

DIN EN IEC 61757-6-1



ICS 33.180.99

Einsprüche bis 2024-04-09

Entwurf

**Lichtwellenleistersensoren –
Teil 6-1: Wegmessung –
Wegsensoren auf der Basis von Faser Bragg-Gittern
(IEC 86C/1874/CDV:2023);
Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 61757-6-1:2023**

Fibre optic sensors –
Part 6-1: Displacement measurement –
Displacement sensors based on fibre Bragg gratings
(IEC 86C/1874/CDV:2023);
German and English version prEN IEC 61757-6-1:2023

Capteurs fibroniques –
Partie 6-1: Mesure de déplacement –
Capteurs de déplacement basés sur des réseaux de Bragg sur fibre
(IEC 86C/1874/CDV:2023);
Version allemande et anglaise prEN IEC 61757-6-1:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-02-09 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte Dokument 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, Merianstraße 28, 63069 Offenbach am Main.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 44 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN IEC 61757-6-1:2023-07 „Lichtwellenleistersensoren – Teil 6-1: Wegmessung – Wegsensoren auf der Basis von Faser Bragg-Gittern“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

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. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 86C/1874/CDV:2023-07 „Fibre optic sensors – Part 6-1: Displacement measurement – Displacement sensors based on fibre Bragg gratings“ unverändert in den Entwurf prEN IEC 61757-6-1:2023-07 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV 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 IEC/SC 86C „Fibre optic systems and active devices“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur "JA/NEIN"-Entscheidungen möglich, wobei "NEIN"-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

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

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

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

Lichtwellenleistersensoren – Teil 6-1: Wegmessung – Wegsensoren auf der Basis von Faser Bragg-Gittern

Inhalt

	Seite
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen.....	6
3.1 Begriffe.....	6
3.2 Symbole.....	7
3.3 Abkürzungen.....	8
4 Aufbau und Eigenschaften.....	8
4.1 Faser-Bragg-Gitter (FBG).....	8
4.2 Aufbau des FBG-Verschiebungssensors.....	8
4.3 Referenzwellenlänge.....	11
4.4 Stabilitätsverhalten.....	11
4.4.1 Drift und Kriechen.....	11
4.4.2 Hysterese.....	12
4.5 Messwertanzeige.....	12
4.6 Nullpunktbezogene Messung.....	12
4.7 Nicht-nullpunktbezogene Messung.....	12
4.8 Herstellungscharge.....	12
4.9 Standardtyp des FBG-Verschiebungssensors.....	13
4.10 Serie von FBG-Verschiebungssensoren.....	13
5 Zu messende Merkmale und Kennwerte.....	13
5.1 Probenahme und statistische Bewertung.....	13
5.1.1 Probenahme.....	13
5.1.2 Ausweisen des Messergebnisses.....	14
5.1.3 Vorbehandlung des Prüflings.....	14
5.1.4 Umgebungsprüfbedingungen.....	14
5.1.5 Für die speziellen Kennwerte geforderte Arten der Prüfungen.....	14
5.2 Bragg-Wellenlänge λ_B	15
5.2.1 Allgemeines.....	15
5.2.2 Messverfahren.....	15
5.2.3 Auswertung.....	15
5.2.4 Bericht.....	15
5.3 Spektralbreite des FBG.....	15
5.3.1 Messverfahren.....	15
5.3.2 Auswertung.....	15
5.3.3 Bericht.....	16

5.4	FBG-Reflexionsgrad.....	16
5.4.1	Messverfahren.....	16
5.4.2	Auswertung.....	16
5.4.3	Bericht.....	16
5.5	Verschiebungsmessung.....	16
5.5.1	Allgemeines.....	16
5.5.2	Prüfaufbau.....	16
5.5.3	Messverfahren.....	17
5.5.4	Kalibrierung und Auswertung.....	19
5.6	Umrechnungsfaktor der Verschiebung.....	20
5.7	Temperatur- und Luftfeuchtebereiche.....	20
5.7.1	Allgemeines.....	20
5.7.2	Messverfahren.....	21
5.7.3	Auswertung.....	21
5.7.4	Bericht.....	21
5.8	Haltbarkeit.....	21
5.8.1	Allgemeines.....	21
5.8.2	Messverfahren.....	21
5.8.3	Bericht.....	21
6	Anzugebende Merkmale und Kennwerte.....	22
6.1	Einzelheiten der Konstruktion.....	22
6.2	Konfiguration des FBG-Verschiebungssensors.....	22
6.3	Temperatur- und Luftfeuchtebereich.....	22
6.4	Anforderung an den Anschluss.....	22
7	Empfehlungen für den Einsatz von FBG-Messgeräten.....	22
Bilder		
Bild 1	– Beispiele für Sensorarten zur Messung von Verschiebungsänderungen.....	9
Bild 2	– Änderung der durch eine Verschiebung in einem Federsensor verursachten Bragg-Wellenlänge... ..	9
Bild 3	– Änderung der durch eine Verschiebung in einem Metallplattensensor verursachten Bragg-Wellenlänge.....	10
Bild 4	– Schematische Darstellungen von Verschiebungssensoren mit zwei FBGs.....	10
Bild 5	– Schematische Darstellung eines Prüfaufbaus für die Verschiebungsmessung.....	17
Bild 6	– Beispiel für die Temperaturabhängigkeit der Bragg-Wellenlängen zweier FBG.....	18
Bild 7	– Beispiel für die Verschiebungsabhängigkeit der Bragg-Wellenlängen von FBG1 und FBG2.....	19
Tabellen		
Tabelle 1	– Für die speziellen Kennwerte geforderte Arten der Prüfungen.....	14

Einleitung

Diese Internationale Norm ist Teil der Normenreihe IEC 61757, die Lichtwellenleistersensoren (LWL-Sensoren) behandelt. Fachgrundspezifikationen für Lichtwellenleistersensoren sind in IEC 61757 definiert.

Die einzelnen Teile der Normenreihe IEC 61757 werden mit IEC 61757-*M-T* benummert, wobei *M* die Messung bezeichnet und *T* die Technologie. Die Normenreihe IEC 61757-6-*T* behandelt Verschiebungsmessungen.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 61757 definiert die Terminologie, den Aufbau und die Messverfahren von optischen Verschiebungssensoren, die auf Faser-Bragg-Gittern (FBGs) als empfindliches Element basieren. Dieses Dokument legt auch die wichtigsten Merkmale und Eigenschaften dieser LWL-Verschiebungssensoren fest und definiert Verfahren zur Messung dieser Merkmale und Eigenschaften.

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

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

IEC 61754 (alle Teile), *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Fibre optic connector interfaces*

IEC 61757:2018, *Fibre optic sensors – Generic specification*

IEC 61757-1-1:2020, *Fibre optic sensors – Part 1-1: Strain measurement – Strain sensors based on fibre Bragg gratings*

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 62129-3, *Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments – Part 3: Optical frequency meters internally referenced to a frequency comb*

ISO/IEC GUIDE 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 61757:2018, IEC 61757-1-1:2020 und die folgenden Begriffe.

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

- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

3.1.1

Verschiebung

D

Änderung des Abstands zwischen zwei gegebenen Punkten

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Verschiebung wird als eine absolute Verschiebung bezeichnet, wenn nur einer der beiden gegebenen Punkte seine Lage ändert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine Verschiebung wird als eine relative Verschiebung bezeichnet, wenn beide der gegebenen Punkte ihre Lage ändern.

3.1.2

FBG-Verschiebungssensor

LWL-Sensor, der ein oder mehrere Faser-Bragg-Gitter als empfindliches Element für Verschiebungsmessungen verwendet

3.1.3

Umrechnungsfaktor der Verschiebung

κ_D

Verhältnis der relativen Änderung der Wellenlänge $\Delta\lambda/\lambda_0$ zu einer Verschiebungsänderung ΔD , die einem FBG-Verschiebungssensor zugeführt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Umrechnungsfaktor der Verschiebung κ_D wird wie folgt berechnet:

$$\kappa_D = \frac{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \right)}{\Delta D}$$

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Umrechnungsfaktor der Verschiebung κ_D wird von den Herstellern verwendet, um das Verschiebungsverhalten ihrer Produkte zu beschreiben.

Anmerkung 3 zum Begriff: Für den Umrechnungsfaktor der Verschiebung κ_D für einen FBG-Verschiebungssensor wird von einer linearen Beziehung zwischen der Wellenlängenänderung und einer Verschiebung ausgegangen. Wird das gesamte Messsystem (Sensor, Vorrichtung, Verkabelung) betrachtet, kann er für die Komponenten des Messsystems einzeln definiert werden. Er gilt nur für definierte Bedingungen. Bei einer nichtlinearen Kennlinie wird die Beziehung zwischen der Wellenlängenänderung und der Verschiebung innerhalb definierter zulässiger Messfehler als linear angesehen.

Anmerkung 4 zum Begriff: Der Begriff „Verschiebungsempfindlichkeit“, der z. B. in (pm/mm) angegeben wird, wird von einigen Herstellern verwendet, um das Verschiebungsverhalten ihrer Produkte zu beschreiben.

3.1.4

Temperaturkompensationskonstante

C

Konstante zur Korrektur des Einflusses von Temperaturänderungen, wenn die Verschiebung aus den Wellenlängenänderungen ermittelt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Temperaturkompensationskonstante sollte vom Hersteller vorgegeben werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Begriff „Temperaturempfindlichkeit“, der z. B. in (pm/°C) angegeben wird, wird von einigen Herstellern verwendet, um den Einfluss von Temperaturänderungen ihrer Produkte zu beschreiben.

3.2 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole:

R_{FBG}	FBG-Reflexionsgrad
n_{eff}	effektive Brechzahl des FBG
ΔD	Verschiebungsänderung
ΔT	Temperaturänderung
Λ	FBG-Periode

λ_B	Bragg-Wellenlänge
λ_0	Referenzwellenlänge

3.3 Abkürzungen

FBG	Faser-Bragg-Gitter (en: fibre Bragg grating)
FWHM	Halbwertsbreite (en: full width at half maximum)
SNR	Signal-Rausch-Verhältnis (en: signal-to-noise ratio)
UV	Ultraviolett

4 Aufbau und Eigenschaften

4.1 Faser-Bragg-Gitter (FBG)

Faser-Bragg-Gitter sind in Lichtwellenleiter eingeschriebene Phasenbeugungsgitter. Sie werden häufig mit ultraviolettem (UV) Licht erzeugt (z. B. mit einem Excimerlaser bei 248 nm). 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 auf dieses UV-Licht anspricht. Das Interferenzmuster wird auf dem Faserkern abgebildet und verändert die Brechzahl des Faserkerns dauerhaft, so dass sich die Brechzahl entlang der Faser periodisch ändert. Das einfallende und weitergeleitete Licht wird durch diese periodischen Änderungen der Brechzahl entlang der Faser reflektiert. Bei einer bestimmten Wellenlänge wird das reflektierte Licht zusätzlich überlagert (konstruktive Interferenz); dieser spektrale Anteil des einfallenden Lichts wird zurück zum Eingangsanschluss der Faser reflektiert. Im übertragenen Licht wird diese Wellenlänge (bezeichnet als Bragg-Wellenlänge λ_B) entsprechend dem FBG-Reflexionsgrad gedämpft.

Der Wert der reflektierten Bragg-Wellenlänge λ_B wird von der in Gleichung (1) angegebenen Bragg-Bedingung bestimmt.

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

Nach Gleichung (1) hängt die Bragg-Wellenlänge λ_B des FBG von der effektiven Brechzahl n_{eff} des FBG und der FBG-Periode Λ ab. Die Spektralbreite des Scheitels der Bragg-Wellenlänge wird durch die Anzahl der Gitterperioden und die Stärke der Modulation der Brechzahl bestimmt (siehe IEC 61757-1-1:2020, 5.1).

4.2 Aufbau des FBG-Verschiebungssensors

Der FBG-Verschiebungssensor kann aus verschiedenen Werkstoffen und in verschiedene Formen (unter Verwendung von einem oder mehreren FBGs als empfindliches Element) hergestellt werden. Der FBG-Verschiebungssensor wird in der Regel zur Überwachung der zwischen zwei Punkten verschiedener Objekte oder zwischen zwei Teilen desselben Objekts auftretenden Verschiebung verwendet. Ein Beispiel ist die Überwachung von Verschiebungsänderungen an Dehnungsfugen, die in Brücken eingebaut sind, um Schädigungen an der Struktur zu verhindern; diese Fugen ziehen sich durch Temperaturänderungen zusammen und dehnen sich aus. Ein weiteres Beispiel für die Erfassung von Verschiebungsänderungen ist die Überwachung von Rissgrößenänderungen in Strukturen, in denen sich üblicherweise Risse gebildet haben.

Das Verfahren zur Umrechnung einer Verschiebungsänderung in eine Änderung der Bragg-Wellenlänge eines FBG hängt vom Hersteller des Verschiebungssensors ab. Es gibt eine Vielzahl von Verfahren, aber eine umfassende Beschreibung dieser gehört nicht zum Anwendungsbereich dieses Dokuments.

Der FBG-Verschiebungssensor kann z. B. so konfiguriert werden, dass die Bewegung eines Taststifts (der das Teil für die Erfassung der Verschiebung bildet) mittels eines mechanischen Messumformers eine entsprechende Dehnungsänderung im FBG verursacht, wie in Bild 1 für einen Federsensor und für einen Metallplattensensor dargestellt. Diese Dehnungsänderung im FBG verändert dann die reflektierte Bragg-Wellenlänge des FBG, wie

in Bild 2 und Bild 3 gezeigt. Auf diese Weise kann die Verschiebung durch Messung der reflektierten Bragg-Wellenlänge des FBG bestimmt werden.

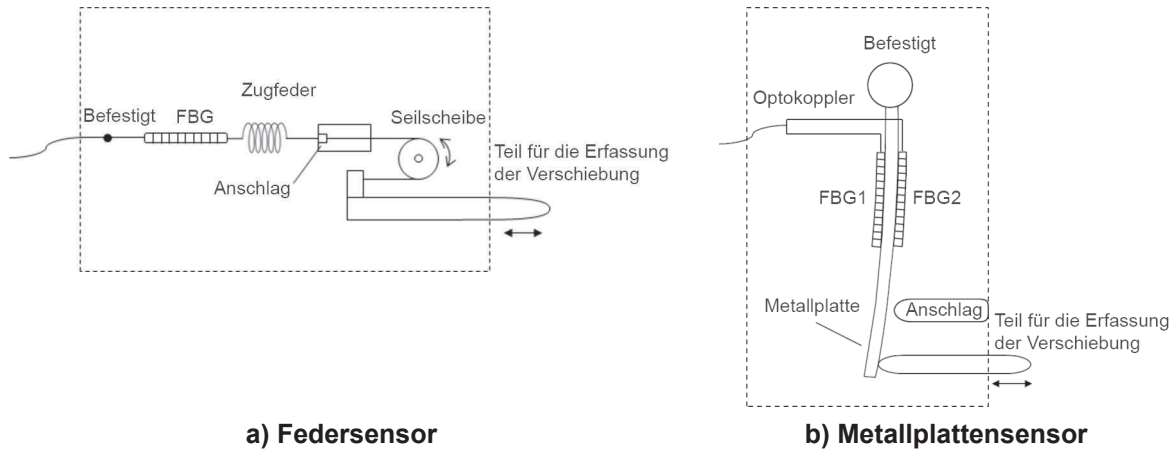


Bild 1 – Beispiele für Sensorarten zur Messung von Verschiebungsänderungen

Bei dem in Bild 1a) dargestellten Federsensor verursacht eine Verschiebungsänderung die Drehung einer Seilscheibe, was zur Längenänderung einer Zugfeder führt, die an einem FBG befestigt ist. Die resultierende Änderung der auf das FBG ausgeübten Zugkraft führt zu einer Dehnungsänderung im FBG, die wiederum die Reflexionswellenlänge des FBG ändert, wie in Bild 2a) und Bild 2b) dargestellt. Bei der Installation des in Bild 2a) dargestellten FBG-Verschiebungssensors wird der Anschlag oft nahe der Mitte der erwarteten Verschiebungsänderungen angebracht, so dass sowohl positive als auch negative Verschiebungsänderungen erfasst werden können. Wenn nur Verschiebungsänderungen in einer Richtung erwartet werden, kann eine größere Verschiebungsänderung gemessen werden, indem der Anschlag weiter links oder rechts angebracht wird.

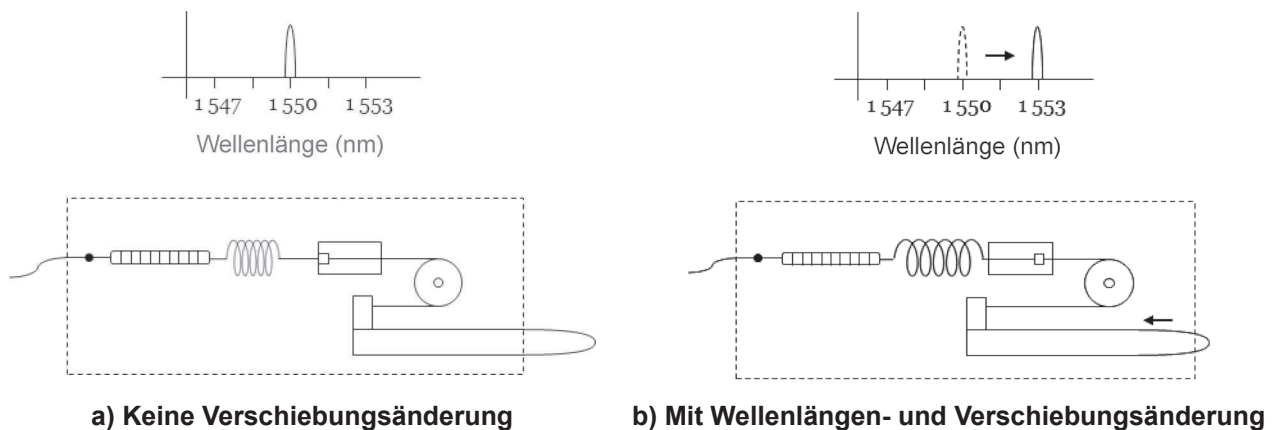


Bild 2 – Änderung der durch eine Verschiebung in einem Federsensor verursachten Bragg-Wellenlänge

Bei dem in Bild 1b) dargestellten Metallplattensensor verursacht eine Verschiebungsänderung die Biegung einer elastischen Metallplatte. Die Formänderung der Metallplatte wird von zwei FBGs erfasst, die mit FBG1 und FBG2 bezeichnet und an beiden Seiten der Metallplatte angebracht sind, wie in Bild 3a) dargestellt. Wenn sich der Abtaststift für die Verschiebungsmessung aus seiner ursprünglichen Lage in die linke Richtung bewegt, biegt sich die elastische Metallplatte weiter nach links, was zu einem Zusammenziehen von FBG1 und zu einer Ausdehnung von FBG2 führt. Da das Zusammenziehen von FBG1 die mechanische Spannung erhöht und die Ausdehnung von FBG2 die Dehnung erhöht, ändert die Verschiebung die Bragg-Reflexionswellenlängen der beiden FBGs in entgegengesetzten Richtungen, wie in Bild 3b) dargestellt.

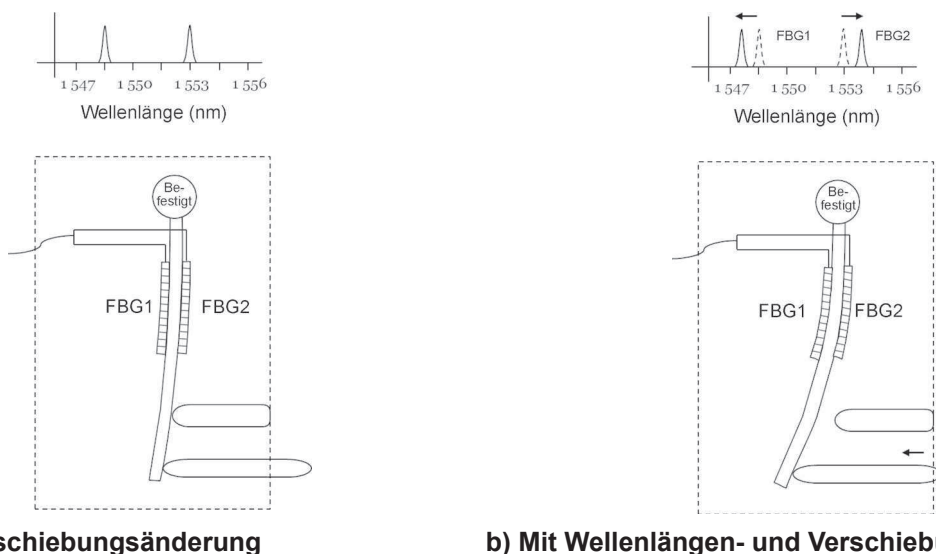


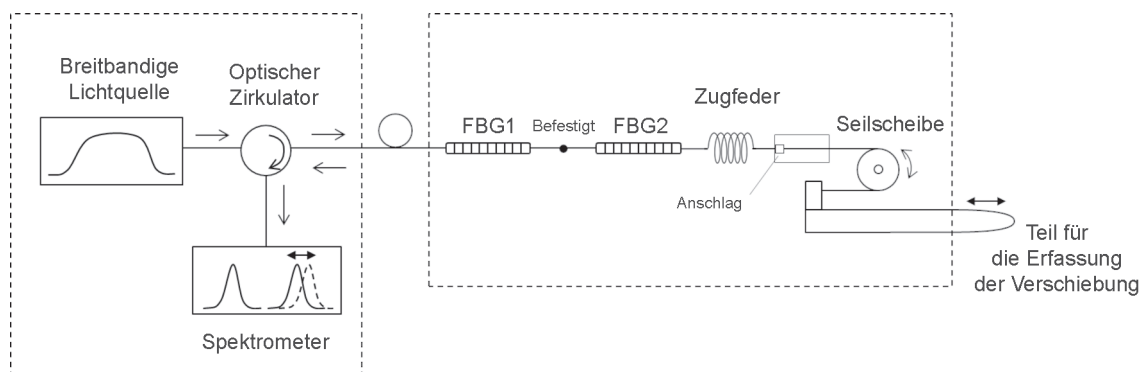
Bild 3 – Änderung der durch eine Verschiebung in einem Metallplattensensor verursachten Bragg-Wellenlänge

Zur Messung der Änderung der Bragg-Wellenlänge eines FBG können eine breitbandige Lichtquelle und ein optisches Spektrometer verwendet werden. Lichtquelle und Spektrometer werden in der Regel über einen optischen Zirkulator mit dem die Verschiebung erfassenden FBG verbunden, wie in Bild 4 für den Federsensor und den Metallplattensensor schematisch dargestellt.

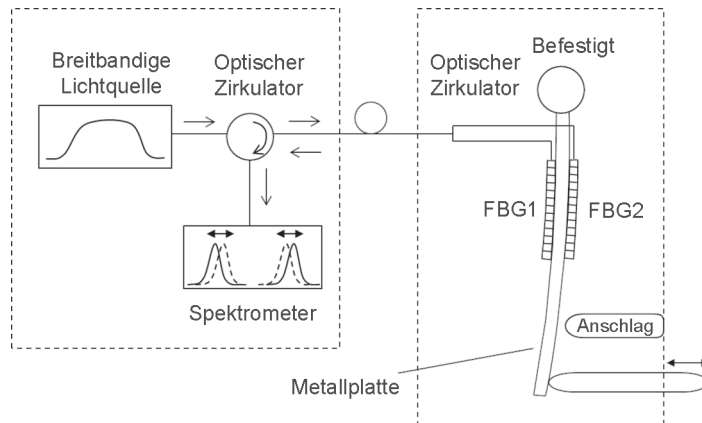
Bei dem in Bild 4a) dargestellten Federsensor ist in der Nähe des die Verschiebung erfassenden FBG (mit FBG2 bezeichnet) ein zusätzliches FBG (mit FBG1 bezeichnet) angebracht, um die Temperaturabhängigkeit von FBG2 zu kompensieren (wie in 5.5.3 beschrieben). Das zusätzliche FBG1 misst nur Temperaturänderungen, während FBG2 Verschiebungs- und Temperaturänderungen misst. FBG1 und FBG2 können in Reihe geschaltet werden, wie in Bild 4a) gezeigt, oder sie können ähnlich der Anordnung in Bild 4b) parallelgeschaltet werden.

Der in Bild 4b) dargestellte Metallplattensensor verwendet zwei FBGs für die Messung der Verschiebung. Er benötigt nicht notwendigerweise ein zusätzliches FBG für die Temperaturmessung, da die Verschiebungsänderung aus der differentiellen Änderung der reflektierten Wellenlängen von FBG1 und FBG2 berechnet wird. Wenn die Änderungen der Bragg-Wellenlänge durch die Temperaturänderungen in beiden FBGs identisch sind, wird die Temperaturabhängigkeit der Bragg-Wellenlänge automatisch kompensiert.

Der Metallplattensensor in Bild 4b) verwendet einen Optokoppler mit einem Teilungsverhältnis von 3 dB, um FBG1 und FBG2 mit der breitbandigen Lichtquelle und dem Spektrometer zu verbinden.



a) Federsensor mit zusätzlichem FBG für die Temperaturmessung



b) Metallplattensensor mit zwei FBGs für die Verschiebungsmessung

Bild 4 – Schematische Darstellungen von Verschiebungssensoren mit zwei FBGs

4.3 Referenzwellenlänge

Die mit einem bestimmten FBG gemessene Bragg-Wellenlänge kann vom angewendeten Auswertungsverfahren und, was noch wichtiger ist, von der speziellen Installation des FBG abhängen. Im Sinne dieses Dokuments wird die nach der Installation des FBG im Verschiebungssensors gemessene Wellenlänge als die Referenzwellenlänge λ_0 bezeichnet.

Die Referenzwellenlänge ist nicht notwendigerweise gleich der vom Hersteller des FBG festgelegten Bragg-Wellenlänge. Wenn das FBG z. B. vorgespannt ist, gibt es eine Differenz zwischen der Referenzwellenlänge und der Bragg-Wellenlänge des Herstellers. Ist das FBG nicht vorgespannt, ist die Differenz zwischen der Referenzwellenlänge und der Bragg-Wellenlänge des Herstellers in der Regel sehr klein, so dass beide Wellenlängenwerte ohne erheblichen Fehler austauschbar sind.

Wenn die Referenzwellenlänge am Anfang eines Messzyklus gemessen wird, kann diese Wellenlängenmessung als Nullpunkt-Messwert betrachtet werden.

4.4 Stabilitätsverhalten

4.4.1 Drift und Kriechen

Stabilität ist im Allgemeinen die Fähigkeit eines Messsystems, seine messtechnischen Merkmale über die vorgesehene Betriebszeit beizubehalten und andere Spezifikationen zu erfüllen. Im Sinne dieses Dokuments beschreibt die Stabilität die Eigenschaft des eingesetzten FBG-Verschiebungssensors, seine optischen Kennwerte über eine durch die Anwendung vorgegebene Nutzungsdauer gleichbleibend beizubehalten bzw. nur geringe Grenzabweichungen aufzuweisen.

Messwertabweichungen können auftreten, wenn

- die betreffenden Werkstoffe einer Langzeitbeanspruchung ausgesetzt sind (Kriechen);
- keine mechanische Beanspruchung vorliegt (Nullpunktdrift).

Kriechen und Nullpunktdrift können durch langsames Fortschreiten eines chemischen oder physikalischen Abbaus der im Sensor verwendeten Werkstoffe verursacht werden (z. B. bei Alterung) oder durch Änderungen der Anfangsbedingungen der Umgebung (z. B. Temperatur und/oder Luftfeuchte).

Kriechen ist eine Größe, die von den im Sensor verwendeten Werkstoffen, dem Aufbau des Sensors und der Betriebsweise abhängt. Es kann nur experimentell ermittelt werden. Sofern das vom Hersteller festgelegte Klebemittel verwendet wird, sind die durch Kriechen entstehenden Messfehler im Vergleich zur Messunsicherheit des Umrechnungsfaktors der Verschiebung κ_D in der Regel unerheblich.

Drift ist eine langsame Veränderung der messtechnischen Merkmale des Messsystems. Der durch Drift entstehende Messfehler von modernen FBG-Sensoren ist vernachlässigbar klein. In diesem Fall ist keine weitere Spezifikation der Drift erforderlich. Wenn Drift jedoch beispielsweise durch ein verändertes Herstellungsverfahren oder unzureichende Wiederbeschichtungswerkstoffe erzeugt wird, sollte die Drift angegeben werden.

4.4.2 Hysterese

Hysterese beschreibt ein bestimmtes Werkstoffverhalten, bei dem nach dem Entfernen der Eingangslast der Werkstoff nicht bzw. erst nach einer erheblichen Zeitverzögerung in seinen ursprünglichen Zustand zurückkehrt. Das bedeutet, dass der Ausgangswert eines Sensors mit elasto-plastischen Verformungsverhalten nicht nur vom Eingangswert, sondern auch von zeitabhängigen Umkehrprozessen abhängig ist.

Bei einer Änderung der Verschiebung (oder der Temperatur) eines auf Siliziumdioxid basierenden FBG erfolgt die Verschiebung der Bragg-Wellenlänge üblicherweise ohne Hysterese-Effekt. Sofern Hysterese bei wiederholten oder zyklischen Verschiebungsveränderungen innerhalb des festgelegten Betriebsbereichs des Sensors auftritt, sollte der Betrag der Hysterese beschrieben werden.

4.5 Messwertanzeige

Die im FBG erzeugten Veränderungen in der Bragg-Wellenlänge werden durch eine angeschlossene Messeinrichtung (ergibt die Messwerte) gemessen und für die messtechnische Auswertung verarbeitet (ergibt das Messergebnis). Üblicherweise stellt die Messeinrichtung das optische Eingangssignal für den Sensor bereit und zeichnet das Antwortsignal des Sensors auf.

4.6 Nullpunktbezogene Messung

Mit den Begriffen „Nullpunktmessung“ bzw. „statische oder quasistatische Messung“ werden alle Messungen bezeichnet, bei denen sich der Messwert auf einen Anfangswert (den Nullpunkt) bezieht.

Dabei müssen auch die folgenden Einflussfaktoren berücksichtigt werden:

- die Drift des Messgeräts;
- das Auswertungsverfahren:

Verschiedene Auswertungsverfahren (unter Verwendung verschiedener Messeinrichtungen) können zu unterschiedlichen Versatzgrößen in Bezug auf den Nullpunkt führen. Bei einem Austausch der Messeinrichtung sollte der Nullpunktversatz zwischen dem alten und dem neuen Messgerät dementsprechend bestimmt werden.

- Kriechen des eingesetzten Sensors.

Der Abtastvorgang durch die FBG-Verschiebungssensoren 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.

4.7 Nicht-nullpunktbezogene Messung

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

4.8 Herstellungscharge

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

4.9 Standardtyp des FBG-Verschiebungssensors

Der Standardtyp eines FBG-Verschiebungssensors ist eine Gruppe von FBG-Verschiebungssensoren mit identischen physikalischen Eigenschaften (geometrische Maße, Herstellungsverfahren, verwendete Werkstoffe, Nachbearbeitung, Bragg-Wellenlänge).

4.10 Serie von FBG-Verschiebungssensoren

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

5 Zu messende Merkmale und Kennwerte

5.1 Probenahme und statistische Bewertung

5.1.1 Probenahme

5.1.1.1 Allgemeines

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

- zufällige Probenahme;
- Typprüfung;
- Reihenprüfung;
- einzelne Stichprobenprüfung.

Viele Eigenschaften des FBG-Verschiebungssensors können nur an einem installierten Sensor bestimmt werden. In diesem Fall muss eine statistische Auswertung durchgeführt werden. Die Anzahl der verwendeten Sensorprüflinge und das Datum der Bewertung sollten aufgezeichnet werden.

5.1.1.2 Zufällige Probenahme

Bei der Anforderung nach einer zufälligen Probenahme wird davon ausgegangen, dass die Schwankungen des Kennwerts einer Gaußschen Verteilung folgen. Alle Sensoren, die zur Prüfung der Kennwerte ausgewählt wurden, müssen der gleichen Herstellungsladung entstammen. Es müssen mindestens fünf Prüflinge ausgewählt werden. Das Ergebnis einer Prüfung mit zufälliger Probenahme gilt für die gesamte Herstellungsladung.

5.1.1.3 Typprüfung

Die Typprüfung ist eine Prüfung mit zufälliger Probenahme nach 5.1.1.2, wobei das Ergebnis der Prüfung von mindestens fünf Prüflingen dieses Typs als gültig für alle Herstellungsladungen erklärt wird.

5.1.1.4 Reihenprüfung

Die Serienprüfung ist eine Prüfung mit zufälliger Probenahme nach 5.1.1.2, wobei das Ergebnis für ein einzelnes Muster aus einer Sensorserie bestimmt und für die komplette Serie als gültig erklärt wird.

5.1.1.5 Einzelne Stichprobenprüfung

Jeder Prüfling aus einer Sensorserie oder nur ein Prototyp eines einzigartigen FBG-Verschiebungssensors muss geprüft werden.

5.1.2 Ausweisen des Messergebnisses

Die Ergebnisse der Reihenprüfungen, Typprüfungen und Prüfungen mit zufälliger Probenahme werden als arithmetischer Mittelwert mit der zugehörigen Standardabweichung angegeben. Die Form der Angabe der Standardabweichung muss festgelegt werden. Die Schätzung der Messunsicherheit muss nach ISO/IEC GUIDE 98-3 durchgeführt werden.

Wenn die Sensoren X_1 bis X_n geprüft werden, wird der Kennwert als Mittelwert $\bar{x}$ der n mit den Sensoren gemessenen Werte x_1 bis x_n aufgeführt, wie in Gleichung (2) angegeben.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

Die Standardabweichung der n gemessenen Werte wird mit Gleichung (3) angegeben.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

5.1.3 Vorbehandlung des Prüflings

Den für die Prüfung ausgewählten Sensoren muss es ermöglicht werden, ein Gleichgewicht mit der Umgebung herzustellen, in der die Prüfung durchgeführt werden muss; sie sollten einer solchen Umgebung für mindestens 2 h ausgesetzt werden.

5.1.4 Umgebungsprüfbedingungen

Alle Prüfungen müssen bei Umgebungsbedingungen mit einer bestimmten Temperatur und relativen Luftfeuchte durchgeführt werden; die Werte der Parameter und deren Grenzabweichung müssen aufgezeichnet werden. Die empfohlene Umgebungstemperatur beträgt 15 °C bis 35 °C, die empfohlene Luftfeuchte 25 % bis 75 % und der empfohlene Luftdruck 86 kPa bis 106 kPa.

5.1.5 Für die speziellen Kennwerte geforderte Arten der Prüfungen

Die für die speziellen Kennwerte geforderten Arten der Prüfungen sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 – Für die speziellen Kennwerte geforderte Arten der Prüfungen

Bauartbedingte Merkmale und Kennwerte	Art der Prüfung
Bragg-Wellenlänge	Einzelne Stichprobenprüfung
Spektralbreite des FBG	Reihenprüfung
Reflexionsgrad	Typprüfung
Umrechnungsfaktor der Verschiebung	Reihenprüfung
Temperaturkompensationskonstante	Reihenprüfung
Betriebstemperatur- und Luftfeuchtebereiche	Reihenprüfung
Haltbarkeit	Reihenprüfung