

Zur Optimierung der elektrischen Speisung von DMS

Einführung

Eine wichtige Aufgabe bei der Arbeit mit DMS ist die Bestimmung einer empfehlenswerten Speisespannung für einen DMS bestimmter Größe und bestimmten Typs. Eine einfache, definitive Antwort auf diese Frage ist leider nicht möglich, da über DMS-Typ und DMS-Größe hinaus noch andere Faktoren eine bestimmende Rolle spielen. Das Problem nimmt dann besondere Schwierigkeit an, wenn der maximal mögliche Speisespannungspegel gesucht wird.

Es soll hier eine Darlegung der in diesem Zusammenhang wichtigsten Überlegungen gegeben und ganz spezifische Vorschläge zur Optimierung der elektrischen Belastungspegel für verschiedene DMS-Anwendungen unterbreitet werden.

Es ist wichtig, sich vor Augen zu führen, dass DMS nur selten durch wesentlich zu hohe elektrische Belastung zerstört werden. Das Ergebnis zu hoher Speisespannung ist vielmehr eher in einem schlechteren Einsatzverhalten des DMS zu suchen, als in seinem Totalausfall. Die Problemlösung liegt also konsequenterweise darin, hinsichtlich der richtigen Speisespannung der Gesamtheit aller Anforderungen an eine gegebene DMS-Installation gerecht zu werden.

Temperatur - Probleme

Die an einer DMS-Brückenschaltung anliegende elektrische Spannung führt zu einem Leistungsverbrauch in jedem Brückenweig, der in Form von Wärme abgeleitet werden muss. Nur ein vernachlässigbar kleiner Teil der eingespeisten Leistung steht am Ausgang der Schaltung zur Verfügung. Dadurch wird bewirkt, dass das Messgitter eines jeden DMS auf einem höheren Temperaturniveau liegt, als das Substrat, auf das er geklebt ist. Mit wenigen Ausnahmen, die später diskutiert werden, kann angenommen werden, dass die so im DMS entstehende Wärme durch Wärmeleitung in die darunterliegende Oberfläche übertragen werden muss. Der Wärmefluss durch die Probe ruft einen Temperaturanstieg im Substrat hervor, dessen Größe von seiner Kühlkapazität und dem Leistungspegel im DMS abhängt.

Folglich werden dadurch sowohl das DMS-Messgitter als auch das Substrat, auf das der DMS installiert ist, eine höhere Temperatur aufweisen, als es der Umgebungstemperatur entspricht. Nimmt der Temperaturanstieg in DMS und Probe beträchtliche Größen an, wird das Einsatzverhalten des DMS wie folgt beeinflusst:

1. Die Temperatur-Selbst-Kompensation des DMS wird schlechter, wenn die Gittertemperatur beträchtlich über der Temperatur des Probenmaterials liegt. Die Herstellerdaten bezüglich der Temperatur-Selbst-Kompensation der DMS werden daher notwendigerweise mit niedrigen Speisespannungspegeln erstellt.
2. Hysteresis und Kriecheffekte werden verstärkt, da diese unter anderem auch vom Temperaturniveau des DMS-Trägermaterials und der Kleberschicht abhängen. Ein DMS-Trägermaterial, das normalerweise, sagen wir beim Einsatz mit Messwertaufnehmern, bis zu +120°C zulässig wäre, kann bei hohen Speisespannungsbedingungen auf Temperaturen um 20°C beschränkt werden müssen.
3. Die Nullpunkt-Stabilität (bei keiner mechanischen Last gleich Null) wird durch überhöhte Speisespannungen stark beeinflusst. Das gilt besonders dann, wenn DMS mit hohem thermischen Ausgangssignal (früher "scheinbare Dehnung" genannt) eingesetzt werden, man sich auf die temperaturkompensierende Wirkung von Halb- oder Vollbrückenschaltungen verlässt, um der Forderung nach guter Nullpunkt-Stabilität zu genügen. Nullpunktdrift wird auftreten, weil sich die Kühlbedingungen an den Orten der DMS-Installation innerhalb einer Brückenschaltung unterscheiden.

Ein weiteres Problem muss in diesem Zusammenhang herausgestellt werden. Sollte sich aus irgendwelchen Gründen ein lokalisierter Teil eines Messgitters stärker aufheizen als der Rest des Gitters, wird das den normalerweise für diesen DMS möglichen Speisespannungspegel einschränken. Bei solchen "Heißpunkt"-Effekten wird die DMS-Installation besonders anfällig in Bezug auf Kriechen und Instabilität sein. Blasen oder Vakuunkammern in der Kleberschicht sowie Diskontinuitäten in der Oberfläche des Probenmaterials sind häufig die Ursache solcher "Heißpunkte" im DMS-Messgitter. Unvollkommenheiten im DMS selbst können zur Entwicklung von "Heißpunkten" im Gitter führen, woraus sich die Forderung ergibt, dass bei der Notwendigkeit hoher Speisespannungen nur DMS höchster Qualität zum Einsatz kommen sollten.

Unter der Voraussetzung, dass andere Faktoren konstant sind, kann man näherungsweise sagen, dass die Fähigkeit eines DMS zum gefahrlosen Leistungsverbrauch mit der Größe der Gitterfläche einhergeht (Länge x Breite des aktiven Messgitters). Art oder Menge der eventuell benutz-

Zur Optimierung der elektrischen Speisung von DMS

ten Schutzabdeckung sind relativ unwichtig. DMS mit offenem Messgitter zeigen nur etwa 10 bis 15% niedrigere Wärmeableitungswerte als solche mit voll gekapseltem Messgitter. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass DMS mit offenem Messgitter immer mit einer Schutzabdeckung versehen werden sollten, um Gitterkorrosion zu vermeiden.

Manchmal trifft man auf die Behauptung, dass DMS-Kleber mit hoher Wärmeleitfähigkeit die Situation hinsichtlich des Leistungsverbrauchs im DMS wesentlich verbessern. Allgemein gesehen, ist diese Aussage nicht korrekt. Solche Kleber erhalten ihre hohe Wärmeleitfähigkeit durch Füllmaterialien wie etwa Aluminiumoxid-Pulver oder andere pulverisierte Metalle. Damit wird die Viskosität der Kleber wesentlich erhöht, welches wiederum in dicken Kleberschichten und damit langen Wärmeleitwegen resultiert. Ein Gewinn durch bessere Wärmeleitfähigkeit wird wegen des schlechteren Gesamteinsetzverhaltens der Messstelle, hervorgerufen durch zu dicke Kleberschichten, auf jeden Fall zunichtegemacht. Es ist vielmehr besser Kleber anzuwenden, die aufgrund ihrer hohen Spezialisierung für den DMS-Einsatz sehr dünne, blasenfreie Schichten ermöglichen. Auf hinreichend geglätteten Bauteiloberflächen können auf diese Weise ideale Kleberschichtdicken zwischen 2,5 und 7,5 μm erzielt werden.

Einflussfaktoren auf optimale Brückenspeisung

Auf die Bestimmung optimaler Speisespannungspiegel für jede Art von DMS-Anwendungen haben die folgenden Faktoren entscheidenden Einfluss:

1. *Gitterfläche des DMS.* Damit ist das Produkt aus Länge und Breite des aktiven Messgitters gemeint.
2. *Elektrischer Widerstand des DMS.* Höhere Widerstände erlauben bei gegebenem Leistungspegel höhere Speisespannungen.
3. *Kühleigenschaften des Werkstoffs,* auf den der DMS geklebt ist. Große Querschnitte von Metallen mit guter Wärmeleitfähigkeit, z. B. Aluminium oder Kupfer, kühlen hervorragend. Dünne Querschnitte von metallischen Werkstoffen niedrigerer Wärmeleitfähigkeit, wie sie z. B. hoch legierte Stähle oder Titan zeigen, bedeuten schlechte Kühleigenschaften. Es sollte beachtet werden, dass, abhängig von der Form des Bauteils, ein Aufheizeffekt des DMS Wärmespannungen im Bauteil hervorrufen kann. Weiter wird ein Aufheizeffekt den E-Modul bei Plastikmaterialien rasch absinken lassen, wodurch viskoelastische Effekte verstärkt auftreten und damit die Materialeigenschaften im Bereich unter dem DMS wesentlich beeinflusst werden. Sind solche Kunststoffe jedoch mit anorganischen Materialien gefüllt oder faserverstärkt, entspannt sich die Situation insofern, als damit eine Erniedrigung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten, eine Erhöhung des E-Moduls und eine Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit einhergeht.
4. *Einsatztemperatur der DMS-Meßstelle.* Findet eine Messung bei relativ niedrigen Umgebungstemperaturen statt, wird ein Aufheizeffekt am DMS verschlechtertes Kriechverhalten von DMS-Trägermaterial und Kleberschicht hervorrufen. Auch der Funktionsverlauf des thermischen Ausgangssignals (scheinbare Dehnung) wird sich ändern, wenn eine signifikante Temperaturdifferenz zwischen DMS und Probenmaterial besteht.
5. *Anwendungsbedingungen.* Wird ein DMS für normale spannungsanalytische Zwecke eingesetzt, kann er elektrisch höher belastet werden, als es für DMS im Messwertaufnehmerbau zulässig wäre, da im letzteren Fall ein Höchstmaß an Stabilität, Reproduzierbarkeit und Genauigkeit gefordert ist.
Ob ein DMS für statische oder ob er für dynamische Messungen herangezogen wird, hat zweifellos großen Einfluss auf die Überlegungen hinsichtlich der optimalen elektrischen Speisung. Verschlechterungen des DMS-Verhaltens aufgrund von Aufheizeffekten werden sich bei statischen Messungen in viel ernsterer Weise bemerkbar machen, als es bei dynamischen Messungen der Fall ist. Nullpunktdrift wegen Aufheizproblemen addiert sich bei statischen Messungen direkt zum Messsignal, während bei dynamischen Messungen die zu messenden Amplituden relativ bleiben. DMS-Brückenschaltungen können im dynamischen Messfall also mit höheren Speisespannungen beschickt werden, wobei sich der Vorteil eines besseren Signal/Rausch-Verhältnisses ergibt.
6. *Installations- und Verdrahtungstechniken.* Wird der DMS während der Installation beschädigt, sind wegen zu hoher Löttemperaturen Anschlussfäden delaminiert oder sind in der Kleberschicht Diskontinuitäten vorhanden, dann werden hohe Speisespannungen immer zu ernstesten Problemen führen. Installationstechniken hoher Qualität sind unverzichtbar, wenn DMS-Messungen zu verlässlichen Ergebnissen führen sollen; dies gilt umso mehr, wenn hohe elektrische Belastungen der DMS vorliegen.

Zusätzlich zu den genannten Punkten existiert eine Reihe zweitrangiger Faktoren, die maximal mögliche Speisespannungspiegel beeinflussen. Eine schlechte Gestaltung der Gittergeometrie, wie z. B. ein untaugliches Verhältnis von Gitterlinienbreite zu Gitterlinienabstand, wird die Möglichkeiten der Wärmeableitung reduzieren. Auch die Art des Trägermaterials des DMS, bestimmt durch Harz und Füllmaterial, spielt mit seiner Wärmeleitfähigkeit hier eine Rolle. Das Trägermaterial ist in diesem Zusammenhang höher zu bewerten als der für die Installation ausgewählte Kleber, da es, gute DMS-Kleber und richtige Installationstechniken vorausgesetzt, dicker ist, als die Kleberschicht.

Zur Optimierung der elektrischen Speisung von DMS

Gekreuzte Rosetten

Hierunter werden Rosetten verstanden, deren Messgitter übereinander liegen und nicht nebeneinander, wie das bei Planar-Rosetten der Fall ist. Gekreuzte Rosetten stellen im Licht der vorliegenden Thematik einen Sonderfall dar, weil der Wärmeleitweg vom obersten Gitter zur Probenoberfläche länger als normal ist und sich die Erwärmung des unteren Gitters immer zu der Erwärmung des darüber liegenden Gitters addiert. Bei einer 3-Element-Rosette mit ihren drei direkt übereinandergestapelten Gittern, wird der Temperaturanstieg im obersten Gitter sechsmal so groß sein, wie in einem normalen DMS mit einem Gitter gleicher Größe, vorausgesetzt alle drei übereinander liegenden Gitter erhalten die gleiche Speisespannung. Um also den Temperaturanstieg in einer gekreuzten Rosette gleich dem in einem normalen Einzel-DMS zu halten, sollte die elektrische Belastung pro Gitter nur 1/6 der Belastung eines Einzel-DMS betragen. Das bedeutet, dass die Brückenspeisung um den Faktor 2,5 reduziert werden sollte, da sich die Leistungsaufnahme mit dem Quadrat der Speisung ändert. Für gekreuzte 2-Element-T-Rosetten gelten die Faktoren 3 für die Leistung und 1,7 für die Brückenspannung.

Dem oben Gesagten liegt die Voraussetzung von quadratischen Gitterformen der gekreuzten Rosetten zugrunde, sodass also jedes Gitter alle anderen voll überdeckt. Bleiben beträchtliche Teile der Gitter unbedeckt durch die anderen Gitter, sind die oben genannten Faktoren als etwas zu hoch einzuschätzen.

Kryogene Anwendungsfälle

Messfälle, bei denen die DMS-Messstellen direkt in Flüssiggas eingetaucht sind, kommen immer häufiger vor. Dabei handelt es sich in der Regel um Flüssig-Stickstoff, Flüssig-Wasserstoff oder Flüssig-Helium. Da es sich dabei in jedem Fall um elektrisch nicht-leitende Flüssigkeiten handelt, sind gelegentlich DMS mit offenem Messgitter ohne jede zusätzliche Schutzabdeckung eingesetzt worden.

Dabei war ein interessanter Effekt zu beobachten. Wird nämlich die Speisespannung nicht hinreichend niedrig gehalten, lässt die Gitter-Selbsterwärmung an den Gitterhalmen Gasblasen entstehen, welche das Gitter teilweise von der umgebenden kalten Flüssigkeit isolieren. Dadurch erhöht sich die Temperatur weiter, es entstehen größere Gasblasen, die sich schließlich ablösen und zur Oberfläche aufsteigen. Die Relativbewegung der Gasblasen zum Messgitter produziert lokale Temperaturänderungen, welche im Ausgangssignal als elektrisches Rauschen erscheinen. Besonders solche Gitterlegierungen, die bei kryogenen Temperaturen hohe thermische Ausgangssignale aufweisen (scheinbare Dehnung), das gilt z. B. für die meisten Konstantan-Legierungen, sind anfällig für den geschilderten Effekt. Abhilfe schaffen hier sehr niedrige Brückenspeisungen und/oder Schutzabdeckungen, die einen direkten Kontakt der Gitter mit dem Flüssiggas verhindern. Es soll-

ten aber nur solche Schutzabdeckmittel zum Einsatz kommen, die bei kryogenen Temperaturen immer noch hinreichende Flexibilität aufweisen, um Rissbildungen in der Abdeckung zu vermeiden.

Experimentelle Bestimmung der maximalen elektrischen Speisung

Um sicher zu gehen, dass für eine gegebene DMS-Anwendung der gewählte Speisespannungspegel nicht zu hoch ist, ist es notwendig, bei maximaler Messtemperatur Tests durchzuführen. In vielen Fällen kann jedoch diese etwas komplizierte Prozedur vereinfacht werden, indem man bei mechanisch entlasteter Probe und abgeglicherer Brücke die Speisespannung schrittweise erhöht, bis eine definitive Nullpunktdrift beobachtet wird. Danach erniedrigt man die Speisespannung wieder bis zu dem Punkt, bei dem Nullpunktstabilität eintritt, und hat somit die maximal mögliche Speisespannung für eine gegebene Anwendung mit guter Sicherheit bestimmt. Führt man diese Prozedur bei einer Temperatur durch, die der Maximaltemperatur während der wirklich durchzuführenden Messung entspricht, erhöht das noch die Sicherheit dafür, dass die ermittelte Speisespannung anwendungsgerecht ist.

Die strengeren Anforderungen bei auf DMS basierenden Messwertaufnehmern lassen die geschilderte Prozedur jedoch nur als erste Näherungslösung gebrauchen. Weitergehende Verifikationen sind in der Regel erforderlich. Besonders zwei Verhaltensparameter von Messwertaufnehmern reagieren empfindlich bei zu hoher elektrischer Speisung: 1. Nullpunktdrift gegen Temperatur und 2. Stabilität unter Last bei maximaler Anwendungstemperatur.

Elektrische Speisung von Widerstands - Temperatursensoren

Nickel-Temperatursensoren werden immer häufiger eingesetzt, wenn es bei DMS-Messungen gilt, die Prüflingstemperatur zu überwachen. Aufklebbare Sensoren der Typen ETG-50 und WTG-50 eignen sich dazu besonders gut. Der Herstellungsprozess für diese Sensoren ist der gleiche wie für DMS, und folglich wird der Mechanismus der Einwirkung von Umgebungstemperaturen auf sie der gleiche sein wie beim DMS. Da diese Sensoren eine Menge der bei Thermoelementen auftretenden Fehler eliminieren, sind sie ideal geeignet, DMS-Messdaten bei sich rasch ändernden Messtemperaturen zu korrigieren. Wie DMS werden diese Temperatursensoren durch zu hohe elektrische Speisung nachteilig beeinflusst. Verschiedenheiten der Kühlbedingungen und unterschiedliche Genauigkeitsanforderungen machen es zwar nicht möglich universell anwendbare Empfehlungen bezüglich der Speisespannungsgrößen zu geben, ein Hinweis auf eine experimentelle Bestimmung der Speisespannung kann jedoch gegeben werden. Man erhöht einfach die Speisung so lange, bis das Anzeigegerät einen merkbaren Temperaturanstieg im Messgitter signalisiert; danach wird die Speisespannung so weit wie nötig erniedrigt. Da ja bei diesen Sensoren das Anzeigegerät das Feh-

Zur Optimierung der elektrischen Speisung von DMS

lersignal durch Selbsterwärmung direkt anzeigt, ist dies eine einfache, aber sehr effektive Prozedur.

Werden die Sensoren, wie es meistens der Fall ist, mit LST-Linearisierungs-Netzwerken betrieben, sollten normalerweise keine Fehlersignale durch Selbsterwärmung zu befürchten sein. Die Netzwerke schwächen die Brückenspannung so weit ab, dass die Spannungspegel am Sensor gewöhnlich auf der sicheren Seite liegen.

Typische Größen für die elektrische Speisung von DMS

Die folgenden Nomogramme können als generelle Empfehlungen für DMS-Speisespannungen herangezogen werden oder als Einstiegsinformation für eine nachfolgende genauere Bestimmung ihrer optimalen Größen. In den Nomogrammen ist die Brückenspeisespannung als Funktion der Gitterfläche in Milliwatt pro mm² dargestellt. Eine große Anzahl von gängigen DMS unserer Vishay Micro-Measurements sind entsprechend ihrer Gitterfläche berücksichtigt. Die verschiedenen Nomogramme sind nach den DMS-Widerständen 120Ω, 350Ω und 1000Ω geordnet. Für in den Nomogrammen nicht zu findenden DMS können zur Berechnung der Leistungspegel folgende Beziehungen benutzt werden:

$$\text{Leistungsverbrauch im Gitter (mW)} = \frac{U_B^2}{4R_G} \cdot 1000 = P_G$$

$$\text{Leistungsdichte (mW/mm}^2\text{)} = \frac{P_G}{A_G} = P_G'$$

wobei: R_G = DMS-Widerstand in Ohm
 A_G = Gitterfläche (Länge x Breite des aktiven Messgitters)
 U_B = Brückenspeisespannung in Volt

Sind Gitterfläche (A_G), DMS-Widerstand (R_G) und Leistungsdichte am Messgitter (P_G') bekannt, kann die Brückenspeisespannung wie folgt errechnet werden:

$$U_B = 2 \sqrt{R_G \cdot P_G' \cdot A_G \cdot 10^{-3}}$$

Nomogramme der Leistungsdichte

Die Auswahl der richtigen Nomogramm-Linien für die Leistungsdichte am DMS-Gitter unterliegt in der Hauptsache zwei Kriterien: Der angestrebten Messgenauigkeit und den Kühlbedingungen am Messobjekt. Im Folgenden wird eine Reihe allgemeiner Empfehlungen gegeben, die aber gegebenenfalls durch die früher beschriebenen experimentellen Prozeduren verifiziert werden sollten.

Typische Pegel für die Leistungsdichte am Gitter in mW/mm²

Eine Reihe von kommerziell gefertigten Dehnungsmessbrücken arbeitet mit Konstant-Spannungs-Brückenspeisungen, die zwischen 3 und 5V einstellbar sind. Die Leistungsdichte, die durch diese Spannungen in DMS verschiedener Größe und verschiedenen Widerstands hervorgerufen wird, kann direkt den Nomogrammen entnommen und mit den Anforderungskriterien in Tabelle 1 verglichen werden. Bei sehr kleinen DMS kann es notwendig werden, die bei solchen Geräten möglichen Brückenspeisespannungen zu reduzieren, um Probleme zu vermeiden. Lässt es die Messbrücke nicht zu, eine dem DMS entsprechende niedrige Speisespannung direkt einzustellen, sind hochpräzise Widerstände (Vishay) in Serie mit dem DMS und der Brückenergänzung der externen Halbbrücke (z. B. dem Kompensations-DMS) zu schalten, um so einen hinreichenden Speisespannungsabfall zu erreichen. Die Leistungsdichte wird dann um den Faktor $[R_G / (R_b + R_G)]^2$ reduziert, wobei R_b der zugeschaltete Widerstand ist und R_G den Widerstand des aktiven DMS bedeutet. Um den Brückenabgleich zu wahren, muss allerdings, wie schon gesagt, der zuzuschaltende Widerstand in beiden Zweigen der Halbbrücke vorhanden sein. Zu beachten ist jetzt, dass diese Modifikation der DMS-Schaltung die Dehnungsempfindlichkeit (letztendlich den K-Faktor des DMS) des Messaufbaus erniedrigt. Alle Dehnungsmesswerte müssen deshalb mit dem Faktor $(R_b + R_G) / R_G$ multipliziert werden, um diesen Effekt zu korrigieren.

Beispiele zur Anwendung der Nomogramme

Beispiel 1: Statische Messung, mittlere Genauigkeitsanforderung (3 bis 5%). Welche Speisespannung ist zulässig für einen DMS des Typs EA-09-125AD-120, installiert auf einen Balken aus hoch legiertem Stahl der Dimensionen 12,5 x 1,5 x 150mm?

Aus Tabelle 1 ergibt sich die Forderung nach einer Leistungsdichte von 1,6 bis 3,1mW/mm², entsprechend einer mittelguten Kühlfähigkeit bei hoch legierten Stählen. Mit dieser Information geht man in Nomogramm 1:

- Auf der horizontalen Achse (metrisch oben, englisch unten) kann bei Pfeilspitze für 125AD 10,06mm² abgelesen werden.
- Der Schnittpunkt der vertikalen Linie für 10,06mm² mit den schrägen Leistungsdichte-Linien für 1,6 und 3,1mW/mm² (rechte vertikale Achse) wird markiert. Von diesen Schnittpunkten horizontal zur linken Vertikalachse gehend, kann dort die Speisespannung abgelesen werden, also 2,7V respektive 3,8V. Für den gegebenen Fall wären also 3,8V die maximal zulässige Speisespannung, die an der Messbrücke eingestellt werden soll.

Beispiel 2: Eine Messbrücke mit einer fixen Speisespannung von 4,5V steht zur Verfügung. Kann die-

Zur Optimierung der elektrischen Speisung von DMS

ses Instrument für den oben dargestellten Fall eingesetzt werden, und wenn nicht, welche Maßnahmen müssen ergriffen werden, um mit dieser Messbrücke messen zu können?

Um die Leistungsdichte am Gitter eines DMS der Größe 125AD für eine gegebene Speisespannung zu bestimmen, geht man mit Nomogramm 1 so vor:

- Auf der linken Ordinate werden 4,5V aufgesucht, und man geht horizontal bis zum Kreuzungspunkt mit der 125AD-Linie. Jetzt kann man eine Leistungsdichte von 4,7mW/mm² ablesen, welches über dem in Beispiel 1 bestimmten Wert liegt. Ist eine niedrigere Messgenauigkeit (5 bis 10%) akzeptabel, wäre eine höhere Leistungsdichte P_{G'} zulässig. Sind bessere Genauigkeiten verlangt, stehen mehrere Alternativen zur Verfügung: Man kann erstens einen DMS mit höherem Widerstand wählen, zweitens einen DMS mit größerer Gitterfläche einsetzen und drittens, einen Widerstand R_b in die Speiseleitung schalten, um die Brückenspeisespannung zu reduzieren. Dieser Widerstand R_b kann bei einer durch die Messbrücke vorgegebenen fixen Speisespannung mit der folgenden Beziehung berechnet werden, um die ge-

wünschte elektrische Belastung des DMS von 3,1mW/mm² zu erreichen:

$$\left(\frac{U_B^2}{4R_G \cdot A_G} \right) \left(\frac{R_G}{R_G + R_b} \right)^2 = P_{G'} \text{ (gewünschter Wert)}$$

$$R_b = \frac{U_B}{2} \sqrt{\frac{R_G}{A_G \cdot P_{G'}}} - R_G = 19,5\Omega$$

Für eine zulässige Belastung von 3,1mW/mm² müsste also ein Widerstand von 19,5Ω in die Speiseleitung geschaltet werden.

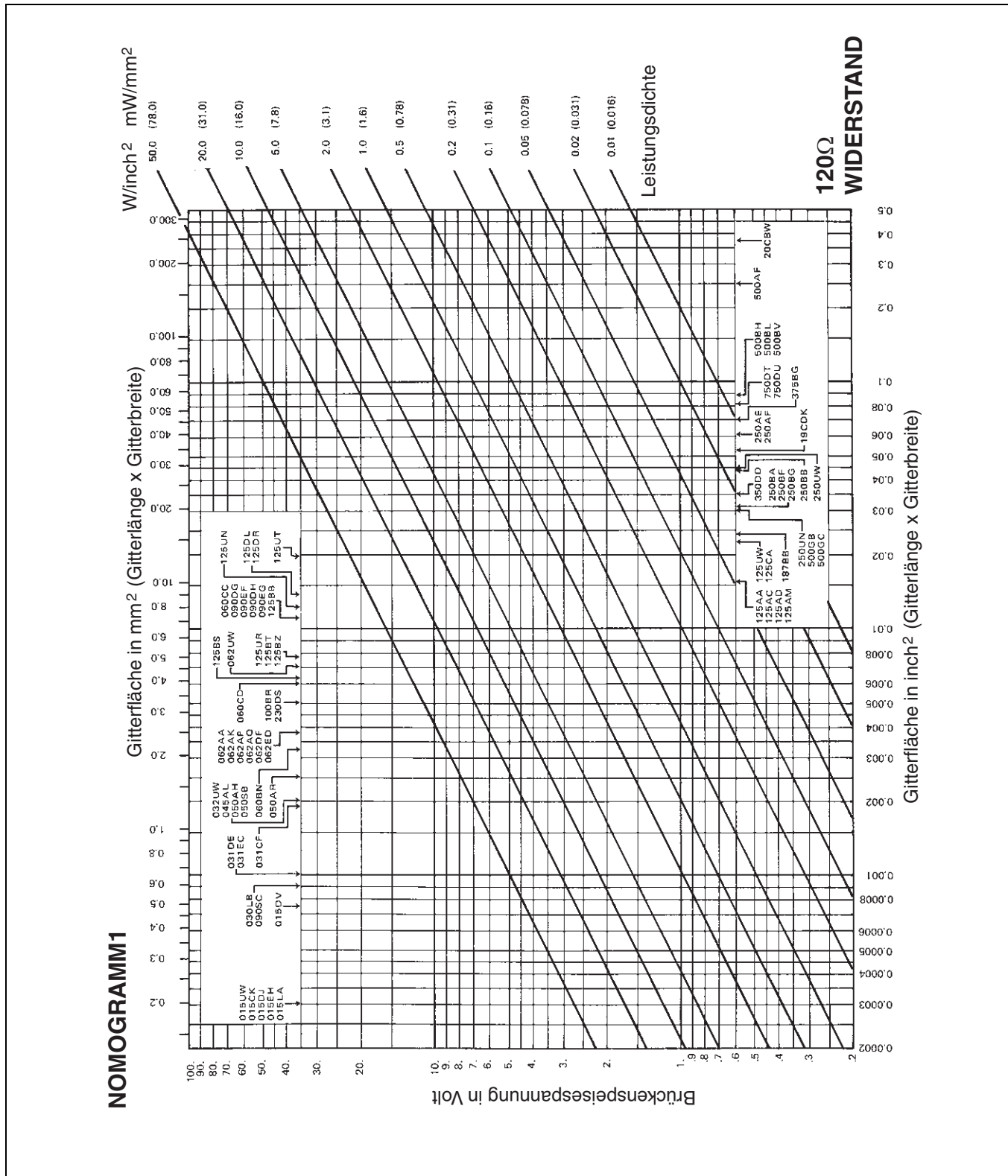
Um der durch den Widerstand bewirkten Desensibilisierung Rechnung zu tragen, müssen alle gemessenen Dehnungswerte mit folgendem Faktor multipliziert werden.

$$\frac{R_b + R_G}{R_G} = \frac{19,5 + 120}{120} = 1,16$$

Tabelle 1 - Optimale elektrische Speisung von DMS Milliwatt/mm²

Wärmeleitfähigkeit Messgenauigkeit		SEHR GUT	GUT	MITTEL	SCHLECHT	SEHR SCHLECHT
		Aluminium Massiv o. Kupfer	Stahl	Nicht rostender Stahl o. Titan	Gefüllte Kunststoffe Glasfiberverstärkte Epoxide	Ungefüllte Kunststoffe Acrylharz o. Polystyrol
STATISCH	Hoch	3.1 - 7.8	1.6 - 3.1	0.78 - 1.6	0.16 - 0.31	0.016 - 0.031
	Mittel	7.8 - 16	3.1 - 7.8	1.6 - 3.1	0.31 - 0.78	0.031 - 0.078
	Gering	16 - 31	7.8 - 16	3.1 - 7.8	0.78 - 1.6	0.078 - 0.16
DYNAMISCH	Hoch	7.8 - 16	7.8 - 16	3.1 - 7.8	0.78 - 1.6	0.016 - 0.078
	Mittel	16 - 31	16 - 31	7.8 - 16	1.6 - 3.1	0.078 - 0.31
	Gering	31 - 78	31 - 78	16 - 31	3.1 - 7.8	0.31 - 0.78

Zur Optimierung der elektrischen Speisung von DMS



TECH NOTE

