



## Leitungswiderstände erfolgreich kompensieren

Messstellen, z. B. an Brücken oder Flugzeugflügeln, sind oft in größerer Entfernung von den Messgeräten angeordnet. Ist die Messstelle nicht direkt zugänglich, müssen die Messgeräte über lange Kabel angeschlossen werden. Der Nachteil: Der Leitungswiderstand im Kabel kann mehrere Ohm betragen und die Messung negativ beeinflussen. Besonders Widerstandsänderungen im Kabel während der Messung, z. B. durch Temperaturschwankungen, wirken sich negativ aus.

Der Temperaturgang durch Kabelerwärmung bei Leitungen, die mit dem Dehnungsmessstreifen (DMS) in Serie im gleichen Brückenarm liegen, wird wie folgt berechnet:

$$\Delta R_K = R_K \cdot \alpha_K \cdot \Delta \vartheta = \varrho \cdot \frac{l}{A} \cdot \alpha_K \cdot \Delta \vartheta$$

$\Delta \vartheta$  = Temperaturänderung

$R_K$  = Kabelwiderstand

$\Delta R_K$  = Änderung des Kabelwiderstands

$R_{DMS}$  = Widerstand des DMS

$k$  = k-Faktor des

$l$  = Leitungslänge

$A$  = Leiterquerschnitt

$\alpha_{MK}$  = Temperaturgang der Messstelle infolge der Kabelerwärmung

$\alpha_K$  = Temperaturkoeffizient des Kabelleitungswerkstoffs

$$\alpha_{Cu} \approx 0,004 \frac{\Omega}{\Omega} \cdot \frac{1}{K}$$

$$Q = \text{Leitfähigkeit des Leitungswerkstoffs} \quad \varrho_{Cu} \approx 0,018 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

### Beispiel:

Eine Kupferleitung von 1 m Länge (je 0,5 m Hin- und Rückleitung) und 0,15 mm<sup>2</sup> Querschnitt in Serie mit einem 120 Ω–DMS verursacht bei einer Temperaturänderung von 10 K einen Temperaturgang von 20 μm/m. Bei einem 350 Ω–DMS beträgt der Temperaturgang unter sonst gleichen Bedingungen nur 7 μm/m.

Mithilfe verschiedener Schaltungsarten für Dehnungsmessstreifen (DMS) können Leitungswiderstände kompensiert werden. Nachfolgend werden drei Schaltungsarten, basierend auf der Wheatstone'schen Brückenschaltung, vorgestellt und deren Vor- und Nachteile erläutert.

## 2-Leiter-Schaltung

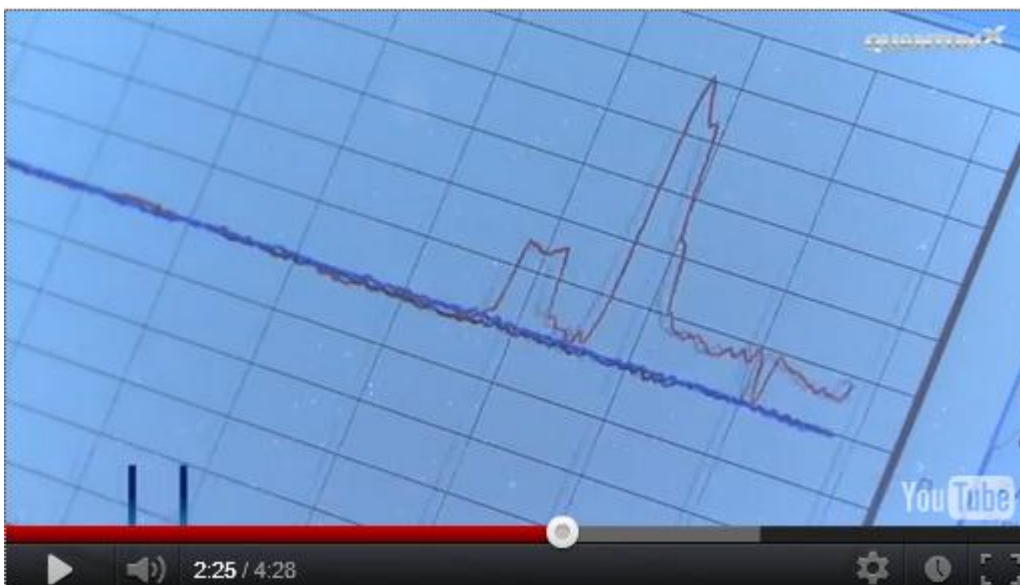
Bei der 2-Leiter-Schaltung sind DMS und Verstärker über zwei Adern verbunden (vgl. Abbildung 1). Wie anhand des Schaltbilds zu erkennen, addiert sich der Widerstand des Kabels zweimal, nämlich im Hin- und Rückweg, zu dem des DMS.

Dies beeinflusst sowohl den Nullpunkt der Brücke als auch die Empfindlichkeit. Selbst bei Kabeln von wenigen Zentimetern muss der Kabelwiderstand berücksichtigt werden. Die 2-Leiter-Schaltung ist besonders empfindlich bei Temperaturänderungen während der Messung, da die Widerstandsänderung sofort in den Messwert eingeht.

In einem Versuch mit applizierten DMS und dem DMS-Brücken-Messverstärker QuantumX MX1615 testen wir die Temperaturstabilität der 2-Leiter-Schaltung.



Der Versuch zeigt: Das Messergebnis bei einer 2-Leiter-Schaltung ist nicht aussagekräftig. Die Widerstandsänderung im Kabel, z. B. durch Temperaturänderung, schlägt voll auf das Messergebnis durch.



Auch bei unsymmetrischen Widerstandsänderungen an den Verkabelungen der DMS ist das Messergebnis fehlerhaft. Widerstandsänderungen werden nicht ausgegelt.

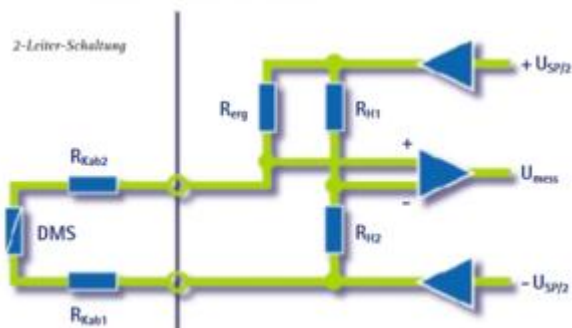
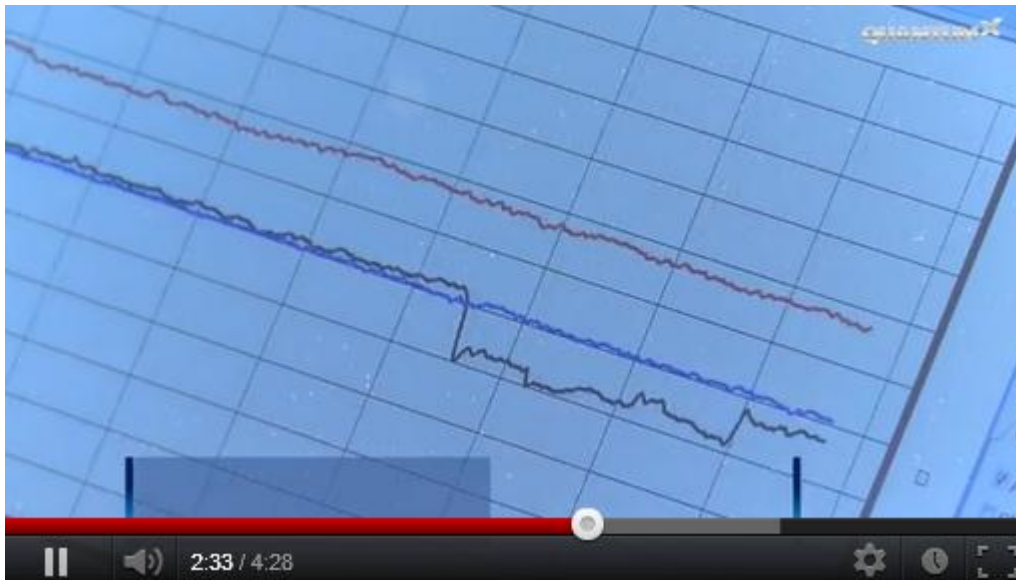


Abb. 1: Verbindung des DMS in 2-Leiter-Schaltung

## Geregelte 3-Leiter-Schaltung

Bei der 3-Leiter-Schaltung wird ein zusätzlicher Draht mit einem Anschluss des Messwiderstandes verbunden, wodurch ein zweiter Messkreis entsteht, der als Referenz dient. Die geregelte 3-Leiter-Schaltung misst die Spannung über dem oberen Kabelwiderstand und erhöht die Speisespannung um das Doppelte des gemessenen Betrags. Dadurch ist die Spannung über dem DMS mit und ohne Kabel identisch und die Empfindlichkeit vom Kabel unabhängig.

Die geregelte 3-Leiter-Schaltung setzt voraus, dass die Widerstände der beiden stromführenden Adern gleich sind, da die Spannung nur an einer Ader gemessen wird, als Korrektur aber der doppelte Wert angesetzt wird. Es wäre also völlig falsch, bei einem vorhandenen Kabel mit vier Adern zwei davon parallel zu schalten, um den Kabelwiderstand zu senken. Die Folge wäre ein großer Nullpunktfehler. Andererseits muss bei DMS-Rosetten und DMS-Ketten dafür gesorgt werden, dass der Widerstand  $R_{Kab1}$  der Parallelschaltung aller  $R_{Kab2}$ -Widerstände entspricht.



Auch unser Versuch zeigt: Widerstandsänderungen werden nur auf einer Kabelleitung ausgeregelt. Unsymmetrische Widerstandsänderungen, z. B. Störungen an den Kontaktstellen, schlagen voll auf das Messergebnis durch. Symmetrische Widerstandsänderungen, z. B. Temperaturänderungen während der Messung, werden durch die Fühlerleitung ausgeregelt.

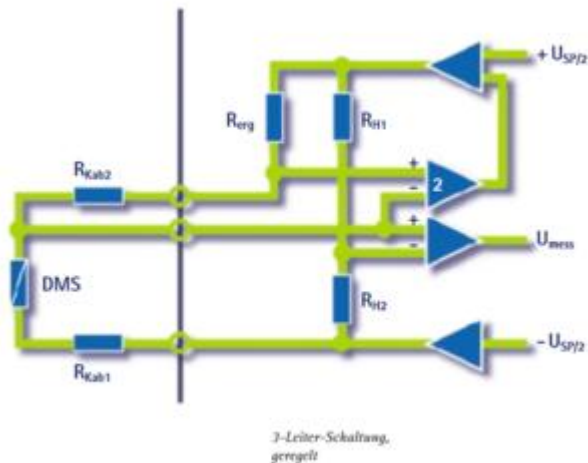
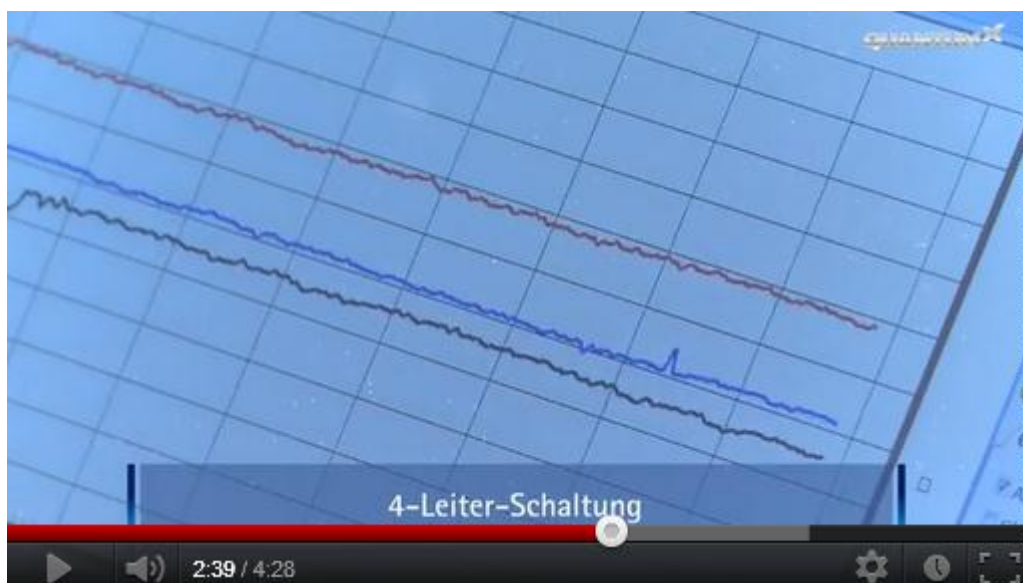


Abb. 2: Verbindung des DMS in geregelter 3-Leiter-Schaltung

### Geregelte 4-Leiter-Schaltung

Erst die 4-Leiter-Schaltung, bzw. die von HBM patentierte Kreuzer-Schaltung, erlaubt es, auch unterschiedliche Kabelwiderstände auszugleichen. Über zwei der Leitungen fließt ein bekannter elektrischer Strom durch den Widerstand. Der Spannungsabfall am Widerstand  $R_{Kab1}$  wird hochohmig über zwei weitere Leitungen ausgeregelt.

Die Kreuzer-Schaltung misst die Spannung über dem Widerstand  $R_{Kab2}$  und addiert sie auf die Speisung. Dadurch werden die Spannung und somit auch der Strom durch der Ergänzungswiderstand  $R_{Erg}$  unabhängig vom Kabelwiderstand. Nullpunkt sowie Empfindlichkeitsfehler durch Kabeinflüsse werden elektronisch kompensiert.



Anmerkung: die drei Kurven stellen eine DMS Messung in 2-, 3- und 4-Leitertechnik dar. Hier sieht es so aus als ob alle drei Techniken stabil sind. Idealerweise sehen wir bei 2- und 3-Leiter Sprünge, bei 4-Leiter bleibt die Kurve stabil.

Unser Versuch belegt: Die patentierte Kreuzerschaltung ermöglicht ein präzises Messergebnis

- durch eine hohe Temperaturstabilität
- und das Ausregeln von Widerstandsänderungen auf beiden Kabelleitungen.

Unsymmetrische Widerstandsänderungen, z.B. an Steckverbindungen, und symmetrische Widerstandsänderungen, z.B. durch Temperaturänderungen, werden ausgeregelt und haben keinen Einfluss auf das Messergebnis.

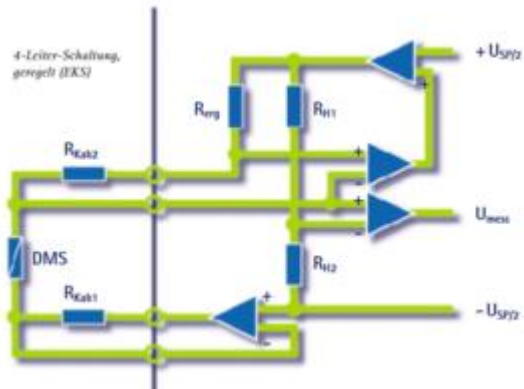


Abb. 3: Verbindung des DMS in der von HBM patentierte Kreuzer-Schaltung

**HBM Test and Measurement**

[www.hbm.com](http://www.hbm.com)  
E-Mail: [info@hbm.com](mailto:info@hbm.com)

Tel. 06151 803-0  
Fax 06151 803-9100

**measure and predict with confidence**

