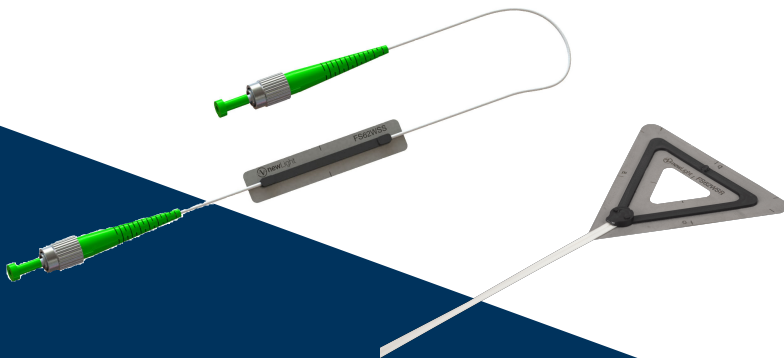


DEUTSCH

Montageanleitung



FS62WSS, FS62WSR (BRD)

**Anschweißbarer Dehnungssensor
(Kabel mit Kunststoff-Gewebeschauch)
Anschweißbare Dehnungsrosette
(Kabel mit Kunststoff-Gewebeschauch)**

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: A05404 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

1	Allgemeines	4
2	Sensorinstallation	5
2.1	Materialliste	5
2.2	Installation von FS62WSS	5
2.2.1	Vorbereitung der Installationsfläche	5
2.2.2	Kennzeichnen der Messstelle	8
2.2.3	Positionieren des Sensors	10
2.2.4	Anschweißen des Sensors	11
2.3	Installation von FS62WSR	16
2.3.1	Vorbereitung der Installationsfläche	16
2.3.2	Kennzeichnen der Messstelle	16
2.3.3	Positionieren des Sensors	17
2.3.4	Anschweißen des Sensors	18
2.4	Führen und Schützen der Kabel	20
2.5	Schutz des Sensors	22
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 anschweißbare Dehnungssensoren FS62WSS und die anschweißbare Dehnungsrosette FS62WSR mit der Option Kabel mit Kunststoff-Gewebeschlauch.

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

Bestellinformationen	
Dehnungssensoren	Dehnungsrosette
K-FS62WSS	K-FS62WSR
Sensor-Arrays¹⁾	
K-FS76BRD	

¹⁾ Bei Verwendung von K-FS76BRD kann nur FS62WSS mit den Sensoren FS62PSS und FS63LTS konfiguriert werden. Für Sensor-Arrays, die Dehnungsrosetten FS62WSR enthalten, wenden Sie sich bitte an HBK FiberSensing.



Information

Dieses Dokument beschäftigt sich hauptsächlich mit der Installation von FS62WSS und FS62WSR mit Kabel mit Kunststoff-Gewebeschlauch. Abgesehen von den offenkundigen Unterschieden in Form, Größe und Handhabung der Kabel ist die Installation dieser Sensoren in den Ausführungen mit Aramid- und Panzerkabel ähnlich wie die hier beschriebene. Eine detaillierte Montageanleitung für den anschweißbaren Dehnungssensor FS62WSS oder die anschweißbare Dehnungsrosette FS62WSR mit Aramid- und Panzerkabel ist der zugehörigen Installationsanleitung zu entnehmen.

2 SENSORINSTALLATION

2.1 Materialliste

Im Lieferumfang enthaltenes Material
Sensor(en)
(Mehrere) Muster der Anschweißplatte

Benötigte Ausrüstung
Schleifmaschine (optional)
Punktschweißgerät
Empfohlen: c33 von VBS Fügetechnik oder ähnliches Gerät

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
Messstellenschutz Empfehlung von HBK: 1-ABM75 und/oder AK22

2.2 Installation von FS62WSS

2.2.1 Vorbereitung der Installationsfläche

Für die Installation der optischen Dehnungsmessstreifen oder -sensoren muss die Oberfläche des Messobjekts zuerst gereinigt werden und eben sein. Farbe und Rost vollständig von der Installationsfläche entfernen, bis ein schweißbares Material freiliegt (Abb. 2.1). Sicherstellen, dass die Oberfläche keine Unregelmäßigkeiten aufweist und auch kein Schleifstaub mehr an ihr haftet, da dies den Schweißvorgang beeinträchtigen würde. Sofern erforderlich, die Oberfläche zum Ausgleichen mit Schleifpapier nachbearbeiten.



Abb. 2.1 *Abschleifen der Oberfläche mit der Maschine*



Tipp

Die vorzubereitende Fläche mit der Muster-Sensorplatte festlegen.



Abb. 2.2 *Unebene und rostige Oberfläche, ungeeignet für den anschweißbaren Sensor*



Abb. 2.3 Nachschleifen der Oberfläche von Hand



Abb. 2.4 Zum Schweißen bereite Oberfläche

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

Die Oberfläche mit einem geeigneten Reinigungsmittel (empfohlen wird RMS 1) und Vliesstoff-Pads reinigen (Abb. 2.5 und Abb. 2.6).



Abb. 2.5 Verwenden von Reinigungsmittel RMS1 und Vliesstoff-Pads



Abb. 2.6 Reinigen der Oberfläche

Die Wischbewegungen sollten 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. Dieser Schritt ist besonders wichtig für den Dehnungssensor, da die Sensorpositionierung die Messrichtung vorgibt.

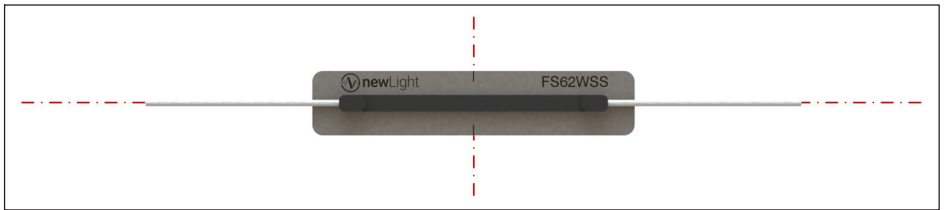


Abb. 2.7 Ausrichtmarkierungen des Sensors



Tipp

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



Abb. 2.8 Anzeichnen der Hilfslinien

2.2.3 Positionieren des Sensors

Vier Klebebandstreifen vorbereiten: zwei mit ca. 3 cm und zwei mit ca. 7 cm (Abb. 2.9).

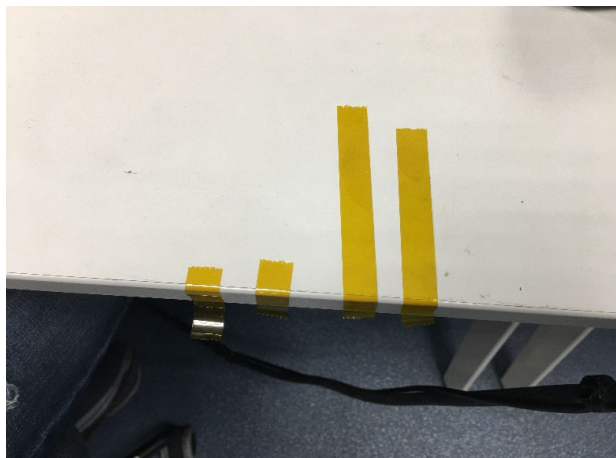


Abb. 2.9 Zur Verwendung vorbereitete Klebebandstreifen

Den Sensor vorsichtig aus der Verpackung nehmen und an den angezeichneten Markierungen ausrichten.

Mit den kleineren vorbereiteten Klebebandstreifen die Sensorkabel in ihrer Position sichern (Abb. 2.10).

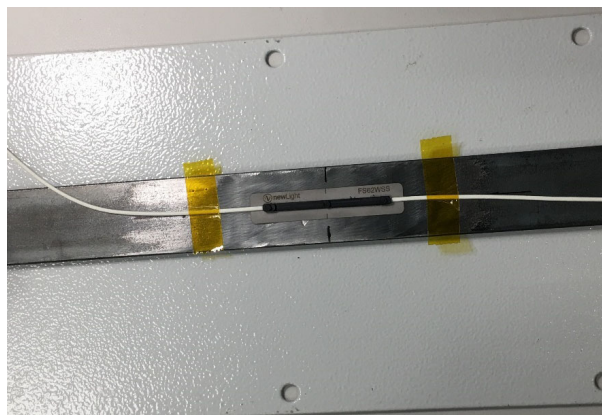


Abb. 2.10 Erste Ausrichtung

Mit den größeren Klebebandstreifen die langen Kanten des Sensors an der Probe befestigen, dabei etwa einen Millimeter der Sensorplatte überdecken (Abb. 2.11). Dies sorgt dafür, dass sich der Sensor während des Anschweißens nicht verschiebt.

Hinweis

Darauf achten, dass die Schweißfläche frei von Klebeband ist. Wenn Schweißungen auf Flächen mit Klebeband oder Klebstoff ausgeführt werden, führt dies zu einer Störung beim Entladen, durch die der Sensor zerstört werden könnte.



Abb. 2.11 Sorgfältiges Befestigen des Sensors sorgt für problemloses Anschweißen

2.2.4 Anschweißen des Sensors

HBK FiberSensing empfiehlt die Verwendung von c33 von VBS Fügetechnik (www.vbs-fuegetechnik.de) oder eines ähnlichen Modells.



Abb. 2.12 Empfohlenes Punktschweißgerät

Testen der SchweißEinstellungen

Die idealen SchweißEinstellungen können von Fall zu Fall unterschiedlich sein (sie hängen nicht nur vom verwendeten Punktschweißgerät ab, sondern auch von der Dicke des Materials, der Position der Elektrode usw.). Deshalb werden Muster von Schweißplatten zum Feinabstimmen der Rezepturen bereitgestellt. Die Schweißparameter anpassen, dazu Tests auf dem gereinigten Bereich in ausreichendem Abstand von der Sensorposition durchführen.



Tipp

Die Musterplatte durch Punktschweißen befestigen und daran ziehen, um sie von der Oberfläche abzulösen. Bei einer guten Schweißung sollte das schwierig sein, und nach dem Ablösen sollten die Schweißpunkte zu Löchern in der Musterplatte geworden sein, wie in Abb. 2.13 zu sehen. Bei den allgemein üblichen Einstellungen liegt die Spannung zwischen 40 V und 60 V.



Abb. 2.13 Bestätigung der richtigen SchweißEinstellungen

Die Elektrodenspitze sollte so beschnitten werden, dass sie flach ist und einen Durchmesser von ca. 1 mm hat (Abb. 2.14).



Abb. 2.14 Elektrodenspitze



Tipp

Für optimale Ergebnisse sollte die Elektrodenspitze während des Schweißverfahrens oft beschnitten werden.

Beim Schweißen die Schweißpistole senkrecht nach unten drücken (wie in *Abb. 2.15* gezeigt); dabei hält eine Hand die Pistole, und der Ballen der anderen Hand oben auf der Pistole drückt diese kräftig nach unten.



Abb. 2.15 Korrekte Schweißposition

Schweißverfahren

Die Sensoren werden jeweils von der Mitte nach außen mit Punkten im Abstand von ca. 1 mm angeschweißt.

Dem Verlauf der Schweißpunkte gemäß der Darstellung in *Abb. 2.16* folgen.

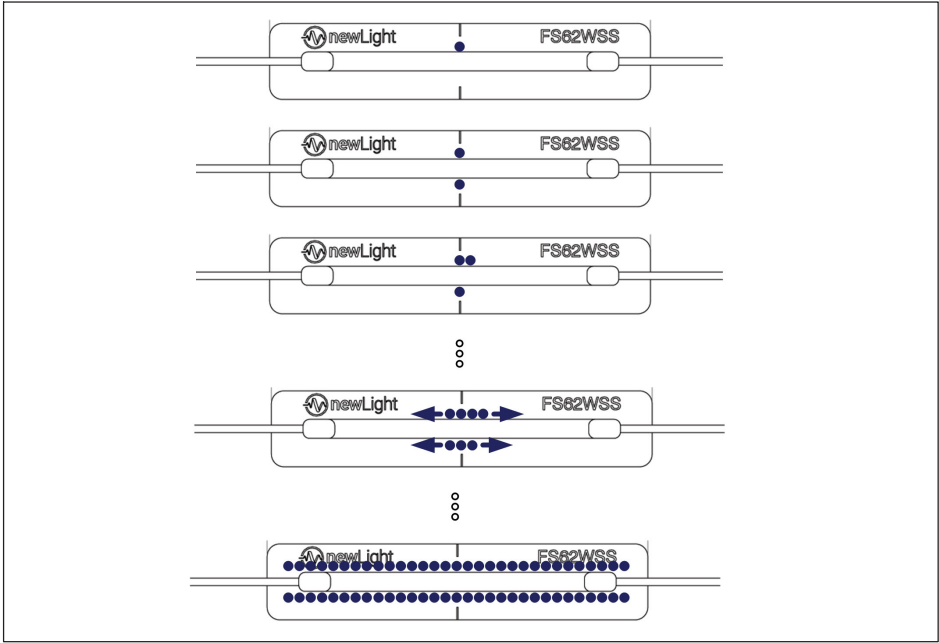


Abb. 2.16 Schweißverfahren für FS62WSS BRD



Abb. 2.17 Anschweißen des Sensors



Tipp

Wenn der FS62WSS in der Ausführung mit Kabel mit Kunststoff-Gewebeschauch vollständig angeschweißt ist, sollte jede Linie ungefähr 35 Schweißpunkte haben.



Abb. 2.18 Vollständig angeschweißter Sensor

2.3 Installation von FS62WSR

2.3.1 Vorbereitung der Installationsfläche

Die Oberfläche so reinigen, wie in *Abschnitt 2.2.1 auf Seite 5* beschrieben. Dabei die Musterplatte als Anhaltspunkt für die Festlegung der zu reinigenden Fläche verwenden.

2.3.2 Kennzeichen der Messstelle

Die Rosette FS62WSR 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. 2.19 dargestellt*.

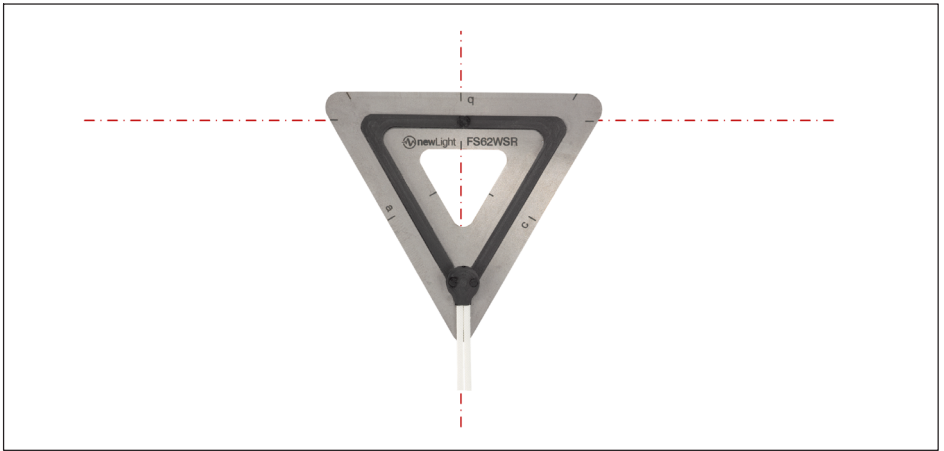


Abb. 2.19 Ausrichtmarkierungen der Rosette FS62WSR

Zuerst das Hilfslinienkreuz anzeichnen, ähnlich wie in *Abschnitt 2.2.2 auf Seite 8* beschrieben, und dafür eine der FBG-Ausrichtungen wählen, zum Beispiel „b“, sowie die Senkrechte zu ihr.

2.3.3 Positionieren des Sensors

Vier Streifen eines geeigneten Klebebands vorbereiten (zum Beispiel Abdeckband). Drei ausreichend lange Streifen, um die drei Seiten des Rosettendreiecks zu sichern, und den vierten zum Sichern der Kabel.

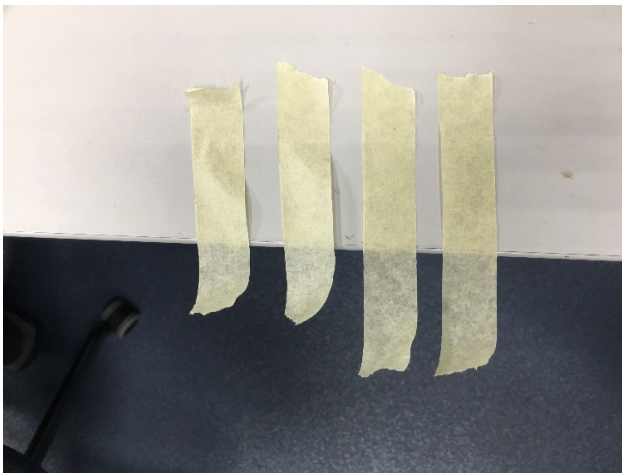


Abb. 2.20 Zur Verwendung vorbereitete Klebebandstreifen

Die optische Rosette auf dem angezeichneten Kreuz positionieren. Die gewählte Richtung, zum Beispiel „b“, an der horizontalen Markierung ausrichten. Als Hilfe bei dieser Positionierung an den Ausrichtungsmarkierungen an der Grundseite des Sensors orientieren. Dann die Ausrichtung senkrecht dazu vornehmen, zum Beispiel zwischen den Linien, die zur Mitte der Richtung „b“ zeigen, und dem Kabel, das zwischen den Richtungen „a“ und „c“ austritt.

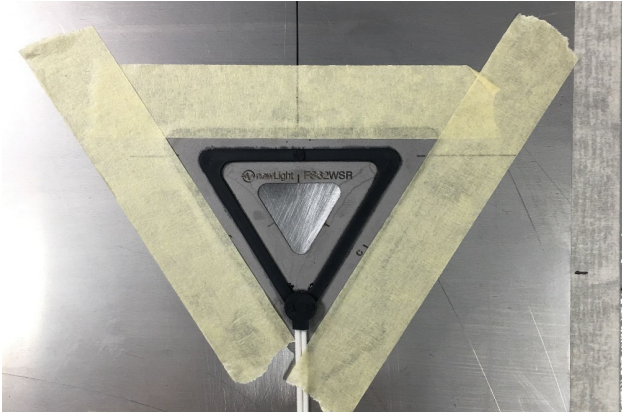


Abb. 2.21 Ausrichten und Sichern der optischen Rosette

Die Rosette mit dem Abdeckband in ihrer Position sichern, dazu das Band entlang der Seiten mit einer Überdeckung von ca. einem Millimeter anbringen.

Hinweis

Darauf achten, dass die Schweißfläche frei von Klebeband ist. Wenn Schweißungen auf Flächen mit Klebeband oder Klebstoff ausgeführt werden, führt dies zu einer Störung beim Entladen, durch die der Sensor zerstört werden könnte.

2.3.4 Anschweißen des Sensors

Testen der SchweißEinstellungen

Zuerst die SchweißEinstellungen nach dem in Abschnitt 2.2.4 „Anschweißen des Sensors“, Seite 11 beschriebenen Verfahren testen.

Schweißverfahren

Die Rosette wird jeweils von der Mitte nach außen in jeder der FBG-Ausrichtungen mit Punkten im Abstand von ca. 1 mm angeschweißt.

Dem Verlauf der Schweißpunkte gemäß der Darstellung in Abb. 2.22 folgen. Für die übrigen Messrichtungen wiederholen.

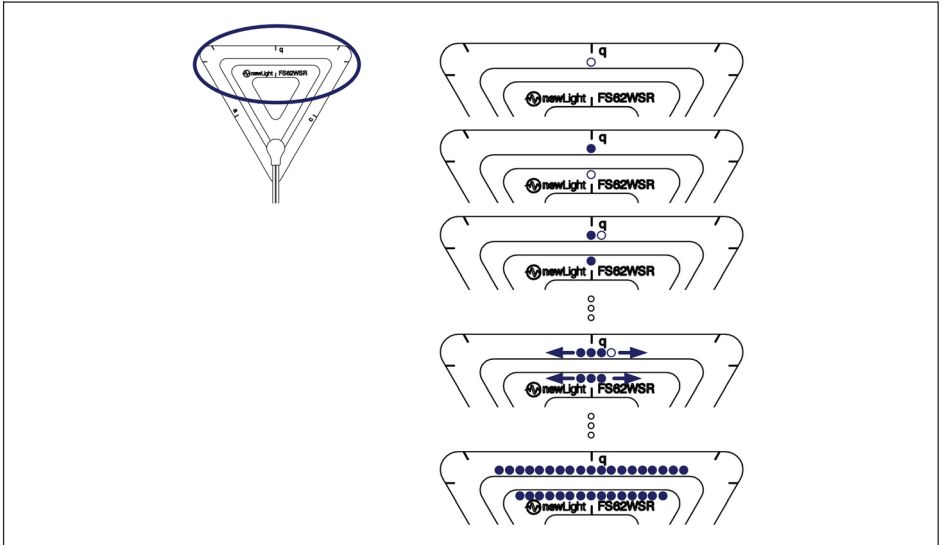


Abb. 2.22 Anschweißverfahren der Rosette FS62WSR BRD in jeder Messrichtung

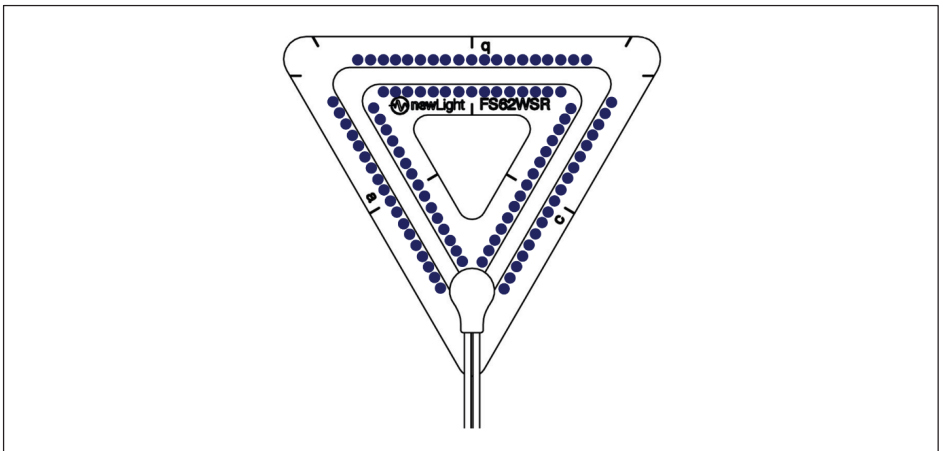


Abb. 2.23 Anordnung der Punkte bei fertig angeschweißter Rosette FS62WSR BRD



Tipp

Wenn die Rosette FS62WSR in der Ausführung mit Kabel mit Kunststoff-Gewebeschauch vollständig angeschweißt ist, sollte die Außenlinie in jeder Ausrichtung ungefähr 35 Schweißpunkte haben.

2.4 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).

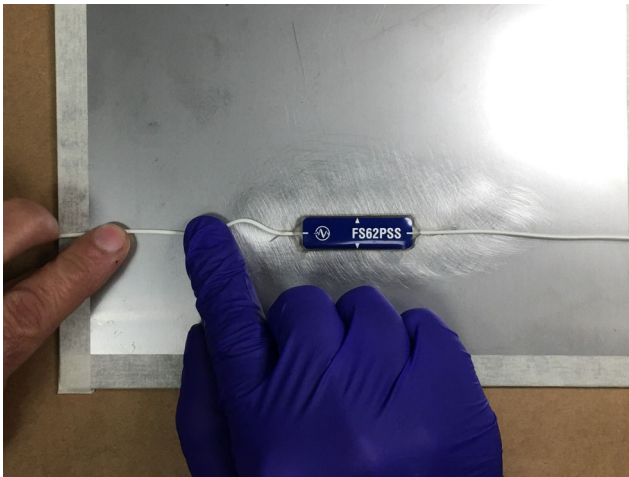


Abb. 2.24 Zugentlastung für die Glasfaser

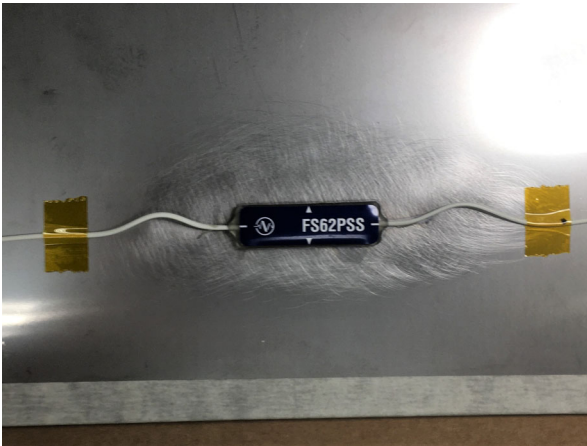


Abb. 2.25 Fixieren der Glasfaser-Zugentlastung mit Klebeband

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

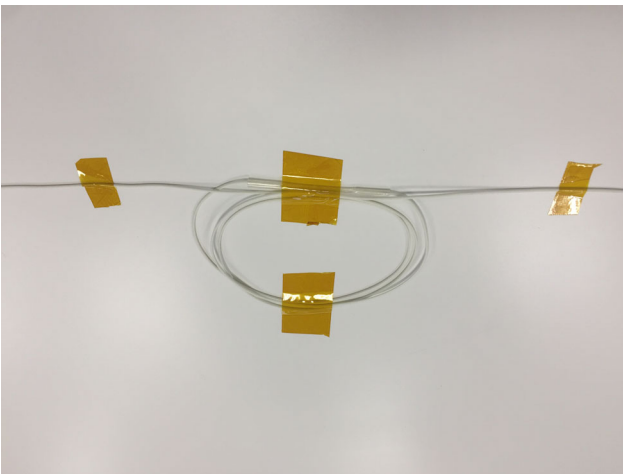


Abb. 2.26 Führung eines Kabels mit Kunststoff-Gewebeslauch

Für Anwendungen im Freien empfiehlt es sich, die Kabelwege zusätzlich vor Feuchtigkeit und mechanischer Beschädigung zu schtzen. 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-Gewebeschlauch 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).

2.5 Schutz des Sensors

Der FS62WSS und die FS62WSR 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).

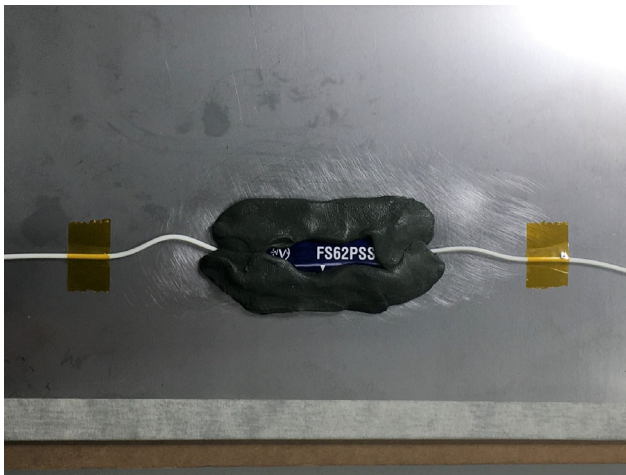


Abb. 2.27 Abdecken der Sensorkanten mit AK22

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).

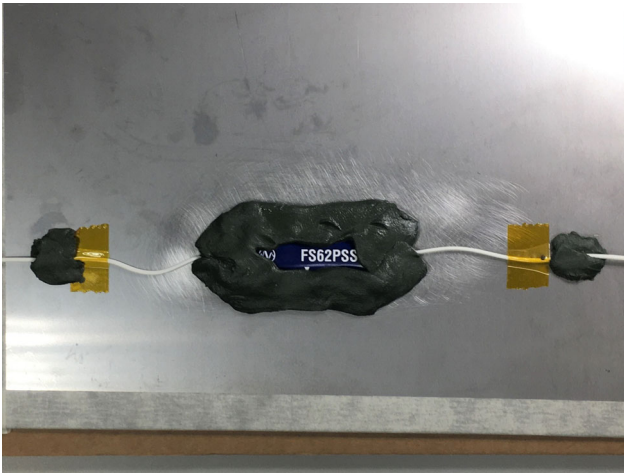


Abb. 2.28

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 FS62WSS und einen FS62LTS zur Temperaturkompensation) zu überdecken, und über den Sensor legen.

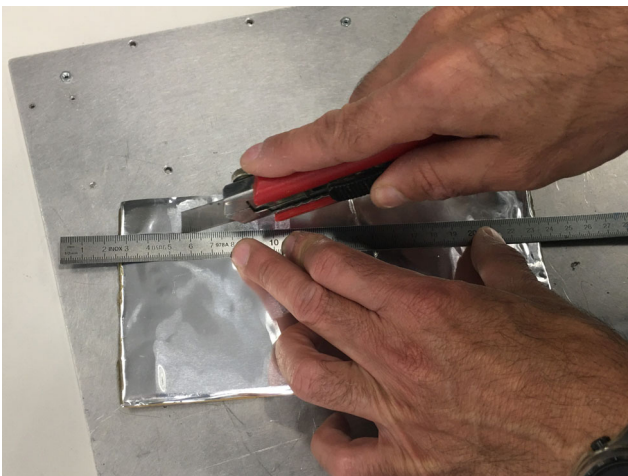


Abb. 2.29 Zuschneiden von ABM75 passend zur Sensorfläche

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 $^{\circ}\text{C}$

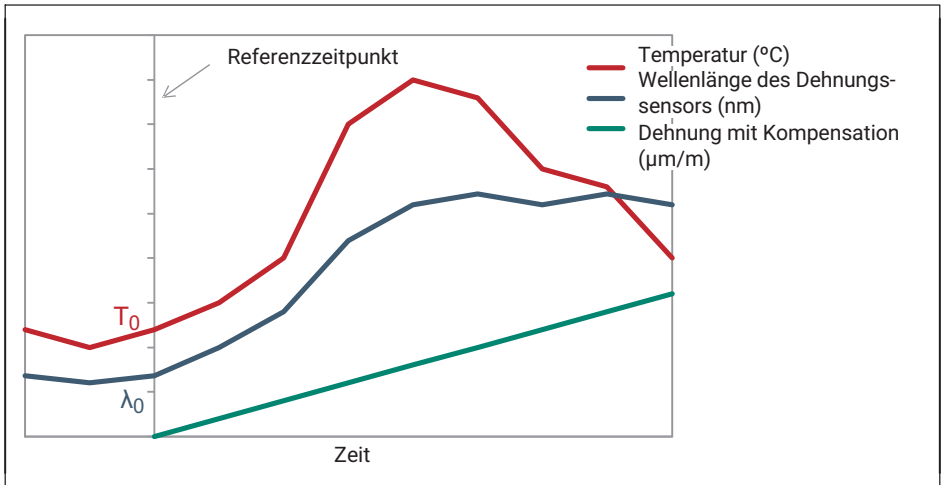


Abb. 3.5 Referenzzeitpunkt für temperaturkompensierte Dehnungsmessung bei Verwendung eines Temperatursensors für die Kompensation

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 $(\mu\text{m}/\text{m})/^{\circ}\text{C}$

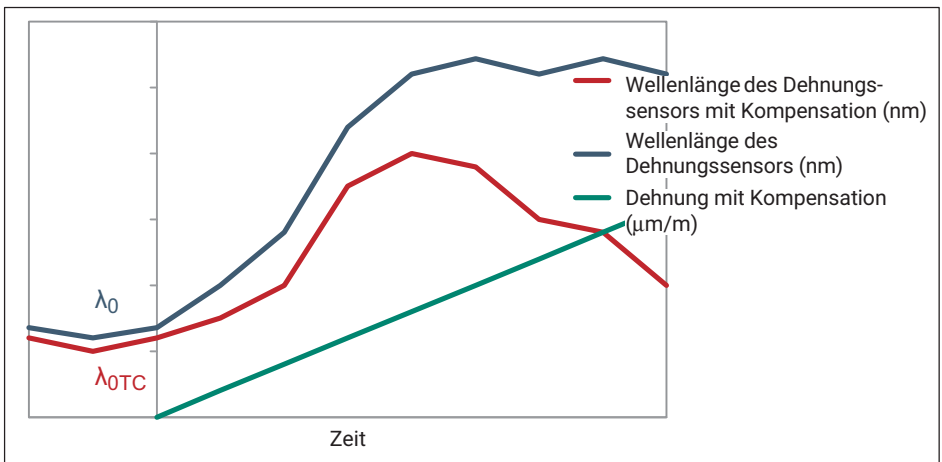


Abb. 3.8 Referenzzeitpunkt für temperaturkompensierte Dehnungsmessung bei Verwendung eines FBG-Kompensationselements

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.

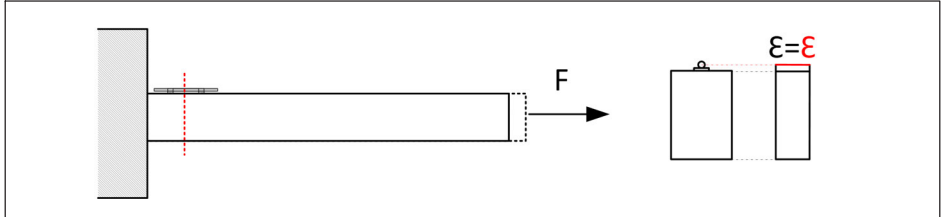


Abb. 3.9 Dehnung bei rein axialer Verformung

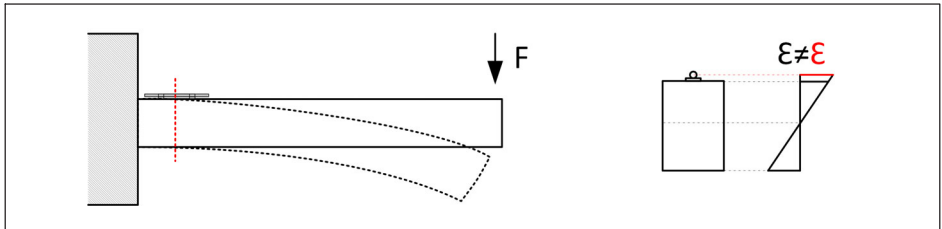


Abb. 3.10 Dehnung bei reinem Biegemoment

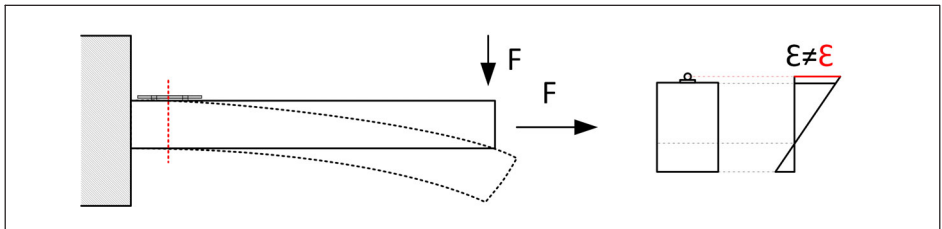


Abb. 3.11 Dehnung bei axialer Belastung und Biegemoment

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).

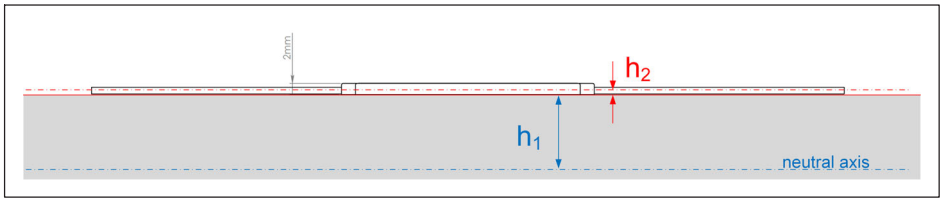


Abb. 3.12 Abstand des FBG zur Montagefläche beim FS62PSS

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 $\mu\text{m/m}$
- 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 (0,225 mm für FS62WSS und FS62WSR).

Messen der Hauptspannungen

Die Hauptspannungen können bei der anschweißbaren Dehnungsrosette FS62WSR 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 $\mu\text{m}/\text{m}$

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 eine Tangente 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 $\varphi + 90^\circ$.

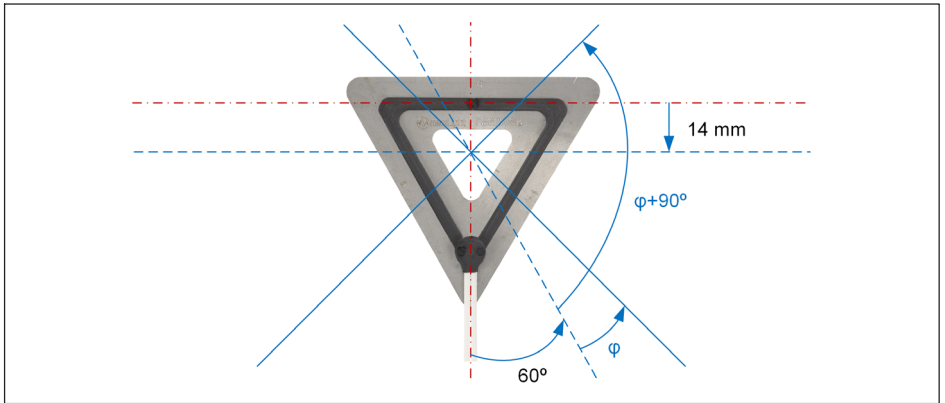


Abb. 3.14 Hauptdehnungsrichtungen

