

DEUTSCH

## Montageanleitung



## FS62CSS, FS63CTS

Verbundwerkstoff-Dehnungs- und  
-Temperatursensoren

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: A05022 02 G00 00  
07.2022

© 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 .....	5
2.3	Kennzeichnen der Messstelle .....	7
2.4	Positionieren und Kleben des Sensors .....	9
2.5	Führen und Schützen der Kabel .....	10
2.6	Schutz des Sensors .....	11
<b>3</b>	<b>Sensorkonfiguration</b> .....	<b>12</b>
3.1	Dokumentation zu den Sensoren .....	12
3.2	Berechnung der Messung .....	12
3.2.1	Temperatur .....	12
3.2.2	Dehnung .....	12

# 1 ALLGEMEINES

Die folgende Anleitung beschreibt das Installationsverfahren von FS62CSS Verbundwerkstoff-Dehnungssensoren und FS63CTS Verbundwerkstoff-Temperatursensoren. Diese Sensoren können einzeln oder in werkseitig von HBK FiberSensing vormontierten Sensor-Arrays geliefert werden.

<b>Bestellinformationen</b>	
<b>Dehnungssensoren</b>	<b>Temperatursensoren</b>
K-FS62CSS	K-FS63CTS
1-FS62CSS-ARM/1510	1-FS63CTS-ARM/1515
1-FS62CSS-ARM/1520	1-FS63CTS-ARM/1525
1-FS62CSS-ARM/1530	1-FS63CTS-ARM/1535
1-FS62CSS-ARM/1540	1-FS63CTS-ARM/1545
1-FS62CSS-ARM/1550	1-FS63CTS-ARM/1555
1-FS62CSS-ARM/1560	1-FS63CTS-ARM/1565
1-FS62CSS-ARM/1570	1-FS63CTS-ARM/1575
1-FS62CSS-ARM/1580	1-FS63CTS-ARM/1585
1-FS62CSS-ARM/1590	1-FS63CTS-ARM/1595
<b>Sensor-Arrays</b>	
K-FS76ARD	K-FS76ARM

## 2 SENSORINSTALLATION

### 2.1 Materialliste

Im Lieferumfang enthaltenes Material
Verbundwerkstoff-Dehnungssensor(en) FS62CSS
Verbundwerkstoff-Temperatursensor(en) FS63CTS

Benötigte Ausrüstung
Schleifmaschine (optional)

Benötigtes Material
Klebstoff Empfehlung von HBK: 1-X60 (schnell aushärtend), 1-X280 Empfehlung für andere Hersteller: DP490 von 3M
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
Messstellenschutz Empfehlung von HBK: 1-ABM75 und/oder AK22

### 2.2 Vorbereitung der Installationsfläche

Wenn das Material mit Schutzschichten aus einem Anstrich oder Rost versehen ist, die Oberfläche mit einer Maschine (*Abb. 2.1*) oder von Hand (*Abb. 2.2*) abschleifen, um diese Schichten zu entfernen. Darauf achten, dass die Oberfläche nicht uneben wird.



Abb. 2.1 Entfernen von Farbe oder Rost durch Abschleifen mit der Maschine



Abb. 2.2 Entfernen von Farbresten oder verbliebenen Rostspuren durch Nachschleifen von Hand

Danach muss die Oberfläche gereinigt werden, damit die Klebestelle vollkommen frei von Staub oder Fett ist.

Die Oberfläche, wie empfohlen, mit dem Reinigungsmittel RMS1 (Abb. 2.3) und Vliesstoff-Pads (Abb. 2.4) reinigen.



Abb. 2.3 *Sprühen von 1-RMS auf die Probe*

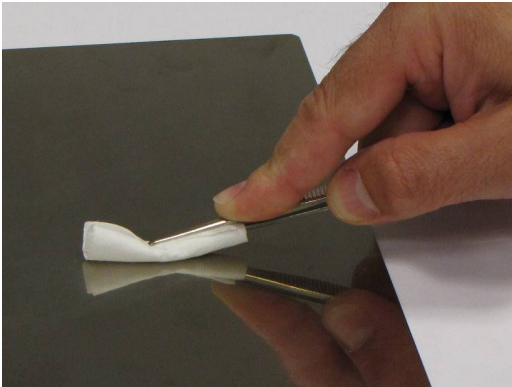


Abb. 2.4 *Reinigen mit einem Vliesstoff-Pad*

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

## **2.3 Kennzeichen der Messstelle**

Die Ausrichtung des Sensors festlegen. Dabei die Messrichtung und die Ausrichthilfen auf dem Sensor berücksichtigen.

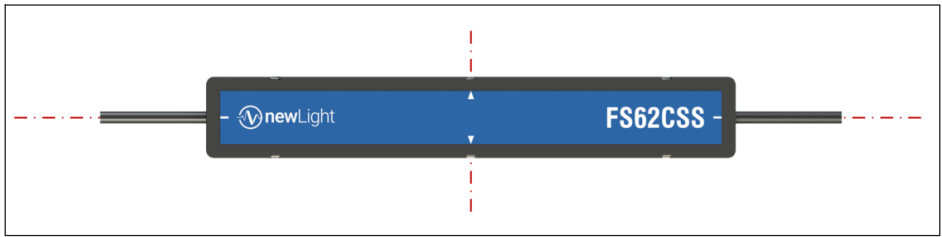


Abb. 2.5 Ausrichtmarkierungen des Sensors

Idealerweise wird zum Anzeichnen der Installationsstelle eine leere Kugelschreibermine verwendet. Die Länge der Hilfslinie sollte ca. 150 mm in Messrichtung betragen. Eine ca. 50 mm lange 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, 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.



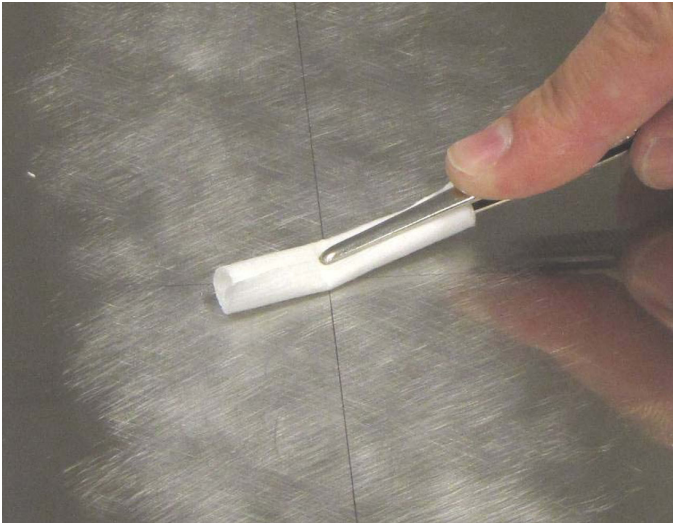


Abb. 2.7 Abschließendes Reinigen der Installationsstelle

## 2.4 Positionieren und Kleben des Sensors

Den Sensor aus der Verpackung nehmen und die Verkabelung so vorbereiten, dass die Bewegungen des Sensors nicht eingeschränkt sind. Den gewählten Klebstoff gleichmäßig auf dem Sensor verteilen und nach der Gebrauchsanweisung des Klebstoffs vorgehen.

Bei Verwendung von Klebstoffen mit langer Aushärtezeit (z. B. DP490) und bei Werkstoffen und/oder an Positionen, an denen keine Gewichte oder Magnete verwendet werden können, ein schnell aushärtendes Epoxidharz mit dem bindenden Klebstoff (Abb. 2.8) kombinieren.

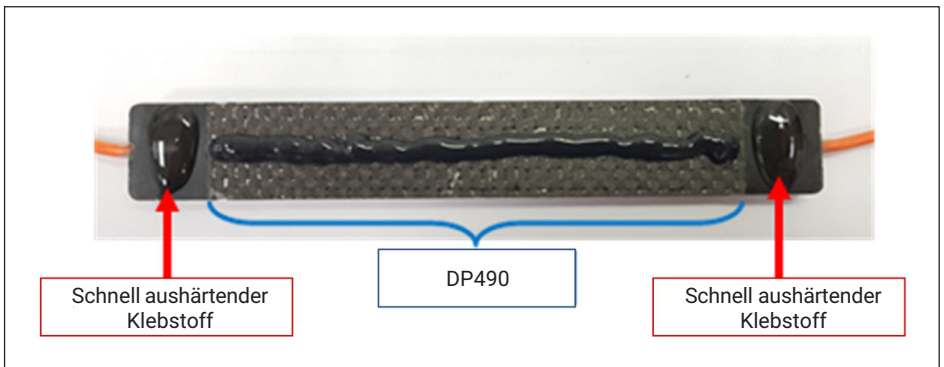


Abb. 2.8 Auftragen des Klebstoffs

Nachdem der Sensor an seiner Position befestigt und gesichert ist, die Kabel mit Klebeband sichern, um damit auch Belastungen durch ihr Gewicht zu verringern.

## 2.5 Führen und Schützen der Kabel

Das Sensorkabel sollte so geführt werden, dass es an keiner Stelle frei durchhängt. Das Kabel sollte beispielsweise mit Kunststoffklemmen befestigt werden (Abb. 2.9).

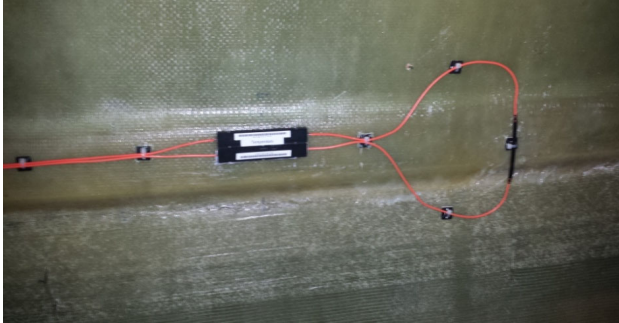


Abb. 2.9 Mit Kunststoffklemmen befestigtes Kabel

Für die Führung der längeren Verbindungskabel zum Anschluss an den Interrogator können auch Wellrohre aus Kunststoff verwendet werden (Abb. 2.10).

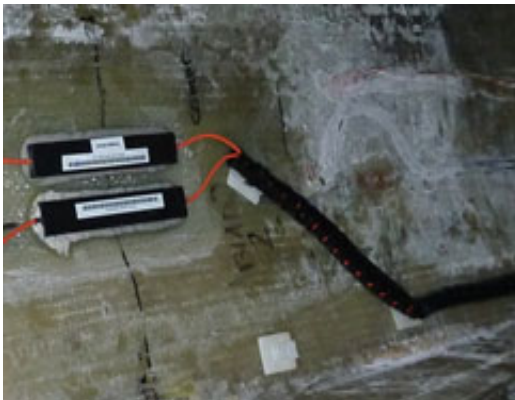


Abb. 2.10 Mit Wellrohren geschütztes Kabel

Nicht benötigte Kabellängen sollten aufgewickelt und in einem Gehäuse mit geeigneter IP-Schutzart zur Verwendung bei einer künftigen Modernisierung des Netzwerks aufbewahrt werden (Abb. 2.11).



Abb. 2.11 Schutzgehäuse für nicht benötigte Kabel und Anschlüsse

## 2.6 Schutz des Sensors

FS62CSS und FS63CTS sind robuste, mit einem Schutz vor mechanischen Belastungen und Umwelteinflüssen ausgeführte Sensoren, die keine weiteren besonderen Schutzmaßnahmen erfordern.

Allerdings können die Klebstoffe, wenn sie Feuchtigkeit und Umwelteinflüssen ausgesetzt sind, schneller schadhaft werden.

Zum Schutz werden die HBK Abdeckmittel AK22 (knetbarer Kitt) und/oder ABM75 (Alufolie und Knetmasse) empfohlen.

### 3.1 Dokumentation zu den Sensoren

Kalibrierte Sensoren von HBK FiberSensing werden mit einem Kalibrierdatenblatt ausgeliefert. Die übrigen Sensoren werden mit einem Sensordatenblatt ausgeliefert, das wichtige Informationen für die Sensorkonfiguration enthält.

Falls Sensoren in vormontierten Sensor-Arrays ausgeliefert werden, wird alternativ eine zusammenfassende Tabelle mit den relevanten Kalibrierinformationen bereitgestellt.

In der Verpackung des Sensors liegt diese Installationsanleitung als Papiaerausdruck bei. Die Installationsanleitung steht außerdem auf unserer Website zum Download bereit.

### 3.2 Berechnung der Messung

#### 3.2.1 Temperatur

Die durchzuführenden Berechnungen für die Umwandlung einer Wellenlängenmessung in einen Temperaturwert sind in *Abb. 3.1* dargestellt. Der Temperaturwert eines Temperatursensors ist durch ein Polynom zweiter Ordnung mit den aus der Sensorkalibrierung erhaltenen Koeffizienten gegeben.

$$T = S_2(\lambda - \lambda_0)^2 + S_1(\lambda - \lambda_0) + S_0$$

*Abb. 3.1 Formel zur Berechnung der Temperatur*

Mit

- $T$  gleich der gemessenen Temperatur in °C
- $\lambda$  gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Temperatursensors in nm
- $\lambda_0$  gleich der Bragg-Wellenlänge des Temperatursensors bei Referenztemperatur in nm
- $S_0$  gleich der Empfindlichkeit nullter Ordnung (Referenztemperatur) in °C
- $S_1$  gleich der Empfindlichkeit erster Ordnung in °C/nm
- $S_2$  gleich der Empfindlichkeit zweiter Ordnung in °C/nm<sup>2</sup>

Wenn mit catman® gearbeitet wird, sollten die Werte  $\lambda_0$ ,  $S_0$ ,  $S_1$  und  $S_2$  in das Menü für die Konfiguration von Temperatursensoren eingetragen werden.

#### 3.2.2 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. 3.2* gegeben.

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

*Abb. 3.2 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 mechanischen Dehnung der Struktur 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 Werkstoff 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. 3.3* gezeigt.

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

*Abb. 3.3 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. 3.4 dargestellt.

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

Abb. 3.4 Dehnungsberechnung mit Temperaturkompensation bei Verwendung eines Temperatursensors

Mit

- $\varepsilon_{\text{Load}}$  gleich der mechanischen Dehnung der Struktur 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 dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Werkstoffs der Probe, an der der Dehnungssensor befestigt ist, in  $(\mu\text{m}/\text{m})/^{\circ}\text{C}$
- $T$  gleich der gemessenen Ist-Temperatur des verwendeten Temperatursensors in  $^{\circ}\text{C}$
- $T_0$  gleich der Temperatur zum Referenzzeitpunkt, gemessen von dem für die Kompensation verwendeten Temperatursensor, in  $^{\circ}\text{C}$

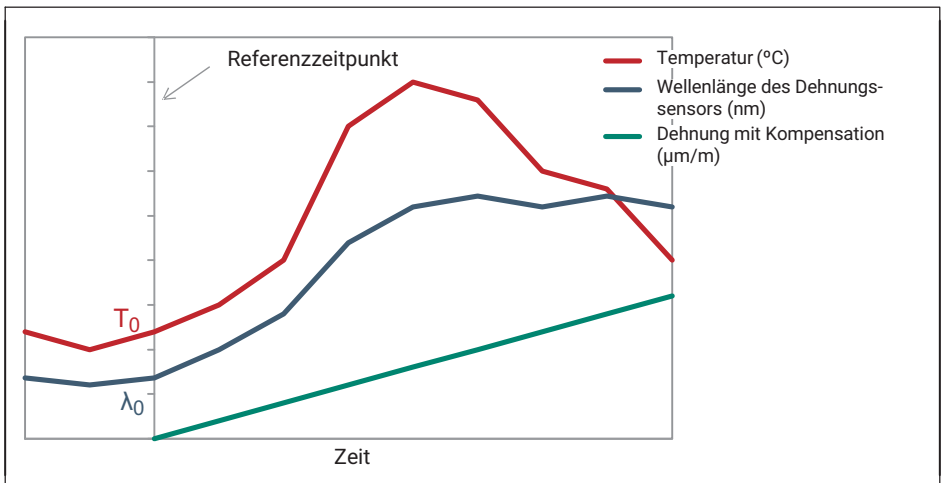


Abb. 3.5 Referenzzeitpunkt für temperaturkompensierte Dehnungsmessung bei Verwendung eines Temperatursensors für die Kompensation

## 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. 3.6* berechnet werden.

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

*Abb. 3.6* Dehnungsberechnung mit Temperaturkompensation bei Verwendung eines FBG-Kompensationselements

Mit

- $\varepsilon_{Load}$  gleich der mechanischen Dehnung der Struktur 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
- $\lambda_{TC}$  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 dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten 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. 3.7* dargestellt.

$$TCF = (5.7 + k \cdot CTE_{TC})$$

*Abb. 3.7* Berechnung des Temperaturkompensationsfaktors

Mit

- $k$  gleich dem k-Faktor des am Temperaturkompensationselement angebrachten Dehnungssensors, dimensionslos
- $CTE_{TC}$  gleich dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Werkstoffs des Temperaturkompensationselements in  $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$

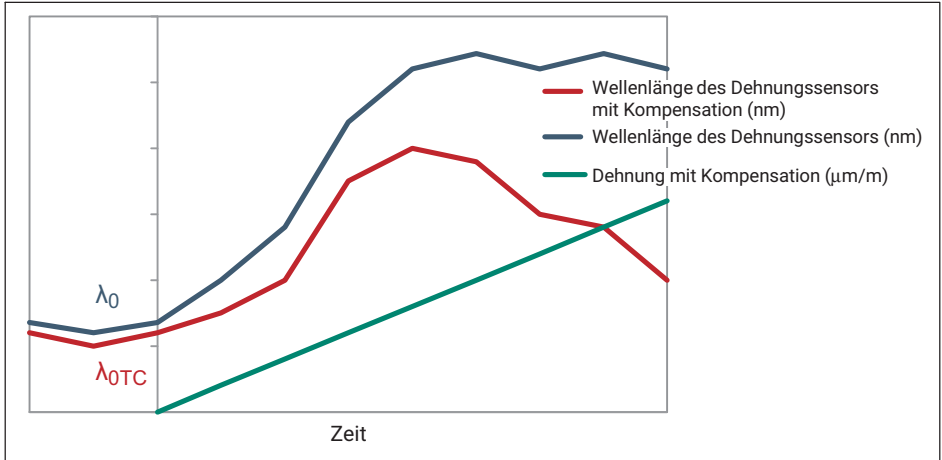


Abb. 3.8 Referenzzeitpunkt für temperaturkompensierte Dehnungsmessung bei Verwendung eines FBG-Kompensationselements

### 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.

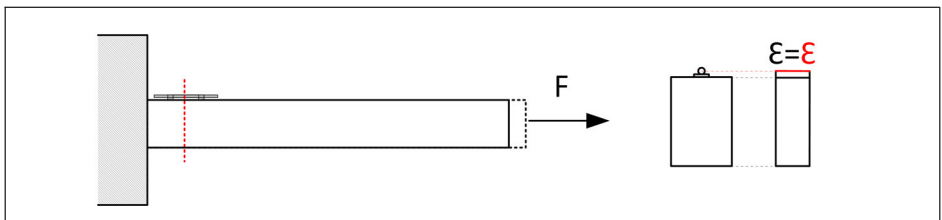


Abb. 3.9 Dehnung bei rein axialer Verformung



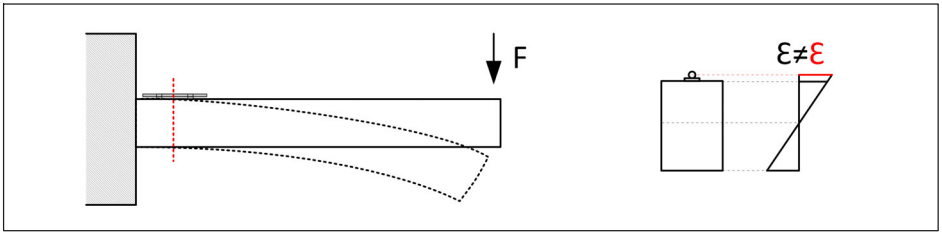


Abb. 3.10 Dehnung bei reinem Biegemoment

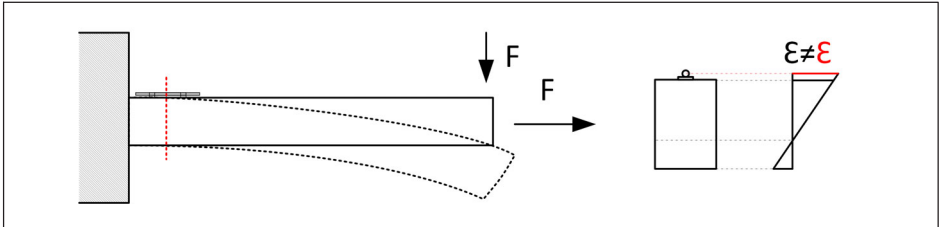


Abb. 3.11 Dehnung bei axialer Belastung und Biegemoment

Dies wird sehr wichtig, wenn es auf den Abstand zwischen dem Sensorelement und der Befestigungsfläche ankommt oder wenn das Messobjekt sehr dünn ist. Beim Komposit-Dehnungssensor FS62CSS beträgt dieser Abstand 0,143 mm ( $h_2$  in Abb. 3.11).

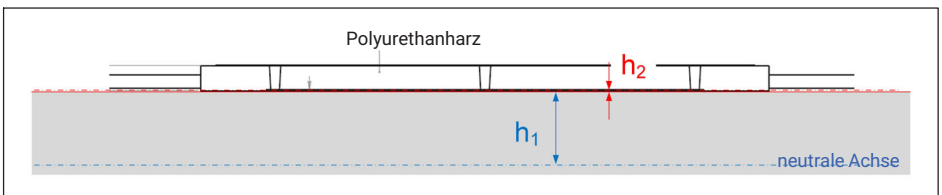


Abb. 3.12 Abstand des FBG zur Montagefläche beim FS62CSS

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. 3.13 Dehnungsberechnung mit Korrektur des Biegeeffekts

Mit

- $\varepsilon_{\text{Oberfläche}}$  gleich der mechanischen Dehnung auf der Messfläche 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
- $h_1$  gleich dem Abstand von der Messfläche zur neutralen Achse in mm
- $h_2$  gleich dem Abstand von der Messfläche zum FBG in mm (0,143 mm für den FS62CSS)



