FLUKE®
Calibration

Auswahl von Geräten zur Kalibrierung von Thermoelementen

Anwendungsbericht

Anwendungsberichte zum Thema Thermoelemente

Dies ist der Zweite 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

Eigenschaften von Thermoelementen

Thermoelemente können aus nahezu allen Werkstoffen mit thermoelektrischen Eigenschaften aufgebaut werden. Die Werkstoffmischungen bei Thermoelementen werden unter dem Aspekt eines bestimmten Verhaltens und für bestimmte Anwendungsfälle ausgewählt. Wenn ein Thermoelement einer Temperaturänderung ausgesetzt wird, bewirkt dies eine Änderung der Ausgangsspannung. Im Gegensatz hierzu erzeugen Thermistoren und PRTs eine Widerstandsänderung, wenn der Messwertaufnehmer einer Temperaturänderung ausgesetzt wird. Tabelle 1 enthält eine Gegenüberstellung der Hauptmerkmale von Thermoelementen, Thermistoren und PRTs.

Tabelle 1: Vergleich der Eigenschaften von Thermoelementen, Thermistoren und PRTs

Thermoelement	Thermistor	PRT
Temperaturbereich: -200 °C bis 1700 °C*	Temperaturbereich: 0 °C bis 100 °C	Temperaturbereich: -200 °C bis 1000 °C**
Die Genauigkeit hängt vom Thermoelementtyp und den Toleranzen ab (Standard- oder Sondergrenzwerte, gemäß American Society for Testing and Materials (ASTM))*** Ungefähre Genauigkeitsbereiche: Typ J: ±2,2 °C bzw. ±0,75 % v. Mw.(Standard) Typ S: ±0,6 °C bzw. ±0,75 % v. Mw.(Sonder)	Genauigkeit: ±0,001 °C bis ±0,01 °C	Genauigkeit: ±0,006 °C bis ±0,04 °C
Stabil	Sehr stabil	Sehr stabil
Robust	Mäßig empfindlich	Sehr empfindlich (SPRTs)
Kostengünstig	Mittlere Preislage	Teuer

*Gesamter Temperaturbereich üblicher Thermoelementtypen. Ein Thermoelementtyp reicht nicht für den gesamten aufgeführten Bereich aus.
**Gesamter Temperaturbereich üblicher PRTs. Ein PRT-Typ reicht nicht für den gesamten aufgeführten Bereich aus.
***Bei Thermoelementen mit Standard-Fehlergrenzen wird Draht in Standardqualität verwendet. Diese Thermoelemente sind weiter verbreitet und kostengünstiger. Thermoelemente mit Sonder-Fehlergrenzen bestehen aus höherwertigem Draht. Diese Thermoelemente sind genauer, aber auch teurer.

Geräte zur Kalibrierung von Thermoelementen

Die Kalibrierung wird durchgeführt, indem die Ausgangsspannung des zu kalibrierenden Thermoelements gemessen wird, während die Messstelle einer Temperatur ausgesetzt und die Vergleichsstelle auf einer Referenztemperatur (normalerweise 0 °C) gehalten wird. Die folgenden Geräte werden benötigt:

- Referenzmessfühler
- Anzeige(n) oder Messgeräte für Referenzmessfühler und zu kalibrierendes Thermoelement
- Temperaturquelle für den Referenzmessfühler, das zu kalibrierende Thermoelement und die Vergleichsstelle des Thermoelements

Referenzmessfühler

Je nach erforderlicher Genauigkeit handelt es sich beim Referenzmessfühler um ein SPRT, ein PRT oder um ein hochwertigeres und mit höherer Genauigkeit kalibriertes Thermoelement als das zu kalibrierende Thermoelement. Da dieses Instrument die Referenz für die Kalibrierung bildet, sind dessen Genauigkeit und Stabilität von großer Bedeutung.

SPRTs

SPRTs sind die genausten und stabilsten Referenzmessfühler, die gegenwärtig erhältlich sind. Im Allgemeinen wird eine Version mit Glasmantel verwendet. Diese Instrumente sind standardisiert, da sie Bestandteil der Definitionen der ITS-90 sind, in der die Mindestanforderungen hinsichtlich der Reinheit des Platindrahtes und der Art des verwendeten Aufbaus festgelegt sind. Dadurch entstehen weniger Zweifel hinsichtlich der Eignung des Instruments für eine bestimmte Anwendung und hinsichtlich des Betriebsverhaltens, sofern die Instrumente ordnungsgemäß kalibriert und genutzt werden. Diese Instrumente sind sehr stabil und genau, aber auch teuer und extrem empfindlich. Sie sollten daher Anwendungen vorbehalten bleiben, bei denen eine hohe Genauigkeit gefordert wird.

PRTs

Bei geringeren Anforderungen an die Genauigkeit können ohne Weiteres PRTs verwendet werden. PRTs sind in vielen Konfigurationen erhältlich. PRTs, die sich zur Verwendung als Kalibriernormale eignen, sind im Allgemeinen als Messfühler mit einem Mantel aus rostfreiem Stahl oder Inconel erhältlich. Diese Instrumente sind nicht so genau wie SPRTs, aber im Allgemeinen robuster und einfacher zu handhaben. Anders als bei SPRTs liegt die konstruktive Ausführung von PRTs im Ermessen des Herstellers. Daher sind nicht alle Ausführungsformen zur Verwendung als Referenzmessfühler geeignet. Wählen Sie ein PRT sorgfältig aus, damit der ausgewählte Typ für den gesamten interessierenden Temperaturbereich geeignet ist und die erforderliche Genauigkeit aufweist.

Thermoelemente

Thermoelemente in Referenzqualität sind mit Messunsicherheiten und einer Stabilität erhältlich, die den Werten ähnelt, die ein PRT (oder sogar ein SPRT) bei hohen Temperaturen aufweist. Diese Qualität eignet sich zur Verwendung als Kalibriernormal. Thermoelemente in Referenzqualität sind hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, aber nicht im Bezug auf ihren Aufbau standardisiert. Achten Sie darauf, dass das ausgewählte Modell im gesamten interessierenden Temperaturbereich den Erfordernissen entspricht.

Spezielle Gesichtspunkte

Außer den Genauigkeitsanforderungen müssen weitere Eigenschaften berücksichtigt werden. Beispielsweise muss das Vergleichsstellenende des Thermoelements so lang sein, dass es ausreichend tief in die Referenztemperaturquelle (normalerweise ein Wasser-Eisbad) eingetaucht werden kann. Außerdem sollten einige bei Messfühlern von Thermoelementen übliche Mantelwerkstoffe bei hohen Temperaturen nicht verwendet werden. Achten Sie darauf, dass der Mantelwerkstoff für die vorgesehene Kalibrierung geeignet ist.

Anzeige bzw. Messgerät

Da Thermoelemente eine Ausgangsspannung erzeugen, unterscheiden sich die Anforderungen an Thermoelementanzeigen oder -messgeräte von denen, die für eine Anzeige eines SPRT, PRT oder Thermistors gelten. Sofern der Referenzmessfühler nicht ebenfalls ein Thermoelement ist, werden zwei Anzeigen bzw. Messgeräte benötigt. Hierbei ist die Vergleichsstelle des Thermoelements zu berücksichtigen. Die meisten Thermoelementanzeigen und -messgeräte sind mit „elektronischen Vergleichsstellen" ausgestattet, die oft als „Kaltstellenkompensation" bezeichnet werden. Hierbei handelt es sich um eine zusätzliche Schaltung, die die Temperatur am Thermoelementeingang misst, an den das Thermoelement angeschlossen ist, und bei einer von 0 °C abweichenden Referenztemperatur eine Kompensation durchführt. Diese Art der Kompensation ist sehr praktisch, aber üblicherweise nicht so genau wie ein tatsächlich vorhandenes Wasser-Eisbad.

Die besten Ergebnisse werden erzielt, wenn die Anzeigen bzw. Messgeräte speziell zur Kalibrierung von Thermoelementen ausgelegt sind. Digitalmultimeter schränken die Flexibilität stark ein, während gleichzeitig weder Kosteneinsparungen noch eine Erhöhung der Genauigkeit erreicht werden.

Die von einem Thermoelement abgegebene Ausgangsspannung ist sehr niedrig, wobei eine kleine

Spannungsunsicherheit einer großen Temperaturunsicherheit entspricht. Die Spannungsmessungen müssen extrem genau sein, selbst bei Temperaturkalibrierungen mit mittlerer Genauigkeit. Außerdem wird bei den niedrigen Spannungswerten, die bei der Kalibrierung von Thermoelementen gemessen werden, der Fehler am unteren Ende des Messbereichs (Rauschgrenze bzw. Grenzwert des Nullpunktoffsets) sehr wichtig. Achten Sie auf einen Spannungsbereich (normalerweise ein Bereich bis 100 mV) und eine Genauigkeit der Anzeige, die zur Kalibrierung von Thermoelementen geeignet sind. Beispielsweise wird mit einem 7,5-stelligen Digitalmultimeter mit hoher Genauigkeit die Ausgangsspannung eines Thermoelements, Typ S, bei 500 °C gemessen. Das folgende Beispiel zeigt den relativen Beitrag der Fehlerquellen des Digitalmultimeters.

Genauigkeit des Digitalmultimeters im 100-mV-Messbereich	= (20 ppm v. Mw. +2 ppm v. Bereichsendwert)
Typ S, Ausgangsspannung bei 500 °C	= 4,2333 mV
Typ S, Anstieg der Ausgangsspannung bei 500 °C	= 0,0099 mV/°C

Genauigkeitsberechnungen

$$= \frac{(4{,}2333\ \text{mV} \times 20\ \text{ppm}) + (100\ \text{mV} \times 2\ \text{ppm})}{0{,}0099\ \text{mV/°C}}$$

$$= \frac{(0{,}00008466\ \text{mV}) + (0{,}0002\ \text{mV})}{0{,}0099\ \text{mV/°C}} = 0{,}0288\ \text{°C}$$

Bei diesem Beispiel ist die aus dem Fehler am unteren Ende des Messbereichs des Digitalmultimeters resultierende Unsicherheit viel größer als der Fehler aufgrund der Bereichsungenauigkeit des Digitalmultimeters. Diese Situation ist bei niedrigeren Temperaturen viel ausgeprägter als bei höheren Temperaturen. Dies veranschaulicht die Bedeutung des Fehlers am unteren Ende des Messbereichs der Anzeige.

Temperaturquelle

Die Temperaturquellen, die am häufigsten zur Kalibrierung von Thermoelementen eingesetzt werden, sind Blockkalibratoren und Öfen. Wenn höhere Genauigkeiten erforderlich sind, können Kalibrierbäder verwendet werden. Bei sehr tiefen Temperaturen (unter –100 °C) wird eine Flüssigstickstoff-Vergleichseinrichtung benötigt.

Bei der Auswahl der Temperatur sollten die Stabilität und Gleichförmigkeit berücksichtigt werden, da diese Faktoren zur Unsicherheit bei der Kalibrierung von Thermoelementen beitragen:

- Die Temperaturstabilität gibt an, wie genau die Temperaturquelle einen Temperatureinstellwert im Laufe der Zeit aufrechterhält.
- Die Gleichförmigkeit gibt an, wie gleichmäßig die Temperaturen in der gesamten Temperaturquelle verteilt sind.

Thermoelemente mit blanken Drähten sollten keinesfalls direkt in eine Badflüssigkeit getaucht werden. Ein Schutzrohr sollte verwendet werden. Thermoelement-Messfühler haben normalerweise keine großen Durchmesser, aber die Eintauchtiefe muss dennoch berücksichtigt werden. Eine unzureichende Eintauchtiefe führt zu Kalibrierfehlern. Bei höheren Temperaturen müssen Vorkehrungen getroffen werden, um eine Beschädigung des Referenzmessfühlers zu vermeiden. Außerdem muss bei erforderlicher Verwendung einer externen Vergleichsstelle gewährleistet sein, dass die ausgewählte Temperaturquelle ausreichend isoliert ist, sodass die Außenflächen nicht so heiß werden, dass das Wasser-Eisbad beschädigt wird. Bewerten Sie vor der Auswahl der Temperaturquelle Ihre Anforderungen sorgfältig, damit das Instrument dem jeweiligen Anwendungsfall entspricht.

Tabelle 2: Zur Kalibrierung von Thermoelementen empfohlene Geräte von Fluke Calibration

Referenzmessfühler			
Modell	**Messbereich**	**Abmessungen**	**Grundgenauigkeit***
SPRTs			
5698-25	-200 °C bis 670 °C	Quarzglas, 485 mm x 7 mm	< 0,006 °C/100 Stunden bei 670 °C
Sekundäres Normal-PRT			
5626	-200 °C bis 661 °C	305 oder 381 x 6,35 mm	±0,007 °C bei 0 °C
Sekundäres Referenz-PRT			
5615-9	-200 °C bis 420 °C	229 mm x 4,76 mm	±0,013 °C bei 0,010 °C
5615-12	-200 °C bis 420 °C	305 mm x 6,35 mm	±0,013 °C bei 0,010 °C
Industrielle Präzisions-PRTs			
5627A-9	-200 °C bis 300 °C	229 mm x 4,7 mm	±0,05 °C bei 0 °C
5627A-12	-200 °C bis 420 °C	305 mm x 6,35 mm	±0,05 °C bei 0 °C
Standardthermoelemente, Typ R und S			
5649/5650-20	0 °C bis 1450 °C	508 mm x 6,35 mm	±0,7 °C bei 1100 °C
5649/5650-25	0 °C bis 1450 °C	635 mm x 6,35 mm	±0,7 °C bei 1100 °C

*In der Grundgenauigkeit enthalten sind die Kalibrierunsicherheit und die Kurzzeit-Wiederholbarkeit. Die Langzeitdrift ist nicht enthalten.

Tabelle 2 (Fortsetzung): Zur Kalibrierung von Thermoelementen empfohlene Geräte von Fluke Calibration

Anzeigen und Messgeräte			
Modell	**Messfühlertypen**	**Genauigkeit**	**Funktionen**
1523	PRTs, Thermoelemente, Thermistoren	±0,015 °C bei 0 °C (PRTs) ±0,24 °C bei 0 °C (Thermoelementtyp K)	Batteriebetriebenes Hand-Referenzthermometer; INFO-CON-Anschluss liest Kalibrierdaten des angeschlossenen Messfühlers; speichert bei Bedarf 25 Messwerte; erstellt Trenddiagramme
1524	PRTs, Thermoelemente, Thermistoren	±0,015 °C bei 0 °C (PRTs) ±0,24 °C bei 0 °C (Thermoelementtyp K)	Hand-Referenzthermometer wie 1523, aber mit Eingängen für zwei Temperaturfühler; protokolliert bis zu 15.000 Messwerte und speichert weitere 25 bei Bedarf
1529	PRTs, Thermoelemente, Thermistoren	±0,006 °C bei 0 °C (PRTs) ±0,4 °C bei 600 °C (Thermoelementtyp K, int. Kaltstellenkompensation)	Vier Kanäle können gleichzeitig gemessen werden; batteriebetrieben; protokolliert bis zu 8000 Messwerte; flexible Anzeige mehrerer Messkanäle
1586A mit Multiplexer DAQ-STAQ	PRTs, Thermoelemente, Thermistoren	±0,005 °C bei 0 °C (PRTs) ±0,29 °C bei 0 °C (Thermoelementtyp K, int. Kaltstellenkompensation)	Temperaturscanner mit hoher Genauigkeit, 40 Kanäle mit einer Abtastrate von 10 Kanälen pro Sekunde, automatisierte Sensorkalibrierung bei Anschluss an eine Temperaturquelle von Fluke Calibration
Temperaturquellen			
Modell	**Bereich**	**Genauigkeit**	
Transportable Blockkalibratoren für metrologische Anwendungen			
9142	-25 °C bis 150 °C	±0,2 °C	
9143	33 °C bis 350 °C	±0,2 °C	
9144	50 °C bis 660 °C	±0,35 °C bei 50 °C, ±0,35 °C bei 420 °C, ±0,5 °C bei 660 °C	
Blockkalibratoren für metrologische Anwendungen			
9170	-45 °C bis 140 °C	±0,1 °C	
9171	-30 °C bis 155 °C	±0,1 °C	
9172	35 °C bis 425 °C	±0,1 °C bei 100 °C, ±0,15 °C bei 225 °C, ±0,2 °C bei 425 °C	
9173	50 °C bis 700 °C	±0,2 °C bei 425 °C, ±0,25 °C bei 660 °C	
Thermoelementöfen			
9150 (vertikal)	150 °C bis 1200 °C	±5 °C	
9118A (horizontal)	300 °C bis 1200 °C	±5 °C	

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 6004060A_DE
Pub-ID 13272-ger

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