

Grundlagen Dehnungsmeßstreifen

Formelzeichen und Abkürzungen

A	Fläche, Querschnitt	DMS	Dehnungsmeßstreifen
G	Gewicht	k	k-Faktor des OMS (Empfindlichkeitskonstante)
L	Länge	Lo	Ausgangslänge
R	elektrischer Widerstand	Ro	Ausgangswiderstand
R1...4	Widerstände des DMS	DR	Widerstandsänderung
UA	Ausgangsspannung	UE	Eingangsspannung
e	Dehnung	r	spezifischer elektrischer Widerstand

Grundlagen

Die Dehnungsmeßstreifen (DMS) bilden eine wichtige Grundlage der elektrischen Meßtechnik zur Ermittlung mechanischer Größen. Der DMS dient zur Messung von Dehnungen, wobei der Begriff "Dehnung" sowohl Dehnung als auch Stauchung umfaßt. Erkennbar sind Dehnung und Stauchung an den verschiedenen Vorzeichen. Dehnungen werden selten als Endziel bestimmt. Vielmehr werden DMS in der experimentellen Spannungsanalyse, Modellmeßtechnik, Biomechanik und im Meßwertaufnehmerbau eingesetzt.

Wird ein Bauteil mechanisch beansprucht, so treten Dehnungen auf, die den verursachenden Belastungen proportional sind. Viele Meßgrößen lassen sich mit DMS erfassen: Masse, Druck, Kraft, Drehmoment, Weg, Verdrehungswinkel und andere.

Dehnung und Widerstandsänderung

Grundlage der DMS-Technik ist es, daß die Dehnung eines Metalldrahtes eine proportionale Änderung des Elektrischen Widerstandes zur Folge hat. Die Abhängigkeit des Widerstandes wird beschrieben durch:

$$R = L \cdot r / A$$

mit L = Drahtlänge, A = Drahtquerschnitt und r = spezifischer elektrischer Widerstand

Wenn der Metalldraht gedehnt wird verändert er seine Länge und seinen Querschnitt. L wird größer und A kleiner. Der Widerstandswert wird größer. Das Verhältnis zwischen Dehnung und Widerstandsänderung nennt man k-Faktor.

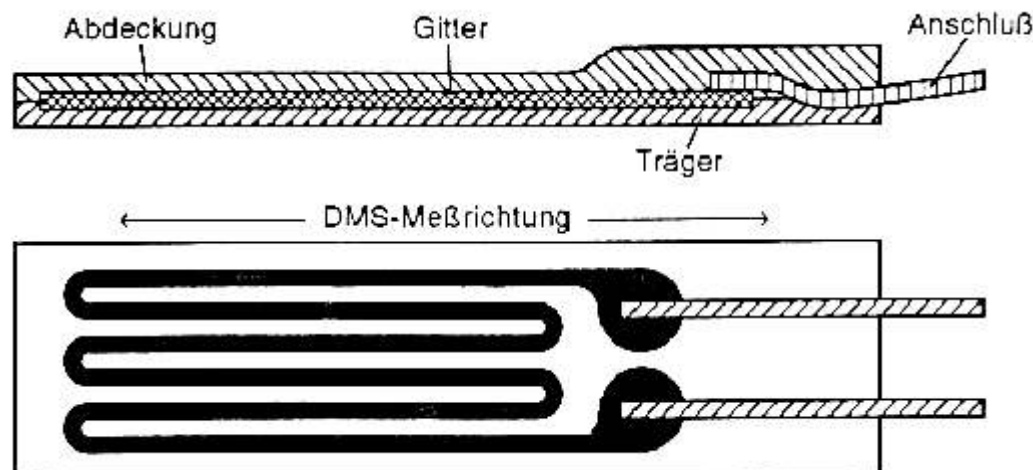
Für die relative Widerstandsänderung kann geschrieben werden:

$$DR / R = k \cdot e$$

Die relative Widerstandsänderung ist somit proportional zur relativen Dehnung. Der k-Faktor wird vom DMS-Hersteller angegeben. Bei metallischen DMS besitzt er Werte um 2. Das bekannteste Material für DMS ist die Kupfer-Nickel-Legierung "Konstantan", mit dem Faktor k = 2,1.

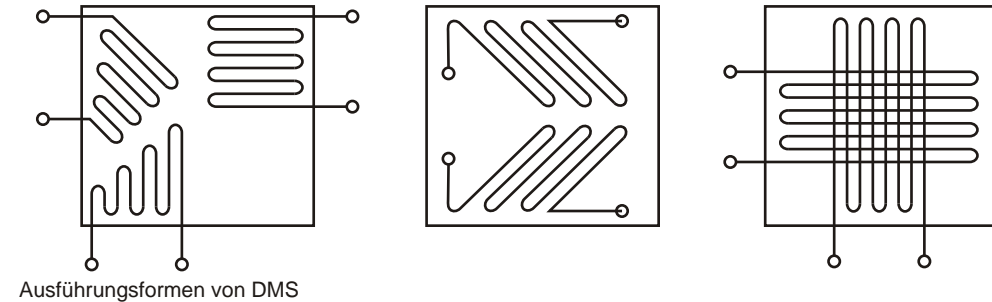
Folien von DMS

Im Prinzip besteht ein Folien DMS aus einem sehr dünnen, leitfähigem Metall-Gitter, das sich zwischen zwei dünnen Kunststoff-Folien befindet.



In ihrer Grundauführung besitzen DMS ein "Meßgitter". Dabei fällt die Meßrichtung mit der Längsrichtung des Gitters zusammen (Siehe Abb.). Die Meßgitterlänge hat keinen Einfluß auf die Empfindlichkeit. Die Längen werden nach Gesichtspunkten der Meßaufgabe gewählt (handelsübliche Längen: 0,4...150 mm).

Aufgrund der weitverzweigten Anwendungsbereiche der DMS-Technik hat sich eine große Anzahl unterschiedlicher DMS-Typen entwickelt. So gibt es z.B. DMS mit mehreren Gittern, die unter bestimmten Winkeln zueinander auf einem Träger-Material (z.B. Kunststoff) angeordnet sind. Mit Hilfe solcher DMS können an einem Meßpunkt Spannungen in mehreren Richtungen erfaßt werden.



Temperaturverhalten von DMS

Als "Temperaturgang" bezeichnet man temperaturabhängige, reproduzierbare Nullpunktänderungen. Es sind alle Meßgeräte betroffen, die während ihres Betriebes "Temperaturänderungen" unterworfen sind. Verantwortlich für den Temperaturgang der Meßstelle beim DMS sind die Differenzen der linearen Wärmeausdehnungen zwischen Meßobjekt und Meßgittermaterial sowie der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes.

Die im DMS hervorgerufenen Widerstandsänderungen durch Temperaturänderungen unterscheiden sich in keiner Weise von solchen, die durch Verformungen des Meßobjektes infolge von Kraftwirkungen entstehen. Ein angeschlossenes Meßinstrument kann deshalb nicht zwischen "mechanisch" und "thermisch" verursachten Dehnungen unterscheiden, deshalb zeigt es beide als "Dehnung" an. Um den Temperaturfehler einer Meßstelle zu minimieren, sind drei Möglichkeiten gegeben:

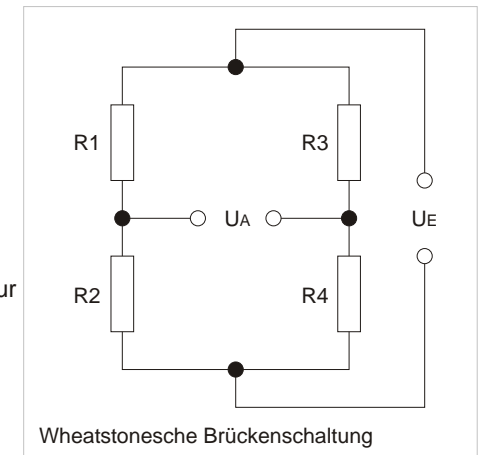
- Kompensation des "Temperaturganges" durch Anwendung eines Kompensations-DMS (d.h. Ausnutzung der durch die Wheatstone'schen Brückenschaltung gebotenen Möglichkeiten).
- Anwendung von DMS mit automatischer Temperaturkompensation (deren Temperaturkoeffizient ist an den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Bauteilmaterials angepaßt).
- Korrektur des Meßwertes nach einer Temperaturgangkurve, die vorher bestimmt werden muß.

In der Praxis werden hauptsächlich die ersten beiden Möglichkeiten ausgenutzt.

Meßschaltung

Die wichtigste und fast ausschließlich angewandte Methode, die vom DMS abgegebenen geringen Dehnungen erfassen zu können, ist die Wheatstonesche Brückenschaltung. Sie besteht in ihrer einfachsten Form aus vier Zweigen, die von den ringförmig zusammengeschalteten Widerständen R1 bis R4 gebildet werden.

Legt man eine bekannte Speisespannung UE an den Eingangszweig an, so entsteht am Ausgangszweig (der sogenannten "Meßdiagonalen"), eine Ausgangsspannung UA, deren Wert von den Verhältnissen der Widerstände R1 : R2 und R3 : R4 abhängt. Der besseren Übersichtlichkeit wegen ist es zweckmäßig, die Ausgangsspannung UA relativ zur Eingangsspannung UE zu betrachten.



Generell gilt die Beziehung:

$$\frac{UA}{UE} = \frac{R1}{R1 + R2} - \frac{R4}{R3 + R4} = \frac{R1 \cdot R3 - R2 \cdot R4}{(R1+R2) \cdot (R3 + R4)}$$

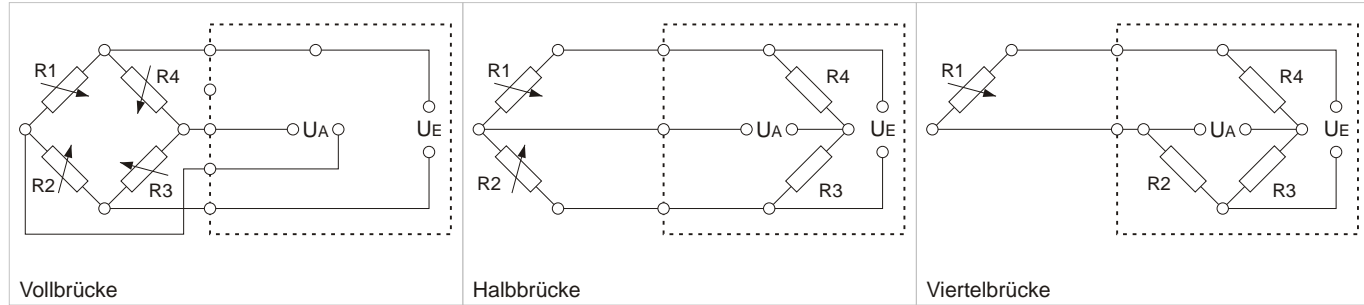
Für den abgeglichenen Zustand gilt:

$$R1 = R2 = R3 = R4 \text{ oder } R1/R2 = R4/R3 \implies UA/UE = 0$$

Ändern die Widerstände R1 bis R4 ihren Wert im abgeglichenem Zustand, so wird die Brücke verstimmt und am Ausgang erscheint die Spannung UA. Die Wheatstonesche Brückenschaltung liefert dann ein Meßsignal, daß der relativen Widerstandsänderung DR/R und damit der Dehnung e proportional ist. Wegen des einfachen Aufbaues und der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten wird für DMS-Messungen ausschließlich diese Schaltung benutzt.

Spannungswerte der DMS, die in benachbarten Brückenarmen auftreten, subtrahieren sich, wenn sie gleiche Vorzeichen haben. Sie addieren sich, wenn sie verschiedene Vorzeichen haben.

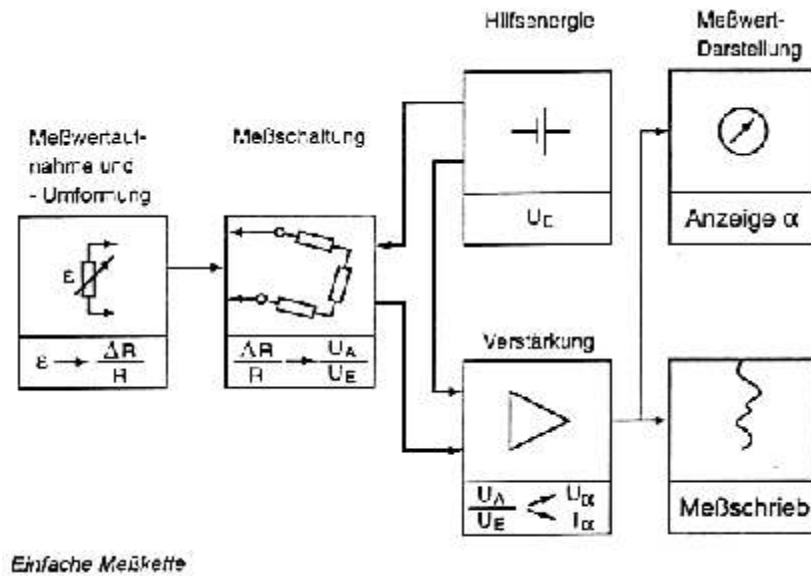
Daraus lassen sich verschiedene Kombinationsmöglichkeiten, wie Addition oder Subtraktion von Meßwerten und Kompensationsmöglichkeiten, wie Ausgleich von Temperatur- und anderen Störeffekten ableiten. Je nach Meßproblem verwendet man einen oder mehrere miteinander verschaltete DMS an der Meßstelle. Wird nur ein DMS benutzt, spricht man von einer "Viertelbrücke", bei zwei DMS von einer "Halbbrücke". Diese Bezeichnung bezieht sich nur auf den mit dem Meßobjekt in räumlicher Verbindung stehenden Teil der Brückenschaltung. Die Ergänzung zur vollen Brücke erfolgt stets durch Festwiderstände, die in den Meßgeräten enthalten sind oder auch durch extern zugeschaltete Ergänzungswiderstände.



Meßkette

Im Sensorenbereich wird der DMS als Meßwertempfänger vielfältig eingesetzt (z.B. als Druck- oder Kraftaufnehmer). Dehnungsänderungen (verursachen extrem kleine Elektrische Signaländerungen). Es bedarf besonderer Maßnahmen, um kleine Widerstandsänderungen von DMS mit hinreichender Genauigkeit zu erfassen. Der DMS ist das erste Glied einer Meßkette, die weiterhin einen Verstärker und ein Anzeigegerät enthält. Je nach Auslegung des Verstärkers erhält man als Ausgangssignal eine Spannung oder einen Strom. Das nachgeschaltete Anzeigegerät zeigt den Betrag des Meßsignals an. Die Art des Anzeigegerätes richtet sich nach dem Meßvorgang. Es eignen sich schreibende, druckende, digital- oder analoganzeigende Geräte.

Eine derart zusammengestellte Folge, die je nach der Aufgabenstellung verschiedenartig aufgebaut sein kann, nennt man "Meßkette".



Einfache Meßkette

Das erste Glied bildet der DMS selbst. Er formt die (mechanische) Meßgröße "Dehnung" (e) in die elektrische Größe "relative Widerstandsänderung" (DR/R) um.

Das zweite Glied der Kette bildet die Meßschaltung (hier eine Wheatstone-Brückenschaltung), welcher der DMS vorgeschaltet ist. Die relative Widerstandsänderung des DMS bewirkt eine proportionale Verstimmung der Brückenschaltung diese Ausgangsspannung UA kann an der Meßdiagonalen abgegriffen werden (zweite Umwandlungsstufe). Eine Ausgangsspannung entsteht am Ausgangszweig der Wheatstone-Brückenschaltung!

Das Spannungsverhältnis UA/UE ist der relativen Widerstandsänderung DR/R und damit der Dehnung e proportional.

Der Verstärker ist das dritte Glied der Meßkette. In ihm wird die kleine Signalspannung UA in ein ausreichend großes Meßsignal gewandelt (dritte Umwandlungsstufe). Bei einem linear arbeitenden Verstärker ist die Ausgangsspannung UA (bzw. der Ausgangsstrom IA) der Eingangsspannung UA und damit der zu messenden Dehnung proportional.

Das vierte Glied der Meßkette bildet die Anzeige. Sie formt das Ausgangssignal des Verstärkers in eine den menschlichen Sinnen zugängliche Form um (vierte Umwandlungsstufe). Im einfachsten Fall dient der Zeigerausschlag eines Spannungs- oder Strommeßgerätes zur Anzeige des Meßwertes. Soll eine zeitlich veränderliche Dehnung, (ein dynamischer Vorgang) erfaßt werden, so sind schreibende Geräte besser geeignet als anzeigende Geräte.

Dehnungsmeßstreifen am Biegestab

In einem mechanisch beanspruchten Bauteil treten Spannungen auf. Ein einseitig eingespannter Träger, mit einer an seinem freien Ende nach unten gerichteter Belastung, wird auf seiner Oberseite gedehnt, auf seiner Unterseite gestaucht. Die Spannungen sind entgegengesetzt gleich groß. Definiert man für Dehnungen positive Vorzeichen und für Stauchungen sind negative Vorzeichen, dann erhält man besonders günstige Bedingungen hinsichtlich der Addition der Meßwerte.

Werden die DMS nach untenstehender Abbildung am Träger angebracht, so ergibt sich für die relative Ausgangsspannung UA :

$$U_A / U_E = k / 4 [e_1 - (-e_2) + e_3 - (-e_4)] \quad \text{mit} \quad U_A / U_E = k e$$

Man erhält hier den vierfachen Meßwert gegenüber einer Anordnung mit nur einem DMS. Wird der Biegestab nur mit zwei DMS in halber Brückenschaltung bestückt, so sollte man die Brückenarme 1 und 2 (R1 und R2) besetzen. Man erhält dann die relative Ausgangsspannung dazu

$$U_A / U_E = k/2 e$$

In beiden Fällen - Halbbrücke oder Vollbrücke - ist eine Temperaturkompensation erfolgt. Da bei Temperatureinflüssen auf den Biegebalken die Wärmedehnung des Balkens auf der Ober- und Unterseite positiv ist und den gleichen Betrag hat (gleiche Temperaturen auf beiden Seiten vorausgesetzt), müssen sich die Signale vollständig kompensieren. Denn in benachbarten Brückenarmen subtrahieren sich die Meßwerte, wenn sie gleiche Vorzeichen besitzen.

Der Biegestab

Der in dem Versuch benutzte Biegestab ist aus Stahl und kann durch Gewichte nach unten sowie über eine Schraubvorrichtung nach oben belastet werden. Dadurch können sowohl oberhalb als auch unterhalb des Biegestabes Druck- und Zugspannungen erzeugt werden. Das bedeutet, je nach Belastungsart treten an der Oberseite positive oder negative Spannungen, d.h. Dehnungen auf, und man erhält entsprechend positive oder negative Signale. Das gleiche gilt auch für die untere Seite.

Die Dehnungsmeßstreifen sind so angebracht, daß sich DMS 1 und DMS 2 oberhalb sowie DMS 3 und DMS 4 unterhalb des Biegestabes befinden. Damit eine sinnvolle Schaltung möglich ist sind sie in der Wheatstoneschen Brückenschaltung entsprechend angeordnet, das heißt, die oben bzw. unten liegenden DMS befinden sich in gegenüberliegenden Brückenarmen. Dadurch addieren sich die Meßwerte.

Die Nummern (DMS 1 bis DMS 4) der DMS sind auf der Brückenschaltung der Lehrplatte vermerkt. Die dort angegebenen Vorzeichen der Dehnungen beziehen sich nur auf eine Belastungsart.

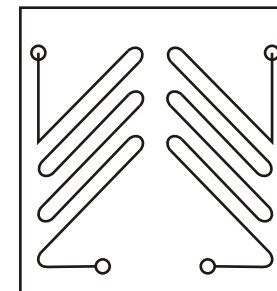
Dehnungsmeßstreifen am Torsionsstab

In den Versuchen zum Biegestab wurden mechanische Spannungen, die sich an einem Werkstück mit planer Oberfläche in Längsachse auswirken, gezeigt und erfaßt. Entsprechend waren die messenden Elemente (DMS) in ihrer Form ausgewählt und angeordnet. Das Werkstück kann aber auch quer zur Längsrichtung auf Verdrehung beansprucht werden.

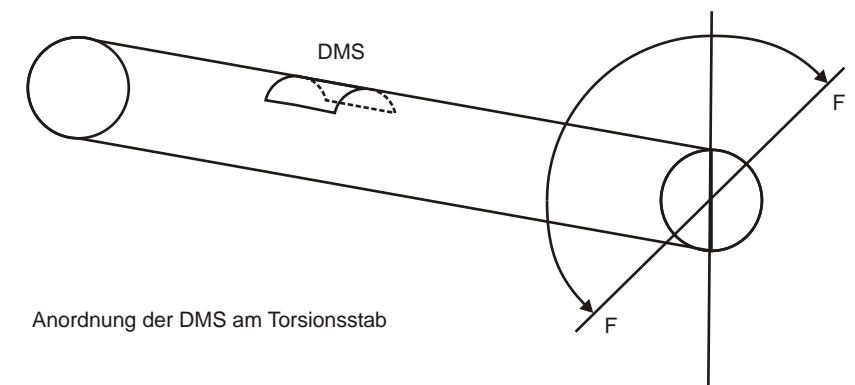
An einem Rohr, einer Achse oder Welle, treten bei entsprechender Belastung sogenannten Biege- oder Torsionsspannungen auf. Durch geeignete Auswahl und Anordnung von DMS werden an einem Torsionsstab sowohl Biegespannungen als auch Torsionsspannungen gemessen. Durch Verwendung einer Brückenschaltung wird eine Kompensation der überlagerten Biegespannungen ermöglicht. Diese Kompensation ist notwendig um Biege- und Torsionsspannungen am Torsionsstab einzeln zu messen.

Elektrische Meßschaltung

Speziell für Torsionsmessungen entwickelte DMS besitzen die gleichen Eigenschaften und Wirkungsweisen wie die schon beschriebenen DMS.

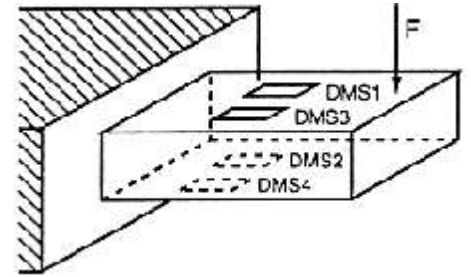


Ausführungsform eines Torsions-DMS

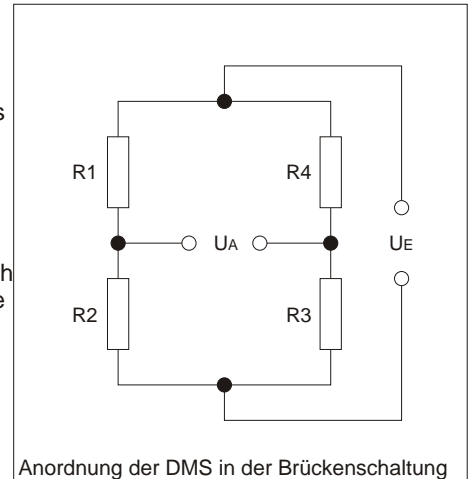


Anordnung der DMS am Torsionsstab

Da bei diesem Versuch nur 2 DMS verwendet werden, ist die Schaltung als Wheatstonesche Halbbrücke ausgeführt.



Anordnung der DMS am Biegestab



Anordnung der DMS in der Brückenschaltung