

55 Jahre Dehnungsmessstreifen (DMS) von Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

In der zweiten Hälfte der dreißiger Jahre des 20. Jahrhunderts erinnerte man sich eines Effektes, den Charles Wheatstone bereits 1843 in seiner ersten Veröffentlichung über die von ihm erfundene Brückenschaltung erwähnt: Es ist die Veränderung des Widerstandes eines elektrischen Leiters durch Einwirkung mechanischer Beanspruchung. William Thomson (1824–1905, seit 1892 Lord Kelvin) geht in einer 1856 veröffentlichten Arbeit näher darauf ein.

In den Vereinigten Staaten von Amerika verfolgten um das Jahr 1938 zwei Leute fast gleichzeitig, aber unabhängig voneinander, die Idee, den »Thomson-Effekt« für Messzwecke zu nutzen.

In Kalifornien war es Edward E. Simmons. Er klebte dünne Widerstandsdrähte isoliert auf einen Stahlzylinder und schuf so eine elektrische Kraftmesseneinrichtung zur Messung des von einem Pendelschlagwerk auf die Probe ausgeübten Kraftstoßes.

In Massachusetts arbeitete Arthur Claude Ruge im seismologischen Institut des Massachusetts Institute of Technology und wollte am Modell eines erdbebenfesten Wassertanks die Beanspruchung durch simulierte Erdbebenerschütterungen messen.

An dem sehr dünnwandigen Modell war die Anwendung bekannter Dehnungsmessgeräte nicht möglich. Keines der zahlreichen verschiedenen Geräte war geeignet. Als letzten Versuch nahm Ruge einen dünnen Widerstandsdraht, klebte ihn in Mäanderform auf ein Stückchen dünnes Seidenpapier und versah die Enden mit dickeren Anschlüssen.

Um die Eigenschaften dieses Gebildes untersuchen zu können, klebte er es auf einen Biegestab und verglich dessen Messwerte mit denen eines herkömmlichen Dehnungsmessgerätes. Er fand gute Übereinstimmung und einen linearen Zusammenhang zwischen Dehnung und Anzeige über den gesamten Messbereich, sowohl bei

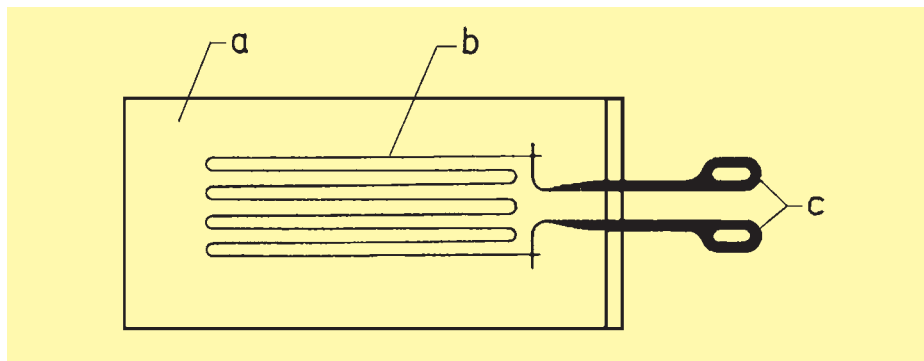
positiven als auch bei negativen Dehnungen (Stauchungen), und eine gute Nullpunktstabilität.

Damit war der »elektrische Widerstands-Dehnungsmessstreifen mit gebundenem Gitter«, wie die volle Bezeichnung lautet, erfunden. Er hatte bereits im ersten Anlauf seine im Prinzip auch heute noch übliche Form gefunden.

lungen zur Rationalisierung der Fertigungstechnik anzuwenden. Hier ist vor allem die Übertragung der von Paul Eisler erfundenen Technik der »gedruckten Schaltung« zu nennen. Diese führte ab 1952 in wesentlich verfeinerter Form zur Entwicklung des geätzten »Metallfolien-DMS«.

Diese Technik erlaubt gegenüber der Drahtwickeltechnik eine wesentliche Erweiterung der konstruktiven Möglichkeiten. Spiralige Formen sind ebenso bequem herstellbar wie ganze Netzwerke, bestehend aus DMS, Abgleich- und Kompensationselemente sowie Lötunkte.

Die ersten in Deutschland in hohen Stückzahlen hergestellten Dehnungs-



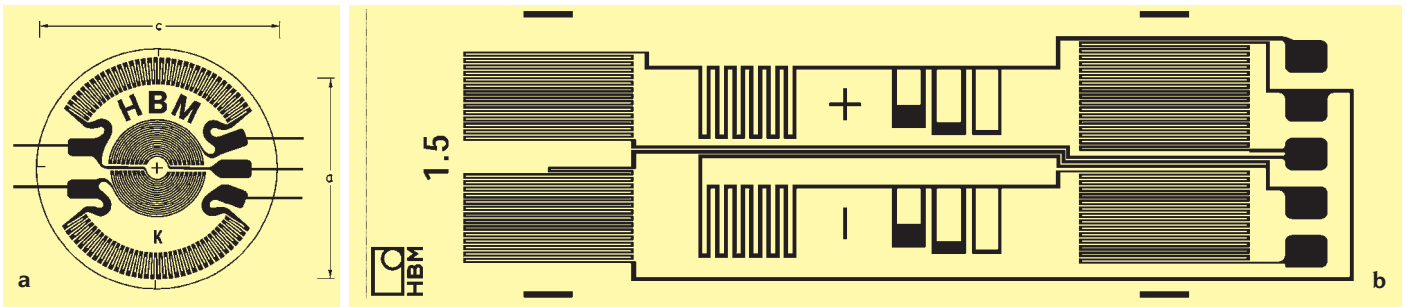
▲ **Charakteristische Bauform eines DMS mit aus Draht gewickeltem Messgitter:**
a) Trägerfolie b) Messgitter c) Anschlüsse
Characteristic design of a strain gage with a wrapped wire measuring grid:
a) Carrier foil b) Measuring grid c) Connections

Ruges entscheidende Idee, in der er sich von Simmons unterschied, war die Befestigung des Messdrahtes auf einer Trägerfolie. Dadurch entstand ein selbstständiges, frei zu handhabendes Messelement, das an jeder beliebigen Oberfläche angeklebt werden konnte. Es war sehr dünn und leicht, bedurfte keiner Anpresskraft und hatte praktisch keine Rückwirkung, so dass auch an dünnen Objekten Messungen möglich wurden.

In der Folgezeit versuchte man, unterschiedliche technologische Abwand-

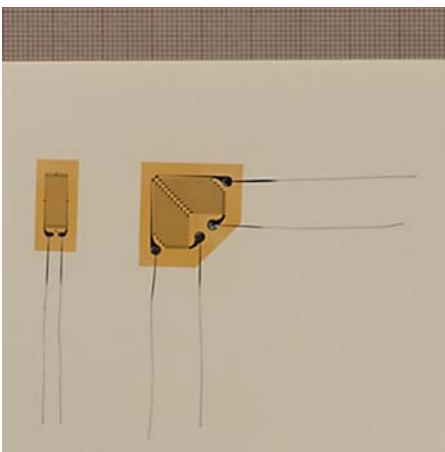
messtreifen stellte die Hottinger Messtechnik GmbH her. Im Jahr 1955 wurden die Vorbereitungen für eine eigene DMS-Produktion getroffen, deren Ergebnis die ersten verkauften Exemplare im Jahr 1956 waren. Erste Folien-Dehnungsmessstreifen wurden 1960 erfolgreich hergestellt.

Der prinzipielle Aufbau des elektrischen Dehnungsmessstreifens hat sich in den vergangenen Jahrzehnten nicht verändert. Noch immer basieren die DMS auf der von Ruge gefundenen Idee. Trotzdem wurde und wird nach wie vor



▲ Beispiele zur Gestaltung von Metallfolien-DMS:
 a) vierteilige Membranrosette in Brückenschaltung zum Bau von Druckaufnehmern
 b) komplette DMS-Brückenschaltung inklusive aller Verbindungen und Abgleichelemente.
Examples of typical metal foil SG design:
 a) four-arm diaphragm rosette in a bridge circuit for constructing pressure transducers
 b) full SG bridge circuit including all connections and balancing elements.

ein großer Aufwand in die Weiterentwicklung der Dehnungsmessstreifen investiert, hier insbesondere in die Materialwahl, die Materialbehandlung und den Herstellprozess. DMS werden in zahllosen verschiedenen Ausführungen hergestellt. Dar-



▲ Erste bei HBM hergestellte Metallfolie-DMS
The first metal foil SGs made at HBM

aus ergibt sich eine beispiellose Anpassungsfähigkeit des Verfahrens an unterschiedliche Messaufgaben, auch unter schwierigen Randbedingungen. Die wesentlichen Anwendungsgebiete der Dehnungsmessstreifen sind der Messgrößenaufnehmerbau sowie die experimentelle Spannungsanalyse. Im Messgrößenaufnehmerbau wird der DMS eingesetzt, um die Verformung eines speziellen Federkörpers infolge einer Last zu erfassen.

Ein weiteres Ziel ist es, die Handhabung der Dehnungsmessstreifen zu vereinfachen. Gerade im Messgrößenaufnehmerbau, wo teilweise mehrere

hundert DMS täglich verarbeitet werden, ist die Rationalisierung der Fertigung eine wesentliche Forderung im heutigen Wettbewerb. Ein wesentlicher Quantensprung in diesem Bereich war, Dehnungsmessstreifen mit einer griff-trockenen Klebstoffschicht zu versehen. Dabei sparen Anwender nicht nur den Einsatz der üblicherweise eingesetzten heiß härtenden Klebstoffe, sondern auch deren Verarbeitung (Ansetzen und Aufbringen des Klebstoffs). Die Eigenschaften der ausgehärteten Klebstoffschicht sind vergleichbar mit den sonst verwendeten Epoxydharzklebstoffen.

Der Bereich der experimentellen Spannungsanalyse verfolgt mehrere Ziele. Zum einen ist die Bestimmung der mechanischen Hauptnormalspannungen in Betrag und Richtung zu nennen, zum anderen die Eigenspannungsanalyse. Weiterhin werden DMS für Belastungsanalysen (Lebensdaueruntersuchungen und Schwachstellenanalyse) sowie die Ermittlung von Wärmespannungen eingesetzt.

Dass Dehnungsmessstreifen in großer Zahl im Bereich Luft- und Raumfahrt, Automobilbau sowie im Schienenfahrzeugbau eingesetzt werden, ist sicher leicht nachvollziehbar. Die Anwendung von Dehnungsmessstreifen auf Pferdehufen, als Kaukraftsensor in der Kieferchirurgie, zur Optimierung von Sport- sowie Haushaltgeräten oder zur Bauwerksüberwachung zeigen die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Dehnungsmessstreifen.

Wesentliche Entwicklungsziele im

Bereich der experimentellen Spannungsanalyse bestanden und bestehen darin, den Dehnungsmessstreifen an unterschiedlichste Aufgabenstellungen anzupassen bzw. auch hier die Handhabung zu vereinfachen.

Ein besonderes Highlight der vergangenen Jahre war der Einsatz von Dehnungsmessstreifen an der Forschungsplattform FINO 1, die sich ca. 45 km nördlich von Borkum in der Nordsee befindet.

Die Forschungsplattform ist auf einem Jacket, der Unterwasserkonstruktion, befestigt. Das Jacket selbst ist auf dem Meeresboden mit so genannten »Nägeln« verankert. An dieser Unterwasserkonstruktion sollten die mechanischen Beanspruchungen über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr nullpunktbezogen ermittelt werden.

Die besonderen Anforderungen bestanden unter anderem darin, dass die DMS und die damit verbundene Verkabelung nach der Installation an Land nicht durch das Einrammen der Nägel und den damit verbundenen Beschleunigungen beschädigt bzw. zerstört werden.

Da sich die DMS-Messstellen in bis zu 30 m Wassertiefe befinden, musste ein spezieller Schutz der Messstellen entwickelt werden. Weder ein Anschweißen noch Anschrauben einer metallischen Abdeckung war bei dieser Installation zugelassen.

Die in aufwändigen Voruntersuchungen getestete und zum Einsatz gebrachte Schutzabdeckung hat sich mehr als bewährt. Die Messstellen wurden Ende



▲ DMS-Installation an ausgewählten Stellen des Jacket; Unterwasserkonstruktion (Jacket); Montage der Forschungsplattform auf dem am Meeresgrund verankerten Jacket
 SG installation at selected points on the jacket; Underwater structure (jacket); Mounting the research platform on the jacket which is anchored on the sea bed

2003 in Betrieb genommen und haben die Anforderung – ein Jahr nullpunktbezogene Messung – mehr als erfüllt. Nach Kenntnisstand des Autors sind gerade mal 2 Messstellen in den vergangenen 3 Jahren seit Inbetriebnahme ausgefallen.

Bisher war der Einsatz von Dehnungsmessstreifen auf die Installation an der Bauteiloberfläche beschränkt. Mit

allen Bereichen der Industrie ergeben sich neue Anwendungen der DMS-Messtechnik.

Durch die Herstellung von Faserverbundbauteilen aus einzelnen aufeinander gelegten Faserschichten ist es möglich, geeignete und für diese Anwendung entwickelte Dehnungsmessstreifen während der Fertigung mit einzubetten.

Mehrere Ziele können durch die Integration verfolgt werden:

- Die auf den DMS einwirkenden Dehnungen können durch unterschiedliche Integrationstiefen, zum Beispiel in der Nähe der neutralen Faser, angepasst werden.

- Keine störenden Installationen an der Bauteiloberfläche bei aerodynamischen Anwendungen.

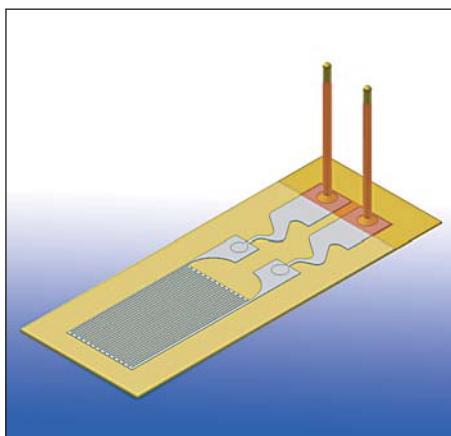
- Hoher Schutzgrad (Abdeckung) der Messstelle durch das Einbetten in die faserverstärkten Kunststoffe und damit verbundene höhere Lebensdauererwartungen dieser Messstellen gegenüber herkömmlichen Installationen an der Bauteiloberfläche.

Vielfach wurde prophezeit, dass der Dehnungsmessstreifen an Bedeutung verlieren würde. Sei es durch neue Messverfahren oder insbesondere

auch durch den verstärkten Einsatz von Simulationsprogrammen (z. B. Finite Elemente Methode). Das Gegenteil ist feststellbar, denn mit dem verstärkten Einzug der Rechentechnik zu Beginn der 90er Jahre und dem damit verbundenen Einsatz von Konstruktions- und Simulationsprogrammen stieg erkennbar auch der Bedarf an entsprechender Messtechnik für die Prüfung der gewonnenen Rechenergebnisse. Ein Ende der Erfolgsgeschichte »Dehnungsmessstreifen« ist daher nicht abzusehen.

Autor:
 Dipl.-Ing. (FH) Dirk Eberlein
 Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
 Im Tiefen See 45
 64293 Darmstadt
 Tel.: 0 61 51/8030
 Fax: 0 61 51/80391 00
 www.hbm.de

Quellen:
 [1] Hoffmann, K.: Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmessstreifen; Herausgeber Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt
 [2] Keil, S.: 33 Jahre DMS-Produktion in Darmstadt – Eine historische Rückschau aus Anlass des 50-jährigen Jubiläums des Dehnungsmessstreifens; MTB 24 (1988)



▲ Dehnungsmessstreifen für die Strukturintegration in faserverstärkte Kunststoffe
 Strain gages for structural integration into fiber-reinforced plastics

zunehmendem Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen (glasfaser- bzw. kohlefaserverstärkte Kunststoffe) in