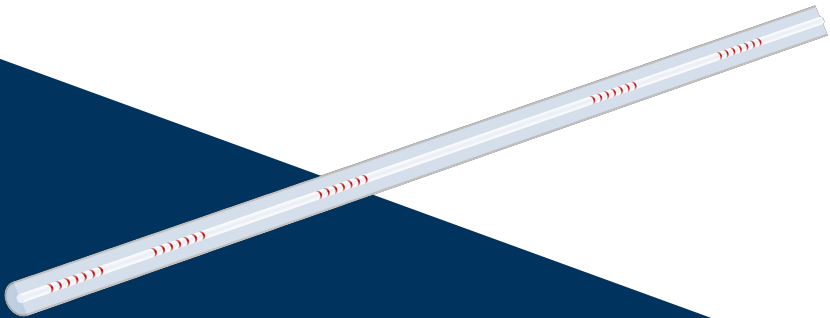


DEUTSCH

Montageanleitung



FS70FBG

Array aus freiliegenden FBGs

Hottinger Brüel & Kjaer GmbH
Im Tiefen See 45
64293 Darmstadt
Germany
Tel. +49 6151 803-0
Fax +49 6151 803-9100
info@hbkworl.com
www.hbkworl.com

HBK FiberSensing, S.A.
Rua Vasconcelos Costa, 277
4470-640 Maia
Portugal
Tel. +351 229 613 010
Fax +351 229 613 020
info.fs@hbkworl.com
www.hbkworl.com

Mat.:
DVS: A05407 03 G00 00
11.2022

© Hottinger Brüel & Kjaer GmbH

Änderungen vorbehalten.
Alle Angaben beschreiben unsere Produkte in allgemeiner Form. Sie stellen keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie dar.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Allgemeines	4
2	Sensorinstallation	5
2.1	Materialliste	5
2.2	Vorbereitung der Installationsfläche	5
2.3	Kennzeichnen der Messstelle	8
2.4	Kleben des Sensors	10
2.4.1	Verwenden des Klebstoffs EP310	10
2.4.2	Installation mit Epoxidharzklebstoff	13
2.5	Schützen des Faserwegs	19
2.5.1	Verwenden des Epoxidharzklebstoffs	19
2.6	Führen und Schützen der Kabel	21
3	Sensorkonfiguration	23
3.1	Dehnung	23

1 ALLGEMEINES

Die folgende Anleitung beschreibt das Installationsverfahren für das Array aus freiliegenden FBGs FS70FBG.

Bestellinformationen
K-FS70FBG

2 SENSORINSTALLATION

Die folgende Anleitung enthält Richtlinien für die Installation des Arrays aus freiliegenden FBGs FS70FBG auf glatten Oberflächen für Dehnungsmessungen.

Wenn eine Einbettung in Verbundwerkstoffe oder die Anbringung an uneinheitlichen Flächen (an denen Dehnungsgradienten über die Länge des FBG auftreten) vorgesehen ist, bitte mit HBK FiberSensing Rücksprache nehmen.

2.1 Materialliste

Im Lieferumfang enthaltenes Material
Faser-Bragg-Gitter-Array FS70FBG

Benötigtes Material
Schleifpapier
Reinigungsmittel für Messstellen Empfehlung von HBK: 1-RMS1 oder 1-RMS1-SPRAY
Reinigungs-Pads Empfehlung von HBK: 1-8402,0026
Klebeband Empfehlung von HBK: 1-KLEBEBAND
Klebstoff Empfehlung von HBK: 1-EP310S, 1-X60 Empfohlenes Produkt von Drittanbietern: DP490 von 3M
Schutz Empfehlung von HBK: 1-ABM75 und/oder 1-AK22

2.2 Vorbereitung der Installationsfläche

Die zum Sensor zeigende Oberfläche des Materials muss gereinigt werden, damit die Klebefläche vollkommen frei von Staub oder Fett ist.

Die Oberfläche, wie empfohlen, mit dem Reinigungsmittel (*Abb. 2.1*) und Vliesstoff-Pads (*Abb. 2.2*) reinigen.



Abb. 2.1 *Sprühen von 1-RMS auf die Probe*

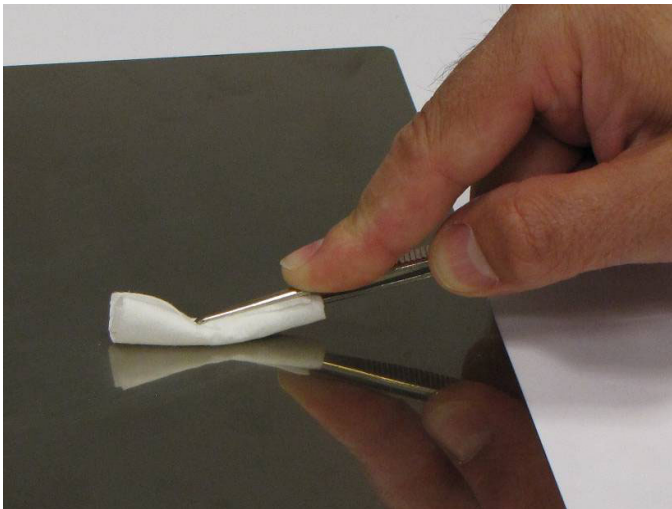


Abb. 2.2 *Reinigen mit einem Vliesstoff-Pad*

Die Wischbewegungen sollten immer in der gleichen Richtung ausgeführt werden, bis schließlich keine Verunreinigung mehr auf dem Pad zu sehen ist.

Für die Installation mit dem Klebstoff EP310S muss die Oberfläche der Messstelle mit Schleifpapier (Körnung 220 oder feiner) mit kreisenden Bewegungen aufgeraut werden (Abb. 2.3).



Abb. 2.3 *Aufrauen der Oberfläche mit Schleifpapier*

Die aufgeraute Installationsfläche erneut mit RMS1 und Vliesstoff-Pads reinigen (Abb. 2.4).



Abb. 2.4 *Reinigen der aufgerauten Installationsfläche*

2.3 Kennzeichnen der Messstelle

Die Ausrichtung des FBG festlegen. Dabei die Messrichtung berücksichtigen. Das FBG wird in der Mitte zwischen den Markierungslinien zentriert.

Dieser Schritt ist besonders wichtig, da die Positionierung die Messrichtung vorgibt.

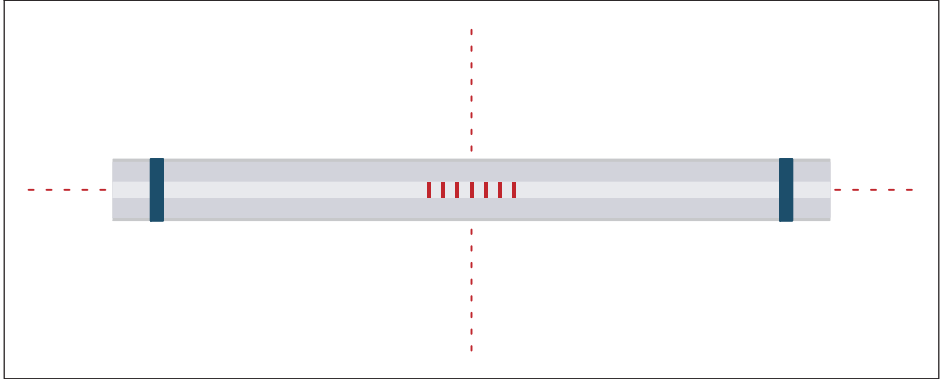


Abb. 2.5 Ausrichtmarkierungen des FBG

Idealerweise wird zum Anzeichnen der Installationsstelle eine leere Kugelschreibermine verwendet. Die Länge der Hilfslinie sollte ca. 60 mm in Messrichtung betragen. Eine ca. 40 mm lange vertikale Hilfslinie muss von der Mitte der Installationsstelle aus gezeichnet werden, siehe Abb. 2.6.



Abb. 2.6 Anzeichnen der Hilfslinien

Nachdem die Fläche angezeichnet ist, muss die Installationsstelle sehr gründlich gereinigt werden, *siehe Abb. 2.7*. Beachten Sie, dass für jedes erneute Abwischen jedes Mal ein neues Vliesstoff-Pad verwendet werden muss. Den Reinigungsvorgang so lange wiederholen, bis keine Rückstände mehr auf dem Vliesstoff-Pad zu erkennen sind.

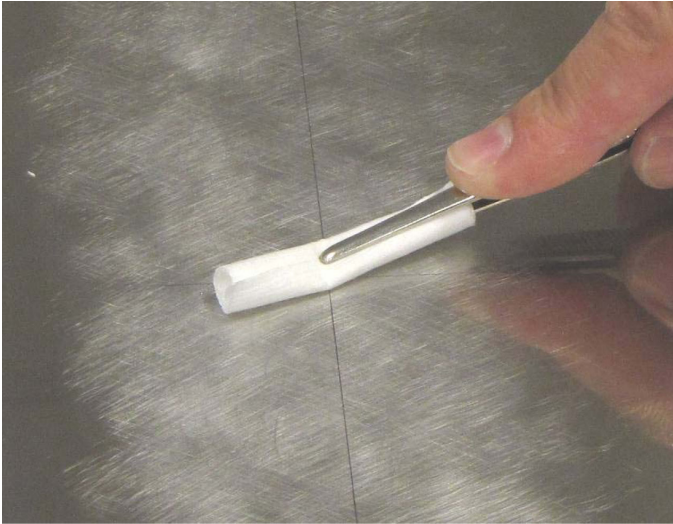


Abb. 2.7 Abschließendes Reinigen der Installationsstelle

Die Glasfaser mit dem auf die Messstelle zentrierten FBG unter leichter Spannung so positionieren, dass die Faser so gerade wie möglich liegt. Die Faser in dieser Position mit zwei Streifen Polyimid-Klebeband (Bestell-Nr. 1-KLEBEBAND) außerhalb der Fasermarkierungen fixieren (*Abb. 2.8*).



Abb. 2.8 Fixieren der Glasfaser

2.4 Kleben des Sensors

Die Auswahl der Befestigungsmittel und der Klebevorgang sind entscheidend für den im Einsatz des FS70FBG als Dehnungssensor nutzbaren Messbereich und seine Gebrauchstemperaturen. Die Installationsanleitung des Klebstoffs immer sorgfältig lesen und beachten.



Wichtig

Der Klebevorgang kann die Spektralantwort des FBG verändern und sich dadurch auf die Qualität der Messung auswirken.

2.4.1 Verwenden des Klebstoffs EP310

Der Klebstoff EP310 bietet optimale Ergebnisse im Hinblick auf Kriechen bei hohen Temperaturen und starker Dehnung. EP310 ist ein heiß härtender Klebstoff. Das bedeutet, dass er nur verwendet werden kann, wenn das Messobjekt problemlos erhitzt werden kann. Zum Aushärten benötigt der EP310 eine Mindesttemperatur von 80 °C (bei einer Aushärtezeit von 8 Stunden).

Den Klebstoff EP310 (Bestell-Nr. 1-EP310) auf die gesamte Klebefläche des FBG auftragen. Die Verklebungslänge sollte mindestens über die Markierungen reichen. Den Klebstoff 5 Minuten bei Raumtemperatur trocknen lassen.

Wichtig beim Kleben mit EP310 ist, dass die Faser über die gesamte Verklebungslänge direkten Kontakt mit der Oberfläche hat.

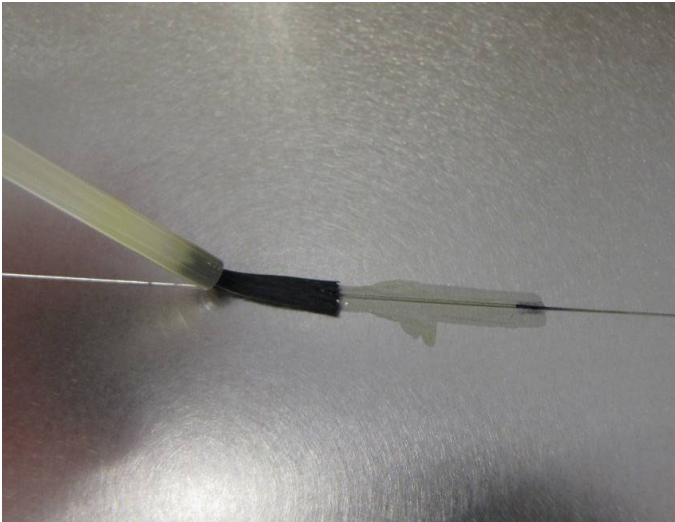


Abb. 2.9 Bestreichen der FBG-Klebefläche mit dem Klebstoff EP310

Ein Stück Fluorpolymer-Trennfolie (Bestell-Nr. 1-Teflon) und zwei Streifen Silikongummi (wird mit EP310 mitgeliefert) auf die Installationsstelle auflegen. Die Silikonstreifen sollten 2 cm x 4 cm messen.

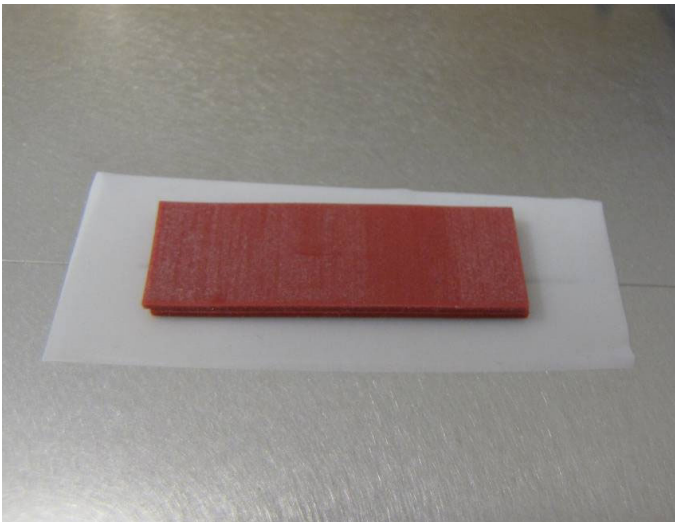


Abb. 2.10 Abdecken der Klebefläche der Glasfaser mit Fluorpolymer-Trennfolie und zwei Streifen Silikongummi

Mit einem flachen Gewicht von 1 kg beschweren. Das Gewicht sollte symmetrisch auf der FBG-Klebefläche aufliegen.



Abb. 2.11 Gewicht auf der FBG-Klebefläche der Glasfaser

Der Klebstoff EP310 muss vorzugsweise 2 Stunden bei 150 °C oder mindestens 8 Stunden bei 80 °C aushärten.

2.4.2 Installation mit Epoxidharzklebstoff

Bei Verwendung eines Zwei-Komponenten-Klebstoffs auf Epoxidharzbasis (z. B. der empfohlene DP490 von 3M) muss die Verklebungslänge des FBG vom Klebstoff umgeben sein. Die Verklebungslänge muss mindestens der Länge zwischen den beiden Markierungen entsprechen (50 mm zentriert auf das FBG).

- ▶ Zuerst mit den zwei Polyimid-Klebebandstreifen (Bestell-Nr. 1-KLEBEBAND) parallel und symmetrisch zur Faser eine Aussparung bilden, die lang genug für die Klebefläche ist.

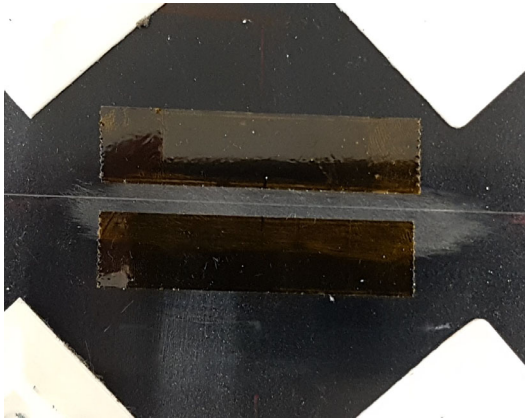


Abb. 2.12 Klebe-Aussparung

- ▶ Einen sehr dünnen Strang des Epoxidharzklebstoffs entlang der Verklebungslänge auftragen.

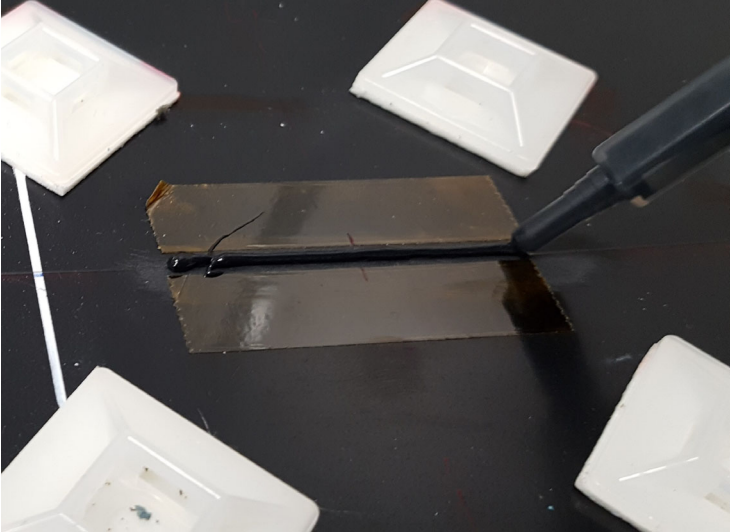


Abb. 2.13 Auftragen des Epoxidharzklebstoffs

- ▶ Die Faser sehr vorsichtig leicht von einer Seite auf die andere und wieder in die ursprüngliche Position zurückrollen. Dies sorgt dafür, dass die Faser vollständig von Klebstoff umgeben ist und dabei so nahe wie möglich an der Oberfläche bleibt.



Information

Die Faser sollte zum Schluss in einer Geraden liegen und auf die gewünschte Messrichtung ausgerichtet sein.

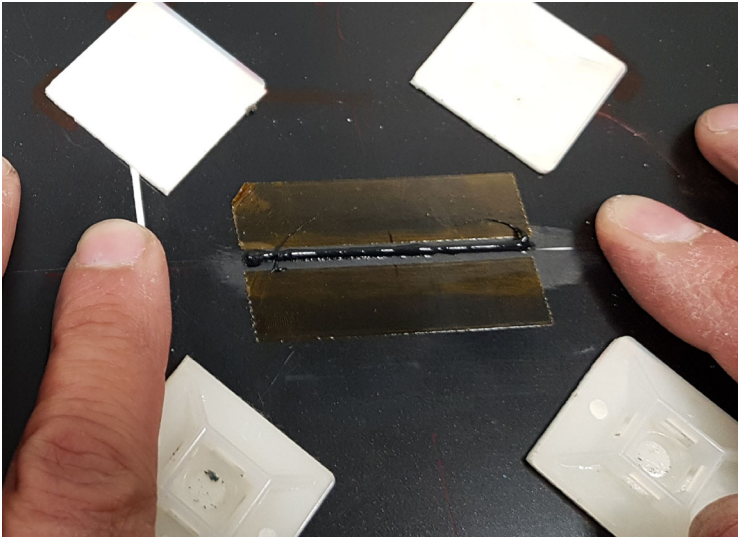


Abb. 2.14 Rollen der Faser im Klebstoff

- ▶ Mit einem nichtmetallischen Spatel oder einem ähnlichen flachen Werkzeug den Klebstoff in einer durchgehenden Bewegung in eine Richtung entlang der Aussparung verteilen. Die Bewegung sollte ohne Unterbrechung von einem Ende bis zum anderen ausgeführt werden. In diesem Schritt wird der Klebstoff über die gesamte Fläche der Aussparung verteilt und überschüssiger Klebstoff an den Seiten wird entfernt.

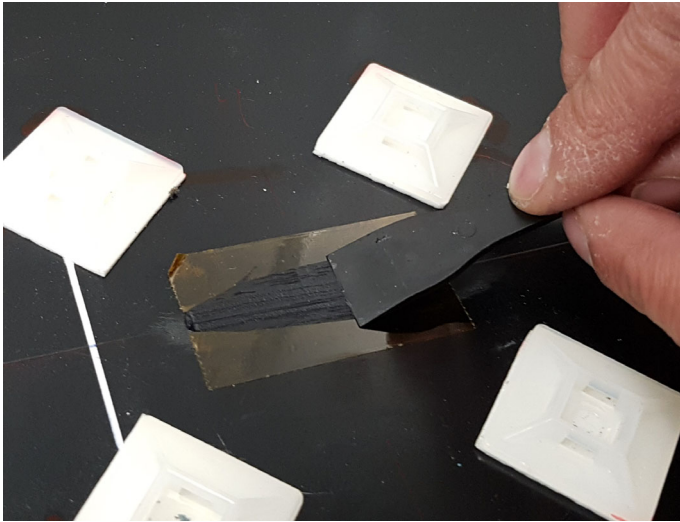


Abb. 2.15 Verteilen des Klebstoffs mit einem Spatel

- Ein Stück Polyimid-Klebeband über dem FBG und dem Klebstoff anbringen.

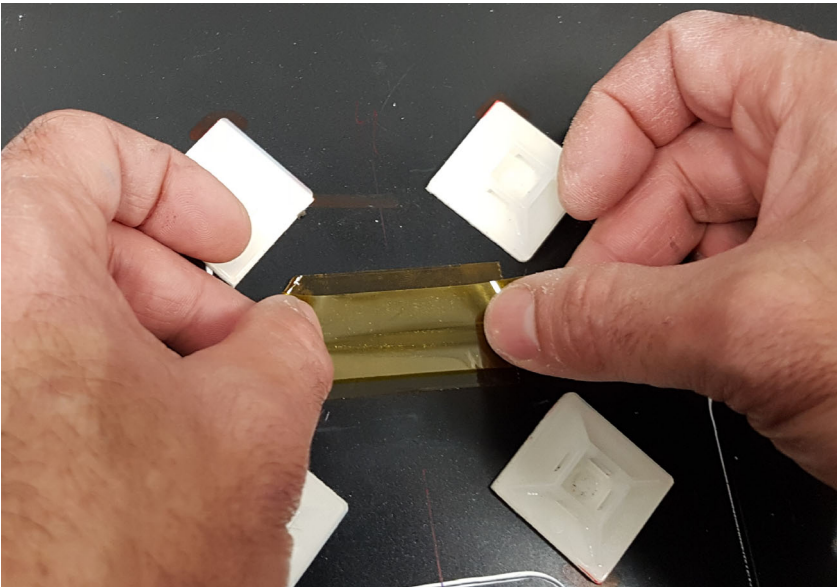


Abb. 2.16 Anbringen eines neuen Stücks Polyimid-Klebeband

- ▶ Das Verteilen des Klebstoffs mit einem Spatel wiederholen, dieses Mal über dem Polyimid-Klebeband.

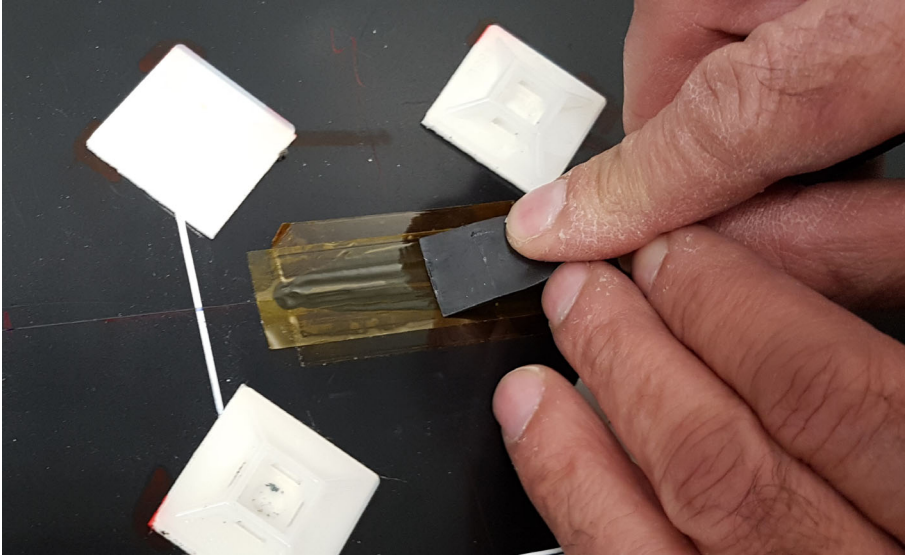


Abb. 2.17 Verteilen des Klebstoffs mit einem Spatel

- ▶ Die Faser noch einmal unter Spannung ausrichten und bei Bedarf das zur Befestigung dienende Klebeband nachjustieren.

i Information

Die Faser sollte zum Schluss in einer Geraden liegen und auf die gewünschte Messrichtung ausgerichtet sein.

- ▶ Ein Stück Gummi über die Klebefläche legen und unter Zuhilfenahme eines steifen Materials kontinuierlichen Druck ausüben.

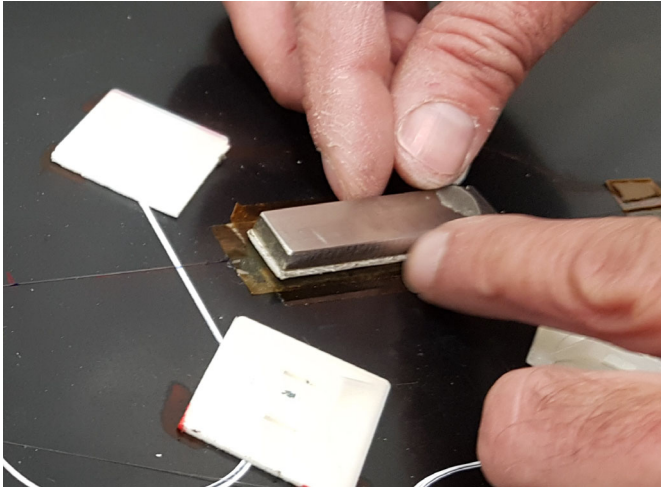


Abb. 2.18 Ausrichten von Gummi und steifem Hilfswerkzeug

- ▶ Den Druck 1 bis 2 Minuten aufrechterhalten.



Abb. 2.19 Einen gleichmäßigen Druck über das gesamte FBG ausüben.

- ▶ Danach das Hilfswerkzeug und den Gummi entfernen und die Faser an beiden Enden ziehen, um sicherzustellen, dass das FBG korrekt ausgerichtet ist. Die ursprünglich

angebrachten Klebebänder wieder anbringen, um die Faser in dieser gespannten Position zu sichern.

- ▶ Die Schritte zum Verteilen des Klebstoffs mit einem Spatel und Ausüben des Drucks noch einmal 1 bis 2 Minuten mit den aufliegenden Schichten aus Gummi und Druckblock wiederholen.
- ▶ Warten, bis der Klebstoff vollständig ausgehärtet ist, dann die während des Klebevorgangs verwendeten Polyimid-Klebebänder entfernen.



Information

Bei Raumtemperatur benötigt der empfohlene Klebstoff DP490 24 Stunden zum Aushärten. Hinweise zu anderen Aushärtetemperaturen sind der Anleitung des Lieferanten zu entnehmen.

2.5 Schützen des Faserwegs

Zwischen FBGs oder zwischen dem FBG und dem Übergang zum Kabel kann es wichtig sein, den Faserweg zu schützen. Ob dies notwendig ist und wie die Lösung konkret aussieht, hängt von der Anwendung und den Umgebungsbedingungen ab.

2.5.1 Verwenden des Epoxidharzklebstoffs

Als eine Möglichkeit, die Faser zu schützen, kann der empfohlene Klebstoff DP490 verwendet werden. Im Folgenden wird die Verwendung eines Schaumstoffbands vorgeschlagen, das eine optisch ansprechendere Ausführung bietet.

- ▶ Eine Aussparung um den Faserweg mit einem Schaumstoffband von ca. 1 mm Dicke bilden (empfohlen wird TESA Powerbond).



Abb. 2.20 Mit Schaumstoffband gebildete Aussparung entlang der Faser (optional).

- ▶ Den Epoxidharzklebstoff entlang des Wegs auftragen.
- ▶ Die Klebstoffoberfläche mit einem Spatel glätten und die volle Breite der Aussparung durch leichten Druck gegen das Schaumstoffband in einer durchgehenden Bewegung in nur eine Richtung füllen.



Abb. 2.21 Verteilen des Klebstoffs mit einem Spatel

Ca. 2 Stunden warten.

- ▶ Die roten Schutzfolien von den Bändern abziehen (optional). Dies sorgt für eine optisch ansprechendere Ausführung.

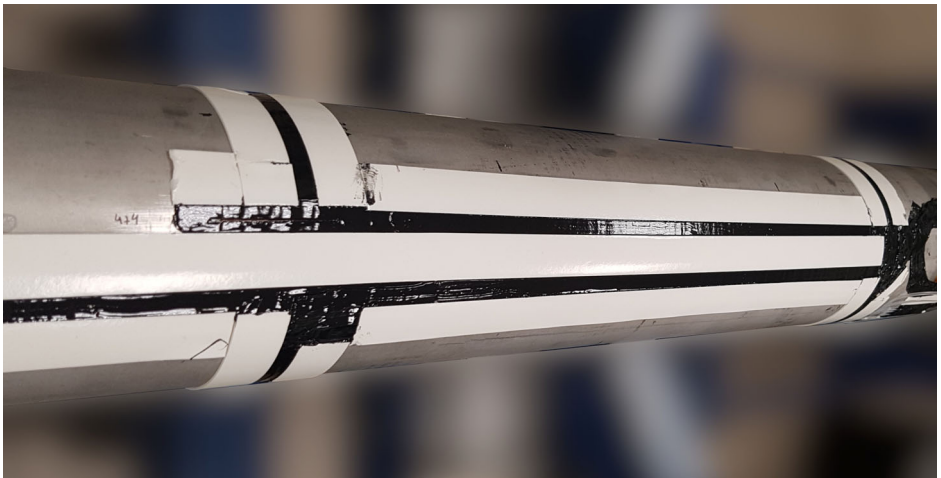


Abb. 2.22 Rote Schutzfolie ist abgezogen

Warten, bis der Klebstoff ausgehärtet ist.

► Die Schaumstoffbänder entfernen.

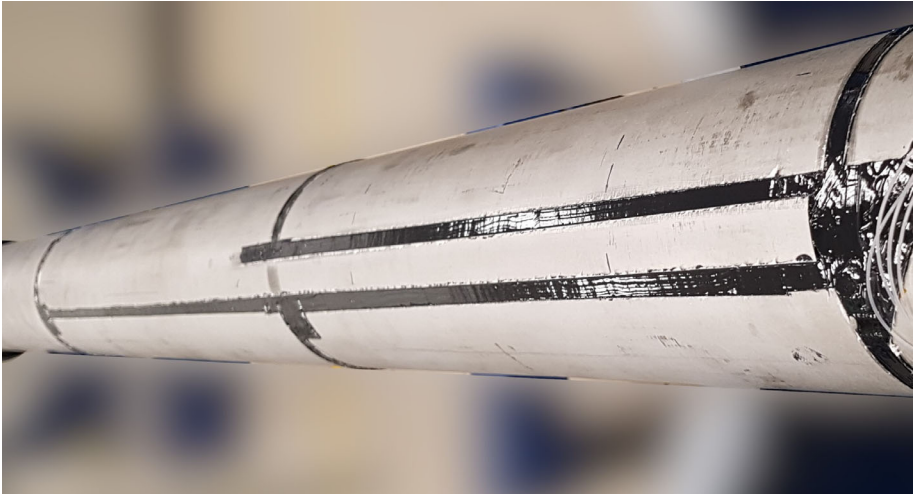


Abb. 2.23 Fertiggestellter Schutz

2.6 Führen und Schützen der Kabel

Der Sensor FS70FBG kann mit oder ohne Kabel sowie mit unterschiedlichen Kabeltypen geliefert werden.

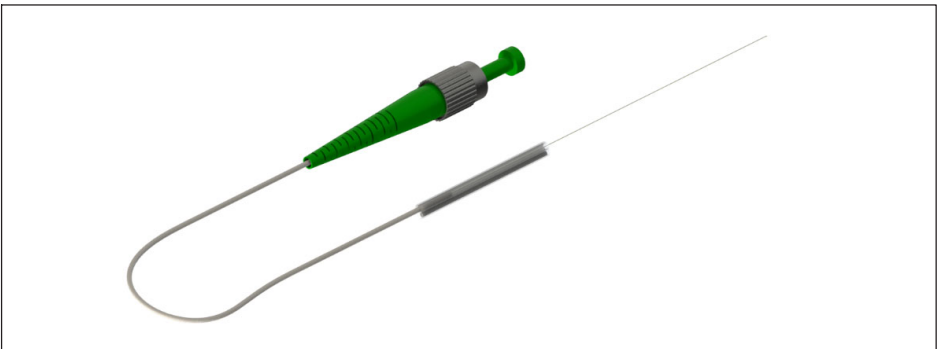


Abb. 2.24 Ausführung mit einem Kabel mit Kunststoff-Gewebeschauch

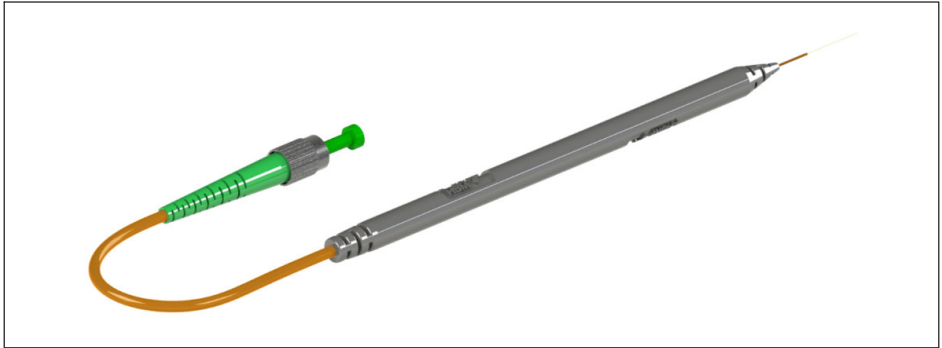


Abb. 2.25 Ausführung mit Aramid-Kabel

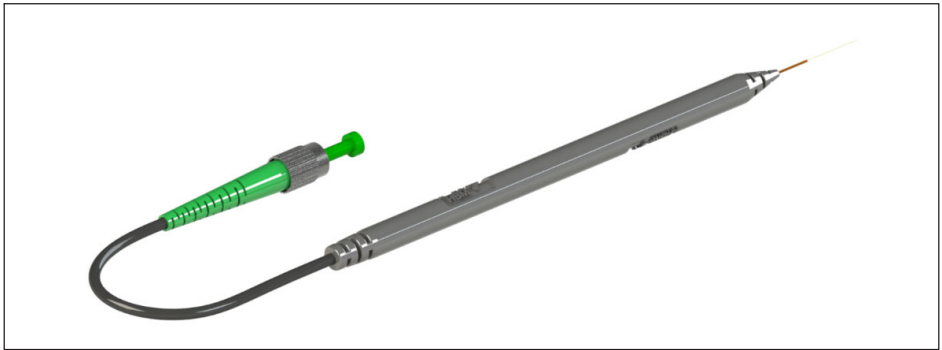


Abb. 2.26 Ausführung mit Panzerkabel

Bei der Kabelführung ist darauf zu achten, dass die Kabel nicht durchhängen und Biegungen innerhalb der für das verwendete Kabel geltenden Grenzwerte bleiben. Das Kabel sollte beispielsweise mit Klemmen oder starkem Klebeband befestigt werden. Auch der Schutz an allen Spleißstellen muss gut fixiert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Steifigkeiten ist die durch einen Spleiß gebildete Schnittstelle am FS70FBG relativ empfindlich. Dies gilt insbesondere für die Kabel mit 3 mm Durchmesser (Aramid- oder Panzerkabel).

3.1 Dehnung

Dehnungssensoren sind nicht kalibrierte Sensoren. Das zusammen mit dem Sensor ausgelieferte Datenblatt enthält die Sensordaten, die für die korrekte Berechnung der Dehnung benötigt werden.

Für Dehnungssensoren mit Faser-Bragg-Gitter ist die Wellenlängenänderung, einschließlich Temperatureffekt, durch die Gleichung in *Abb. 3.1* gegeben.

$$\frac{(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0} = k \cdot (\varepsilon_{Load} + (TCS + CTE) \cdot (T - T_0)) \cdot 10^{-6}$$

Abb. 3.1 Wellenlängenänderung eines FBG-Dehnungssensors durch Dehnung und Temperatureffekte

Mit

- λ gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors in nm
- λ_0 gleich der Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors zum Referenzzeitpunkt in nm
- k gleich dem k-Faktor des Dehnungssensors, dimensionslos
- ε_{Load} gleich der auf die Struktur angewendeten mechanischen Dehnung in $\mu\text{m}/\text{m}$
- TCS gleich dem Temperaturkoeffizienten des Kennwerts des Dehnungssensors in $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$
- CTE gleich der Wärmeausdehnung des Werkstoffs der Probe, an der der Dehnungssensor befestigt ist, in $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$
- $T - T_0$ gleich der Temperaturänderung zwischen dem Referenzzeitpunkt und dem Messzeitpunkt in $^\circ\text{C}$

Messung ohne Kompensation

Wenn keine Temperaturkompensation erforderlich ist, kann die Berechnung so erfolgen, wie in *Abb. 3.2* gezeigt.

$$\varepsilon = \frac{(\lambda - \lambda_0)}{k \cdot \lambda_0} \cdot 10^6$$

Abb. 3.2 Berechnungsformel für die Dehnung ohne Temperaturkompensation

Mit

- ε gleich der gemessenen Dehnung in $\mu\text{m}/\text{m}$

- λ gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors in nm
- λ_0 gleich der Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors zum Referenzzeitpunkt in nm
- k gleich dem k-Faktor des Dehnungssensors, dimensionslos

Messung mit Temperaturkompensation bei Verwendung eines Temperatursensors

Die Dehnung mit Kompensation, angegeben in $\mu\text{m}/\text{m}$, die mit einem Temperatursensor ermittelt wird, lässt sich unkompliziert berechnen, da der Ausgang eines Temperatursensors ein Temperaturwert in $^{\circ}\text{C}$ ist. Die Berechnung ist in *Abb. 3.3* dargestellt.

$$\varepsilon_{Load} = \frac{(\lambda - \lambda_0)}{k \cdot \lambda_0} \cdot 10^6 - (TCS + CTE)(T - T_0)$$

Abb. 3.3 Dehnungsberechnung mit Temperaturkompensation bei Verwendung eines Temperatursensors

Mit

- ε_{Load} gleich der auf die Struktur angewendeten mechanischen Dehnung in $\mu\text{m}/\text{m}$
- λ gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors in nm
- λ_0 gleich der Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors zum Referenzzeitpunkt in nm
- k gleich dem k-Faktor des Dehnungssensors, dimensionslos
- TCS gleich dem Temperaturkoeffizienten des Kennwerts des Dehnungssensors in $(\mu\text{m}/\text{m})/^{\circ}\text{C}$
- CTE gleich der Wärmeausdehnung des Werkstoffs der Probe, an der der Dehnungssensor befestigt ist, in $(\mu\text{m}/\text{m})/^{\circ}\text{C}$
- T gleich der gemessenen Temperatur des verwendeten Temperatursensors in $^{\circ}\text{C}$
- T_0 gleich der Temperatur vom Temperatursensor zum Referenzzeitpunkt in $^{\circ}\text{C}$

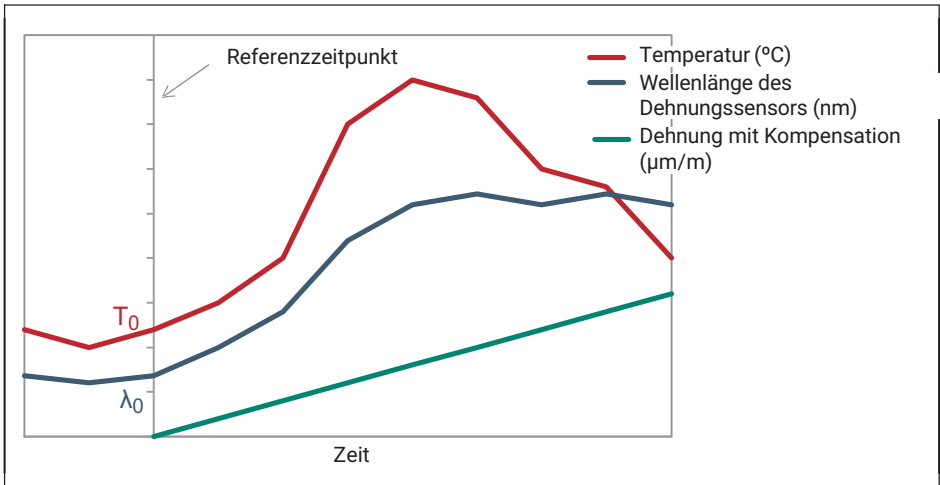


Abb. 3.4 Referenzzeitpunkt für temperaturkompensierte Dehnungsmessung bei Verwendung eines Temperatursensors für die Kompensation

Messung mit Temperaturkompensation bei Verwendung eines Kompensationselements

Die Dehnungsmessung kann auch mithilfe eines auf FBG-Technologie basierenden Kompensationselements korrekt angepasst werden. Hierfür gibt es mehrere Vorgehensweisen:

- ein Temperatursensor ohne Kalibrierzertifikat
- ein Dehnungssensor, der auf einer dehnungsfreien Fläche des gleichen Werkstoffs installiert wird
- ein Dehnungssensor, der auf einem dehnungsfreien Werkstoff mit bekannter CTE installiert wird

Die Dehnung kann mit der Gleichung aus Abb. 3.5 berechnet werden.

$$\varepsilon_{Load} = \frac{\lambda - \lambda_0}{k \cdot \lambda_0} \cdot 10^6 - \frac{\lambda_{Tc} - \lambda_{0Tc} (TCS + CTE)}{\lambda_{0Tc} TCF}$$

Abb. 3.5 Dehnungsberechnung mit Temperaturkompensation bei Verwendung eines FBG-Kompensationselements

Mit

- ε_{Load} gleich der auf die Struktur angewendeten mechanischen Dehnung in $\mu\text{m/m}$
- λ gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors in nm
- λ_0 gleich der Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors zum Referenzzeitpunkt in nm

- k gleich dem k-Faktor des Dehnungssensors, dimensionslos
- λ_{TC} gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Kompensationselements in nm
- λ_{0TC} gleich der Bragg-Wellenlänge des Kompensationselements zum Referenzzeitpunkt in nm
- TCS gleich dem Temperaturkoeffizienten des Kennwerts des Dehnungssensors in $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$
- CTE gleich der Wärmeausdehnung des Werkstoffs der Probe, an der der Dehnungssensor befestigt ist, in $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$
- TCF gleich dem Temperaturkompensationsfaktor des Kompensationselements in $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$. Für einen unkalibrierten Temperatursensor wird der Wert auf dem Datenblatt des Sensors angegeben. Für einen Dehnungssensor, der an einem bestimmten Werkstoff angebracht wird, kann TCF so berechnet werden, wie in Abb. 3.6 dargestellt.

$$TCF = (5,7 + k \cdot CTE_{TC})$$

Abb. 3.6 Berechnung des Temperaturkompensationsfaktors

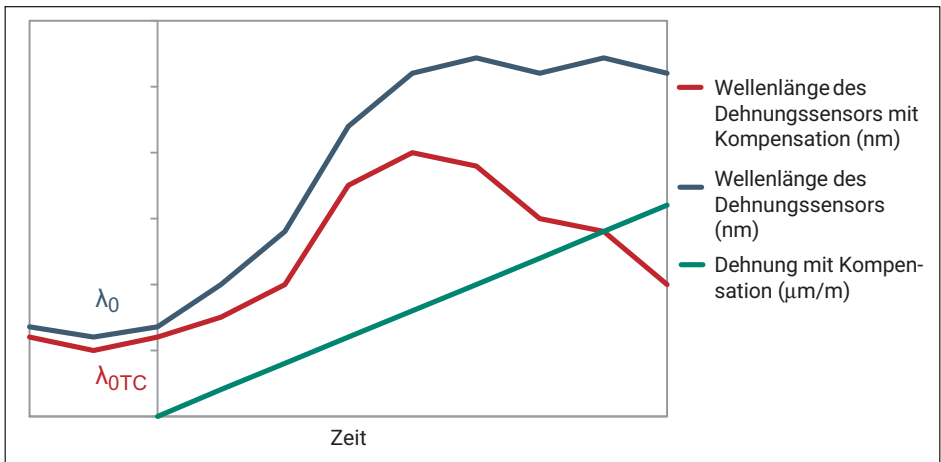


Abb. 3.7 Referenzzeitpunkt für temperaturkompensierte Dehnungsmessung bei Verwendung eines FBG-Kompensationselements

Messung mit Korrektur des Biegemoments

Wenn ein Element mit einem Sensor gemessen wird, der weit von der Befestigungsfläche entfernt ist, kann es zu einem „Fehler“ in der Messung kommen, weil der Abstand zwischen der Messstelle/Ausrichtung und der neutralen Achse ein anderer ist als der Abstand zwischen der Installationsfläche und der neutralen Achse.

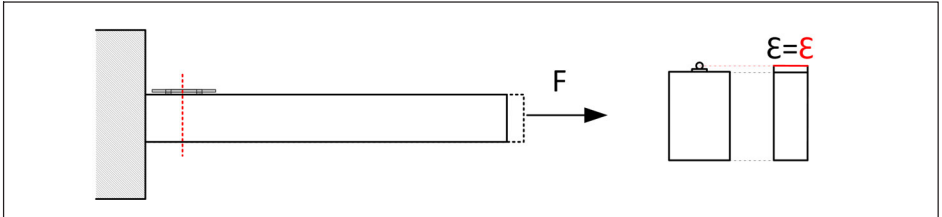


Abb. 3.8 Dehnung bei rein axialer Verformung

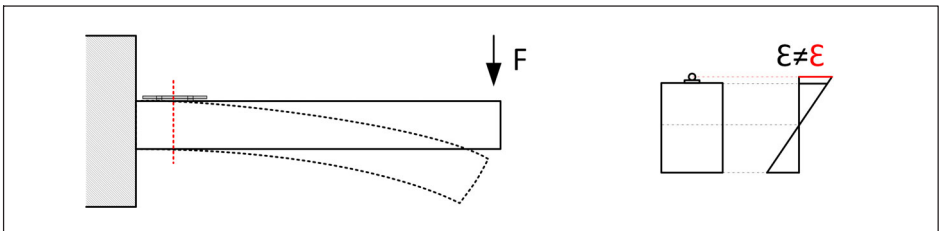


Abb. 3.9 Dehnung bei reinem Biegemoment

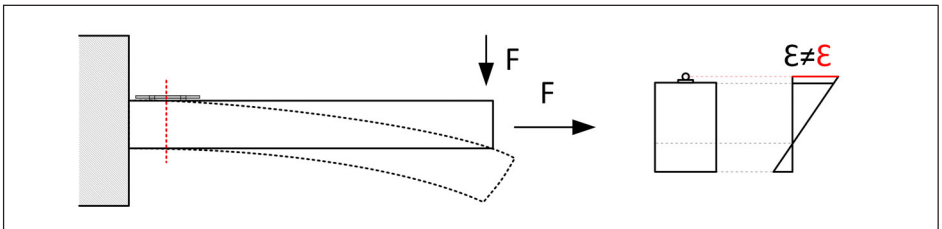


Abb. 3.10 Dehnung bei axialer Belastung und Biegemoment

Dies wird sehr wichtig, wenn es auf den Abstand zwischen dem Sensorelement und der Befestigungsfläche ankommt oder wenn das Messobjekt sehr dünn ist. Beim Array aus freiliegenden FBGs FS70FBG beträgt dieser Abstand 0,095 mm (h_2 in Abb. 3.11).

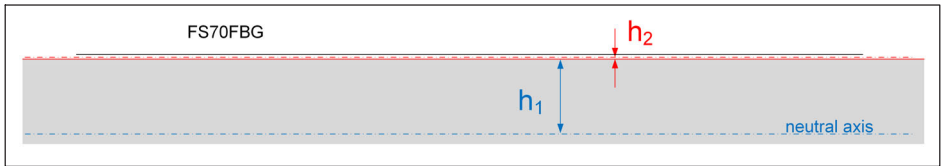


Abb. 3.11 Abstand des FBG zur Montagefläche beim FS70FBG

Wenn jedoch der Abstand zur neutralen Achse (h_1) bekannt ist, kann die vom Sensor gemessene Dehnung mithilfe eines geometrischen Faktors in die Dehnung auf der Oberfläche korrigiert werden:

$$\varepsilon_{\text{Oberfläche}} = \frac{\lambda - \lambda_0}{k \cdot \lambda} \cdot \frac{h_1}{h_2 + h_1} \cdot 10^6$$

Abb. 3.12 Dehnungsberechnung mit Korrektur des Biegeeffekts

Mit

- $\varepsilon_{\text{Oberfläche}}$ gleich der mechanischen Dehnung auf der Messfläche in $\mu\text{m/m}$
- λ gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors in nm
- λ_0 gleich der Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors zum Referenzzeitpunkt in nm
- k gleich dem k-Faktor des Dehnungssensors, dimensionslos
- h_1 gleich dem Abstand von der Messfläche zur neutralen Achse in mm
- h_2 gleich dem Abstand von der Messfläche zum FBG in mm (0,095 mm für den FS70FBG)

