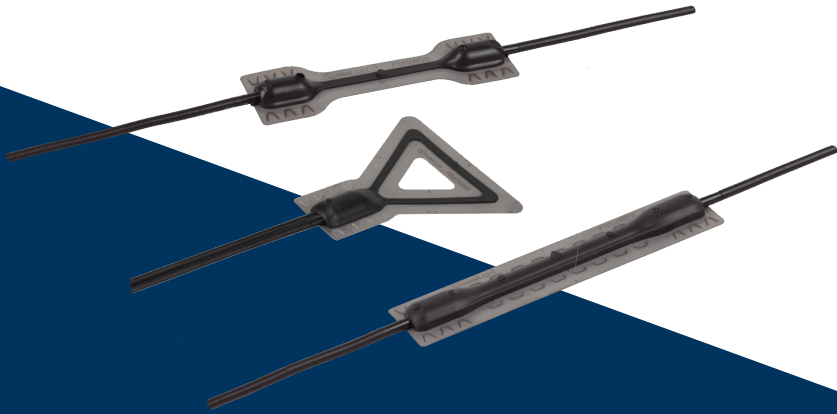


DEUTSCH

## Montageanleitung



## FS62WSS, FS62WSR, FS63WTS

**Anschweißbarer Dehnungssensor,  
anschweißbare Dehnungsrosette und  
anschweißbarer Temperatursensor**

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: A05160 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>Allgemeine Informationen</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Sensorinstallation</b> .....	<b>5</b>
2.1	Materialliste .....	5
2.2	Installation von FS62WSS .....	5
2.2.1	Vorbereitung der Installationsfläche .....	5
2.2.2	Kennzeichnen der Messstelle .....	9
2.2.3	Positionieren des Sensors .....	10
2.2.4	Schweißverfahren .....	11
2.3	Installation von FS62WSR .....	17
2.3.1	Vorbereitung der Installationsfläche .....	17
2.3.2	Kennzeichnen der Messstelle .....	17
2.3.3	Positionieren des Sensors .....	18
2.3.4	Schweißverfahren .....	19
2.4	Installation von FS63WTS .....	22
2.4.1	Vorbereitung der Installationsfläche .....	22
2.4.2	Kennzeichnen der Messstelle .....	22
2.4.3	Positionieren des Sensors .....	22
2.4.4	Schweißverfahren .....	22
2.5	Führen und Schützen der Kabel .....	24
2.6	Schutz des Sensors .....	25
<b>3</b>	<b>Sensorkonfiguration</b> .....	<b>27</b>
3.1	Dokumentation zu den Sensoren .....	27
3.2	Berechnung der Messung .....	27
3.2.1	Temperatur .....	27
3.2.2	Dehnung .....	28

# 1 ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Die folgende Anleitung beschreibt das Installationsverfahren für die anschweißbaren Dehnungssensoren FS62WSS, die anschweißbaren Dehnungsrosetten FS62WSR und die Temperatursensoren FS63WTS.

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

## Bestellinformationen

Dehnungssensoren	DMS-Rosetten	Temperatursensoren
K-FS62WSS	K-FS62WSR	K-FS63WTS
1-FS62WSS-ARM/1510	1-FS62WSR-ARM/3505	1-FS63WTS-ARM/1515
1-FS62WSS-ARM/1520	1-FS62WSR-ARM/3520	1-FS63WTS-ARM/1525
1-FS62WSS-ARM/1530	1-FS62WSR-ARM/3535	1-FS63WTS-ARM/1535
1-FS62WSS-ARM/1540	1-FS62WSR-ARM/3550	1-FS63WTS-ARM/1545
1-FS62WSS-ARM/1550	1-FS62WSR-ARM/3565	1-FS63WTS-ARM/1555
1-FS62WSS-ARM/1560	1-FS62WSR-ARM/3580	1-FS63WTS-ARM/1565
1-FS62WSS-ARM/1570		1-FS63WTS-ARM/1575
1-FS62WSS-ARM/1580		1-FS63WTS-ARM/1585
1-FS62WSS-ARM/1590		1-FS63WTS-ARM/1595

Sensor-Arrays <sup>1)</sup>	
K-FS76ARD	K-FS76ARM

<sup>1)</sup> Sensor-Arrays stehen nur für FS62WSS und FS63WTS zur Verfügung. 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 in den Ausführungen mit Aramid- und Panzerkabel. Abgesehen von den offenkundigen Unterschieden in Form, Größe und Handhabung der Kabel ist die Installation ähnlich wie in der Kabelausführung mit Kunststoff-Gewebeschauch. Eine detaillierte Montageanleitung für den anschweißbaren Dehnungssensor FS62WSS oder die anschweißbare Dehnungsrosette FS62WSR mit Kabel mit Kunststoff-Gewebeschauch ist der zugehörigen Installationsanleitung zu entnehmen.*

## 2 SENSORINSTALLATION

### 2.1 Materialliste

#### Im Lieferumfang enthaltenes Material

FS62WSS	FS62WSR	FS63WTS
Sensor (Mehrere) Muster der Anschweißplatte	Rosette (Mehrere) Muster der Anschweißplatte	Sensor (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

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

Die Oberfläche muss 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.

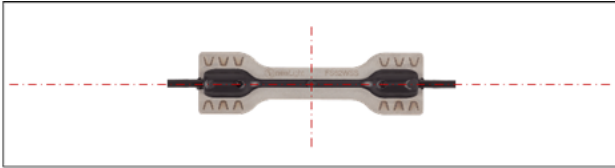


Abb. 2.7 Ausrichtmarkierungen des Sensors



### Tipp

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

Die Länge der Hilfslinie sollte ca. 150 mm in Messrichtung betragen. Eine ca. 50 mm lange vertikale Hilfslinie muss von der Mitte der Installationsstelle aus gezeichnet werden, siehe Abb. 2.7 und Abb. 2.8.



Abb. 2.8 Kennzeichnen der Sensorposition

### 2.2.3 Positionieren des Sensors

Vier Streifen eines geeigneten Klebebands vorbereiten (zum Beispiel Abdeckband). Zwei ausreichend lange Streifen, um die Kabel zu sichern, und die anderen beiden zum Sichern an den Längsseiten des Sensors.



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 längeren Klebebandstreifen den Sensor an seinen Längsseiten fixieren, dazu die größeren Flächen für die Zugentlastung der Kabel verwenden. 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.*

---

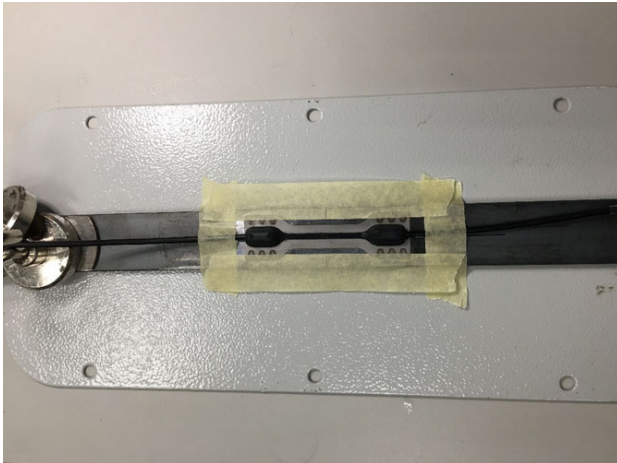


Abb. 2.11 Sorgfältiges Befestigen des Sensors sorgt für problemloses Anschweißen

## 2.2.4 Schweißverfahren

HBK FiberSensing empfiehlt die Verwendung eines Modells c33 von VBS Fügetechnik.



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.

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.



Abb. 2.13 Bestätigung der richtigen SchweißEinstellungen



### Tipp

Bei den allgemein üblichen Einstellungen liegt die Spannung zwischen 40 V und 60 V.

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

## Anschweißen des Sensors

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.

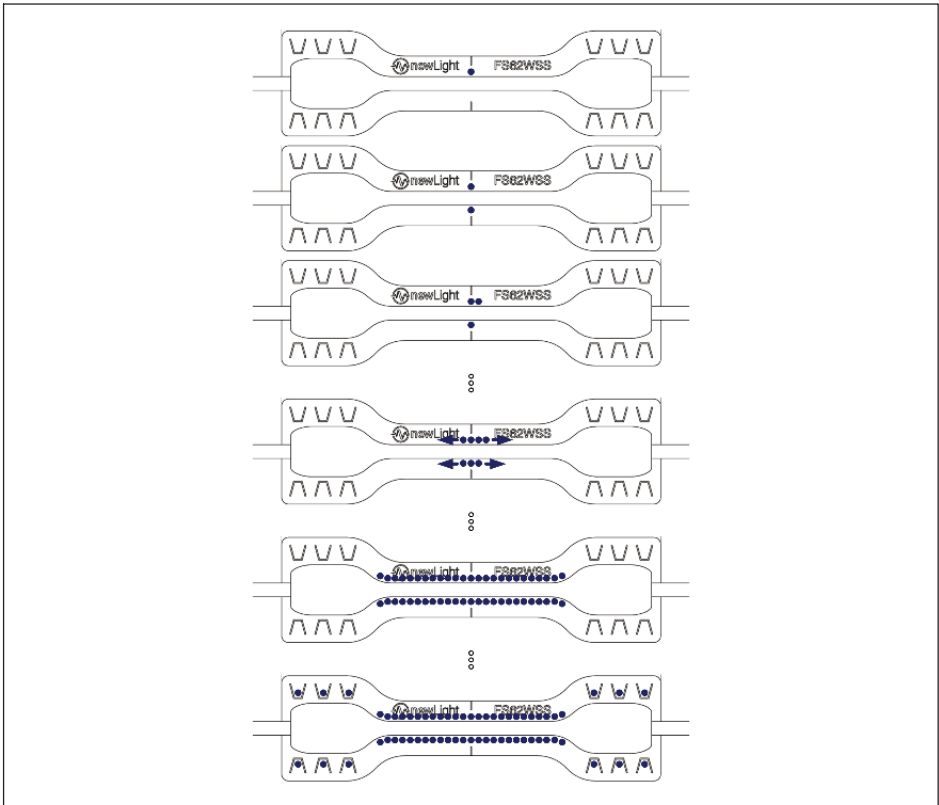


Abb. 2.16 Schweißverfahren für FS62WSS

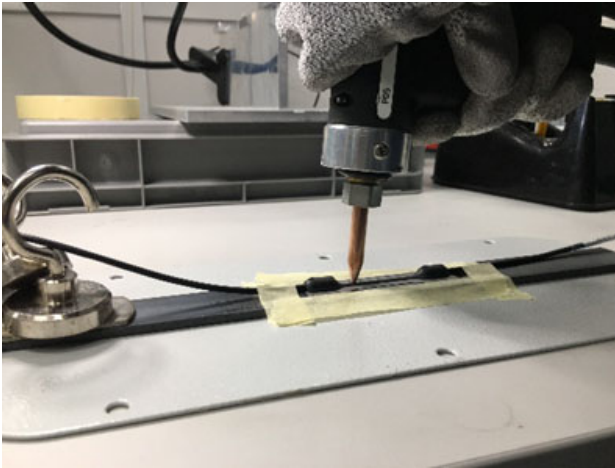


Abb. 2.17 Anschweißen des Sensors



### Tipp

Wenn der FS62WSS in der Ausführung mit Aramid- oder Panzerkabel vollständig angeschweißt ist, sollte jede Linie ungefähr 31 Schweißpunkte haben.

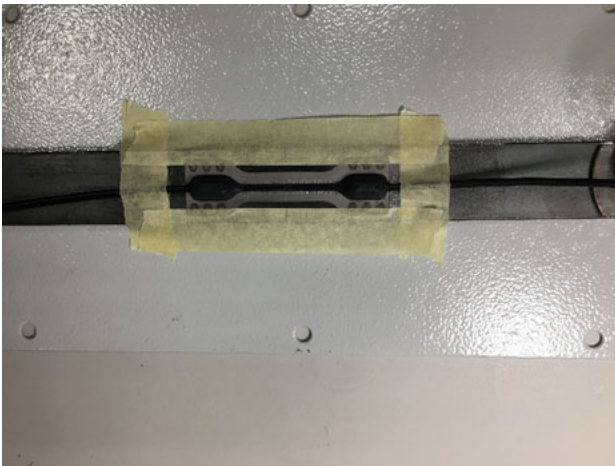


Abb. 2.18 Vollständig angeschweißter Sensor

Die Klebebänder entfernen und die Glasfaserkabel mit den mitgelieferten Stahlschellen sichern (siehe Abb. 2.19).





Abb. 2.19 Angeschweißter Sensor mit Stahlschellen

## 2.3 Installation von FS62WSR

### 2.3.1 Vorbereitung der Installationsfläche

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

### 2.3.2 Kennzeichnen 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. 2.20* dargestellt.

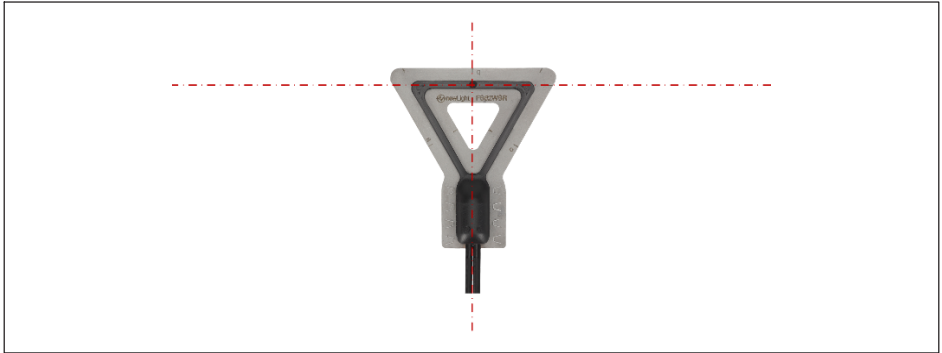


Abb. 2.20 Ausrichtmarkierungen der Rosette

### 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. 2.21 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 Ausrichtmarkierungen 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. 2.22 Ausgerichtete und mit Abdeckband gesicherte Rosette FS62WSR

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 Schweißverfahren

#### Testen der SchweißEinstellungen

Zuerst die SchweißEinstellungen nach dem in *Abschnitt 2.2.4 „Schweißverfahren“*, Seite 11 beschriebenen Verfahren testen.

#### Anschweißen der Rosette

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. 2.23* folgen. Für die übrigen Messrichtungen wiederholen (*Abb. 2.24*). Danach die Punktschweißungen an den Zugentlastungen ausführen (*Abb. 2.25*).

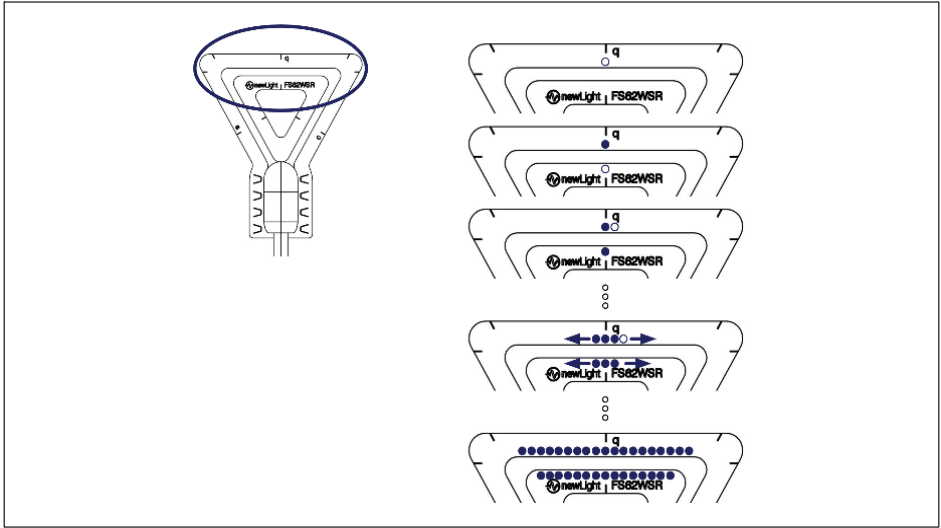


Abb. 2.23 Schweißreihenfolge für die Rosette FS62WSR, Schritt 1

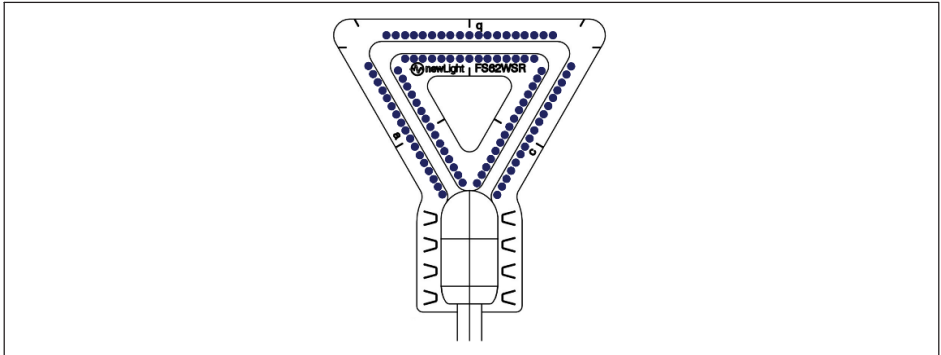


Abb. 2.24 Schweißreihenfolge für die Rosette FS62WSR, Schritt 2

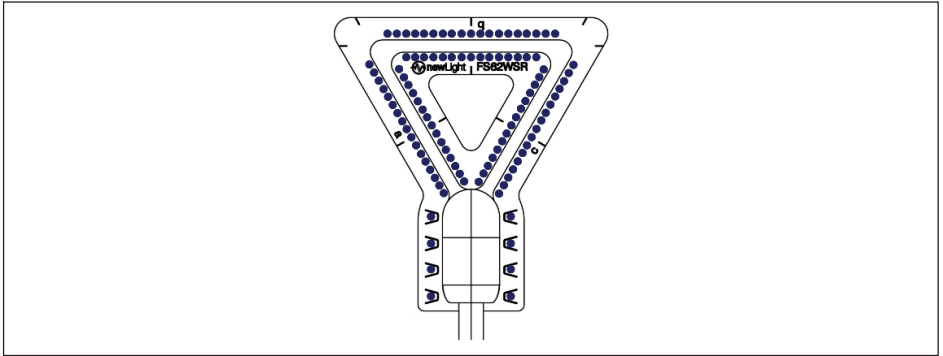


Abb. 2.25 Schweißreihenfolge für die Rosette FS62WSR, Schritt 3



**Tipp**

Wenn die Rosette FS62WSR in der Ausführung mit Aramid- oder Panzerkabel vollständig angeschweißt ist, sollte die Außenlinie in jeder Ausrichtung ungefähr 35 Schweißpunkte haben.



Abb. 2.26 Schweißverfahren für FS62WSR

Zum Schluss die Glasfaserkabel mit den mitgelieferten Stahlschellen sichern (Abb. 2.27).



Abb. 2.27 FS62WSR mit Stahlschellen

## 2.4 Installation von FS63WTS

### 2.4.1 Vorbereitung der Installationsfläche

Für die Installation des anschweißbaren Temperatursensors FS63WTS muss die Oberfläche sauber und frei von Unebenheiten sein. So vorgehen, wie in *Abschnitt 2.2.1 „Vorbereitung der Installationsfläche“*, Seite 5 beschrieben.

### 2.4.2 Kennzeichnen der Messstelle

So vorgehen, wie in *Abschnitt 2.2.2 „Kennzeichnen der Messstelle“*, Seite 9 beschrieben.

### 2.4.3 Positionieren des Sensors

So vorgehen, wie in *Abschnitt 2.2.3 „Positionieren des Sensors“*, Seite 10 beschrieben.

### 2.4.4 Schweißverfahren

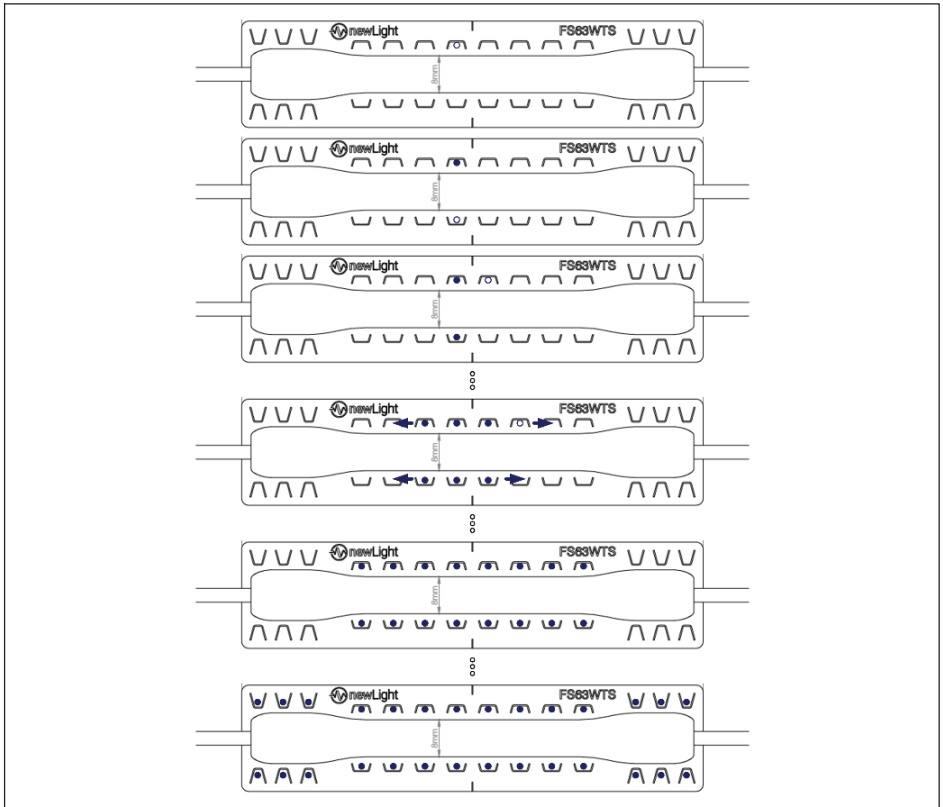
#### Testen der SchweißEinstellungen

Zuerst die SchweißEinstellungen nach dem in *Abschnitt 2.2.4 „Schweißverfahren“*, Seite 11 beschriebenen Verfahren testen.

#### Anschweißen des Sensors

Die Sensoren werden jeweils von der Mitte bis nach außen zu den Zugentlastungsflächen mit Punktschweißungen befestigt.

Dem Verlauf der Schweißpunkte gemäß der Darstellung in *Abb. 2.20* folgen. Wenn der Sensor auf beiden Seiten über seine volle Länge angeschweißt ist, anschließend die Punktschweißungen an der Zugentlastungen der Kabel ausführen.



*Abb. 2.28* Schweißreihenfolge für FS63WTS

Nach dem Anschweißen die Glasfaserkabel mit den mitgelieferten Stahlschellen sichern (siehe *Abb. 2.19*, Seite 17) und danach die Kabel führen und schützen.

## 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. Das Kabel sollte beispielsweise mit Klemmen oder starkem Klebeband befestigt werden (Abb. 2.29). Wenn geschützte Speistellen vorhanden sind, auch auf eine gute Fixierung der Speistellen achten.



Abb. 2.29 Kabelführung

Für die Führung der längeren Verbindungskabel zum Anschluss an den Interrogator können auch Wellrohre aus Kunststoff verwendet werden (Abb. 2.30).



Abb. 2.30 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. 2.31).



Abb. 2.31 Schutzgehäuse für nicht benötigte Kabel und Anschlüsse

## 2.6 Schutz des Sensors

Die Sensoren FS62WSS, FS62WSR und FS63WTS sind robuste Sensoren aus Edelstahl. Dennoch sind die Oberflächen der zu überwachenden Struktur und die Schweißpunkte sensible Stellen, an denen es zu Korrosion kommen kann. Die Sensorflächen und die abgeschliffene Fläche sollten daher vor Feuchtigkeit geschützt werden.

Zum Schutz werden das Abdeckmittel AK22 (knetbarer Kitt, Abb. 2.32) und/oder ABM75 (Alufolie und Knetmasse, Abb. 2.33) empfohlen.



Abb. 2.32 Mit AK22 geschützter Sensor



Abb. 2.33 Mit ABM75 geschützter Sensor

### 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](http://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
- $\lambda$  gleich der gemessenen Bragg-Wellenlänge des Temperatursensors in nm
- $\lambda_0$  gleich der Bragg-Wellenlänge des Temperatursensors bei Referenztemperatur in nm
- $S_0$  gleich 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/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.

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

*Abb. 3.2 Wellenlängenänderung eines FBG-Dehnungssensors durch Dehnungs- 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
- $\varepsilon_{Last}$  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

- $\varepsilon$  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.

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

Abb. 3.4 Dehnungsberechnung mit Temperaturkompensation bei Verwendung eines Temperatursensors

Mit

- $\varepsilon_{\text{Last}}$  gleich der auf die Struktur angewendeten mechanischen Dehnung in  $\mu\text{m}/\text{m}$
- $\lambda$  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 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  $^{\circ}\text{C}$

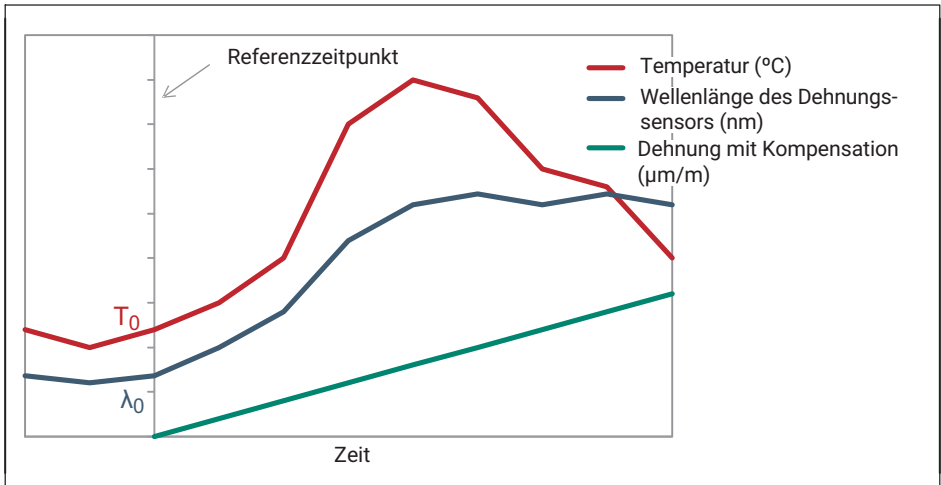


Abb. 3.5 Referenzzeitpunkt für temperaturkompensierte Dehnungsmessung bei Verwendung eines Temperatursensors für die Kompensation

### 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.

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

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

Mit

- $\epsilon_{Last}$  gleich der auf die Struktur angewendeten mechanischen Dehnung 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
- $\lambda_{TC}$  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 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  $(\mu\text{m}/\text{m})/^{\circ}\text{C}$

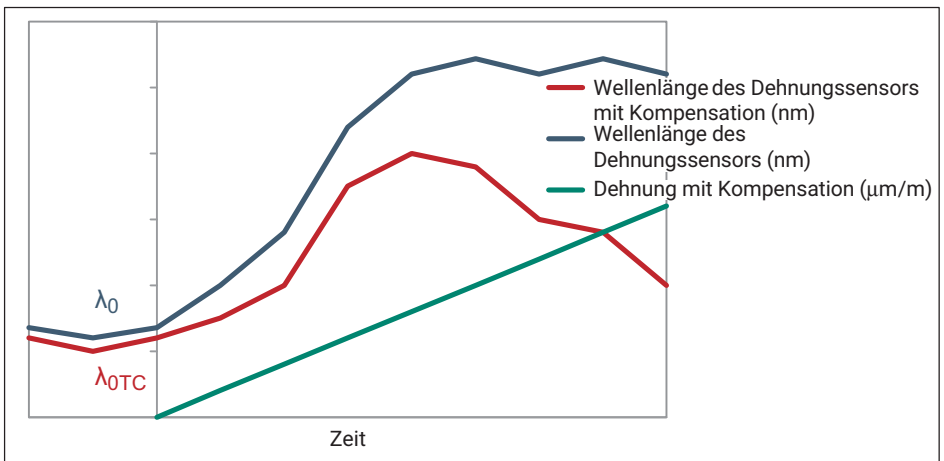


Abb. 3.8 Referenzzeitpunkt für temperaturkompensierte Dehnungsmessung bei Verwendung eines FBG-Kompensationselements

### 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.

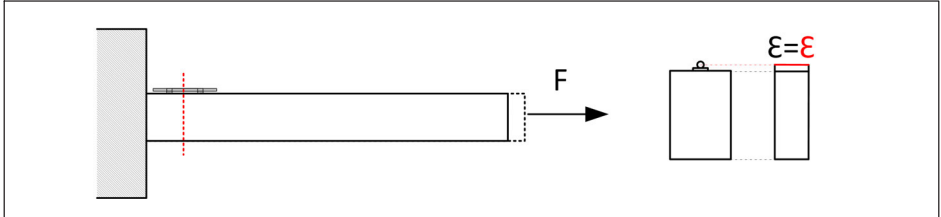


Abb. 3.9 Dehnung bei rein axialer Verformung

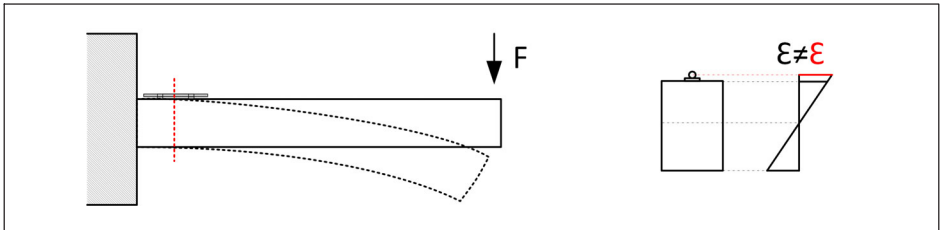


Abb. 3.10 Dehnung bei reinem Biegemoment

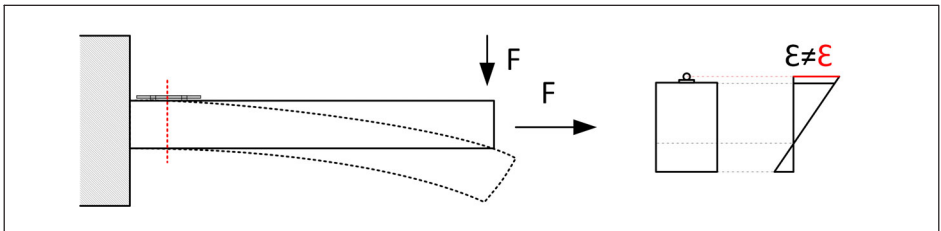


Abb. 3.11 Dehnung bei axialer Belastung und Biegemoment

Dies wird sehr wichtig, wenn es auf den Abstand zwischen dem Sensorelement und der Befestigungsfläche ankommt oder wenn das Messobjekt sehr dünn ist. Beim anschweißbaren Dehnungssensor FS62WSS und bei der anschweißbaren Dehnungsrossette FS62WSR beträgt dieser Abstand 0,25 mm ( $h_2$  in Abb. 3.11).



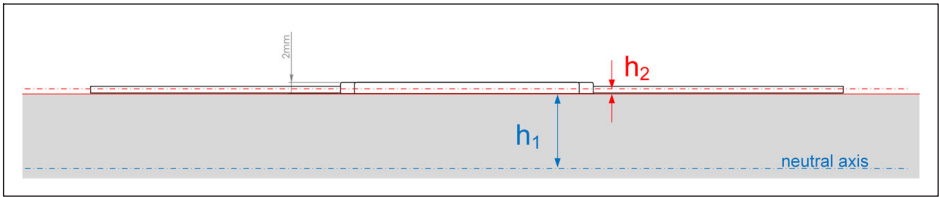


Abb. 3.12 Abstand des FBG zur Montagefläche beim FS62WSS

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  $\mu\text{m/m}$
- $\lambda$  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 (0,225 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
- $\nu$  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  $\sigma_1$  und  $\sigma_2$  auftreten, wie mit der obigen Gleichung berechnet. Die Richtungen der Hauptnormalspannung sind durch den Winkel  $\varphi$  definiert, der sich auf die Messrichtungen der Rosette bezieht; er kann anhand der geometrischen Beziehungen aus den mit der Rosette gemessenen Dehnungen  $\varepsilon_a$ ,  $\varepsilon_b$  und  $\varepsilon_c$  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  $\psi$  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  $\varphi$  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  $\varphi$  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  $\varphi$ . Der andere Schenkel stellt die erste Hauptrichtung dar. Dies ist die Richtung der Hauptnormalspannung  $\sigma_1$  (identisch mit der Hauptdehnungsrichtung  $\varepsilon_1$ ). Die Spitze des Winkels liegt am Schnittpunkt der Achsen senkrecht zu den Messrichtungen. Die zweite Hauptrichtung (Richtung der Hauptnormalspannung  $\sigma_2$ ) hat den Winkel  $\varphi + 90^\circ$ .

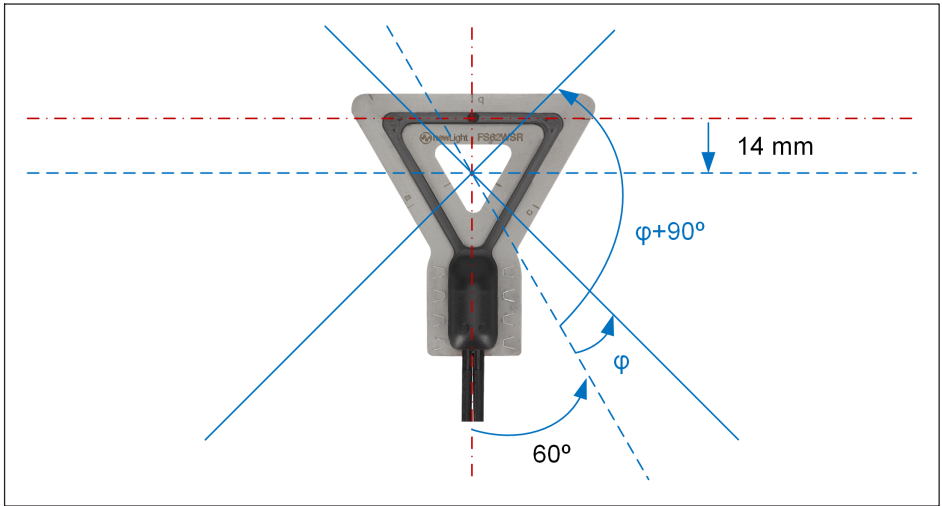


Abb. 3.14 Hauptdehnungsrichtungen

