss festgelegt werden.

Wenn die Sensoren X_1 bis X_n geprüft werden, dann wird die Kennlinie als Mittelwert $\bar{x}$ des n-ten ermittelten Wertes x_1 bis x_n der Sensoren aufgeführt.

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{7}$$

Die Standardabweichung (des Einzelwerts) ergibt sich durch

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{8}$$

7.1.7 Aufbereitung des Prüflings

Die für die Prüfung ausgewählten Sensoren müssen an die Umgebungsbedingungen angepasst werden, in der die Prüfung durchzuführen ist; die Lagerung in einer solchen Umgebung sollte auf jeden Fall für mindestens 6 h vorgenommen werden.

7.1.8 Umgebungsprüfbedingungen

Alle Prüfungen müssen bei Umgebungsbedingungen mit einer bestimmten Temperatur und relativen Feuchte durchgeführt werden; die Werte der Parameter und deren Toleranz müssen aufgezeichnet werden.

7.1.9 Für die speziellen Kennwerte geforderte Art der Prüfung

Die für die speziellen Kennwerte geforderte Art der Prüfung ist in Tabelle 1 angegeben.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

Tabelle 1 – Für die speziellen Kennwerte geforderte Art der Prüfung

Bauartbedingte Merkmale und Kennwerte	Prüfung
Betriebstemperatur- und Feuchtigkeitsbereiche	Serienprüfung
Bragg-Wellenlänge	einzelne Stichprobenprüfung
FBG-Spektralbreite	Serienprüfung
Reflexionsgrad	Typprüfung
FBG-Dehnungsempfindlichkeit	Serienprüfung
FBG-Dehnungsfaktor	Serienprüfung
Maximaler Dehnungsbereich bei Umgebungsbedingungen (siehe 7.1.8)	Serienprüfung
Ermüdungsverhalten	Serienprüfung
Krümmungsradius der Mindestbetriebsbereitschaft	Serienprüfung
Temperaturbedingte Dehnung	Serienprüfung

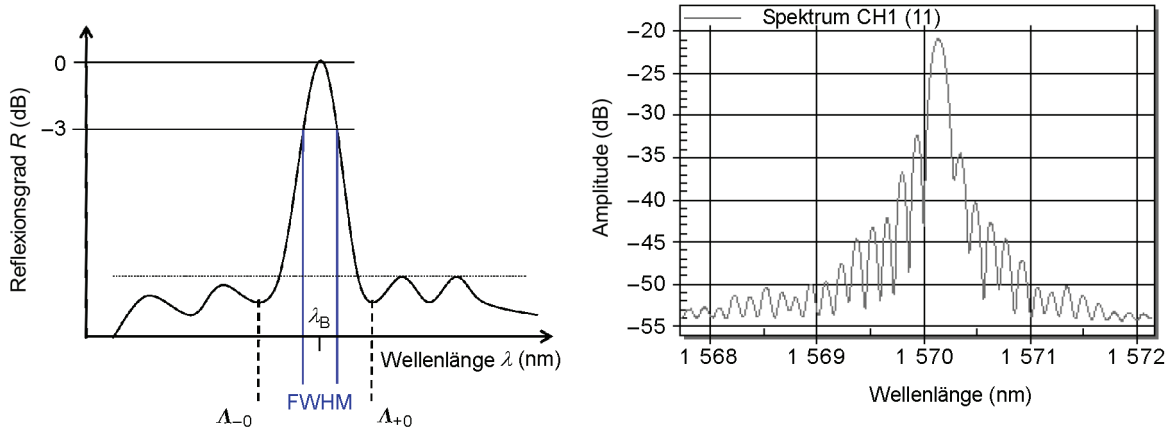
7.2 Bragg-Wellenlänge λ_B

7.2.1 Allgemeines

Die folgenden Kennwerte eines FBG-Spektrums müssen nach den Anforderungen dieses Dokuments oder auf Verlangen des Kunden gemessen werden.

– Bragg-(Spitzen-)Wellenlänge in nm;
– FBG-Spektralbreite in nm;
– FBG-Reflexionsgrad in %;
– relativer Seitenkeulenpegel in dB;
– FBG-Signal-Rausch-Verhältnis in dB;
– Λ_{+0}, Λ_{-0} die ersten Pole (Kleinstwerte) der Bragg-Gitter-Reflexionsspitzen (siehe Bild 5);
– durch die Polarisation verursachte Unsicherheit bei der Messung der Bragg-(Spitzen-)Wellenlänge;
– durch die Polarisation verursachte Unsicherheit bei der Messung der FBG-Spektralbreite;
– durch die Polarisation verursachte Unsicherheit bei der Messung der Reflexion.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06



ANMERKUNG Der Wert λ_B ergibt sich aus dem mathematischen Algorithmus des Gerätes. Die räumliche Auflösung, die Abtastrate und die implementierten Softwarefilter der Vorrichtung bestimmen die Genauigkeit der Wellenlänge.

Bild 5 – Reflexionsspektrum eines FBG (berechnetes (links) und gemessenes Spektrum (rechts))

7.2.2 Messverfahren

Für FBG mit einem geringeren Reflexionsgrad (R_{FBG} < 50 %) muss die Bragg-Wellenlänge der Reflexion gemessen werden. Für FBG mit einem höheren Reflexionsgrad (R_{FBG} > 90 %) muss diese allerdings im Übertragungsteil gemessen werden. Bei einem besonders stark reflektierenden FBG (R_{FBG} > 90 %) wird es zunehmend schwieriger, die höchste Bragg-Wellenlängenspitze genau zu bestimmen. In diesem Fall muss die niedrigste Übertragung für die Bragg-Wellenlängenmessung verwendet werden. Für Zwischenwerte des Reflexionsgrads kann jede Konfiguration verwendet werden.

Im Fall einer symmetrisch verlaufenden Spektralempfindlichkeit muss die Bragg-Wellenlänge ersatzweise als das arithmetische Mittel berechnet werden, z. B. zwischen den beiden Fallpunkten bei 3 dB (siehe Bild 5).

Alle Messungen müssen im entspannten Zustand des FBG-Dehnungssensors durchgeführt werden. Die Bragg-Wellenlänge des FBG muss mit ausreichender spektraler Auflösung gemessen und angegeben werden. Das angewendete Messverfahren und die entsprechende Unsicherheit (spektrale Auflösung) sollten angegeben werden. Bei Polarisationseffekten sind spezielle Messungen durchzuführen (siehe Anhang C).

7.2.3 Auswertung

Es ist keine besondere Auswertung erforderlich.

7.2.4 Berichterstattung

Die gemessene bzw. errechnete Bragg-Wellenlänge und das Messverfahren müssen angegeben werden. Auf Anforderung des Kunden muss das FBG-Spektrum ebenfalls ausgewiesen werden.

7.3 FBG-Spektralbreite

7.3.1 Messverfahren

Das FBG-Spektrum des FBG-Dehnungssensors muss mit ausreichender spektraler Auflösung gemessen werden. Die Messungen müssen im entspannten Zustand des FBG-Dehnungssensors durchgeführt werden.

Im Zustand mit Dehnungsbeanspruchung kann es im FBG aufgrund lokaler inhomogener Veränderungen zu Änderungen der Spektralbreite kommen, die möglicherweise bei den Dehnungsmessungen zu berücksichtigen sind. Änderungen der Spektralbreite können auftreten, wenn sie als FBG-Dehnungssensoren verwendet werden. Die Ursachen einer Veränderung der Spektralbreite können gefunden werden:

AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

– bei der Installation selbst, sofern unterschiedliche Wirkkräfte (Verzerrungen) eingearbeitet wurden,
– bei Auftreten von Schichtablösungen,
– wenn am Messpunkt erhebliche ungleichmäßige Dehnungsbeanspruchung auftritt.

Die Beständigkeit der Spektralbreite hat bei Anwendung der mathematischen Bewertungsverfahren zur Ermittlung von λ_B entscheidenden Einfluss auf die Messunsicherheit. Die Spektralbreite kann durch verschiedene Einflussgrößen beeinflusst werden, z. B. Temperatur, die größtmögliche Dehnungsbeanspruchung und fortwährende Schwingungen.

Die Spektralbreite kann auch stark vom Polarisationszustand der optischen Lichtquelle beeinflusst werden, sofern an der Stelle, wo sich in der Faser das FBG befindet, eine Doppelbrechung auftritt. Messungen der Spektralbreite bei verschiedenen Polarisationszuständen der optischen Quelle geben deutliche Hinweise auf den Zustand des Sensors.

Obwohl die Polarisationsabhängigkeit entweder durch Ungleichmäßigkeiten während des ursprünglichen Herstellungsverfahrens des FBG, durch ungleichmäßige Bindung des FBG innerhalb der Dehnungssensor-Einrichtung oder durch ungleichmäßiges Anbringen der Dehnungssensor-Einrichtung an den Aufnahmeträger hervorgerufen werden darf, sollte alles als unerwünscht angesehen werden und wird die Messgenauigkeit beeinträchtigen (siehe 5.7).

7.3.2 Auswertung

Das gemessene FBG-Spektrum muss entsprechend der Definition ausgewertet werden (siehe 3.7, Bild 1 und Bild 5). Die Spektralbreite muss aus einem Reflexionsspektrum bestimmt werden, wodurch die Differenz der zwei Wellenlängenwerte am 3-dB-Abfall von beiden Seiten des Reflexionsmaximums zu nehmen ist. Alternativ muss das Übertragungsspektrum verwendet und eine geeignete Spektrumbewertung angewendet werden.

7.3.3 Berichterstattung

Die Spektralbreite muss angegeben werden. Auf Anforderung des Kunden muss das FBG-Spektrum ebenfalls ausgewiesen werden.

7.4 FBG-Reflexionsgrad

7.4.1 Messverfahren

Das FBG-Spektrum des FBG-Dehnungssensors muss mit ausreichender spektraler Auflösung gemessen werden. Die Messungen müssen im entspannten Zustand des FBG-Dehnungssensors durchgeführt werden.

7.4.2 Auswertung

Das gemessene FBG-Spektrum muss entsprechend der Definition ausgewertet werden (siehe 3.5):

$$R_{\mathrm{FBG}} = \frac{P_{\mathrm{FBG}}}{P_0} \times 100\ \% \tag{9}$$

$$R_{\mathrm{FBG}} = \frac{P_0 - P_{\lambda_B}}{P_0} \times 100\ \% \tag{10}$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

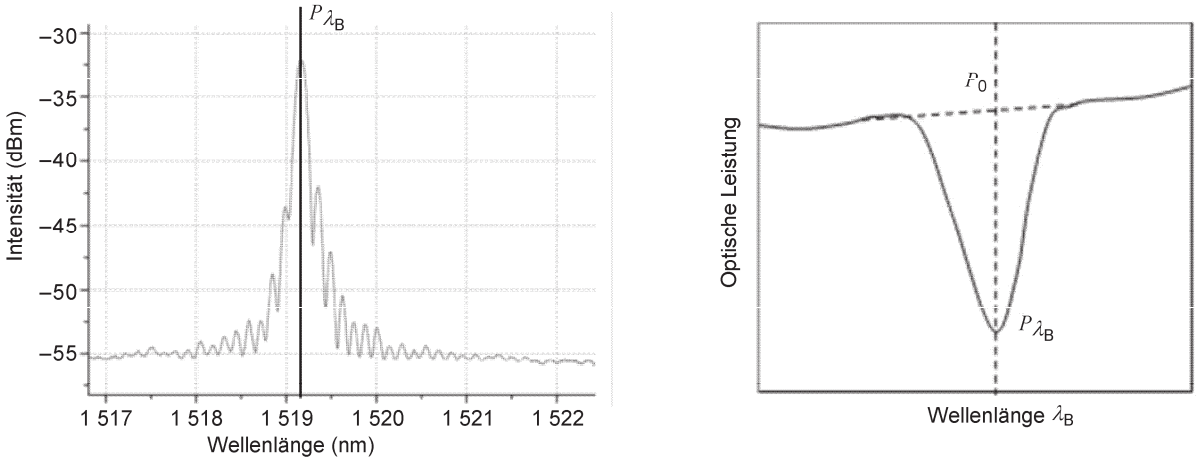


Bild 6 – Bestimmung des R_{FBG} aus dem FBG-Reflexionsspektrum (links, Gleichung (9)) und dem Übertragungsspektrum (rechts, Gleichung (10))

7.4.3 Berichterstattung

Der Reflexionsgrad muss angegeben werden. Auf Anforderung des Kunden muss das FBG-Spektrum ebenfalls ausgewiesen werden.

7.5 FBG-Dehnungsempfindlichkeit

7.5.1 Allgemeines

Die Dehnungsempfindlichkeit beschreibt präzise das Verhalten des FBG-Dehnungssensors auf die Dehnungsbeanspruchung. Die Funktionalität darf nichtlinear sein. Die Dehnungsempfindlichkeit wird üblicherweise mit der Zugbeanspruchungsprüfung bestimmt. Der Prüfling wird mit Hilfe eines geeigneten Werkzeugs, das ein Fasersegment mit dem Fasergitter darauf gleichmäßig streckt, einer einachsigen Zugbeanspruchung ausgesetzt. Diese Zugprüfung liefert mit der einachsigen Dehnungsbeanspruchung genaue Angaben über die Dehnungseigenschaften eines FBG. Für das Kalibrierverfahren sollte die Auflösung des Referenzmesssystems mindestens fünfmal besser sein als die festgelegte Messauflösung des zu prüfenden Sensors. Es muss sichergestellt sein, dass die Messunsicherheit des Referenzmesssystems systematische Messabweichungen ausschließt. Sofern die Messunsicherheit der Prüfeinrichtung schlechter ist, muss dies dokumentiert werden.

Die Dehnung des Prüflings darf mit einem genauen Extensometer, z. B. einem Fabry-Perot-Interferometer oder einer anderen Art von Interferometer, gemessen werden. Ebenso ist es üblich, einen Referenz-Dehnungsmessstreifen zu verwenden, der auf die Oberfläche des Probekörpers an der Stelle aufgebracht wird, an der die Verformung des Prüflings am repräsentativsten für die FBG-Verformung ist. Bei diesem Verfahren treten jedoch Dehnungsübertragungsfehler auf, die eventuell durch die Wahl einer ungeeigneten Befestigungsmethode, in erster Linie durch den Klebstoff verursacht werden. Es wird die Verwendung eines physikalisch- und anwendungsunabhängigen Bezugssystems, wie z. B. Bildkorrelation oder das Specklemuster-Interferometriesystem, empfohlen. Optische berührungsfreie Messverfahren ermöglichen die Messung der Oberflächenverschiebungen aller Teile des eingesetzten Sensors (Sensor mit Beschichtung, Befestigungsmaterial, Prüflingsmaterial). Die Wahl der optischen Methode hängt von den Anforderungen in Bezug auf den Dehnungsbeanspruchungsbereich, die Dehnungsauflösung und die Umgebungsbedingungen ab.

Die Bestimmung der Dehnungsempfindlichkeit kann auch dazu verwendet werden, den Dehnungsfaktor k der Dehnungssensor-Prüflinge zu ermitteln (siehe 7.6). Sofern der Dehnungssensor zur Untersuchung auf einem Werkstoff angebracht ist und wenn die Zugprüfeinrichtung mit einem Messsystem ausgerüstet ist (z. B. einem digitalen Bildkorrelationssystem oder einem System auf Basis von Speckle-Interferometrie, das physisch eigenständig von der Bewertungsmethode ist, um die Dehnungsbeanspruchung zu bestimmen), können die Einflüsse der beteiligten Werkstoffe, wie z. B. die Beschichtung, der Klebstoff usw., auf die Dehnungseigenschaften ausgewertet werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

Insbesondere im Falle von Langzeit-Dehnungsmessungen sollten bei der Bestimmung der Dehnungsempfindlichkeit auch die Temperatur- und Feuchtigkeitsauswirkungen berücksichtigt werden. Es wird empfohlen, die Prüfung unter gleichzeitig mechanischen, thermischen und umgebungsbedingten Belastungen durchzuführen.

7.5.2 Dehnungseinrichtung

Zur Bestimmung der Dehnungsempfindlichkeit muss ein Prüfling verwendet werden, der in eine Belastungseinrichtung eingespannt wird, welche eine einachsige Zugspannung ausübt (siehe Bild 7). Der zu prüfende Sensor (auf einem Prüfling angebrachte Sensoren, Probestücke) muss mittig auf dem Prüfling in der Hauptrichtung der Beanspruchung angebracht werden. Der Prüfling ist gut auszurichten und sollte in der Einspannung so befestigt sein, dass die Achse der Kraftanwendung mit der Dehnungsbeanspruchung des zu bewertenden Sensors zusammenfällt. Während der Beanspruchung darf die Einspannung keine Biegung des Prüflings zulassen.

Die Zugprüfeinrichtung muss die Anforderungen einer entsprechenden Norm, z. B. ASTM E8/E8M oder ISO 7500-1 erfüllen.

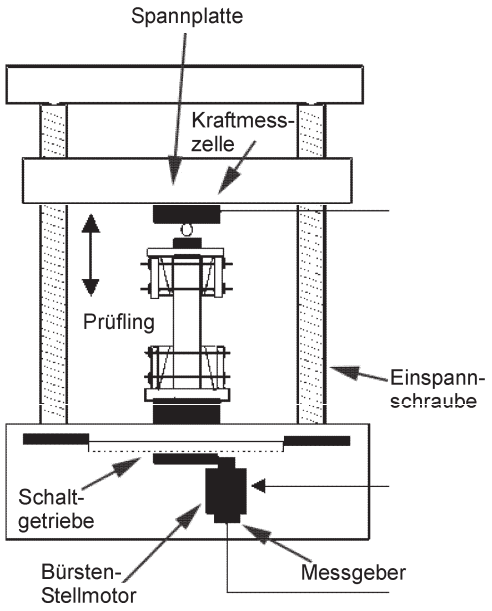


Bild 7 – Beispiel des Aufbaus einer Dehnungseinrichtung

Wenn Sonderausführungen von FBG-Dehnungssensoren zu verwenden sind, beispielsweise Ausführungen mit langer Messlänge, dürfen für die Dehnungseinrichtung andere Einrichtungen verwendet werden. Das Funktionsprinzip und die Standardunsicherheit dieser Einrichtung sollten dokumentiert und auf Anfrage bereitgestellt werden.

7.5.3 Messverfahren der Zugprüfung

Die Dehnungsempfindlichkeit muss bestimmt werden durch das Anlegen einer einachsigen Beanspruchung an den Prüfling, auf dem der Sensor installiert ist. Der Dehnungsbereich sollte in mindestens 5 gleichmäßigen Schritten von der geringsten zur größten für den Sensor festgelegten Beanspruchung variiert werden. Dies sollte in mindestens drei Dehnungs- und Entlastungszyklen durchgeführt werden.

Während der Messung müssen Referenzumgebungsbedingungen mit einer Temperaturstabilität von mindestens ± 0,5 K vorherrschen, um die temperaturbedingte Änderung der Elastizität (E-Modul) der Prüflinge zu vermeiden. Die Temperaturstabilität muss verbessert werden, wenn besondere Anforderungen an die zu prüfenden Sensoren vorliegen. Nach ordnungsgemäßer Lagerung muss der FBG-Dehnungssensor auf dem Normprüfling oder in der Prüfeinrichtung unter Standardbedingungen nach den Anweisungen des Herstellers installiert werden.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

Die Installationsbedingungen (Art der Bindung) bei der Bestimmung der Dehnungsempfindlichkeit müssen mechanisch gesehen möglichst identisch zu den Installationsbedingungen für den Betrieb des Sensors sein.

7.5.4 Auswertung

Die Dehnungsverformung $\Delta\varepsilon$ muss aus den Messungen der Länge und der Längenänderung ermittelt werden. Dies erfolgt nach Gleichung (5). Die Dehnungsempfindlichkeit wird nach 3.13 wie folgt bestimmt:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = (1 - p) \cdot \Delta\varepsilon \tag{11}$$

Die FBG-Dehnungsempfindlichkeit ist oft eine Funktion mit einer komplexen Form (insbesondere bei extremen Temperaturen oder Dehnungsbeanspruchungen). Die FBG-Dehnungsempfindlichkeit, dargestellt durch $(1 - p)$, braucht nicht gleich dem Dehnungsfaktor sein, weil der Dehnungsfaktor nur eine lineare Annäherung an die FBG-Dehnungsempfindlichkeit ist, die nur die Beanspruchung des FBG-Dehnungssensors über einen schmalen (vom Hersteller festzulegen) Betriebsbereich berücksichtigt.

7.5.5 Berichterstattung

Die Merkmale der Dehnungsempfindlichkeit (funktionaler Zusammenhang zwischen der relativen Änderung der Wellenlänge $\Delta\lambda/\lambda_0$ und der aufgebrachten Dehnungsbeanspruchung $\Delta\varepsilon$) sowie das Messverfahren müssen dokumentiert werden.

7.6 Dehnungsfaktor *k*

7.6.1 Allgemeines

Für die praktische Anwendung wird der Dehnungsfaktor k als lineare Näherung eingeführt. Genau genommen braucht die Dehnungsempfindlichkeit jedes Dehnungssensors nicht linear sein, sondern kann von einer linearen Funktion abweichen. Der Dehnungsfaktor wird unter definierten Bedingungen für eine einfache Darstellung des Dehnungsmessergebnisses verwendet. Die Verwendung des Dehnungsfaktors wurde in den vergangenen Jahrzehnten etabliert. Die Hersteller geben diesen für ihre Dehnungssensoren an und legen dafür bestimmte Einsatzbedingungen und die Unsicherheit fest, für die der Dehnungsfaktor gilt. Der Hersteller muss die Stabilität des Dehnungsfaktors für alle angegebenen Bedingungen sicherstellen und gewährleisten, dass alle festgelegten Umgebungs- und Langzeiteinflüsse auf die Dehnungsempfindlichkeit innerhalb des Unsicherheitsbereichs des Dehnungsfaktors liegen.

Um den Dehnungsfaktor k der Dehnungssensoren zu bestimmen, wird üblicherweise die Vier-Punkt-Biegeprüfung angewandt. Dabei können je nach Verfügbarkeit der Prüfeinrichtung sowohl die Vier-Punkt-Biegeprüfung als auch das Zugprüfverfahren angewendet werden. Die besonderen Anforderungen an den Werkstoff, auf dem der Sensor angebracht ist, müssen für die Auswahl des Prüfverfahrens berücksichtigt werden.

Insbesondere im Falle von Langzeit-Dehnungsmessungen sollten bei der Bestimmung des Dehnungsfaktors k auch die Temperatur- und Feuchtigkeitsauswirkungen berücksichtigt werden. Es wird empfohlen, die Prüfung unter gleichzeitig mechanischen, thermischen und umgebungsbedingten Belastungen durchzuführen. Die Bestimmung des Dehnungsfaktors k sollte mit einer Dehnungsempfindlichkeitsmessung verglichen werden, um die Fehlergrenze festzulegen. Dieser Unsicherheitsbereich ist bei Abweichungen von den Dehnungssensor-Kennwerten zu berücksichtigen.

7.6.2 Biegeeinrichtung

Zur Messung des Dehnungsfaktors k von Dehnungssensoren muss ein Biegebalken verwendet werden. Der zu prüfende Sensor muss auf dem Balken in der Hauptrichtung der Beanspruchung angebracht werden. Der Prüfaufbau für die Vier-Punkt-Biegeprüfung sollte verwendet werden, um die lineare Beanspruchung und die Beanspruchungsverteilung in der Mitte des Balkens und das konstante Biegemoment zwischen den inneren Punkten der aufgebrachten Last bewirken zu können. Dies verhindert Ungleichmäßigkeiten innerhalb des Balkenmaterials, die den Sensor während des Biegemomentwechsels beeinflussen würden. Die Sensoren

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06

müssen mittig auf dem Biegebalken angebracht werden. Entsprechende Prüfeinrichtungen werden in ISO 14125 vorgeschlagen.

Der Biegevorgang muss durch eine gesteuerte Verlagerung erzeugt werden, und nicht durch die Anwendung von Massestücken, um ein Kriechen des Biegebalkens zu vermeiden. Die Belastungseinrichtung (siehe Bild 8) muss biegesteif sein. Es muss so wenig Torsion wie möglich im Biegebalken zu erzeugt werden. Die am zu prüfenden Sensor angelegte Dehnungsbeanspruchung ε_a muss im Dehnungsbereich zwischen -1 000 µm/m und +1 000 µm/m erfolgen, wobei eine Abweichung von ± 100 µm/m zulässig ist, während die Belastungsgrenzen nach dem Werkstoff des Biegebalkens gewählt werden sollten. Die Dehnungsbeanspruchung muss im zulässigen elastischen Bereich bleiben, welcher 70 % der Dehngrenze ($R_{P0,2}$) für metallische Werkstoffe beträgt. Die Dehngrenze anderer Werkstoffe muss nach den einschlägigen Normen definiert werden, z. B. ISO 527 4 oder ASTM D3039/D3039M, oder ist durch Prüfungen zu ermitteln. Die Dehnungsbeanspruchung ε_a muss mit einer Messunsicherheit von 0,5 % bei Maximum bestimmt werden. Innerhalb des Belastungsbereiches des Biegebalkens darf die Dehnungsbeanspruchung einen Unsicherheitswert von 0,5 % nicht übersteigen.

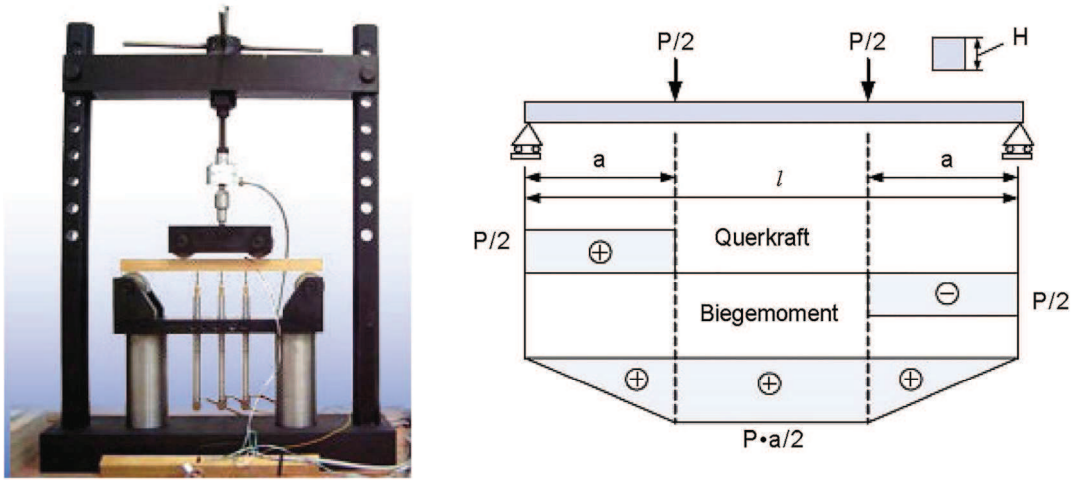


Bild 8 – Prüfaufbau (links) für die Vier-Punkt-Biegeprüfung mit Darstellung der Querkraft- und Biegemomentwirkung (rechts)

Die Prüfeinrichtungen sollten das Anlegen einer statischen Dehnungsbeanspruchung über mehrere Laststufen ermöglichen.

Die Biegung des Biegebalkens muss durch eine Wegmessung gemessen werden (siehe Bild 9).

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61757-1-1:2019-06