Experimentelle Spannungsanalyse: DMS und Spannungsoptik

Bei der funktionsgerechten Dimensionierung von mechanisch beanspruchten Bauteilen ist es erforderlich, Kenntnis über die Art der Beanspruchungen zu haben. Die entscheidenden Größen für die Konstruktion sind die maximal auftretenden Spannungen, die letztendlich die Abmessungen festlegen. Diese Spannungen gilt es im Vorwege zu bestimmen und anschließend experimentell im Versuch nachzuprüfen. Experimentelle Spannungsanalyse kann somit als Bindeglied zwischen den theoretischen Berechnungen und den Nachweisen im Versuch betrachtet werden.

Zwei Methoden der zerstörungsfreien experimentellen Spannungsanalyse werden hier vorgestellt:

- das **elektrische Verfahren** der Dehnungsmessung mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen zur indirekten Bestimmung der tatsächlichen Spannungen
- das **spannungsoptische Verfahren** zur direkten Darstellung der Spannungsverteilung

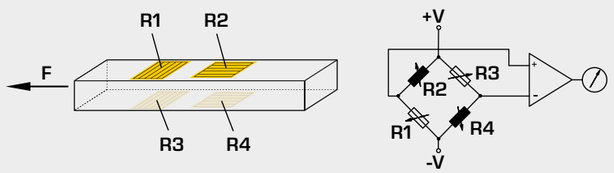
Dehnungsmessung mit Hilfe der Dehnungsmessstreifen (DMS)

Spannungen in Bauteilen können über den Umweg einer Dehnungsmessung ermittelt werden, da die Dehnung des Werkstoffs im direkten Zusammenhang mit der Werkstoffspannung steht. Auf dem Prinzip der Dehnungsmessung basiert ein bedeutender Zweig der experimentellen Spannungsanalyse. Vorteil der Methode ist, dass DMS an realen Bauteilen im Betrieb verwendet werden können.

DMS bestehen aus Widerstandsdrähten, die auf die Oberfläche des Werkstücks geklebt werden. Wird die Oberfläche gedehnt, längt sich der Draht und sein Querschnitt nimmt ab. Dies erhöht den elektrischen Widerstand. Bei Stauchung nimmt der Widerstand ab. In der Wheatstone'schen Messbrücke sind die Widerstände als Spannungsteiler geschaltet. Diese Messschaltung eignet sich besonders zur Messung kleiner Veränderungen eines Widerstands und damit zur Bestimmung der Widerstandsänderung eines DMS.

Bestimmung der mechanischen Spannungen in Betrag und Richtung

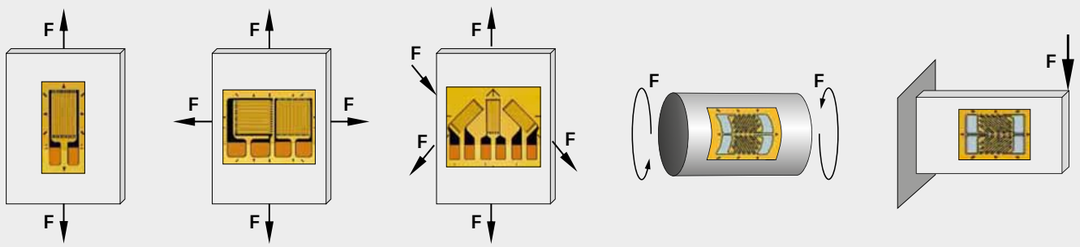
Mit Hilfe des verallgemeinerten Hookeschen Gesetzes werden die Spannungen **σ** aus den an der Oberfläche gemessenen Dehnungen **ε** berechnet.



Messung der Dehnung zur Bestimmung der Zugspannung

R2 + **R4** Messung Längsdehnung, **R1** + **R3** Messung Querdehnung, **F** Kraft

Auswahl und Installation der DMS für die Untersuchung verschiedener Spannungszustände



Verschiedene Bauformen für unterschiedliche Anwendungsfälle

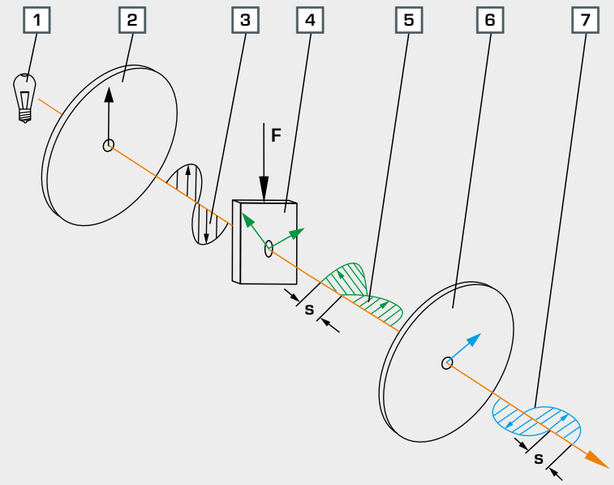
F Kraft

Darstellung der Spannungsverteilung mit Hilfe der Spannungsoptik

Die Spannungsoptik ist ein Verfahren mit großer Anschaulichkeit und einem einfachen Versuchsaufbau, bei dem zweidimensionale Spannungen in dem Modell eines Bauteils sichtbar gemacht werden. Polarisiertes Licht strahlt durch das Modell aus speziellen transparenten Kunststoffen, das mechanisch belastet wird. Die Belastung verursacht Spannungen im Modell. Dadurch entstehen im Kunststoff Doppelbrechungen in Richtung der Hauptspannungen. Mit einem Polarisationsfilter (Analysator) lassen sich Spannungen im Modell sichtbar machen. Die Spannungsoptik liefert also ein komplettes Bild des Spannungsfeldes und bietet damit einen guten Überblick über Bereiche mit hoher Spannungskonzentration sowie über Bereiche mit geringer Spannung. So können analytisch oder numerisch durchgeführte Spannungsbetrachtungen anschaulich überprüft werden.

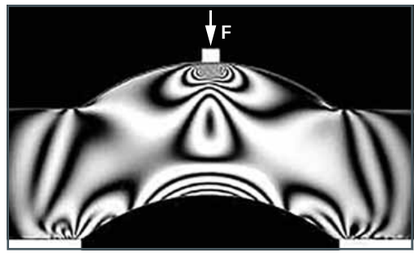
Verantwortlich für die Entstehung der relevanten Effekte ist die Eigenschaft transparenter Werkstoffe, infolge mechanischer Beanspruchung und Lichteinwirkung doppelbrechend zu werden. Die Doppelbrechung bei Kunststoffen erfolgt in Richtung der Hauptspannungen. Diese physikalischen Eigenschaften werden in der Spannungsoptik genutzt, um Spannungen bzw. die daraus resultierenden Dehnungen sichtbar zu machen. In den Versuchen werden daher, anstelle der Originalmaterialien, Modelle aus Kunststoff verwendet.

Prinzip der Spannungsoptik

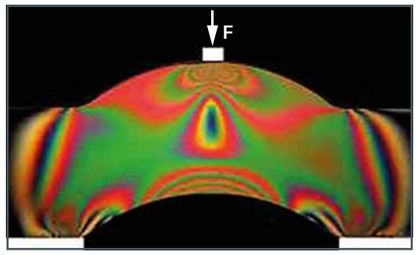


1 Lichtquelle,
2 Polarisator,
3 linear polarisiertes Licht,
4 Modell,
5 Licht zerlegt in zwei Komponenten der Hauptspannungsrichtung,
6 Analysator,
7 horizontale Anteile des Lichts

F Kraft,
s Gangunterschied



Dunkelfeld eines Bogens in monochromatischem Licht, **F** Kraft



Dunkelfeld eines Bogens in Weißlicht, **F** Kraft

In einem Polariskop können durchsichtige Modelle von Bauteilen, deren optische Eigenschaften sich unter dem Einfluss innerer Spannungen verändern, untersucht werden. Ist das Modell spannungsfrei, findet keine Doppelbrechung statt und das Modell erscheint schwarz. Wird eine Last aufgebracht und gesteigert, ergibt sich ein Gangunterschied, der sich proportional zur Größe der Differenz der Hauptspannungen erhöht.

Der dargestellte Bogen wird durch die Kraft **F** wie ein Gewölbe belastet. Gut zu erkennen ist die hohe Isochromatendichte im Innenkreis des Bogens, dort, wo die höchsten Spannungen auftreten. Gerade im monochromatischen Licht werden die einzelnen Linien besser aufgelöst, man erkennt in der oberen Abbildung sehr deutlich die „zwiebelähnlichen" Linienverläufe unterhalb der Krafteinleitung.