

## Kalibrierung eines Typ N Thermopaars bei 1000 °C Ofentemperatur

Autor: DKD

Dieses Beispiel wurde der DKD-3-E1 entnommen (siehe unter S5).

Ein Typ N Thermopaar wird durch Vergleich mit zwei Typ R Referenzthermopaaren in einem horizontalen Ofen bei einer Temperatur von 1000 °C kalibriert. Die Temperatur der Messstelle (heiße Lötstelle) des zu kalibrierenden Thermopaars ist als Mittel der Temperaturen der heißen Lötstelle des Referenzthermopaars gegeben.

### Modellgleichung:

$$t_x = t_s + \delta t_s + C_s \times (\delta V_{iS1} + \delta V_{iS2} + \delta V_R) - C_s / C_{S0} \times \delta t_{0S} + \delta t_D + \delta t_F$$

### Liste der Größen:

Größe	Einheit	Definition
$t_x$	°C	Die Temperatur der Messstelle des zu kalibrierenden Thermopaars
$t_s$	°C	Temperatur des Referenzthermometers in Abhängigkeit von der Spannung, wenn die Vergleichsstelle bei 0 °C liegt. Die Funktion ist im Kalibrierschein angegeben.
$\delta t_s$	°C	Temperaturkorrektur des Referenzthermopaars aufgrund ihrer Kalibrierung
$C_{S0}$	°C/µV	Spannungsempfindlichkeiten der Thermopaare bei der Vergleichstemperatur von 0 °C
$C_s$	°C/µV	Spannungsempfindlichkeiten der Thermopaare bei der Meßtemperatur von 1000 °C
$\delta V_{iS1}$	µV	Spannungskorrekturen aufgrund der Kalibrierung des Voltmeters
$\delta V_{iS2}$	µV	Spannungskorrekturen aufgrund der begrenzten Auflösung des Voltmeters
$\delta V_R$	µV	Spannungskorrektur aufgrund von Kontakteffekten des Umschalters
$\delta t_{0S}$	°C	Temperaturkorrekturen aufgrund der Abweichung der Vergleichstemperaturen von 0 °C
$\delta t_D$	°C	Änderung der Werte der Referenzthermometer seit ihrer letzten Kalibrierung aufgrund von Driften
$\delta t_F$	°C	Temperaturkorrektur aufgrund von Inhomogenitäten der Ofentemperatur

$t_s$ :

Typ A

Methode der Beobachtung: Direkt

Anzahl der Beobachtungen: 1

Nr.	Beobachtung
1	1000.5 °C

Arithmetischer Mittelwert: 1000.5000 °C

Schätzwert für die Standardabweichung: 0.10 °C

Freiheitsgrad des Schätzwerts: 9

Standardmessunsicherheit: 0.1000 °C

**BEOBACHTUNGEN:** Die vom Voltmeter angezeigten Spannungen werden vorher aufgezeichnet, bei dem die Effekte der Temperaturdrift in der Wärmequelle und der Thermospannungen im Messkreis vermindert werden (siehe DKD-3-E1: S5.15). Die Beobachtungen werden zu nur einer Beobachtung zusammengefasst, die die Temperatur des Ofens am Ort des zu kalibrierenden Thermopaars angibt. In analoger Weise wird eine Beobachtung der Spannung des zu kalibrierenden Thermopaars ermittelt. Zur Ermittlung der diesen Beobachtungen beizuordnenden Standardmessunsicherheit wurde in einer früheren Messung eine aus zehn Beobachtungen bestehende Messreihe bei der gleichen Betriebstemperatur gewonnen. Sie ergab eine zusammengefasste Abschätzung der

Standardabweichung für die Temperatur des Ofens und die Spannung des zu kalibrierenden Thermopaars.

$\delta t_S$ : Typ B Normalverteilung  
Wert: 0.0 °C  
Erweiterte Messunsicherheit: 0.3 °C  
Erweiterungsfaktor: 2

REFERENZNORMALE: Die Referenzthermopaare werden mit Kalibrierscheinen geliefert, in denen die Temperatur an der Messstelle bei einer Temperatur der Vergleichsstelle von 0 °C in Abhängigkeit von der Spannung an ihren Zuleitungen gegeben ist. Die zugeordnete erweiterte Messunsicherheit bei 1000 °C beträgt  $U = 0,3$  K (Erweiterungsfaktor  $k=2$ ).

$C_{S0}$ : Konstante  
Wert: 0.189 °C/ $\mu$ V

$C_S$ : Konstante  
Wert: 0.077 °C/ $\mu$ V

SPANNUNGSEMPFINDLICHKEITEN: Die Spannungsempfindlichkeiten der Thermopaare sind Referenztabelle entnommen.

$\delta V_{IS1}$ : Typ B Normalverteilung  
Wert: 0.0  $\mu$ V  
Erweiterte Messunsicherheit: 2.0  $\mu$ V  
Erweiterungsfaktor: 2.0

KALIBRIERUNG DES VOLTMETERS: Das Voltmeter ist kalibriert. Alle abgelesenen Spannungen sind entsprechend korrigiert. Der Kalibrierschein gibt für Spannungen kleiner als 50 mV eine konstante erweiterte Messunsicherheit von  $U = 2,0$   $\mu$ V an (Erweiterungsfaktor  $k=2$ ).

$\delta V_{IS2}$ : Typ B Rechteckverteilung  
Wert: 0.0  $\mu$ V  
Halbbreite der Grenzen: 0.5  $\mu$ V

AUFLÖSUNG DES VOLTMETERS: Ein 4½-stelliger Mikrospannungsmesser ist in seinem 10 mV-Bereich benutzt worden, d.h. die Auflösungsgrenzen der Anzeige betragen  $\pm 0,5$   $\mu$ V.

$\delta V_R$ : Typ B Rechteckverteilung  
Wert: 0.0  $\mu$ V  
Halbbreite der Grenzen: 2.0  $\mu$ V

STÖRSPANNUNGEN: Restoffsetspannungen, die auf Kontaktspannungen des Umschalters zurückzuführen sind, liegen innerhalb  $\pm 2$   $\mu$ V.

$\delta t_{OS}$ : Typ B Rechteckverteilung  
Wert: 0.0 °C  
Halbbreite der Grenzen: 0.1 °C

VERGLEICHSTEMPERATUREN: Die Temperatur der Vergleichspunkte der einzelnen Thermopaare betragen 0 °C mit maximalen Abweichungen von  $\pm 0,1$  K.

$\delta t_D$ : Typ B Rechteckverteilung  
Wert: 0.0 °C  
Halbbreite der Grenzen: 0.3 °C

DRIFT DER REFERENZNORMALE: Aus früheren Kalibrierungen werden die Driften der Referenznormale auf Null mit den Grenzen von  $\pm 0,3$  K abgeschätzt.

$\delta t_F$ : Typ B Rechteckverteilung  
Wert: 0.0 °C  
Halbbreite der Grenzen: 1 °C

TEMPERATURINHOMOGENITÄTEN: Die Temperaturgradienten im Ofen sind gemessen worden. Bei 1000 °C liegen die Abweichungen aufgrund der Inhomogenitäten der Temperatur im Messbereich in den Grenzen von  $\pm 1$  K.

### Messunsicherheits-Budgets:

$t_X$ : Die Temperatur der Messstelle des zu kalibrierenden Thermopaars

Größe	Wert	Std.-Mess-unsicherheit	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag	Index
$t_S$	1000.5000 °C	0.1000 °C	Normal	1.0	0.10 °C	2.4 %
$\delta t_S$	0.0 °C	0.1500 °C	Normal	1.0	0.15 °C	5.5 %
$C_{S0}$	0.189 °C/ $\mu$ V					
$C_S$	0.077 °C/ $\mu$ V					
$\delta V_{IS1}$	0.0 $\mu$ V	1.000 $\mu$ V	Normal	0.077	0.077 °C	1.4 %
$\delta V_{IS2}$	0.0 $\mu$ V	0.2887 $\mu$ V	Rechteck	0.077	0.022 °C	0.1 %
$\delta V_R$	0.0 $\mu$ V	1.155 $\mu$ V	Rechteck	0.077	0.089 °C	1.9 %
$\delta t_{0S}$	0.0 °C	0.05774 °C	Rechteck	-0.41	-0.024 °C	0.1 %
$\delta t_D$	0.0 °C	0.1732 °C	Rechteck	1.0	0.17 °C	7.3 %
$\delta t_F$	0.0 °C	0.5774 °C	Rechteck	1.0	0.58 °C	81.2 %
$t_X$	1000.5000 °C	0.6409 °C				

### Ergebnisse:

Größe	Wert	Erw.-Mess-unsicherheit	Erweiterungsfaktor	Überdeckungswahrscheinlichkeit
$t_X$	1000.5 °C	1.3 °C	2.00	95% (t-Tabelle 95.45%)