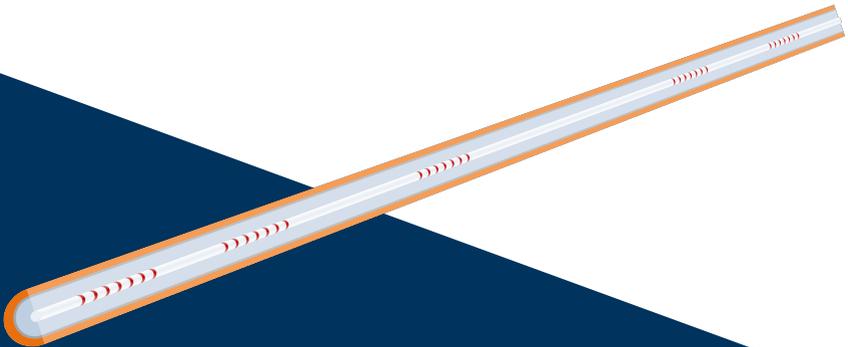


DEUTSCH

## Montageanleitung



# FS70PKF

Array aus FBGs in PEEK-beschichteter Faser

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

Mat.:  
DVS: A05510 02 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

---

<b>1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Sensorinstallation</b> .....	<b>5</b>
2.1	Materialliste .....	5
2.2	Vorbereitung der Installationsfläche .....	6
2.3	Kennzeichnen der Messstelle .....	7
2.4	Aufkleben des Sensors mit Epoxidharzklebstoff .....	9
2.4.1	Begrenzen des Klebebereichs (optional) .....	9
2.4.2	Auftragen des Klebstoffs .....	9
2.4.3	Endbearbeitung der Klebstoffoberfläche (optional) .....	13
2.4.4	Aushärten des Klebstoffs .....	13
2.5	Schutz des Sensors .....	14
2.6	Führen und Schützen der Faser .....	15
2.7	Führen und Schützen der Kabel .....	17
<b>3</b>	<b>Sensorkonfiguration</b> .....	<b>20</b>
3.1	Dehnung .....	20

# 1 ALLGEMEINES

---

Die folgende Anleitung beschreibt das Installationsverfahren für das Array aus FBGs in einer PEEK-beschichteten Faser FS70PKF.

Bestellinformationen
K-FS70PKF

## 2 SENSORINSTALLATION

### 2.1 Materialliste

Im Lieferumfang enthaltenes Material
FS70PKF Array aus FBGs in PEEK-beschichteter Faser

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 Empfohlenes Produkt von Drittanbietern: DP490 von 3M
Klebstoff (für Zugentlastung – optional) Empfehlung von HBK: 1-X60
Schutz Empfehlung von HBK: 1-ABM75 und/oder 1-AK22
Abgerundete Pinzette
Montageband (optional) Empfohlen: TESA POWERBOND 5MX19MM
Kleiner Spatel (optional)

## 2.2 Vorbereitung der Installationsfläche

Vor dem Installieren der Faser FS70PKF muss zunächst die Oberfläche des Messobjekts gereinigt und Unebenheiten müssen ausgeglichen werden.



Abb. 2.1 Besprühen der Messstelle mit 1-RMS-SPRAY

- ▶ Den Bereich um die Messstelle sorgfältig reinigen. Dazu das Reinigungsmittel RMS1 und Vliesstoff-Pads verwenden.

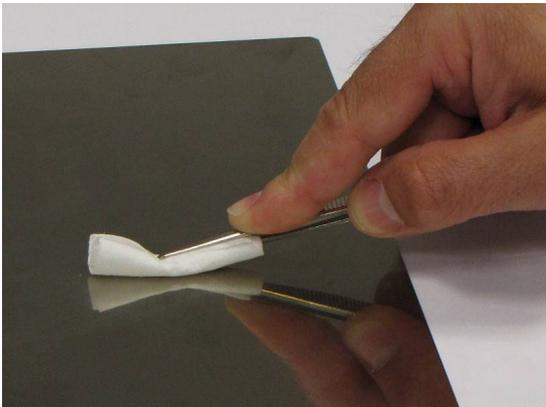


Abb. 2.2 Sorgfältiges Reinigen der Messstelle mit einem Vliesstoff-Pad

- ▶ Wiederholte lineare Bewegungen ausführen, immer in dieselbe Richtung.



Abb. 2.3 *Aufrauen der Oberfläche des Messobjekts*

- ▶ Die Oberfläche um die Messstelle mit Schleifpapier aufrauen.



Abb. 2.4 *Reinigen der aufgerauten Installationsfläche*

- ▶ Die aufgeraute Installationsfläche erneut mit RMS1 und Vliesstoffpads reinigen.

## 2.3 Kennzeichnen der Messstelle

Die Ausrichtung des FBG festlegen. Dabei die Messrichtung berücksichtigen. Das FBG wird zentriert zwischen den beiden dunklen Markierungen positioniert.

Der folgende Schritt ist besonders wichtig, da die Positionierung der Faser die Messrichtung vorgibt.

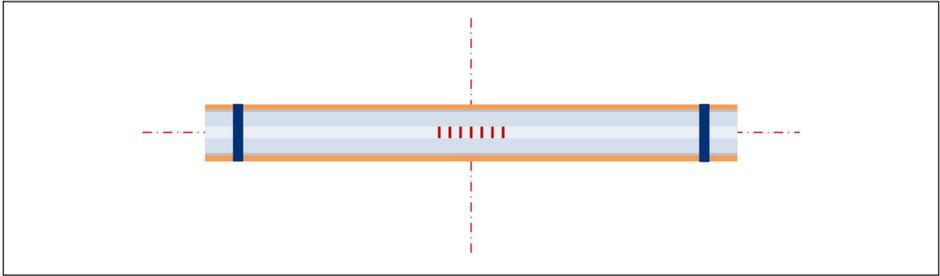


Abb. 2.5 Ausrichtmarkierungen des FBG

Idealerweise wird zum Anzeichnen der Installationsstelle eine leere Kugelschreibermine verwendet. Die Länge der Hilfslinie sollte ca. 10 cm in Messrichtung betragen. Eine ca. 2 cm lange vertikale Hilfslinie muss von der Mitte der Messstelle aus gezeichnet werden (Abb. 2.6).



Abb. 2.6 Anzeichnen der Hilfslinien

Nachdem der Bereich angezeichnet ist, muss die Installationsstelle sehr gründlich gereinigt werden (Abb. 2.7).



### Wichtig

Für jedes erneute Abwischen jedes Mal ein neues Vliesstoff-Pad verwenden, um eine erneute Verunreinigung der Messstelle zu vermeiden. Die Reinigung ist abgeschlossen, wenn keine Rückstände mehr auf dem Vliesstoff-Pad zu erkennen sind.



Abb. 2.7 Abschließendes Reinigen der Installationsstelle

## 2.4 Aufkleben des Sensors mit Epoxidharzklebstoff

### 2.4.1 Begrenzen des Klebbereichs (optional)

Für ein optisch ansprechenderes Endergebnis empfiehlt es sich, um den Klebbereich einen Rahmen aus Montageband (empfohlen: TESA Powerband) zu legen.



Abb. 2.8 Kleberahmen aus Montageband (optional)

### 2.4.2 Auftragen des Klebstoffs

Den Klebstoff (empfohlen wird DP490 von 3M) gleichmäßig über eine Länge von mindestens 90 mm entlang der Hilfslinie und zentriert auf das angezeichnete Kreuz auftragen. Beim Auftragen muss die Mischdüse senkrecht zur Fläche gehalten werden (Abb. 2.9).

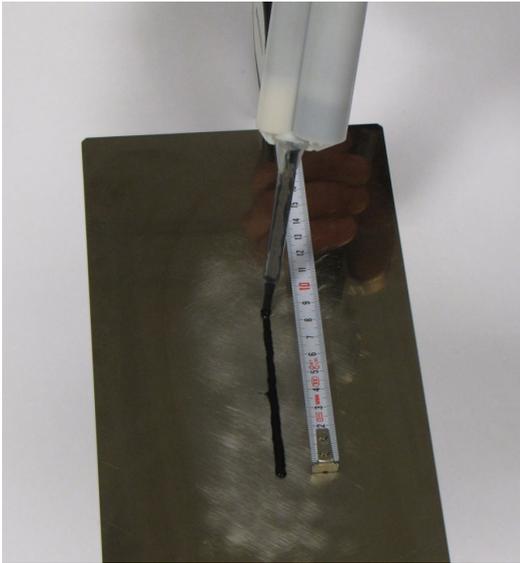


Abb. 2.9 Auftragen des Epoxidharzklebstoffs

- ▶ Die Faser mit beiden Händen leicht spannen, damit sie möglichst gerade ist.
- ▶ Die Faser an der angezeichneten Messrichtung und dem auf das Hilfslinienkreuz zentrierten FBG-Bereich ausrichten.
- ▶ Die Faser zum Klebstoff bewegen.

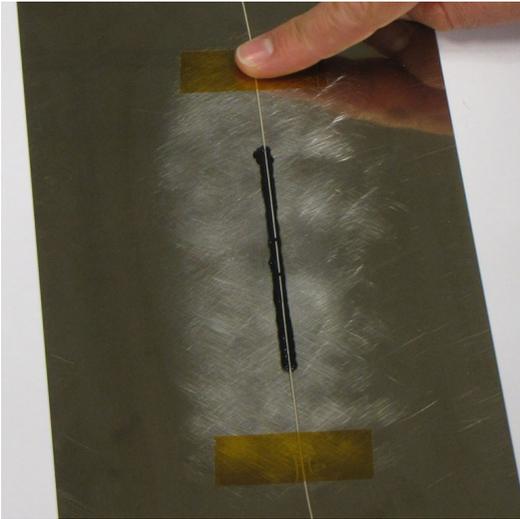


Abb. 2.10 Befestigen der Faser mit eingebettetem optischen Sensor FS70PKF

- ▶ Die Faser in dieser Position mit einem Klebestreifen (empfohlen: Polyimid-Klebeband 1-KLEBEBAND) auf jeder Seite des Klebebereichs fixieren (Abb. 2.10).

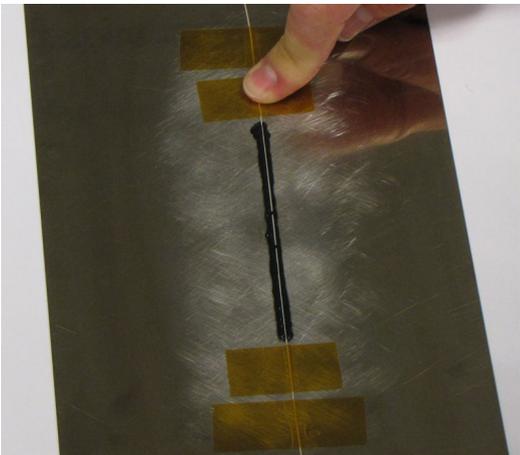


Abb. 2.11 Anbringen von zwei weiteren Klebestreifen an den Enden der Verklebung

- ▶ Zwei weitere Klebestreifen direkt am Ende des Klebebereichs anbringen (Abb. 2.11).

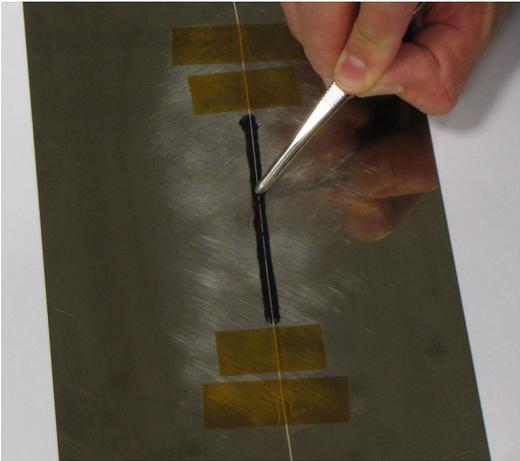


Abb. 2.12 Andrücken der Faser mit optischem Sensor FS70PKF mit einer abgerundeten Pinzette

- ▶ Die Glasfaser mit der abgerundeten Pinzette vorsichtig in den Epoxidharzklebstoff drücken, sodass die Faser vollständig in den Klebstoff eingebettet ist und die Faser dabei möglichst nahe an der Bauteiloberfläche bleibt (Abb. 2.12).

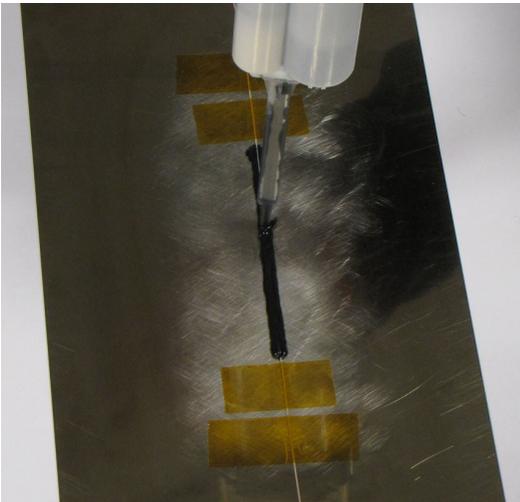


Abb. 2.13 Abdecken der Glasfaser mit dem Epoxidharzklebstoff

- ▶ Über der eingebetteten Faser eine zweite Schicht des Klebstoffs auftragen, sodass die Faser vollständig bedeckt ist. Zur Vermeidung von Lufteinschlüssen die Mischdüse nahe über der Faser und senkrecht zur Bauteiloberfläche bewegen (Abb. 2.13).

### 2.4.3 Endbearbeitung der Klebstoffoberfläche (optional)

Wenn ein Kleberahmen gelegt wurde, kann die Oberfläche des Klebebereichs durch Überstreichen des Klebebereichs mit einem Spatel nivelliert werden. Das Montageband dient dazu als Führung.

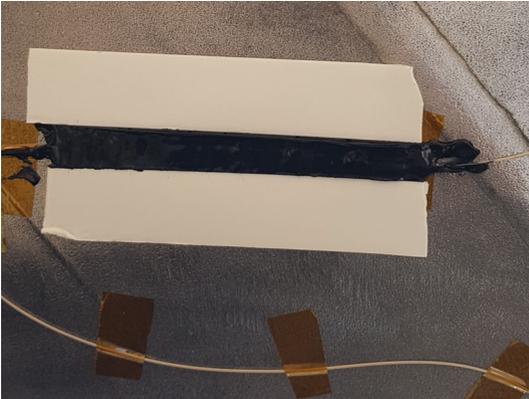


Abb. 2.14 Glätten des Klebebereichs (optional)

- ▶ Eine gerade Fläche des Spatels mit einer kleinen Neigung zur Mitte des Sensors an einem Ende des Klebebereichs leicht auf das Montageband drücken.
- ▶ Den Spatel in einer Richtung langsam über die gebildete Nut ziehen.

### 2.4.4 Aushärten des Klebstoffs

Den Klebstoff aushärten lassen, erst danach mit den Messungen beginnen. Bei Umgebungstemperaturen benötigt der empfohlene Klebstoff relativ viel Zeit zum Aushärten (bei 20 °C [68 °F] beträgt die Aushärtezeit 40 Stunden), bei höheren Temperaturen kann dies jedoch deutlich verkürzt werden (Aushärtezeit von 2 Stunden bei 65 °C [149 °F]). Das heißt, sofern nötig und möglich, sollte der Vorgang durch Wärme beschleunigt werden.

Weitere Informationen zu den Merkmalen des Klebstoffs sind der zugehörigen Dokumentation zu entnehmen.

## 2.5 Schutz des Sensors

Der empfohlene DP490 bildet eine Beschichtung, die dem Sensorbereich einen gewissen Schutz bietet. Ein zusätzlicher Schutz von Sensor und Klebstoff vor Feuchtigkeit oder mechanischer Beschädigung kann jedoch durchaus sinnvoll sein.

- ▶ Das Montageband vom Sensorbereich abziehen.



Abb. 2.15 Klebebereich nach dem Entfernen des Bands



Abb. 2.16 Schützen des Sensors mit AK22

- ▶ Eine Schicht Abdeckmittel AK22 (knetbarer Kitt) auf den Sensor auftragen und gegen die Bauteiloberfläche drücken.
- ▶ Den Bereich mit ABM75 abdecken.



Abb. 2.17 Schützen mit ABM75

## 2.6 Führen und Schützen der Faser

Die Faserlänge des FS70PKF zwischen den FBG-Positionen sollte sorgfältig so verlegt werden, dass Kurven nicht enger sind als laut den technischen Daten zulässig.

Da die Länge zwischen den FBGs nicht geändert werden kann, muss überschüssige Faserlänge möglicherweise in einer Windung gelegt werden.



Abb. 2.18 Windung aus überschüssiger Faserlänge

Eine einfache und wirksame Möglichkeit, die Faser zwischen Messstellen zu schützen, besteht darin, sie mit dem Epoxidharzklebstoff abzudecken.

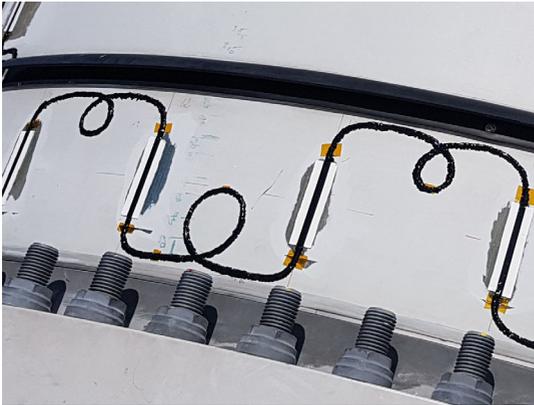


Abb. 2.19 Schützen überschüssiger Faserlänge mit Epoxidharzklebstoff (optional)

► Eine Deckschicht aus Epoxidharz auf die Faser auftragen (optional).

Falls kein weiterer Schutz der Faser erforderlich ist, wird empfohlen, eine Zugentlastung nahe am Sensorbereich anzubringen.

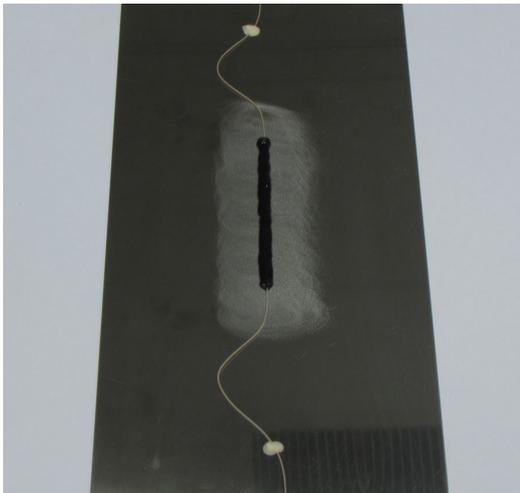


Abb. 2.20 Zugentlastung für die Faser FS70PKF

► Die Faser an den Enden des Klebebereichs in einer sanften Kurve legen und die Fasern mit einem schnell aushärtender Klebstoff (z. B. Klebstoff X60) an der Bauteiloberfläche befestigen.

## 2.7 Führen und Schützen der Kabel

Der Sensor FS70PKF kann mit oder ohne Kabel sowie mit unterschiedlichen Kabeltypen geliefert werden.

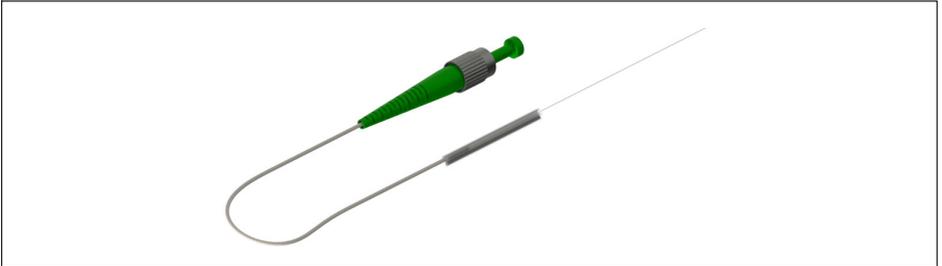


Abb. 2.21 Ausführung mit einem Kabel mit Kunststoff-Gewebeslauch

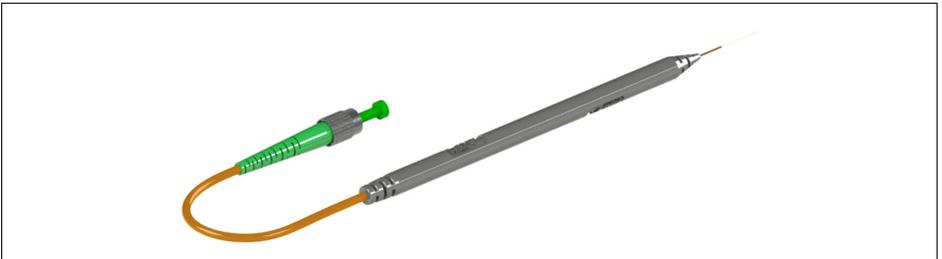


Abb. 2.22 Ausführung mit Aramid-Kabel

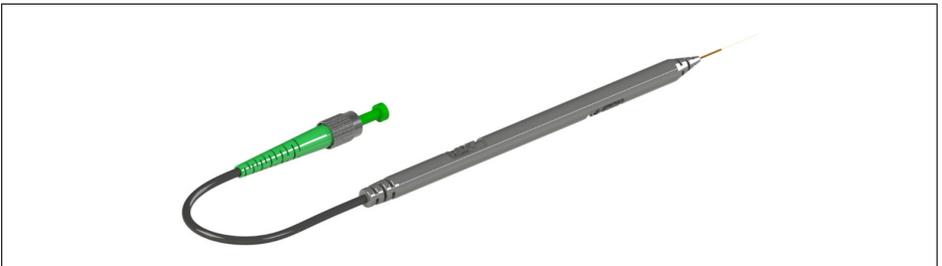


Abb. 2.23 Ausführung mit Panzerkabel

Das Sensorkabel sollte so geführt werden, dass es an keiner Stelle frei durchhängt. Das Kabel sollte beispielsweise mit Kunststoffklemmen befestigt werden (Abb. 2.24).

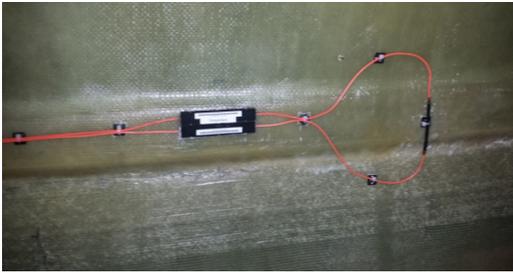


Abb. 2.24 Mit Kunststoffklemmen befestigtes Kabel

Für die Führung der längeren Verbindungskabel zum Anschluss an den Interrogator können auch Wellrohre aus Kunststoff verwendet werden (Abb. 2.25).



Abb. 2.25 Mit Wellrohren geschütztes Kabel

Nicht benötigte Kabellängen sollten aufgewickelt und in einem Gehäuse mit geeigneter IP-Schutzart zur Verwendung bei Wartungsarbeiten am Netzwerks aufbewahrt werden (Abb. 2.26).



Abb. 2.26 Schutzgehäuse für nicht benötigte Kabel und Anschlüsse

Auch der Schutz an allen Spleißstellen muss gut fixiert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Steifigkeiten ist die Schnittstelle am Spleiß zwischen der PEEK-Faser und dem Schutz der Spleißstelle relativ empfindlich. Dies gilt insbesondere für die Kabel mit 3 mm Durchmesser (Aramid- oder Panzerkabel).

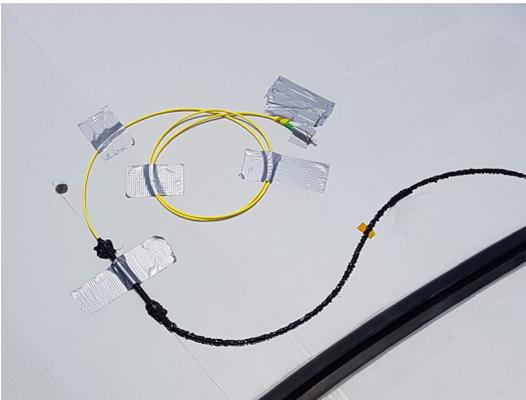


Abb. 2.27 Schutz einer verklebten Spleißstelle

### 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

- $\lambda$  gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors in nm
- $\lambda_0$  gleich der Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors zum Referenzzeitpunkt in nm
- $k$  gleich dem k-Faktor des Dehnungssensors, dimensionslos
- $\varepsilon_{Load}$  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

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

- $\lambda$  gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors in nm
- $\lambda_0$  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

- $\varepsilon_{Load}$  gleich der auf die Struktur angewendeten mechanischen Dehnung in  $\mu\text{m}/\text{m}$
- $\lambda$  gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors in nm
- $\lambda_0$  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  $^{\circ}\text{C}$

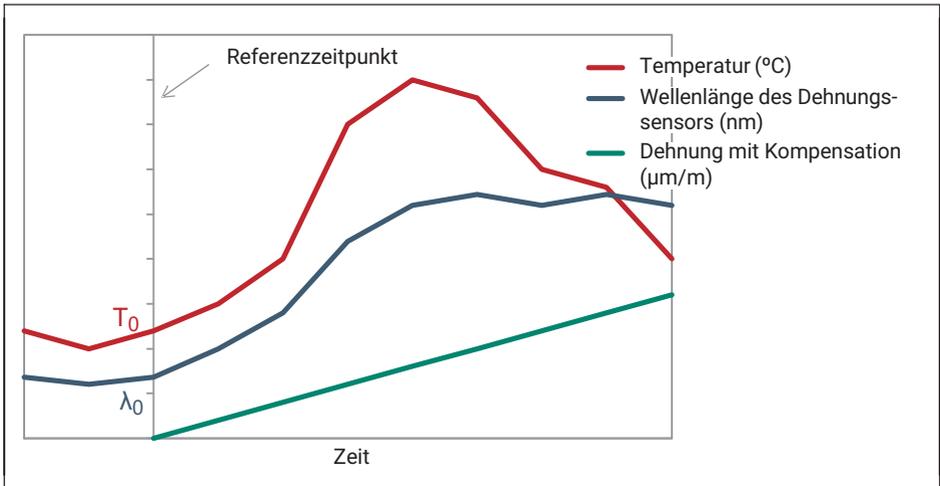


Abb. 3.4 Referenzzeitpunkt für temperaturkompensierte Dehnungsmessung bei Verwendung eines Temperatursensors für die Kompensation

### 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.

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

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

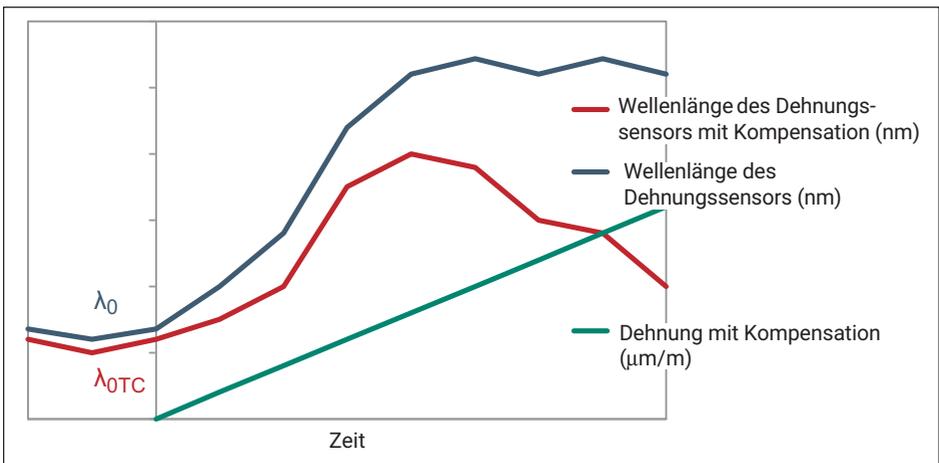
Mit

- $\epsilon_{Load}$  gleich der auf die Struktur angewendeten mechanischen Dehnung in µm/m
- $\lambda$  gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors in nm
- $\lambda_0$  gleich der Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors zum Referenzzeitpunkt in nm

- $k$  gleich dem k-Faktor des Dehnungssensors, dimensionslos
- $\lambda_{TC}$  gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Kompensationselements in nm
- $\lambda_{0TC}$  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.

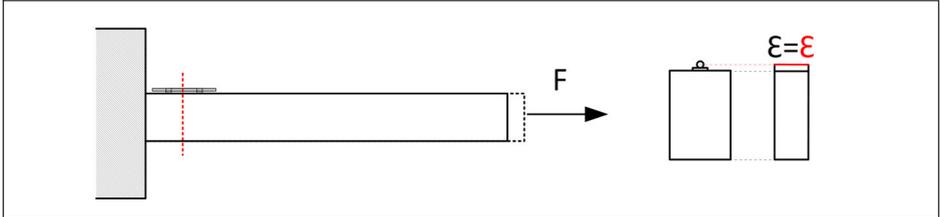


Abb. 3.8 Dehnung bei rein axialer Verformung

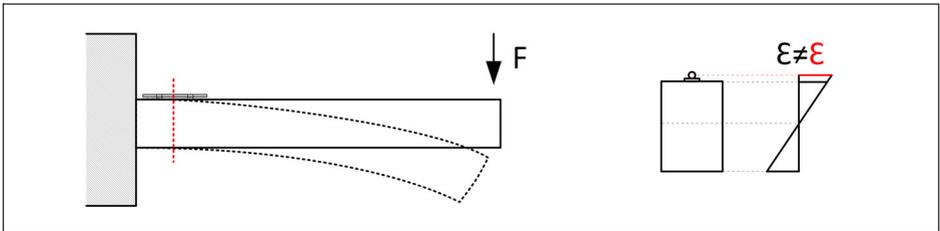


Abb. 3.9 Dehnung bei reinem Biegemoment

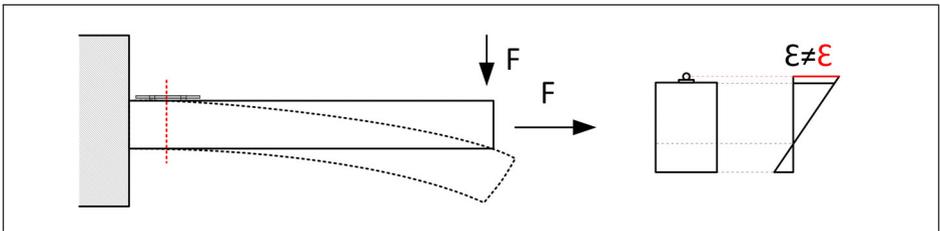


Abb. 3.10 Dehnung bei axialer Belastung und Biegemoment

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 FBGs in PEEK-beschichteter Faser FS70PKF beträgt dieser Abstand 0,35 mm ( $h_2$  in Abb. 3.11).

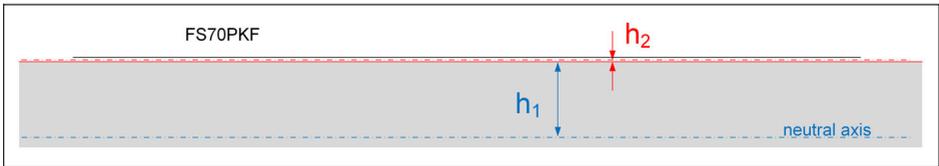


Abb. 3.11 Abstand des FBG zur Montagefläche beim FS70PKF

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  $\mu\text{m/m}$
- $\lambda$  gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Dehnungssensors in nm
- $\lambda_0$  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 (0,35 mm für den FS70PKF)

