

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

VERBAND DER
ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK
INFORMATIONSTECHNIK

Experimentelle Strukturanalyse
Optischer Dehnungssensor
basierend auf Faser-Bragg-Gitter
Grundlagen, Kenngrößen und deren Prüfung

VDI/VDE 2660

Entwurf

Experimental stress analysis – Optical strain
sensor based on fibre bragg grating –
Fundamentals, characteristics and sensor testing

Einsprüche bis 2009-08-31

- vorzugsweise in Tabellenform als Datei per E-Mail an gma@vdi.de
Die Vorlage dieser Tabelle kann abgerufen werden unter <http://www.vdi-richtlinien.de/einsprueche>
- in Papierform an
VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	3
2 Begriffe	3
3 Formelzeichen	4
4 Grundlagen	5
4.1 Faser-Bragg-Gitter	5
4.2 Optischer Dehnungssensor	8
4.3 Messstelle und Installation	8
4.4 Messbasis	8
4.5 Dehnung, Referenzdehnung	8
4.6 Bezugswellenlänge	8
4.7 Stabilitätsverhalten	9
4.8 Probekörper	9
4.9 Auslesen der Messwerte	9
4.10 Nullpunktbezogene Messung	9
4.11 Nicht nullpunktbezogene Messung	9
4.12 Herstellungslos	9
4.13 ODS-Typ	10
4.14 ODS-Serie	10
5 Bauartspezifische Merkmale und zu messende Kenngrößen	10
5.1 Konstruktiver Aufbau und Abmessungen	10
5.2 Art des ODS	10
5.3 Temperaturangaben	10
5.4 Empfohlene Befestigungsmittel	10
5.5 Anschlussbedingungen	10
5.6 Bragg-Wellenlänge λ_B	10
5.7 Spektrale Breite	10
5.8 Reflektivität	11
5.9 Dehnungsempfindlichkeit (k -Faktor-Kennlinie)	11

Inhalt	Seite
5.10 Maximale Dehnbarkeit bei Raumtemperatur	12
5.11 Dauerschwingverhalten	13
5.12 Kleinster Krümmungsradius	13
5.13 Temperaturgang des optischen Dehnungssensors	14
6 Wiederkehrende Festlegungen zur Kenngrößenprüfung	15
6.1 Probenentnahme und statistische Auswertungen der Prüfungen	15
6.2 Klimabedingungen zur Messung	15
6.3 Anzuwendende Prüfungsart für einzelne Kenngrößen	15
7 Anforderungen an die Prüfvorrichtungen im Prüffeld	16
7.1 Anforderungen an die optische Auswerteeinheit	16
7.2 Anforderung an die Bestimmung der Bragg-Wellenlänge λ_B	16
7.3 Spektrale Breite	17
7.4 Reflektivität	17
7.5 Dehnungsempfindlichkeit (k -Faktor-Kennlinie)	17
7.6 Maximale Dehnbarkeit	18
7.7 Dauerschwingverhalten	18
7.8 Kleinster Krümmungsradius	18
7.9 Temperaturgang	18
8 Angabe der Messergebnisse für die Kenngrößen	19
8.1 Hinweise	19
8.2 Musterdatenblatt	19
Anhang A Musterdatenblatt	20
Anhang B Hinweise zur Richtlinie	21
Schrifttum	21

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)

Fachausschuss Faseroptische Messverfahren

VDI/VDE-Handbuch Mess- und Automatisierungstechnik, Band 1: Verfahrenstechnisches Messen
VDI/VDE-Handbuch Mikro- und Feinwerktechnik
VDI/VDE-Handbuch Optische Technologien VDI/VDE-Handbuch Optische Technologien

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

An der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie waren beteiligt:

Hr. Dr.-Ing. *Baumann*, AOS GmbH Dresden

Hr. Dipl.-Ing. *Chojetzki*, FBGS Technologies GmbH Jena

Hr. Dr.-Ing. *Haase*, HBM GmbH Darmstadt

Hr. Dr.-Ing. *Habel*, BAM Berlin

Hr. Dipl.-Ing. *Kleckers*, HBM GmbH Darmstadt

Hr. Dipl.-Phys. *Rothhardt*, IPHT Jena

Fr. Dipl.-Ing. *Schlüter*, BAM Berlin

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Motivation für die Erstellung dieser Richtlinie war die zunehmende kommerzielle Nutzung von Faser-Bragg-Gitter-Sensoren für Dehnungsmessungen.

Allgemein gültige Regelwerke für die Prüfung, Charakterisierung und Anwendung faseroptischer Dehnungssensoren auf Basis von FBG sind bisher nicht bekannt. Diese Lücke in der Regelsetzung schließt bislang Unklarheiten bei der Definition von Kenngrößen und deren Angabe in Datenblättern ein. Zuverlässige Messangaben sind aber nur möglich, wenn die Hersteller und Nutzer unter gemachten Angaben und Bezeichnungen dasselbe verstehen.

Diese Richtlinie soll somit dem Hersteller von optischen Dehnungssensoren (ODS) bei der Fertigung und Beschreibung der Produkte eine Orientierung bieten und dem Anwender ein besseres Verständnis für die Auswahl, den Einsatz und Betrieb von ODS ermöglichen.

Zu dieser Richtlinie ist eine Veröffentlichung mit Empfehlungen zur Durchführung von Dehnungsmessungen, der Angabe der Messunsicherheit sowie mit Applikationsbeispielen in Vorbereitung.

Ein Verweis „Technische Angaben gemäß Richtlinie VDI/VDE 2660“ darf in Veröffentlichungen und Datenblättern dann erfolgen, wenn die im Abschnitt 5 aufgeführten Kennwerte gemäß dieser Richtlinie ermittelt und angegeben worden sind.

Diese Richtlinie wurde im VDI/VDE-GMA Fachausschuss 2.17 „Faseroptische Messverfahren“ im Bereich der experimentellen Spannungsanalyse erarbeitet.

Verweise auf Regelwerke

Diese Richtlinie wurde unter Beachtung der allgemein anerkannten Regeln der Terminologie auf dem Gebiet der Messtechnik erstellt. Es sei auf folgende Regelwerke verwiesen:

- Internationales Wörterbuch der Metrologie, 2. Auflage, Berlin: Beuth Verlag, 1994
- Definition der Leistungsparameter und der Messunsicherheit (vgl. DIN 1319 bzw. DIN 55350-13).

Für die Angabe der Messunsicherheit wird auf den „Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen“, DIN 13005 (GUM: „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“) verwiesen. Insbesondere für die Kalibrierung und Validierung ist der Bezug zur DIN EN ISO/IEC 17025:2000 herzustellen.

Diese Richtlinie steht in thematischem Bezug zum International Standard IEC 61757-1, ed. 1: Fiber optic sensors; Part 1: Generic specification (Final Draft, 1998-09-30) des IEC TC 86C bzw. der harmonisierten Norm DIN EN 61757-1:1999, Fachgrundspezifikation. Ein weiterer Bezug liegt vor zu den Aktivitäten der COST 299 Action, Working Group WG 4, Study Group SG3: „Applications and standardization of fibre sensors“. Die in diesem Expertengremium erarbeiteten Empfehlungen wurden berücksichtigt.

Bei der Anwendung dieser Richtlinie ist die Beachtung der für die Nutzung von Lichtwellenleitern verbindliche Richtlinie IEC 60793-1-3 empfohlen.

Weitere zur Beachtung empfohlene Normen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Für die Durchführung von Dehnungsmessungen und die Angabe der Messunsicherheit werden Empfehlungen in dieser Richtlinie gegeben. In einer späteren Veröffentlichung zu dieser Richtlinie werden typische Applikationsbeispiele vorgestellt.

Tabelle 1. Empfohlene technische Regeln

Anwendungsbereich	Nationale und harmonisierte Normen	Industrienorm
Anforderungen an Qualitätsmanagementsystem	DIN EN ISO 9001	VDA Band 6 Teil 1
Bestätigungssystem für Messmittel	DIN EN ISO 10012	
Anforderungen an das Qualitätsmanagementsystem von Laboratorien	DIN EN ISO/IEC 17025	
Qualifizierung	DIN EN ISO 9000	
Prüfmittelüberwachung, Längenprüftechnik	DIN 32937	VDI/VDE/DGQ 2618
Ermittlung und Berücksichtigung der Messunsicherheit	DIN EN ISO 14253-1 DIN EN ISO 14253 Beiblatt 1 DIN 1319 DIN V ENV 13005	DKD-3 VDI/VDE/DGQ 2618
Eignung von Prüfmitteln und Prüfprozessen	DIN EN ISO 9001	VDA Band 5

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Richtlinie bezieht sich auf optische Dehnungssensoren (ODS), bei denen das dehnungsempfindliche Element ein Faser-Bragg-Gitter (FBG) ist.

Zweck der Richtlinie ist es, die wichtigsten Merkmale und Kenngrößen von ODS zu definieren, die Verfahren zu deren Ermittlung zu benennen sowie Anschluss- und Prüfbedingungen zum Nachweis der Merkmale und Kenngrößen festzulegen.

Damit soll Folgendes erreicht werden:

- eindeutige und vollständige Erfassung der relevanten Leistungsparameter von optischen Dehnungssensoren unter Nutzung einer einheitlichen Terminologie
- leichtere Verständigung zwischen Herstellern und Anwendern
- Vergleichbarkeit, spezifische Abgrenzung bzw. einheitliche und fundierte Beurteilung von Produkten unterschiedlicher Hersteller
- Förderung einer sachgerechten Auswahl von ODS zur optimalen Lösung der jeweiligen Messprobleme

Die Angaben in der Richtlinie beziehen sich auf das Messen von statischen und dynamischen Dehnungswerten mit ODS auf Basis von FBG, wobei typischerweise kontinuierlich von 0 Hz bis in den Kilohertzbereich gemessen werden kann.

Der ODS kann in unterschiedlicher konstruktiver Ausbildung auf verschiedene Weise eingesetzt werden:

- strukturintegriert innige Einbettung bei allseitig homogener Umschließung durch den zu messenden Werkstoff
- oberflächen- oder grenzflächenappliziert durch Klebung oder Laminierung
- lokal fixiert am Messobjekt.

Die zu verwendenden Messgeräte zur Bestimmung und zum Nachweis der Kenngrößen von ODS werden hinsichtlich ihrer Leistungsparameter und Kenngrößen gesondert charakterisiert.

Beim Einsatz für Aufgaben gemäß dieser Richtlinie müssen die ausgewählten Messgeräte anfänglich und in regelmäßigen Intervallen einer Kalibrierung gemäß der Norm DIN EN ISO/IEC 17025:2000 unterzogen werden. Diese Kalibrierung ist die notwendige Voraussetzung für die Angabe: „Geprüft nach VDI/VDE 2660“.

2 Begriffe

Bragg-Wellenlänge (λ_B)

Als Bragg-Wellenlänge wird diejenige Wellenlänge bezeichnet, die der Bragg-Reflexionspeak ohne eingeprägte Dehnung bei Referenzklima (Normalklima 23/50 gemäß DIN 50014) aufweist.

Dauerschwingverhalten

Als Dauerschwingverhalten bei Referenzklima bezeichnet man die Änderung der Sensoreigenschaften infolge sinusförmiger Lastwechsel.

Die relevanten Sensoreigenschaften zur Spezifikation des Dauerschwingverhaltens sind die Nullpunktverschiebung und die Veränderung des Reflexionsspektrums des \rightarrow optischen Dehnungssensors in Abhängigkeit von der Lastwechselzahl.

Dehnungsempfindlichkeit (k -Faktor)

Die Dehnungsempfindlichkeit wird durch den k -Faktor ausgedrückt. Dieser ist der Quotient aus der relativen Wellenlängenänderung $\Delta\lambda/\lambda_0$ eines \rightarrow optischen Dehnungssensors und der vorgegebenen Dehnung. Hierbei ist λ_0 die Bezugswellenlänge des optischen Dehnungssensors und ε die vorgegebene Dehnung. Der k -Faktor ist dimensionslos.

$$k = \frac{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \right)}{\varepsilon}$$

Im Falle der Applikation von Faser-Bragg-Gitter-Dehnungsmessstreifen oder Bragg-Gitter-Fasern mit nicht zu vernachlässigender Schichtdicke auf