

DEUTSCH

Montageanleitung



FS62PSS, FS62PSR, FS63LTS

Patch-Dehnungssensoren, Patch-Dehnungsrosetten
und Labor-Temperatursensoren

Hottinger Brüel & Kjaer GmbH
Im Tiefen See 45
D-64293 Darmstadt
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
Phone: +351 229 613 010
Fax: +351 229 613 020
www.hbkworld.com
info.fs@hbkworld.com

Mat.:
DVS: A05319 03 G00 00
06.2022

© 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	Installationsverfahren	5
2.1	Materialliste	5
2.2	Patch-DehnungssensorFS62PSS	6
2.2.1	Vorbereitung der Installationsfläche	6
2.2.2	Kennzeichnen der Messstelle	8
2.2.3	Positionieren des Sensors	9
2.2.4	Kleben des Sensors	10
2.3	Patch-Dehnungsrosette FS62PSR	14
2.3.1	Vorbereitung der Installationsfläche	14
2.3.2	Kennzeichnen der Messstelle	14
2.3.3	Positionieren des Sensors	15
2.3.4	Kleben des Sensors	16
2.4	Labor-Temperatursensor FS63LTS	18
2.4.1	Vorbereitung der Installationsfläche	18
2.4.2	Positionieren des Sensors	18
2.4.3	Befestigen des Sensors	19
2.5	Führen und Schützen der Kabel	20
2.6	Schutz der Sensoren	21
3	Sensorkonfiguration	25
3.1	Dokumentation zu den Sensoren	25
3.2	Berechnung der Messung	25
3.2.1	Temperatur	25
3.2.2	Dehnung	26

1 ALLGEMEINES

Die folgende Anleitung beschreibt das Installationsverfahren für die Patch-Dehnungssensoren FS62PSS, die Patch-Dehnungsrosetten FS62PSR und die Labor-Temperatur-sensoren FS63LTS.

Diese Sensoren können einzeln oder in werkseitig bei HBK FiberSensing vormontierten Sensor-Arrays geliefert werden.

Bestellinformationen		
Dehnungssensoren	DMS-Rosetten	Temperatursensoren
K-FS62PSS	K-FS62PSR	K-FS63LTS
1-FS62PSS-1510	1-FS62PSR-3505	1-FS63LTS-1515
1-FS62PSS-1520	1-FS62PSR-3520	1-FS63LTS-1525
1-FS62PSS-1530	1-FS62PSR-3535	1-FS63LTS-1535
1-FS62PSS-1540	1-FS62PSR-3550	1-FS63LTS-1545
1-FS62PSS-1550	1-FS62PSR-3565	1-FS63LTS-1555
1-FS62PSS-1560	1-FS62PSR-3580	1-FS63LTS-1565
1-FS62PSS-1570		1-FS63LTS-1575
1-FS62PSS-1580		1-FS63LTS-1585
1-FS62PSS-1590		1-FS63LTS-1595
Sensor-Arrays		
K-FS76BRD		

2 INSTALLATIONSVERFAHREN

2.1 Materialliste

Im Lieferumfang enthaltenes Material		
FS62PSS	FS62PSR	FS63LTS
Sensor	Sensor	Sensor
Fluorpolymer-Installationshilfe	Fluorpolymer-Installationshilfe	
Fluorpolymer-Trennfolie	Fluorpolymer-Trennfolie	
Druck-Pad (eins pro Set)	Druck-Pad (eins pro Set)	

Benötigte Ausrüstung
Schleifmaschine (optional)

Benötigtes Material
Klebstoff Empfehlung von HBK: 1-Z70, 1-X60 oder 1-X280
Schleifpapier
Reinigungsmittel für Messstellen Empfehlung von HBK: 1-RMS1 oder 1-RMS1-SPRAY
Reinigungs-Pads Empfehlung von HBK: 1-8402,0026
Polyimid-Klebeband Empfehlung von HBK: 1-KLEBEBAND
Messstellenschutz Empfehlung von HBK: 1-ABM75 und/oder AK22

2.2 Patch-Dehnungssensor FS62PSS

2.2.1 Vorbereitung der Installationsfläche

Für die Installation der optischen Dehnungsmessstreifen oder -sensoren muss die Oberfläche des Messobjekts gereinigt und eben sein.

Wenn das Material mit Schutzschichten aus einem Anstrich versehen ist oder sich Rost gebildet hat, 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 und Rost mit einer Schleifmaschine



Abb. 2.2 Entfernen von Farbe und Rost mit Schleifpapier

Die Oberfläche mit einem geeigneten Reinigungsmittel (empfohlen wird RMS 1) und Vliesstoff-Pads (Abb. 2.3 und Abb. 2.5) reinigen.

Den Reinigungsvorgang so lange wiederholen, bis das Pad sauber bleibt.



Abb. 2.3 Verwenden von Reinigungsmittel RMS1 und Vliesstoff-Pads

Wenn das Material frei von Schutzschichten und sehr glatt ist, muss die Oberfläche trotzdem mit Schleifpapier (z. B. Körnung 180) in kreisförmigen Bewegungen aufgeraut werden (Abb. 2.4).

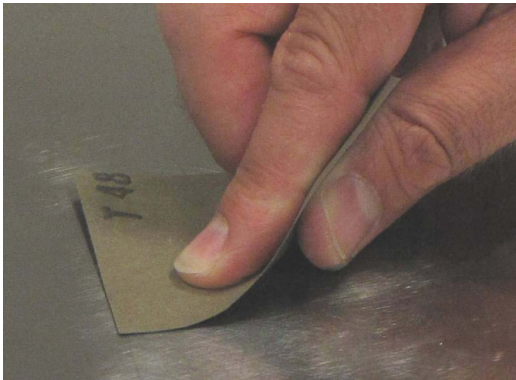


Abb. 2.4 Aufrauen der Oberfläche des Messobjekts

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



Abb. 2.5 Reinigen der Oberfläche

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

2.2.2 Kennzeichnen der Messstelle

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



Abb. 2.6 Ausrichtmarkierungen des Sensors FS62PSS



Tipp

Je nach Werkstoff der Oberfläche zum Markieren der Sensorposition ein spitzes Werkzeug oder einen Stift verwenden.



Tipp

Darauf achten, dass Hände und Werkzeug sauber sind, um eine Verunreinigung der Klebefläche zu vermeiden.

Die Länge der Hilfslinie sollte ca. 60 mm in Messrichtung betragen. Mit einer ca. 40 mm langen vertikalen Hilfslinie muss die Mitte des Sensors angezeichnet werden, siehe *Abb. 2.7*. Beide Linien im Bereich der Klebefläche des Sensors unterbrechen.

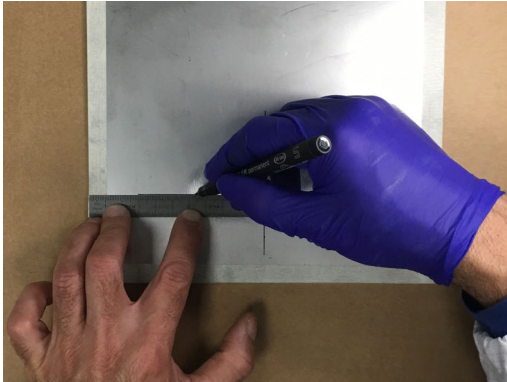


Abb. 2.7 Kennzeichnen der Sensorposition

2.2.3 Positionieren des Sensors

Den optischen Sensor aus der Schutztasche in der Schachtel nehmen und die Fluorpolymer-Schutzfolie von der Installationsseite des Sensors abziehen.



Tipp

Die Fluorpolymer-Schutzfolie zur späteren Verwendung während der Klebephase aufbewahren.

Dann den Sensor auf die gekennzeichnete Messstelle setzen und mit der an ihr befestigten Fluorpolymer-Installationshilfe sichern. Nachdem der Sensor so positioniert ist, dass er an dem gezeichneten Kreuz ausgerichtet ist, ein 10 cm langes Polyimid-Klebeband (1-KLEBEBAND) über der Fluorpolymer-Installationshilfe aufkleben, ohne dabei den Sensor zu berühren, um die Installationshilfe am Messobjekt zu sichern (*Abb. 2.8*).



Abb. 2.8 Ausrichten und Platzieren des FS62PSS

Der nächste Schritt ist nicht zwingend, wird aber empfohlen, damit der Klebstoff nicht ausläuft.

Ein weiteres 10 cm langes Polyimid-Klebeband (1-KLEBEBAND) auf der anderen Seite des Sensors aufkleben, einige Millimeter vom Sensor entfernt und an seiner längeren Kante ausgerichtet (Abb. 2.9).

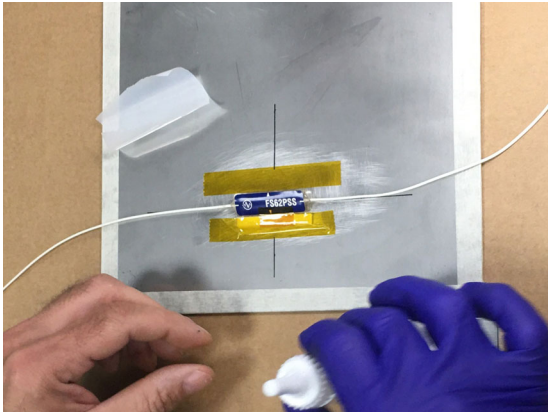


Abb. 2.9 Anbringen der Klebeband-Maske

2.2.4 Kleben des Sensors

Grundlage der folgenden Anleitungen ist der Klebstoff Z70, bei dem es sich um einen Schnellklebstoff auf Cyanacrylat-Basis handelt. Der Sensor kann auch mit anderen Klebstoffen installiert werden. Dabei muss die Gebrauchsanweisung der Klebstoffe beachtet und die folgenden Anleitungen müssen entsprechend angepasst werden.

Die folgende Tabelle fasst die Merkmale und Anwendungen der bevorzugten Klebstoffe von HBK zusammen:

Klebstoff	Aushärtung	Betriebs- temperatur	Allgemeine Kommentare
Z70	bei 20 °C: 1 min	-55 °C bis 100 °C ¹⁾ -55 °C bis 120 °C ²⁾	Messungen möglich nach 30 Minuten; Konstanter Druck (mit dem Daumen) und 30 bis 80 % Luftfeuchtigkeit während der Installation erforderlich.
X60	bei 20 °C: 10 min	-200 °C bis 60 °C ¹⁾ -200 °C bis 80 °C ²⁾	Messungen möglich nach 30 Minuten; Steifer Klebstoff; Nicht geeignet für dynamische Biegebeanspruchung; Bei der Installation muss darauf geachtet werden, dass eine dünne Schicht zwischen Sensor und Oberfläche vorhanden ist.
X280	bei 10 °C: 36 h bei 20 °C: 8 h bei 65 °C: 2 h bei 95 °C: 1 h	-200 °C bis 200 °C ¹⁾ -200 °C bis 280 °C ²⁾	Empfohlen für Anwendungen mit hoher Dauerschwingbeanspruchung.

¹⁾ Bei nullpunktbezogenen Messungen

²⁾ Bei dynamischen Messungen

Den Klebstoff Z70 vorbereiten und das kleine Stück Fluorpolymer-Trennfolie (das beim Auspacken vom Sensor entfernt wurde) bereitlegen.

Den Sensor FS62PSS mit der Fluorpolymer-Installationshilfe als Scharnier für den optischen Sensor umklappen, wie in *Abb. 2.10* gezeigt. Drei Tropfen des Klebstoffs Z70 auf die Fläche auftragen, die den Sensor aufnehmen wird. Darauf achten, dass die Flasche des Z70 nicht die Oberfläche berührt.

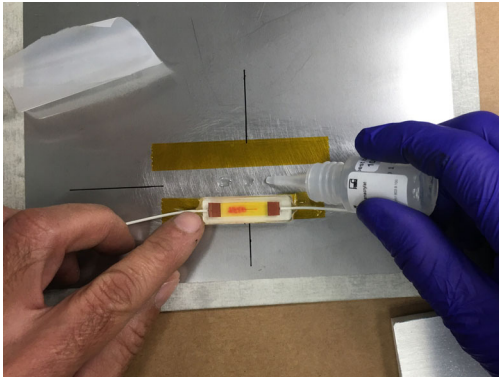


Abb. 2.10 Umklappen des FS62PSS und Auftragen des Klebstoffs Z70

Den Sensor schnell auf den Klebstoff zurückklappen. Mit der vorbereiteten Fluorpolymer-Trennfolie als Zwischenschicht abdecken und den Sensor ungefähr eine Minute fest und gleichmäßig andrücken. Zur Unterstützung dieses Schritts wird ein Druck-Pad zur Druckverteilung mitgeliefert.

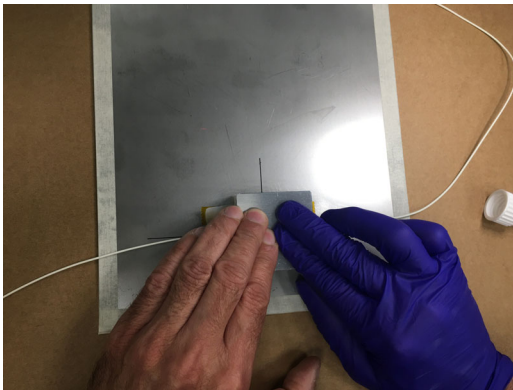


Abb. 2.11 Aufkleben des FS62PSS und Härten des Klebstoffs

Nach dem Kleben und bei Bedarf überschüssigen Klebstoff Z70 mit einem Vliesstoff-Pad von der Materialoberfläche entfernen.

Nach dem Aufkleben benötigt der Klebstoff Z70 weitere zehn Minuten zum Aushärten. Wenn die Zugentlastung gemäß der nachstehenden Beschreibung angebracht wurde, können die Klebestreifen nun entfernt werden, andernfalls ungefähr noch einmal zehn Minuten warten. Danach können alle Klebestreifen und die Installationshilfe entfernt werden. Sofern möglich, die Klebestreifen in einem kleinen Winkel und flach zur Oberfläche abziehen (Abb. 2.12).

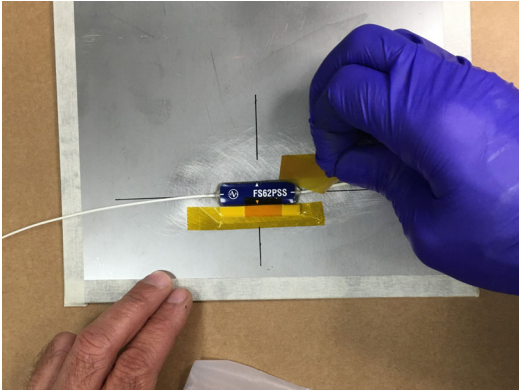


Abb. 2.12 Entfernen der zum Fixieren verwendeten Klebestreifen

Danach die Fluorpolymer-Installationshilfe vorsichtig entfernen (Abb. 2.13).

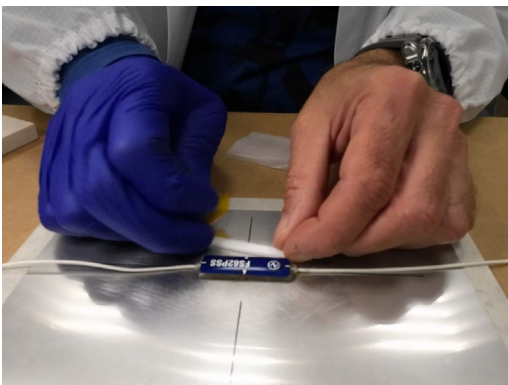


Abb. 2.13 Entfernen der Fluorpolymer-Installationshilfe

In diesem letzten Schritt eventuell noch vorhandene Klebstoffreste unter der Fluorpolymer-Installationshilfe mit einem Vliesstoff-Pad entfernen.

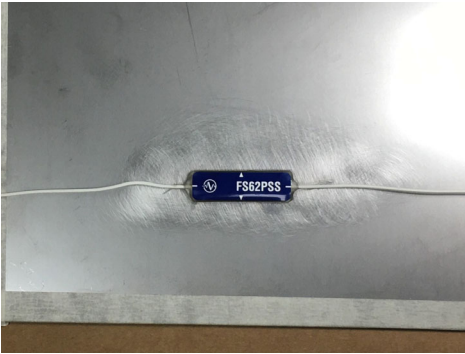


Abb. 2.14 Abgeschlossene Installation des optischen Dehnungsmessstreifens

Bitte auch die Informationen zu Aushärungszeiten in der Installationsanleitung zum Klebstoff Z70 beachten.

2.3 Patch-Dehnungsette FS62PSR

2.3.1 Vorbereitung der Installationsfläche

Für die Installation der Patch-Dehnungsette FS62PSR muss die Oberfläche sauber und frei von Unebenheiten sein. Bitte die Verfahren beachten, die für FS62PSS in *Abschnitt 2.2.1 auf Seite 6* beschrieben wurden.

2.3.2 Kennzeichnen der Messstelle

Die Rosette FS62PSR verfügt über drei an den Winkelpositionen $0^\circ/60^\circ/120^\circ$ angeordnete FBGs. Die Ausrichtung jedes FBG wird durch die Ausrichtmarkierungen an jeder Ecke der Rosette angezeigt, die Richtungen sind damit als „a“, „b“ und „c“ definiert, wie in *Abb. 2.15* dargestellt.

Zuerst das Hilfslinienkreuz anzeichnen, ähnlich wie in *Abschnitt 2.2.2* beschrieben, und dafür eine der FBG-Ausrichtungen wählen, zum Beispiel „a“, sowie die Senkrechte zu ihr.

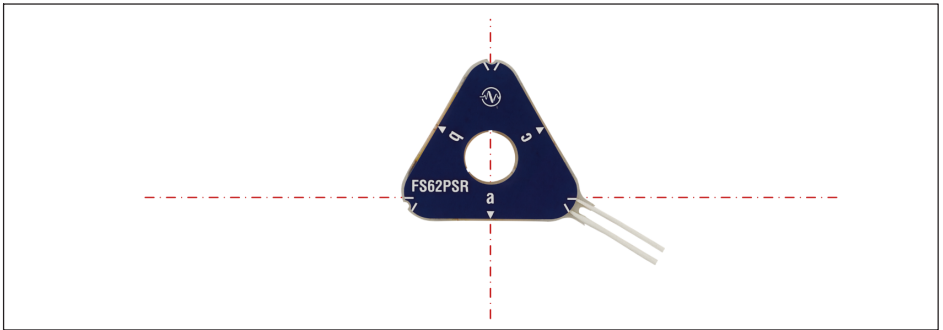


Abb. 2.15 Ausrichtmarkierungen des Sensors FS62PSR

2.3.3 Positionieren des Sensors

Die optische DMS-Rosette mit der Fluorpolymer-Installationshilfe auf dem Hilfslinienkreuz positionieren.

Die gewählte Richtung, zum Beispiel „a“, an der horizontalen Markierung ausrichten. Zur Erleichterung dieser Positionierung an den weißen Ausrichtungsmarkierungen auf dem Sensoretikett orientieren. Dann die Ausrichtung senkrecht dazu vornehmen, zum Beispiel zwischen dem Pfeil, der die Richtung „a“ kennzeichnet, und dem Schnittpunkt zwischen den Richtungsmarkierungen „b“ und „c“, und dort die vertikale Hilfslinie anzeichnen.

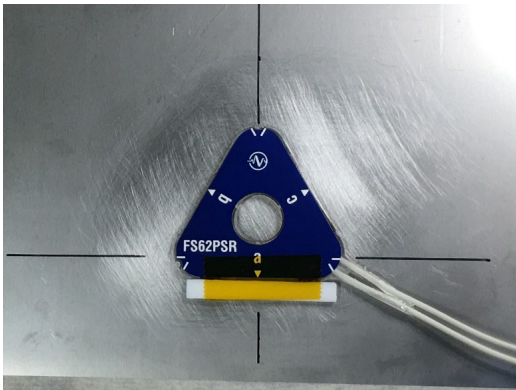


Abb. 2.16 Ausrichten der optischen DMS-Rosette

Es empfiehlt sich, eine Klebband-Maske rund um die Sensorposition anzubringen, um ein Auslaufen des Klebstoffs beim Aufkleben der Rosette FS62PSR zu verhindern. Dazu zwei zusätzliche Streifen des Polyimid-Klebebands parallel zu den Kanten der optischen DMS-Rosette aufkleben (siehe Abb. 2.17).

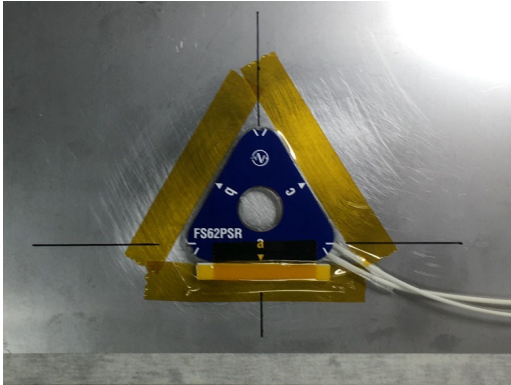


Abb. 2.17 Anbringen der Klebeband-Maske

2.3.4 Kleben des Sensors

Wie beim Patch-Dehnungssensor FS62PSS beschreiben die folgenden Verfahren die Installation der Patch-Dehnungsrosette FS62PSR mit dem Schnellklebstoff Z70. Weitere Informationen zu den verschiedenen Klebestoffen siehe im *Abschnitt 2.2.4* „Kleben des Sensors“ auf Seite 10.

Den Klebstoff Z70 und das zum Lieferumfang gehörende Stück Fluorpolymer-Trennfolie bereitlegen. Die Fluorpolymer-Installationshilfe als Scharnier für die optische DMS-Rosette verwenden und die Rosette daran zurückklappen. 6 Tropfen des Klebstoffs Z70 in einem Dreieck auf die Messstelle (unter der optischen DMS-Rosette auftragen). Darauf achten, dass die Flasche des Z70 nicht die Oberfläche berührt, *siehe Abb. 2.18*.

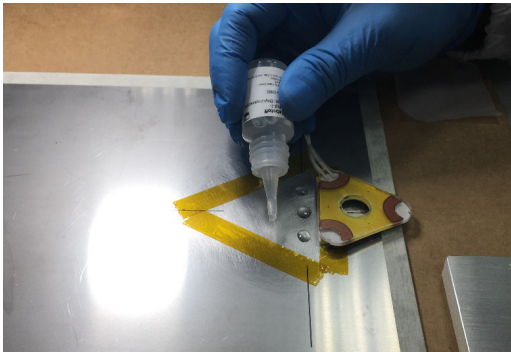


Abb. 2.18 Anwenden des Klebstoffs

Die optische DMS-Rosette schnell auf den Klebstoff zurückklappen. Mit der vorbereiteten Fluorpolymer-Trennfolie als Zwischenschicht abdecken (*Abb. 2.19*) und die Rosette ungefähr eine Minute fest und gleichmäßig andrücken, z. B. mit einem Druck-Pad.

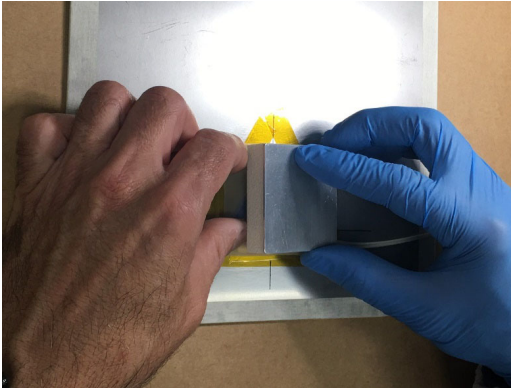


Abb. 2.19 Auflegen der Fluorpolymer-Trennfolie und des Druck-Pads



Abb. 2.20 Andrücken der Rosette für 1 Minute

Nach dem Aufkleben benötigt der Klebstoff Z70 weitere zehn Minuten zum Aushärten. Danach können alle Klebebandstreifen und die Installationshilfe entfernt werden. Sofern möglich, die Klebestreifen in einem Winkel und flach zur Oberfläche abziehen.

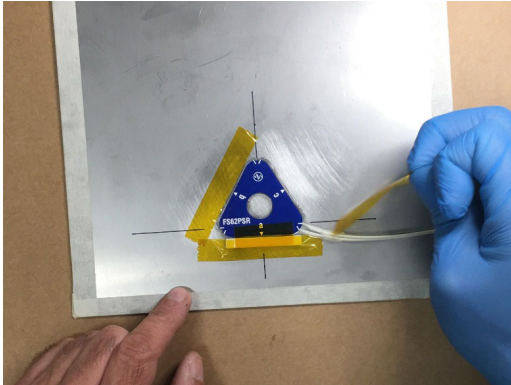


Abb. 2.21 Entfernen des Klebebands

Danach vorsichtig die Fluorpolymer-Installationshilfe entfernen, wie für FS62PSS in *Abb. 2.13 auf Seite 13* beschrieben.

In diesem letzten Schritt eventuell noch vorhandene Klebstoffreste unter der Fluorpolymer-Installationshilfe mit einem Vliesstoff-Pad entfernen. Bitte auch die Informationen zu Aushärtungszeiten in der Installationsanleitung zum Klebstoff Z70 beachten.

2.4 Labor-Temperatursensor FS63LTS

2.4.1 Vorbereitung der Installationsfläche

Für die Installation des Labor-Temperatursensors FS63LTS muss die Oberfläche sauber und frei von Unebenheiten sein. Bitte die Verfahren beachten, die für FS62PSS in *Abschnitt 2.2.1 auf Seite 6* beschrieben wurden.

2.4.2 Positionieren des Sensors

Die Ausrichtung des FS63LTS spielt für eine korrekte Temperaturmessung keine besondere Rolle. Bei Verwendung zur Temperaturkompensation ist es jedoch wichtig, dass der Sensor neben den Dehnungssensoren angebracht wird. Eine wirksame Temperaturkompensation ist nur möglich, wenn die beiden Sensoren – Dehnung und Temperatur – auf gleicher Temperatur sind.



Abb. 2.22 Positionieren des Temperatursensors

2.4.3 Befestigen des Sensors

Der Temperatursensor muss mit einer Methode befestigt werden, die einen thermischen Kontakt zwischen der zu messenden Probe und dem Sensor ermöglicht. Am einfachsten lässt sich der Sensor befestigen, indem darüber ein Klebeband, zum Beispiel das Polyimid-Klebeband (1-KLEBEBAND), geklebt oder ein Abdeckmittel 1-ABM75 oder 1-AK22 aufgetragen wird. Er kann auch mit einem Klebstoff, der für einen guten thermischen Kontakt zwischen Oberfläche und Sensor sorgt, aufgeklebt werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass der Klebstoff nur auf den mittleren Teil des Sensors aufgetragen wird, damit keine Dehnung auf den Sensor übertragen wird.

Zur Temperaturkompensation den Kompensationssensor möglichst nahe an dem Dehnungssensor anordnen, dessen Dehnungssignal kompensiert werden muss.

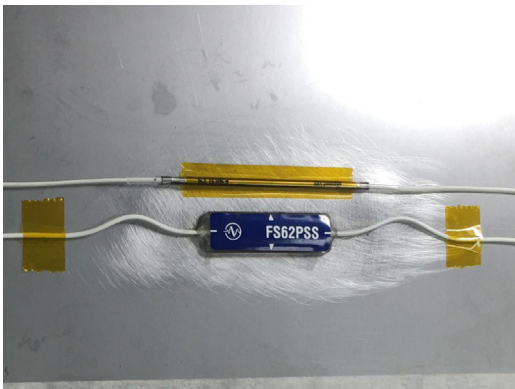


Abb. 2.23 Mit Polyimid-Klebeband befestigter FS63LTS

2.5 Führen und Schützen der Kabel

Bei der Kabelführung ist darauf zu achten, dass die Kabel nicht durchhängen und Biegungen innerhalb der für das verwendete Kabel geltenden Grenzwerte bleiben.

Wir empfehlen, eine Zugentlastung für die Glasfaser zu verwenden (siehe Abb. 2.24). Die überstehenden Fasern in sanfte Kurven legen und diese mit Polyimid-Klebeband fixieren. Als Alternative kann auch Klebstoff verwendet werden (zum Beispiel X60).

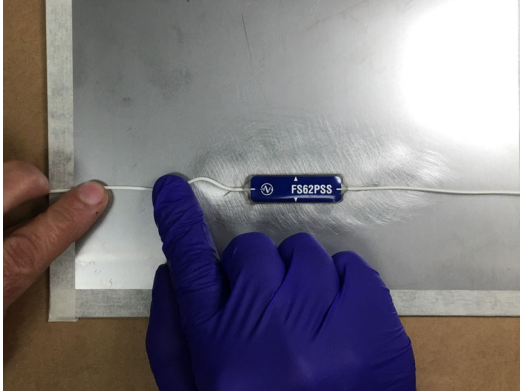


Abb. 2.24 Zugentlastung für die Glasfaser

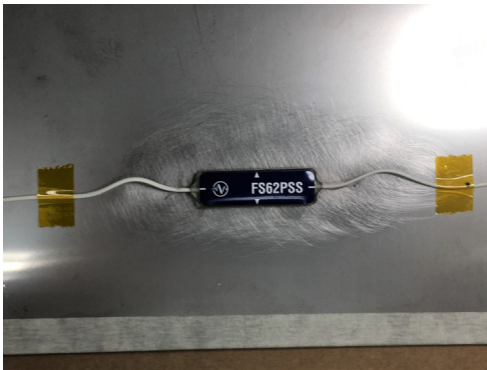


Abb. 2.25 Fixieren der Glasfaser-Zugentlastung mit Klebeband

Wenn geschützte Speistellen vorhanden sind, auch auf eine gute Fixierung der Speistellen achten.

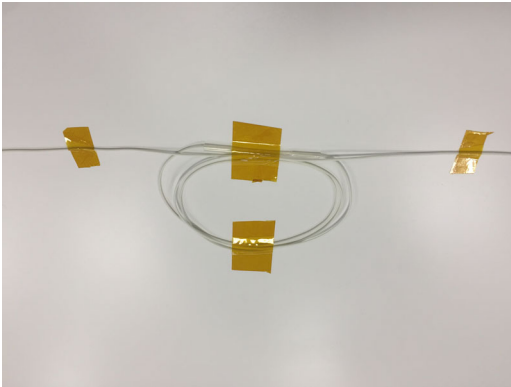


Abb. 2.26 Führung eines Kabels mit Kunststoff-Gewebeschauch

Für Anwendungen im Freien empfiehlt es sich, die Kabelwege zusätzlich vor Feuchtigkeit und mechanischer Beschädigung zu schützen. Dazu können entweder Kabelkanäle verwendet oder das Kabel kann auf der gesamten Länge mit Silikon oder einer anderen Dichtmasse (zum Beispiel DP490 von 3M) abgedeckt werden.



Information

Das Kabel mit Kunststoff-Gewebeschauch eignet sich für Installationen im Labor in kontrollierten Umgebungen. Es ist für einen weiten Temperaturbereich geeignet, aber nicht vollständig gegen mechanische Beschädigung geschützt. Falls die Sensoren in sehr rauen Umgebungen eingesetzt werden, wird ein zusätzlicher Schutz der Kabel empfohlen (mit Kunststoffrohren, Kabelschutzrohren oder durch Abdecken der Kabel mit einem schützenden Material).

2.6 Schutz der Sensoren

FS62PSS, FS62PSR und FS63LTS sind Sensoren, die für Laboranwendungen entwickelt wurden. Mit einem entsprechenden Schutz können sie aber auch in anderen Umgebungen eingesetzt werden.

Die Sensoren sollten mit den Abdeckmitteln AK22 und ABM75 vor Feuchteinfluss geschützt werden.

Zuerst alle vom Verkleben übrigen Klebstoffreste (in diesem Fall Z70) großzügig mit Abdeckkitt abdecken. Den Kitt sorgfältig von allen Seiten zum Sensor hin andrücken (Abb. 2.27).

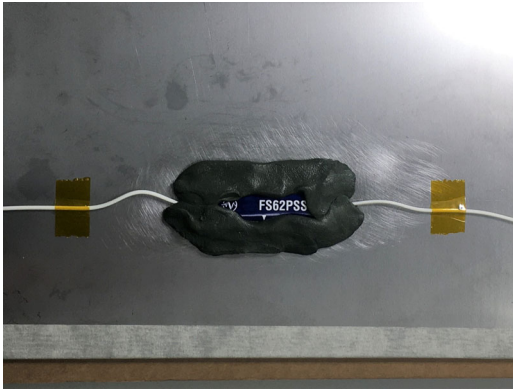


Abb. 2.27 Abdecken der Sensorkanten mit AK22

Um eine vollständige Abdeckung sicherzustellen, immer eine geringe Menge AK22 auch unter den Kabeln anbringen. Dies sollte neben dem Sensor sowie am Übergang zu den übrigen Schutzschichten gemacht werden (Abb. 2.28).

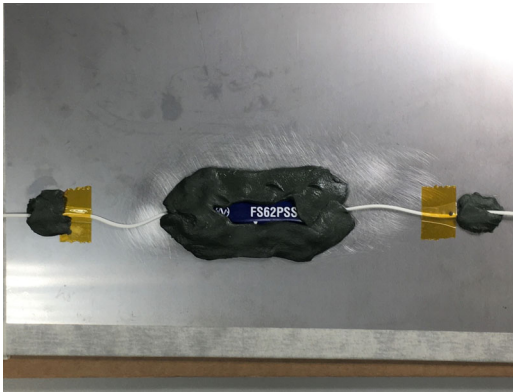


Abb. 2.28

Ein Stück Abdeckfolie ABM75 (Abb. 2.29) zuschneiden, das groß genug ist, um die Sensorfläche (einen einzigen Sensor oder mehrere nahe beieinander – z. B. einen FS62PSS und einen FS63LTS zur Temperaturkompensation) zu überdecken, und über den Sensor legen.

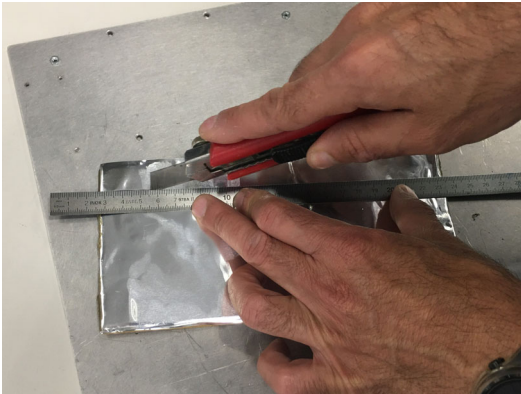


Abb. 2.29 Zuschneiden von ABM75 passend zur Sensorfläche

Die Abdeckfolie an ihren Kanten mit einem steifen Gegenstand andrücken, damit sie möglichst eng an der Oberfläche des Messobjekts anliegt.

Hinweis

Sehr sorgfältig darauf achten, dass dieser Druck nicht über dem Bereich des Kabels ausgeübt wird, da dies die Fasern beschädigen und den Messwert des Sensors beeinträchtigen kann. Im Bereich des Kabels die Folie nur vorsichtig mit den Fingern andrücken.



Abb. 2.30 Auflegen und Andrücken der Abdeckfolie ABM75



Abb. 2.31 Vollständig abgedeckte Messstelle

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 Papierausdruck bei. Die Installationsanleitung steht außerdem auf der Website von HBK zum Download bereit (www.hbm.com).

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, der mit einem Temperatursensor gemessen wird, 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
- λ gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Temperatursensors in nm
- λ_0 gleich der Bragg-Wellenlänge des Temperatursensors bei Referenztemperatur in nm
- S_0 gleich dem Kalibrierfaktor nullter Ordnung (Referenztemperatur) in °C
- S_1 gleich dem Kalibrierfaktor erster Ordnung in °C/nm
- S_2 gleich dem Kalibrierfaktor zweiter Ordnung in °C/nm²

Wenn mit catman® gearbeitet wird, sollten die Werte λ_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.

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

Abb. 3.2 Wellenlängenänderung eines FBG-Dehnungssensors durch Dehnungs- 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_{Last} 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 dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Werkstoffs der Probe, an der der Dehnungssensor befestigt ist, in $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$
- $T - T_0$ gleich der Differenz zwischen der Ist-Temperatur und der Temperatur zum Referenzzeitpunkt 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 Formel zur einfachen Berechnung der 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. 3.4* dargestellt.

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

Abb. 3.4 Dehnungsberechnung mit Temperaturkompensation bei Verwendung eines Temperatursensors

Mit

- $\varepsilon_{\text{Last}}$ 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 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 Ist-Temperatur, gemessen von dem für die Kompensation verwendeten Temperatursensor, in $^{\circ}\text{C}$
- T_0 gleich der Temperatur zum Referenzzeitpunkt, gemessen von dem für die Kompensation verwendeten Temperatursensor, in $^{\circ}\text{C}$

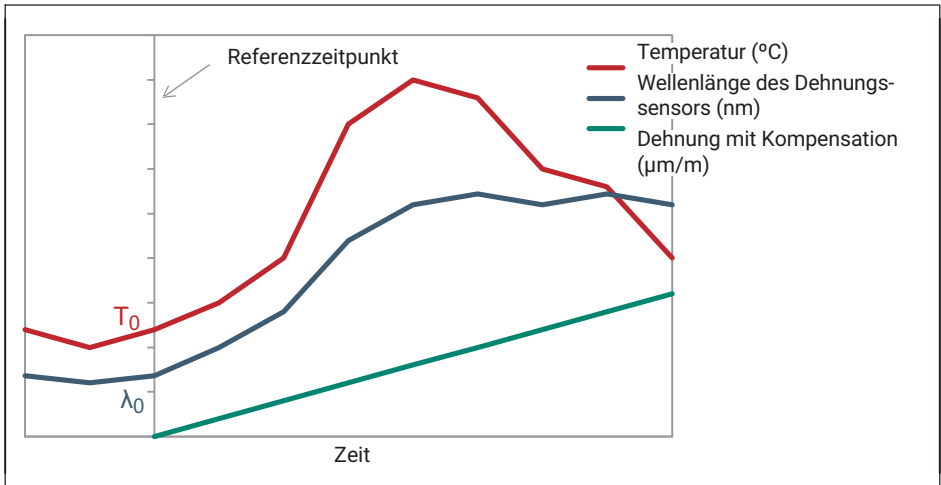


Abb. 3.5 Referenzzeitpunkt für temperaturkompensierte Dehnungsmessung bei Verwendung eines Temperatursensors für die Kompensation

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.

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

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

Mit

- ε_{Last} 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 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 dieser 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 $(\mu\text{m}/\text{m})/^{\circ}\text{C}$

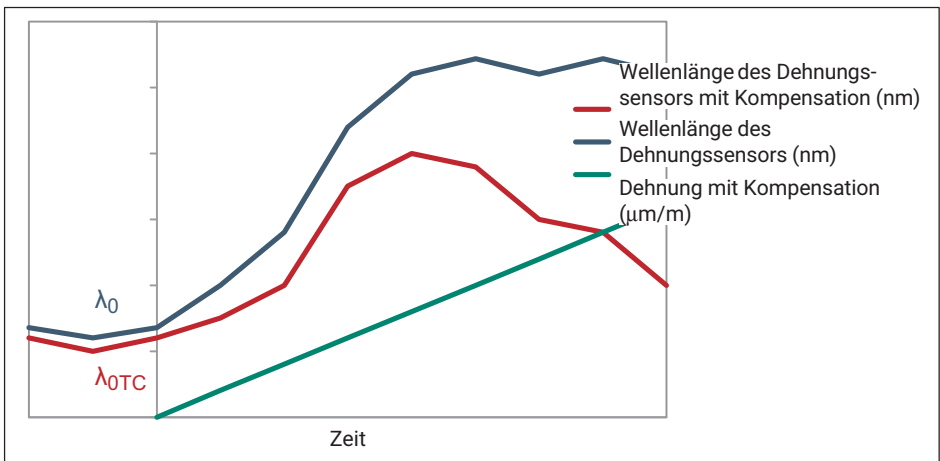


Abb. 3.8 Referenzzeitpunkt für temperaturkompensierte Dehnungsmessung bei Verwendung eines FBG-Kompensationselements

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.

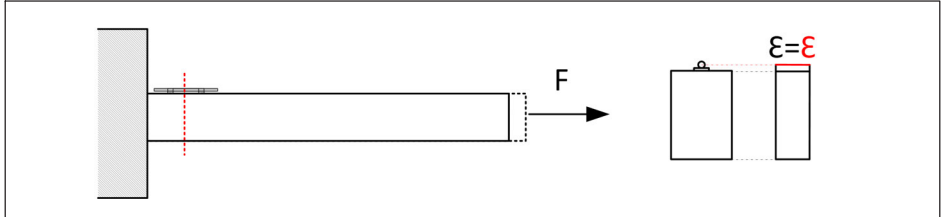


Abb. 3.9 Dehnung bei rein axialer Verformung

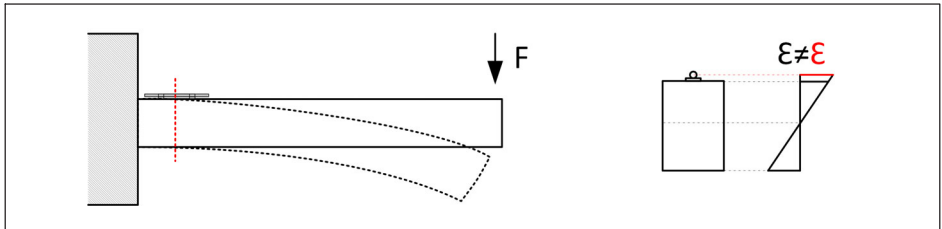


Abb. 3.10 Dehnung bei reinem Biegemoment

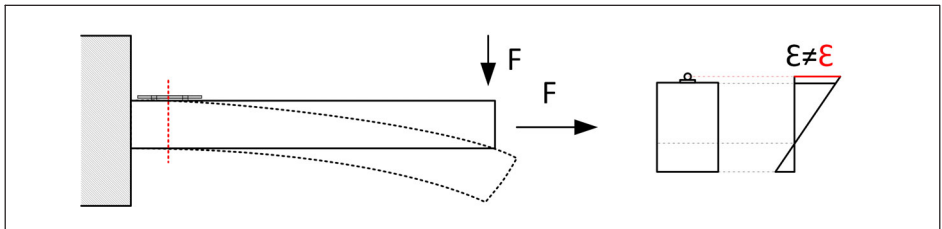


Abb. 3.11 Dehnung bei axialer Belastung und Biegemoment

Dies wird sehr wichtig, wenn es auf den Abstand zwischen dem Sensorelement und der Befestigungsfläche ankommt oder wenn das Messobjekt sehr dünn ist. Beim Patch-Dehnungssensor FS62PSS und bei der Patch-Dehnungsrosette FS62PSR beträgt dieser Abstand 0,25 mm (h_2 in Abb. 3.11).

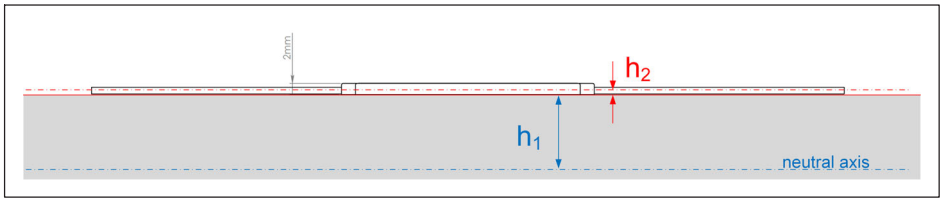


Abb. 3.12 Abstand des FBG zur Montagefläche beim FS62PSS

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 $\mu\text{m}/\text{m}$
- 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 (0,25 mm für FS62PSS und FS62PSR)

Messen der Hauptspannungen

Die Hauptspannungen können bei der Patch-Dehnungsrosette FS62PSR nach der folgenden Formel berechnet werden:

$$\sigma_{1/2} = \frac{E}{1 - \nu^2} \cdot \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_b + \varepsilon_c}{3} \pm \frac{E}{1 + \nu} \sqrt{\left(\frac{2\varepsilon_a - \varepsilon_b - \varepsilon_c}{3}\right)^2 + \frac{1}{3} \cdot (\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2}$$

Mit:

- $\sigma_{1/2}$ gleich den Hauptspannungen in MPa
- E gleich dem Elastizitätsmodul (Young-Modul) in GPa
- ν gleich der Poissonzahl, dimensionslos

- $\varepsilon_{a/b/c}$ gleich den von der Rosette in den drei Richtungen gemessenen Dehnungen in $\mu\text{m/m}$

Die Hauptrichtungen sind die Richtungen, in denen die Hauptnormalspannungen σ_1 und σ_2 auftreten, wie mit der obigen Gleichung berechnet. Die Richtungen der Hauptnormalspannung sind durch den Winkel φ definiert, der sich auf die Messrichtungen der Rosette bezieht; er kann anhand der geometrischen Beziehungen aus den mit der Rosette gemessenen Dehnungen ε_a , ε_b und ε_c bestimmt werden.

Das nachfolgend beschriebene Verfahren soll dem Ingenieur eine unkomplizierte und zuverlässige Methode für die Praxis an die Hand geben. Die theoretischen Aspekte des Mohr'schen Spannungskreises, der die Grundlage dieses Verfahrens bildet, werden in der allgemeinen Literatur beschrieben.

Zuerst wird ein Tangens eines Hilfswinkels ψ berechnet:

$$\tan \psi = \frac{\sqrt{3} \cdot (\varepsilon_b - \varepsilon_c)}{2\varepsilon_a - \varepsilon_b - \varepsilon_c}$$

Unter Berücksichtigung der Signale von Zähler und Nenner sollte der Winkel φ nach folgendem Schema bestimmt werden:

		Zähler $\sqrt{3} \cdot (\varepsilon_b - \varepsilon_c)$	
		Negativ	Positiv
Nenner $2\varepsilon_a - \varepsilon_b - \varepsilon_c$	Positiv	$\varphi = \frac{1}{2} \cdot (180^\circ - \psi)$	$\varphi = \frac{1}{2} \cdot (0^\circ + \psi)$
	Negativ	$\varphi = \frac{1}{2} \cdot (180^\circ + \psi)$	$\varphi = \frac{1}{2} \cdot (360^\circ - \psi)$

Der auf diese Weise ermittelte Winkel φ sollte aus der Achse der als Bezug dienenden Messposition a in mathematisch positiver Richtung (gegen den Uhrzeigersinn) angewendet werden. Die Achse der Messrichtung „a“ bildet einen Schenkel des Winkels φ . Der andere Schenkel stellt die erste Hauptrichtung dar. Dies ist die Richtung der Hauptnormalspannung σ_1 (identisch mit der Hauptdehnungsrichtung ε_1). Die Spitze des Winkels liegt am Schnittpunkt der Achsen senkrecht zu den Messrichtungen. Die zweite Hauptrichtung (Richtung der Hauptnormalspannung σ_2) hat den Winkel $\varphi + 90^\circ$.

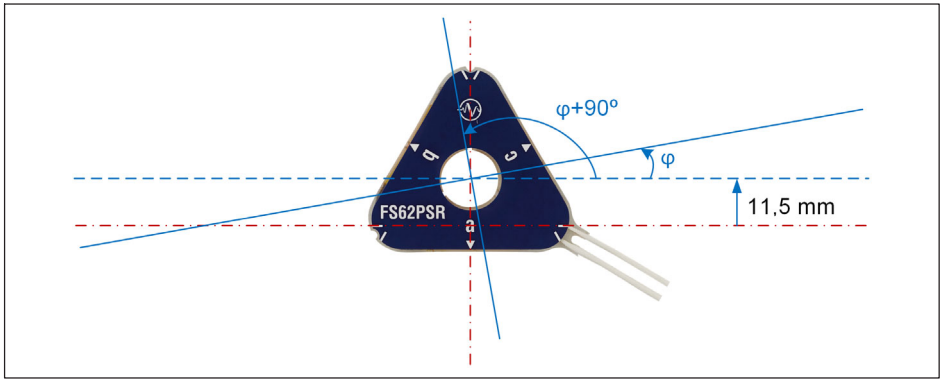


Abb. 3.14 Hauptdehnungsrichtungen

