

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Institut für Mikro- und Sensorsysteme (IMOS)



Laborpraktikum

Sensorik

Versuch

Elektrische Ankopplung von Sensoren

S 2

Institut für Mikro- und Sensorsysteme
Lehrstuhl Meßtechnik/Sensorik
Prof. Dr. rer. nat. habil. P. Hauptmann

Postfach 4120
39016 Magdeburg
Tel.: (0391) 67 18309

Inhaltsverzeichnis

1. Versuchsziel	3
2. Grundlagen.....	3
2.1 Dehnungsmeßstreifen.....	3
2.2 Verformungskörper mit konstanter Oberflächendehnung	5
2.3 Handhabung von Dehnungsmeßstreifen mit Applikationshilfe.....	6
3. Versuchsanordnung.....	7
3.1 Biegebalken mit konstantem Spannungsverlauf.....	7
3.2 6-Leiterschaltung	9
4. Kontrollfragen	11
5. Aufgabenstellung	11
Literatur.....	12

Betreuer: **Dr.-Ing. Frank Eichelbaum**
Stand vom 12. Juni 2002

1. Versuchsziel

Der Versuch dient zum Kennenlernen der Meßschaltungen für Dehnungsmeßstreifen sowie der Eigenschaften von Metallfoliendehnungsmeßstreifen. Das betrifft besonders die Aspekte der elektrischen Ankopplung der Dehnungsmeßstreifen (DMS) und der Technologie des aufbringens der DMS auf das Meßobjekt.

2. Grundlagen

2.1. Dehnungsmeßstreifen

Dehnungsmeßstreifen (Folie-DMS) sind Meßmittel zur Erfassung von mechanischen Spannungen und Dehnung an Bauteilen und haben unter allen anderen Verfahren der Spannungs- und Dehnungsmessung die größte praktische Bedeutung erlangt. Unter dem Begriff der Dehnung bzw. Stauchung versteht man allgemein die vorzeichenabhängige relative Längenänderung.

Treten beispielsweise an einem mechanischen Bauteil infolge äußerer oder innerer Kraftwirkungen Gestaltänderungen auf, so gehen diese mit Verzerrungen (Dehnungen) seiner Oberfläche einher. Ein an dieser Oberfläche befestigter Dehnungsmeßstreifen folgt nun den ihm vom Meßobjekt aufgezwungenen Dehnungen und verändert dabei seinen elektrischen Widerstand. Die Widerstandsänderung ist ein Maß für die auftretende Dehnung. Die Anwendung und der Einsatz von Dehnungsmeßstreifen ist zur Messung solcher Größen angebracht, die sich auf eine Dehnung bzw. Stauchung abbilden lassen. Dehnungsmeßstreifen bieten somit die Möglichkeit, mechanische nichtelektrische Größen in eine elektrische Größe zu wandeln und diese der elektrischen Signalverarbeitung zugänglich zu machen. Beispiele derartiger Größen sind die Kraft, das Drehmoment, der Druck, die Beschleunigung und der Weg.

Der Meßbereich ist u.a. vom jeweiligen Typ des Dehnungsmeßstreifens, dem verwendeten Klebstoff sowie der Temperatur abhängig. Er liegt bei Folien-Dehnungsmeßstreifen aus Metall bei $\pm (1..3) \%$.

Achtung! Im Rahmen der Versuchsdurchführung darf eine maximale Dehnung von $\pm 1,5 \%$ in keinem Fall überschritten werden!

Für die relative Widerstandsänderung gilt die allgemeine Beziehung

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon. \quad (1)$$

Der k-Faktor ist insbesondere vom Typ des Dehnungsmeßstreifens abhängig. Er liegt für Metalldehnungsmeßstreifen auf der Basis von Konstantan ideal bei 2 bzw. für andere Metall-DMS zwischen 1,5 bis 7. Bei Dehnungsmeßstreifen aus Konstantan liegt die Proportionalitätsgrenze je nach Vorbehandlung zwischen $\pm(1 \text{ bis } 3) \text{ mm/m}$. Charakteristisch für die Dehnungsmeßstreifen ist, daß sie aufgrund ihrer geometrischen Abmessungen eine integrale Spannungsverteilung an der Oberfläche des Bauteils wiedergeben, von dem die mechanischen Spannungen ermittelt werden sollen. Je kleiner mechanische Spannungsverteilungen nachgewiesen werden müssen, um so kleiner müssen auch die geometrischen Abmessungen der zu verwendenden Dehnungsmeßstreifen sein. mit dieser Reduktion ist meist auch eine Verringerung des k-Faktors und der damit zusammenhängenden Meßempfindlichkeit verbunden. Aus der Kenntnis der Bauteilgeometrie bezüglich der auf der Oberfläche befestigten DMS und der durch sie erfaßten Dehnung, kann aus spannungsanalytischen Betrachtungen auf kritische mechanische Spannungszustände im Bauteil geschlossen werden. Kurze Meßgitter der Dehnungsmeßstreifen (0,4 bis 3) mm

werden benötigt, wenn Kerbspannungen zu ermitteln sind oder wenn im Bereich von Spannungsgradienten gemessen werden soll.

Dehnungsmeßstreifen werden im allgemeinen in einer Halb- oder Vollbrückenschaltung betrieben, seltener in einer Viertelbrückenschaltung. Hohe Empfindlichkeit, eine linearisierende Wirkung sowie eine geringere Temperaturempfindlichkeit sind die wesentlichen Vorteile gegensinnig arbeitender Dehnungsmeßstreifen. Bei mehreren Meßstellen ist bei geeigneter Verschaltung auch eine Mittelwertbildung möglich.

Die Brückenspeisung ist so zu dimensionieren, daß die Dehnungsmeßstreifen nicht thermisch überlastet werden. Bezogen auf die Meßgitterfläche des Dehnungsmeßstreifens kann für Folie-DMS eine thermische Belastung von ca. 4 W/cm^2 als orientierender Maximalwert bei Raumtemperaturen angesehen werden. Diese Werte beziehen sich auf großflächige Metallobjekte, auf denen die Dehnungsmeßstreifen befestigt sind.

Unterliegt bei Verwendung einer Viertelbrückenschaltung die Zuleitung großen Temperaturschwankungen und damit großen Widerstandsänderungen, dann wird in der Regel die 3-Leiterschaltung eingesetzt. Das **Bild 1** zeigt diese in der Anwendung als Viertelmeßbrückenschaltung für einen Dehnungsmeßstreifen.

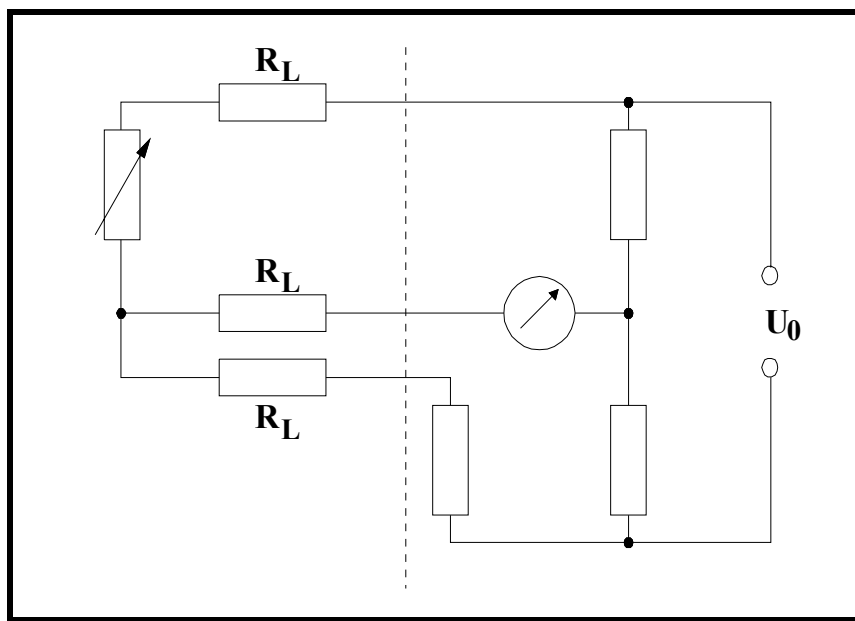


Bild 1: Verschaltung eines Dehnungsmeßstreifens in einer Wheatstoneschen Meßbrücke in 3-Leiterschaltung.

Von besonderer Bedeutung für die Meßunsicherheit ist die Ausführung der Klebestelle und die Art des verwendeten Klebstoffes. Desweiteren werden besondere Anforderungen an die zu beklebende Oberfläche gestellt. Sie muß bei Metallteilen blank und feingeschliffen sein. Auf ihr anhaftende Fettschichten sind mit einem geeigneten Lösungsmittel (z.B. Aceton) zu entfernen. Als Klebstoffe werden folgende Typen empfohlen:

- Z 70 Kalthärtender Einkomponenten- Schnellklebstoff, bis 120°C anwendbar; erfordert glatte Klebeflächen.
- X 60 Kalthärtender Zweikomponenten- Schnellklebstoff, bis 80°C anwendbar.
- EP 250/ Heißhärtende Zweikomponenten- Klebstoffe, bis 250°C bzw.
- EP 310 310°C anwendbar.

2.2. Verformungskörper mit konstanter Oberflächendehnung

Zur Kalibrierung von Dehnungsmeßstreifen sind Versuchsanordnungen erforderlich, mit denen die Dehnungsmeßstreifen mit einer konstanten Dehnung oder Stauchung belastet werden können. Ziel derartiger Experimente ist es, die meßtechnischen Eigenschaften der Dehnungsmeßstreifen wie k-Faktor, Meßdynamik u.a. sowie deren Befestigung auf dem Meßobjekt nachzuweisen. Zu diesem Zweck ist ein Verformungskörper erforderlich, der entlang seiner Oberfläche eine konstante Dehnung besitzt, um eine gleichmäßige Belastung der Dehnungsmeßstreifen entlang ihrer Meßgitter zu gewährleisten. Dafür gibt es im wesentlichen zwei Lösungsmöglichkeiten.

Die eine geht davon aus, daß auf den Biegebalken ein Biegemoment einwirkt. Unter Einbeziehung des Hookeschen Gesetzes $\sigma = \varepsilon \cdot E$ (σ - mechanische Spannung und E - Elastizitätsmodul, Youngscher Modul) ergibt sich der allgemeine Zusammenhang

$$\frac{M_B}{W} = \varepsilon \cdot E, \quad (2)$$

wobei in dieser Gleichung M_B das Biegemoment und W das Widerstandsmoment ist.

Da eine unveränderliche Geometrie mit konstantem Querschnitt des Biegebalkens ($W = \text{konstant}$) gegeben ist, wenn verformungsbedingte Gestaltänderungen bei diesen Betrachtungen unberücksichtigt bleiben, der Elastizitätsmodul E eine Materialkonstante und ein konstantes Moment M_B eingeleitet wird, resultiert daraus eine mit

$$\varepsilon = \frac{M_B}{E \cdot W}, \quad (3)$$

konstante Dehnung bzw. Stauchung entlang des Biegebalkens.

Eine zweite Lösungsmöglichkeit geht von einem einseitig eingespannten Biegebalken aus, der in einem Abstand l_e (**Bild 3**) vom Einspannort mit einer Kraft F belastet wird. Die dadurch auftretende Ortsabhängigkeit der mechanischen Spannungen kann durch eine ortsabhängige Gestaltänderung im Widerstandsmoment $W(x)$ und auf Grund des gegenläufigen Verhaltens des Biegemoments $M_B = -F \cdot (l - x)$ aufgehoben werden, so daß eine ortsunabhängige Spannungs- bzw. Dehnungsverteilung entsteht. Die Verwendung eines rechteckigen Querschnitts erlaubt es, die kompensierende Wirkung über eine ortsabhängige Änderung der Breite b oder der Dicke h des Biegebalkens zu erreichen, wenn von der Gleichung des Widerstandsmoments

$$W(x) = \frac{b(x) \cdot h^2(x)}{6} \quad (4)$$

ausgegangen wird. Setzt man diesen allgemeinen Zusammenhang der Gl. (4) in die Gl. (3) ein und berücksichtigt das Biegemoment (negatives Schnittufer), so erhält man die Gleichung

$$\varepsilon(x) = - \frac{6 \cdot F \cdot (l - x)}{E \cdot b(x) \cdot h^2(x)}. \quad (5)$$

Fertigungstechnisch ist es nicht sinnvoll, die zur Kompensation der Ortsabhängigkeit des Biegemoments erforderlichen ortsabhängigen Querschnitt des Biegebalkens über deren Breite $b(x)$ und dessen Dicke $h(x)$ oder nur über dessen Dicke $h(x)$ auszuführen. Im Fall der Nutzung der Biegebalkendicke $h(x)$ zur ortsabhängigen Querschnittsänderung hat diese einen wurzelförmigen Verlauf, der mit vertretbaren Kosten als Biegebalken mit konstantem Biegespannungsverlauf nicht gefertigt werden kann.

Der ortsabhängige Verlauf der Biegebalkenbreite $b(x)$ von der Einspannstelle $x=0$ zum Kraftangriffsort $x=l$ in Form eines gleichschenkligen Dreiecks bietet hier eine kostengünstige Alternative. Dieser Verlauf kann mit

$$b(x) = b_0 \cdot (1 - m \cdot x) \quad (6)$$

beschrieben werden, wobei b_0 die Breite des Biegebalkens am Ort der Einspannung ist. Berücksichtigt man diese Gl. (6) nun in der Gl. (5) und verwendet man einen Biegebalken gleicher Dicke h ($h(x)=h$), der praktisch aus einem Federblech hergestellt wird, so ergibt sich für die ortsabhängige Dehnung bzw. Stauchung der Zusammenhang

$$\varepsilon(x) = -\frac{6 \cdot F \cdot l}{E \cdot b_0 \cdot h^2} \cdot \frac{1 - \frac{1}{l} \cdot x}{1 - m \cdot x} \quad (7)$$

Soll die Dehnung einen konstanten Betrag haben, muß der Anstieg der Biegebalkenbreite den Ausdruck $m = \frac{1}{l}$ annehmen. Auf diese Weise ergibt sich für den im **Bild 3** dargestellten Winkel der Geometrieänderung α aus geometrischen Überlegungen der Zusammenhang

$$\alpha = 2 \cdot \arctan \frac{b_0}{2 \cdot l}, \quad (8)$$

so daß sich hier eine ortsunabhängige Oberflächendehnung ε ergibt. Es kann damit allgemein gezeigt werden, daß sich jedem Verhältnis von b_0 und l ein gleichschenkliges Dreieck mit dem Winkel α zuweisen läßt, das auf der Oberfläche eine ortsunabhängige konstante Dehnung bzw. Stauchung besitzt. Das Meßgitter eines auf seiner Oberfläche aufgebrachte Dehnungsmeßstreifens wird an jedem Ort mit der gleichen Dehnung beaufschlagt.

2.3. Handhabung von Dehnungsmeßstreifen mit Applikationshilfe

Das Klebeband, mit dem die Dehnungsmeßstreifen (DMS) auf der Verpackungsfolie befestigt sind, dient als Fixierhilfe beim Befestigen des DMS auf dem Meßobjekt. Die DMS werden vom Werk gebrauchsfertig ausgeliefert und bedürfen keiner besonderen Vorbereitung. Eine zusätzliche Reinigung der DMS vor der Applikation ist nicht notwendig.

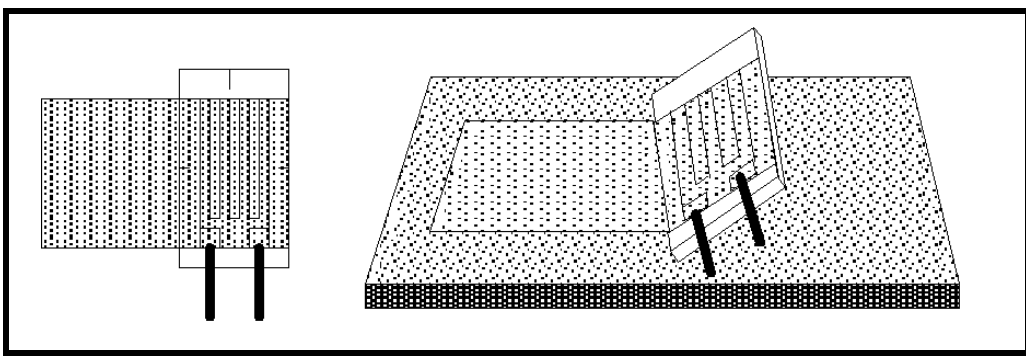


Bild 2: Applikation von Metallfolie-Dehnungsmeßstreifen.

1. Das Klebeband ist mit einer Schere so aufzutrennen, daß entweder links oder rechts vom DMS ein ca. 10 mm langes Stück übersteht. Auf der anderen Seite ist es möglichst nah an der DMS-Kante aufzutrennen (**Bild 2**, linkes Bild).
2. Klebeband und DMS vorsichtig mit einer Pinzette von der Folie lösen (Pinzette nur am Klebeband ansetzen).

3. DMS auf der vorher markierten Meßstelle genau ausrichten und Klebeband so andrücken, daß eine scharnierartige Verbindung entsteht (**Bild 2**, rechtes Bild).
4. Klebstoff auf zu beklebende Oberfläche auftragen.
5. DMS mittels übergelegter Teflonfolie mit dem Daumen andrücken.

3. Versuchsanordnung

3.1 Biegebalken mit konstantem Spannungsverlauf

Die Meßgröße Dehnung wird mit Hilfe von einseitig eingespannten Biegebalken (**Bild 3**) erzeugt. Der in Form eines Dreiecks ausgeführte Verformungskörper hat den Vorteil, daß die an der Oberfläche Dehnung zwischen der Einspannstelle und dem Ort der Krafteinleitung konstant ist. Die Ortsabhängigkeit des Dehnungsmeßstreifens zur Erzielung einer hohen Meßempfindlichkeit ist dadurch nicht mehr vorhanden, als wenn ein Verformungskörper mit rechteckiger Oberfläche Verwendung findet.

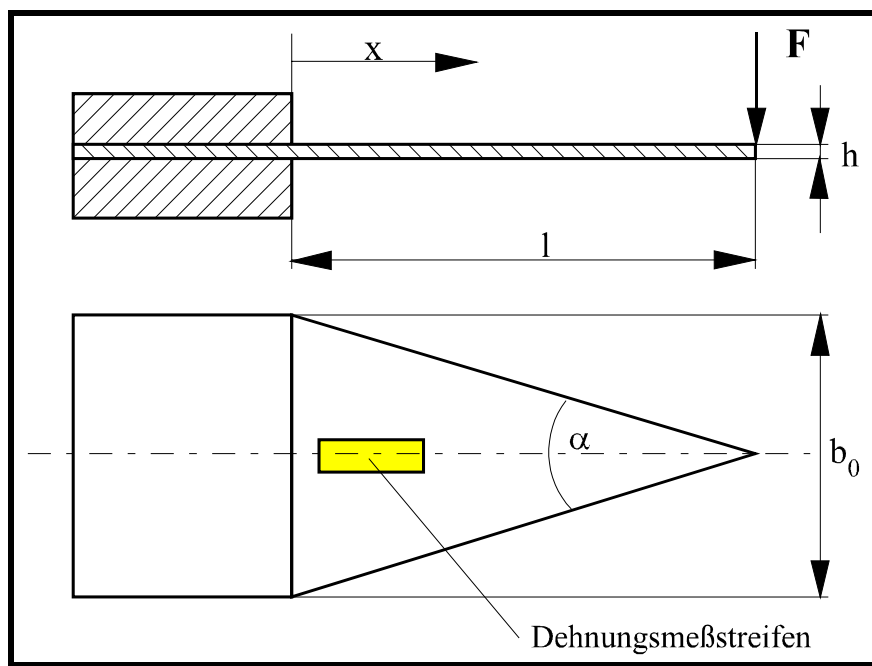


Bild 3: Belastungseinrichtung Vermessung von Dehnungsmeßstreifen.

Am Versuchsplatz befinden sich 3 derartige Verformungskörper, die mit einer entsprechenden Belastungseinrichtung versehen sind. Die Belastung erfolgt auf der Basis einer am Kraftangriffspunkt eingeleiteten Verformung, die über ein Gewinde mit der Steigung von 1,0 mm/Umdrehung erzeugt wird. Die verformende Kraftwirkung kann anhand der Federkraft aus $\vec{F} = -c \cdot \vec{s}_a$ ermittelt werden. Betrachtet man die Belastungsvorrichtung (**Bild 3**), so kann in erster Näherung davon ausgegangen werden, daß die Krafteinleitung F senkrecht zur Biegebalkenoberfläche erfolgt. Das Biegemoment kann damit als $M_B = -F \cdot (l - x)$ beschrieben werden. Die Gleichung (7) besitzt damit Gültigkeit. Mit der Gestalt des Biegebalkens, der eine konstante Dicke h besitzt und die Form des Biegebalkens

einem gleichschenkligen Dreieck genügt, ergibt sich die Gleichung der ortsunabhängigen Dehnung bzw. Stauchung

$$\varepsilon = -\frac{6 \cdot l \cdot F}{E \cdot b_0 \cdot h^2} \quad (8)$$

Berücksichtigt man nun noch die durch die Verformung s_a erzeugte Kraftwirkung F , so geht die Gl. (8) in

$$\varepsilon(s_a) = -\frac{6 \cdot l \cdot c}{E \cdot b_0 \cdot h^2} \cdot s_a \quad (9)$$

über, wobei c die Federkonstante der Belastungseinrichtung und s_a die durch die Schraube erzeugte Durchbiegung ist, so daß ein funktioneller Zusammenhang zwischen der Dehnung und der Auslenkung am Kraftangriffsort s_a besteht. Die zur Berechnung der Dehnung nun noch notwendige Federkonstante wird über die Verformungsarbeit ermittelt. Die damit verbundene Verformung der elastischen Linie beschreibt die Eulersche Gleichung

$$\frac{\frac{d^2 s_a}{dx^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{ds_a}{dx}\right)^2}} = -\frac{M_z(x)}{E \cdot I(x)} \quad (10)$$

Die Lösung dieser Differentialgleichung ist in dieser Form nur noch mit numerischen Verfahren möglich. Praktisch kann man in vielen der Anwendungsfällen in guter Näherung davon ausgehen, daß der Tangens des Winkels der verformten elastischen Linie sehr viel kleiner als 1 ist. Durch die Quadrierung verkleinert sich der Wert nochmals, so daß die in der Wurzel stehende Summe in guter Näherung mit dem Wert 1 angenähert werden kann. Die Eulersche Gleichung der elastischen Linie geht damit in den vereinfachten und lösungsfreundlicheren Ausdruck

$$\frac{d^2 s_a}{dx^2} = -\frac{M_z(x)}{E \cdot I(x)} \quad (11)$$

über. Das ortsabhängige Flächenträgheitsmoment $I(x)$ mit

$$I(x) = \frac{b_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{l} \cdot x\right) \cdot h^3}{12} \quad (12)$$

und die Berücksichtigung des Schnittmoments $M_z(x) = -F \cdot l \cdot \left(1 - \frac{1}{l} \cdot x\right)$ führt schließlich zu der gewöhnlichen Differentialgleichung 2. Ordnung

$$\frac{d^2 s_a}{dx^2} = \frac{12 \cdot l}{E \cdot b_0 \cdot h^3} \cdot F \quad (13)$$

Die zweifache Integration nach dx und die Berücksichtigung der Randbedingungen, daß die Tangente in der Einspannung $s'_a = 0$ und die Verformung an dieser Stelle $s_a = 0$ ist, führt für die Verformung der elastischen Linie an der Stelle der Krafteinleitung l zu dem Ergebnis

$$s_a(F) = \frac{6 \cdot l^3}{E \cdot b_0 \cdot h^3} \cdot F \quad (14)$$

Diese Gleichung besteht nur noch aus geometrischen Größen und dem Elastizitätsmodul ($E=2,2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ für Stahl). Aus der Gl. (14) kann nach der Umformung die gesuchte Federkonstante der Belastungseinrichtung mit

$$c = \frac{E \cdot b_0 \cdot h^3}{6 \cdot l^3} \quad (15)$$

ermittelt werden. Mit der Gl. (15) kann jetzt die Federkonstante c der Gl. (9) substituiert werden und für die durch die Bewegung der Schraube eingeleitete Dehnung der Oberfläche gilt schließlich der Zusammenhang

$$\varepsilon(s_a) = -\frac{h}{l^2} \cdot s_a \quad (16)$$

Charakteristisch für diese Gl. (16) ist, daß in die Dehnung ε nur noch die Dicke des Biegebalkens h und der Abstand zwischen der Einspannstelle und der Krafteinleitung l als geometrische Größen eingehen. Die anderen Größen, die in der Gl. (9) und der Gl. (14) noch vorhanden sind, können durch diese Art der Belastungseinrichtung eliminiert werden, wodurch einer Verringerung des Fehlers bei der Dehnungseinstellung erreicht wird.

Gemäß der Vorbetrachtungen ist diese Belastungseinrichtung (**Bild 3**) dazu geeignet, die meßtechnischen Eigenschaften von Dehnungsmeßstreifen zu untersuchen. Besonders von Interesse ist dabei der k -Faktor. Unter Einbeziehung der Gl. (1) und der mit der Belastungseinrichtung erzeugten Dehnung (Gl. (16)) ergibt sich als Bestimmungsgleichung für den k -Faktor der Ausdruck

$$k = \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{l_e^2}{h \cdot s_a} \quad (17)$$

Fertigungsbedingt ist die Belastungseinrichtung mit nicht erfaßbaren Anteilen systematischer Fehler beaufschlagt, die sich im wesentlichen aus Abweichungen von dem der Berechnung zugrunde liegenden gleichschenkligen Dreieck als Verformungskörper ergeben.

Versuchsteil Klebetechnologie

Der DMS ist entsprechend der Klebevorschrift auf den Biegebalken (3) aufzukleben. Zur Auswertung wird der DMS-Meßverstärker verwendet. Vor der Messung ist der Verstärker (Kanal 3) laut Bedienungsanleitung abzugleichen.

Versuchsteil 2-, 3-Leiterschaltung

Dieser Versuchsteil wird mit dem Biegebalken (2), dem Meßverstärker (Kanal 2) und der Temperaturregeleinrichtung durchgeführt. Durch Umschaltung kann ohne Veränderung des Abgleichs die 2- oder 3-Leiterschaltung betrieben werden. Es ist jeweils eine Messung ohne Dehnung und bei maximaler Dehnung vorzunehmen.

3.2. 6-Leiterschaltung

In Wägezellen verwendet man aus Gründen der Präzision und der Empfindlichkeit unter anderem einen Biegebalken mit Gegenmoment.

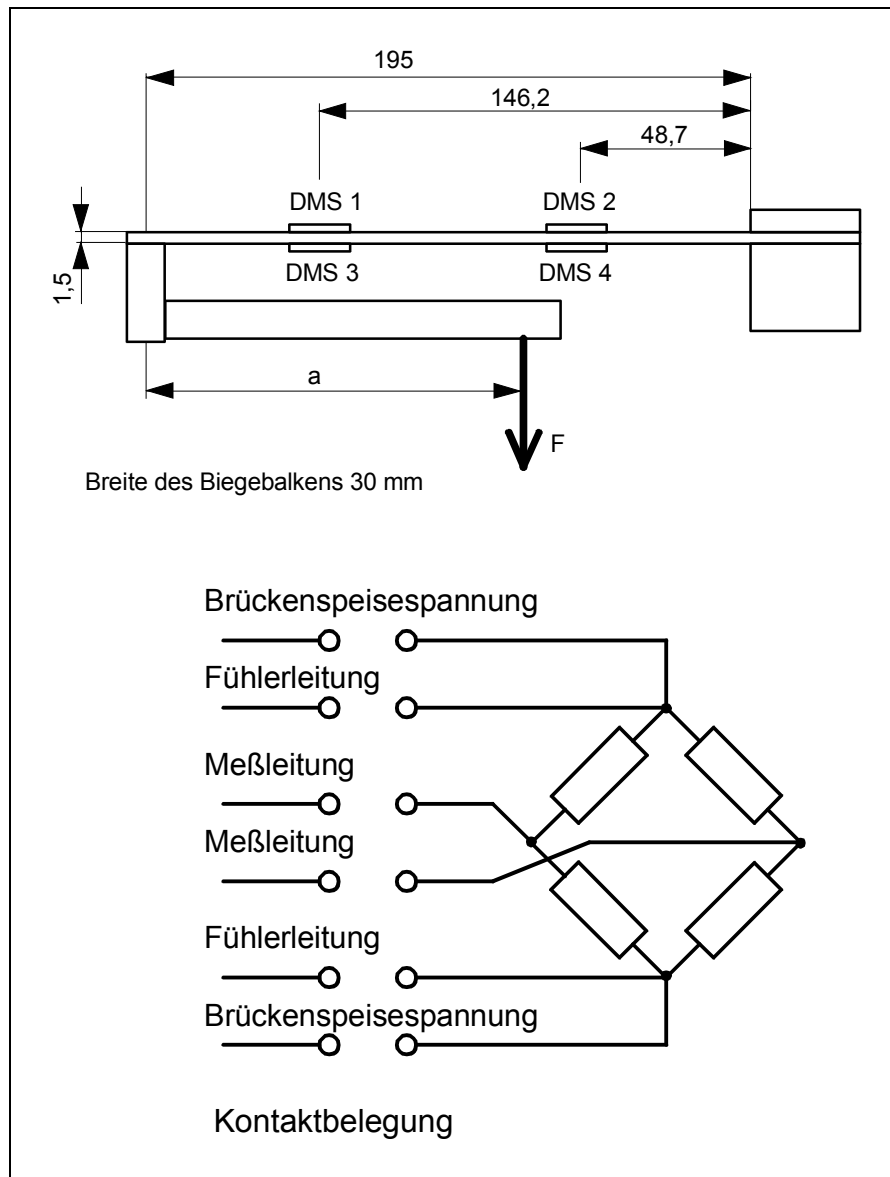


Bild 4: Biegebalken mit Gegenmoment und Kontaktschema der Dehnungsmeßstreifen

Durch Belastung des Biegebalkens entsteht ein entsprechendes Gegenmoment, welches den Balken an seinem freien Ende entgegen der Belastungsrichtung verformt. Dadurch treten an der oberen und unteren Grenzschicht sowohl Zug- als auch Druckspannungen auf. Bei entsprechender Applizierung der Dehnungsmeßstreifen kann somit eine Vollbrückenschaltung in 6-Leiterschaltung zur Anwendung kommen und damit die Meßempfindlichkeit erhöht werden. Voraussetzung dafür ist die richtige Größe des Gegenmomentes. Die Verbindungsstelle des freien Endes des Biegebalkens mit dem darunterliegenden Hebelarm, als auch der Hebelarm selber sind als biegesteif anzusehen.

4. Kontrollfragen

Wie wird der Temperaturkoeffizient des k-Faktors üblicherweise angegeben?

Wie läßt sich der Temperaturkoeffizient des k-Faktors schaltungstechnisch korrigieren?

Welcher Zusammenhang (analytisch) besteht zwischen Diagonalspannung und Dehnung bei Viertel-, Halb- und Vollbrückenschaltung?

Welche Vorteile haben Halb- und Vollbrückenschaltungen gegenüber der Viertelbrückenschaltung?

Welche Voraussetzungen sind für die Wirksamkeit der 3-Leiterschaltung erforderlich?

Welcher Zusammenhang (analytisch) besteht zwischen Brückendiagonalspannung und Temperaturänderungen bzw. Widerstandsänderungen der Zuleitungen bei der 2- und 3-Leiterschaltung?

Vergleichen Sie 2- und 3-Leiterschaltung hinsichtlich der Stabilität des Nullpunktes (Abgleichzustand) und dem nicht abgeglichenen Zustand!

Was versteht man unter dem Kriechen von DMS und wodurch wird das Kriechen begünstigt?

Nennen Sie Anwendungsgebiete für DMS!

Welche Vorteile ergeben sich durch den Einsatz einer 6-Leiterschaltung (Bild 4)? Berechnen Sie den Einfluß der Leitungswiderstände.

Was versteht man unter Querempfindlichkeit?

5. Aufgabenstellung

1. Berechnen Sie die Dehnung bei einer Durchbiegung von $s_a = 5$ mm. Hierzu ist die zur Berechnung erforderliche Geometrie des Verformungskörpers zu vermessen.

2. Klebetechnologie

2.1 Kleben Sie einen Folien-DMS auf den Biegebalken.

2.2 Nehmen Sie die Kennlinie des von Ihnen aufgeklebten Dehnungsmeßstreifen in Abhängigkeit von der an der Versuchsanordnung (**Bild 3**) eingestellten Durchbiegung im Intervall $(0,0 \leq s_a \leq 8,0)$ mm und der gemessenen Brückenspannung auf. Stellen Sie die gemessenen Kennlinie graphisch dar.

2.3 Bestimmen Sie die Reproduzierbarkeit der Versuchsanordnung (**Bild 3**) anhand des Vertrauensbereich der gemessenen Meßbrückenspannungen mit einer statistischen Sicherheit von 95% (Anzahl der Messungen 11). Ermitteln Sie den Gesamtfehler der gemessenen Dehnung ($k = 2,04 \pm 1\%$; $U_0 = 5V \pm 0,5\%$).

2.4 Vergleichen Sie die berechnete mit der gemessenen Dehnung für die Durchbiegung von $s_a = 5$ mm.

3. 2-Leiterschaltung/3-Leiterschaltung

Untersuchen Sie die Eigenschaften von 2- und 3-Leiterschaltungen, bezüglich der Nullpunktstabilität und des Einfluß auf die Steilheit der Meßbrücke.

3.1 Messen Sie jeweils in 2- und 3-Leiterschaltung die Brückendiagonalspannung bei einer Durchbiegung im Intervall $(0,0 \leq s_a \leq 8,0)$ mm bei jeweils zwei Temperaturstufen.

- 3.2 Interpretieren Sie ihr Meßergebnis!
4. Verschalten Sie die Vollbrücke (Bild 4) einmal in 6-Leiterschaltung und einmal in 4-Leiterschaltung. Zur Simulation der Leitungswiderstände werden niederohmige Widerstände zur Verfügung gestellt.
 - 4.1 Messen Sie die Brückendiagonalspannung für beide Varianten bei drei verschiedenen Belastungen.
 - 4.2 Stellen Sie die Ergebnisse in einem gemeinsamen Diagramm dar und diskutieren Sie die Ergebnisse.

Literatur

- Schrüfer, E.: Elektrische Meßtechnik: Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen. - Carl Hanser Verlag; München, Wien; 1990.
- Profos, P.; Pfeifer, T.: Handbuch der industriellen Meßtechnik. - R. Oldenbourg Verlag; München, Wien, 1992.
- Giesecke, P.: Dehnungsmeßstreifentechnik: Grundlagen und Anwendung in der industriellen Meßtechnik. – Vieweg Verlag; Braunschweig, Wiesbaden, 1994.
- Hauptmann, P.: Sensoren-Prinzipien und Anwendungen. - Carl Hanser Verlag; München, Wien; 1991.
- Schaumburg, H.: Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik. - Teil 3: Sensoren; B.G. Teubner; Stuttgart; 1992.
- Winkler, J.; Aurich, H.: Technische Mechanik, VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1987.