

# Grundlagen zu Thermoelementen

## Anwendungsbericht

### Anwendungsberichte zum Thema Thermoelemente

Dies ist der Erste von vier Anwendungsberichten über Thermoelemente.

1. Grundlagen zu Thermoelementen
2. Auswahl von Geräten zur Kalibrierung von Thermoelementen
3. Berechnung von Unsicherheiten in einem Kalibriersystem für Thermoelemente
4. Kalibrierung eines Thermoelements

### Was ist ein Thermoelement?

Ein Thermoelement ist ein Sensor zur Messung von Temperaturen. Wegen ihrer geringen Kosten, weiten Temperaturbereiche, hohen Temperaturgrenzen und ihrer Verfügbarkeit in vielen unterschiedlichen Typen und Größen haben Thermoelemente in Industrie und Wissenschaft eine große Verbreitung gefunden. Sie sind in nahezu allen Industriezweigen zu finden, unter anderem in der Energieerzeugung, Öl- und Gasindustrie, Luft- und Raumfahrt, Halbleiterindustrie, pharmazeutischen Industrie, Biotechnologie, Nahrungsmittelverarbeitung und Metallindustrie.

Es gibt mehrere Hundert Arten von Thermoelementen, die aus unterschiedlichen Kombinationen von reinen Metallen und Legierungen bestehen. Jede dieser Kombinationen hat spezielle Eigenschaften und eignet sich für bestimmte Anwendungen. Die unterschiedlichen Thermoelementtypen sind mit Buchstaben gekennzeichnet. Die Typen E, J, K, N, und T sind Nicht-Edelmetall-Thermoelemente. Diese am häufigsten verwendeten Thermoelementtypen bestehen aus Eisen, Konstantan, Nicrosil, Kupfer, Chromel und Alumel. Die Typen B, R und S sind Edelmetall-Thermoelemente (meistens aus Platin und Rhodium). Sie sind teurer und werden bei hohen Temperaturen eingesetzt.

### Wie funktioniert ein Thermoelement?

In den 1820er Jahren entdeckte der estnisch-deutsche Physiker Thomas Johann Seebeck, dass eine Spannungsdifferenz erzeugt wird, sobald zwischen zwei unterschiedlichen elektrischen Leitern ein Temperaturunterschied auftritt. Dieser Effekt wird als „Seebeck-Effekt“ oder „thermoelektrischer Effekt“ bezeichnet. Der Seebeck-Effekt bildet die Grundlage des Verhaltens von Thermoelementen.



Abbildung 1 zeigt einen beispielhaften Aufbau eines Thermoelements. Ein Thermoelement besteht aus zwei unterschiedlichen Thermoelementdrähten A und B, die an einem Ende  $T_1$  (heiße Verbindungsstelle, Messsstelle) miteinander verbunden sind. Die Drähte sind auf der gesamten Länge voneinander isoliert. Das andere Ende  $T_2$  (kalte Verbindungsstelle, Vergleichsstelle) wird auf einer konstanten Referenztemperatur gehalten (normalerweise der Schmelzpunkt von Eis). Die Vergleichsstelle befindet sich dort, wo der Thermoelementdraht zwecks Anschluss an ein Messgerät mit Kupferdraht verbunden wird. Der Thermoelementdraht kann direkt an ein Messgerät oder eine Anzeige angeschlossen werden, das bzw. die mit einer internen Vergleichstellenschaltung ausgestattet ist. Diese Art der Messung ist normalerweise weniger genau als die Verwendung einer externen Vergleichsstelle, die in einem Eisbad auf der Schmelztemperatur des Eises gehalten wird. Der Unterschied zwischen der Isttemperatur  $T_1$  und der Referenztemperatur  $T_2$  wird in dem Messgerät, mit dem die Ausgangsspannung des Thermoelements gemessen wird, elektronisch korrigiert, um die Isttemperatur von  $T_1$  anzuzeigen. Diese Anpassung wird als „Vergleichsstellenkompensation“ bezeichnet.

Eine Thermospannung wird zwischen den Drähten der Vergleichsstelle ( $T_2$ ) erzeugt, wenn die Messstelle ( $T_1$ ) einer Temperatur ausgesetzt wird, die sich von der Temperatur an der Vergleichsstelle unterscheidet. Ein Messgerät, das an die Anschlussleitungen der Vergleichsstelle angeschlossen ist, dient zur Anzeige der Thermoelementspannung.

Theoretisch hängt diese Spannungsmessung nur vom Temperaturunterschied ( $T_1 - T_2$ ) ab. Bei einer Änderung an  $T_1$  ändert sich die Ausgangsspannung des Thermoelements proportional zur Temperaturänderung, jedoch nicht linear. Die Ausgangsspannung liegt im Bereich von ca. -10 mV bis 77 mV (je nach Typ des Thermoelements und der gemessenen Temperatur). Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Spannung ist für jeden der verschiedenen Thermoelementtypen charakteristisch. Diese Zusammenhänge sind in Referenztabellen zusammengefasst und bilden die Grundlage zur Kalibrierung von Thermoelementen.

## Warum müssen Thermoelemente kalibriert werden?

Zu beachten ist, dass die Thermoelementspannung nicht an der Messstelle erzeugt wird, an der die beiden Metalle miteinander verbunden sind ( $T_1$ ), sondern entlang der gesamten Länge (von  $T_1$  bis  $T_2$ ), auf der die Drähte einem Temperaturgradienten ausgesetzt sind. Der Temperaturunterschied an den Verbindungsstellen und die gemessene Spannung sind nur richtig, wenn jeder Draht des Thermoelements homogen ist, d. h. eine gleichförmige Zusammensetzung aufweist. Während des Einsatzes eines Thermoelements in einem industriellen Umfeld können die Thermoelementdrähte aufgrund

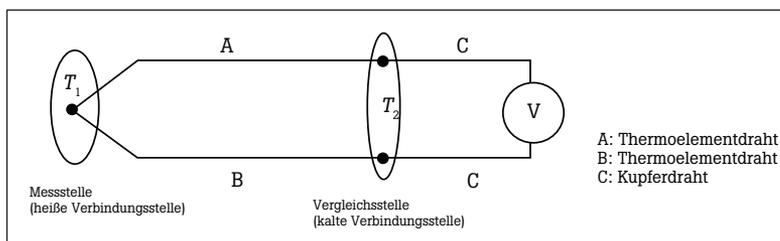


Abbildung 1: Aufbau eines Thermoelements

von Wärme, chemischen Einflüssen oder mechanischer Beschädigung (z. B. ein Knick im Draht über dem Verlauf des Temperaturgradienten) an Homogenität verlieren. Wenn der inhomogene Teil eines Thermoelementstromkreises einem Temperaturgradienten ausgesetzt wird, weicht die gemessene Spannung ab. Die Folge ist ein Messfehler. Daher sollten Thermoelemente in regelmäßigen Abständen überprüft und kalibriert werden, um zu gewährleisten, dass sie richtig messen.

Bei Thermoelementen aus Nicht-Edelmetallen (Typen E, J, K, N und T) entstehen oftmals „Inhomogenitäten“, wenn sie bei Temperaturen über 200 °C eingesetzt werden. Die Erwärmung dieser Thermoelemente in einem Ofen führt zu einer weiteren Alterung der Drähte. Eine Veränderung der Lage der Drähte zieht eine Änderung des Temperaturgradienten nach sich. In beiden Fällen sind Messfehler die Folge, die durch Kalibrierung behoben werden können. Die Kalibrierung muss dann am Einsatzort vorgenommen werden. Zu diesem Zweck wird unmittelbar neben dem zu kalibrierenden Thermoelement ein Referenzthermometer eingeführt, und die Messwerte werden miteinander verglichen.

Auch bei Thermoelementen aus Edelmetallen (Typ B, R und S) können Inhomogenitäten auftreten. Ihre Auswirkungen sind jedoch gering (ca. 0,3 °C), sodass sie durch eine Kalibrierung wirksam beseitigt werden können. Thermoelemente aus Nicht-Edelmetallen, die lediglich bei Temperaturen unter 200 °C eingesetzt werden (Typ K unter 120 °C), zeigen im Allgemeinen keine großen Inhomogenitäten und müssen nicht am Einsatzort kalibriert werden.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Weitere Informationen über die Inhomogenität von Thermoelementen finden Sie in der technischen Anleitung „Making Sense of Thermocouples“ (Thermoelemente verstehen) des Measurement Standards Laboratory of New Zealand.

Fluke Calibration. Precision, performance, confidence.™

Elektrisch	HF	Temperatur	Druck	Fluss	Software
------------	----	------------	-------	-------	----------

Fluke Calibration  
PO Box 9090,  
Everett, WA 98206, USA

Fluke Europe B.V.  
PO Box 1186, 5602 BD  
Eindhoven, Niederlande

Weitere Informationen erhalten Sie telefonisch unter den folgenden Nummern:  
U.S.A. (877) 355-3225 oder Fax (425) 446-5116  
Europa/Naher Osten/Afrika: +31 (0) 40 2675 200 oder Fax +31 (0) 40 2675 222  
Kanada (800)-36-FLUKE oder Fax (905) 890-6866  
Andere Länder +1 (425) 446-5500 oder Fax +1 (425) 446-5116  
Internetadresse: <http://www.flukecal.de>

©2015 Fluke Calibration.  
Änderungen der technischen Daten vorbehalten.  
Gedruckt in den USA 6/2015 6004059A\_DE  
Pub-ID 13273-ger

Änderungen an diesem Dokument sind nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung von Fluke Calibration zulässig.