

## Kalibrierung eines Temperatur-Blockkalibrators bei der Temperatur 180 °C (DAkKS-DKD-R 5-4: 6)

Es wird die Temperatur, die dem Temperaturfühlbereich eines Thermometers bei seiner Kalibrierung in einer Kalibrierbohrung eines Temperatur-Blockkalibrators mit fest eingebautem Kalibratorthermometer zuzuschreiben ist, durch Vergleich mit einem kalibrierten Widerstandsthermometer (Normalthermometer) am Kalibrierpunkt 180 °C bestimmt. Die Temperatur des Widerstandsthermometers wird durch Messung seines elektrischen Widerstandes mit einem Multimeter ermittelt. Die Temperatur, die dem vom Kalibratorthermometer angezeigten Wert als Temperatur der Bohrung zuzuordnen ist, ergibt sich aus der Modellgleichung.

Eine Temperaturabweichung durch Wärmeleitung wird nicht berücksichtigt, da das Widerstandsthermometer einen Außendurchmesser  $d < 6$  mm besitzt (DAkKS-DKD-R 5-4: 3.5).

### Modellgleichung:

$$t_x = t_N + \delta t_N + \delta t_D - \delta t_{IX} + \delta t_H + \delta t_B + \delta t_R + \delta t_L + \delta t_V;$$

### Liste der Größen:

Größe	Einheit	Definition
$t_x$	°C	Temperatur der Bohrung
$t_N$	°C	Temperatur des Widerstandsthermometers
$\delta t_N$	K	Temperaturkorrektur auf Grund der Widerstandsmessung
$\delta t_D$	K	Temperaturkorrektur auf Grund Drift durch Alterung des Widerstandsthermometers seit der letzten Kalibrierung
$\delta t_{IX}$	K	Temperaturkorrektur auf Grund der Auflösung der Anzeige des Kalibratorthermometers
$\delta t_H$	K	Temperaturkorrektur auf Grund der Hysterese
$\delta t_B$	K	Temperaturkorrektur auf Grund unzureichender axialer Homogenität der Temperaturverteilung entlang der Bohrung in der Messzone (DAkKS-DKD-R 5-4: 3.1)
$\delta t_R$	K	Temperaturkorrektur auf Grund der Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Messbohrungen (DKD-R 5-4: 3.2)
$\delta t_L$	K	Temperaturkorrektur auf Grund der Beladung des Kalibrierblockes mit mehreren Thermometern (DKD-R 5-4: 3.3)
$\delta t_V$	K	Temperaturkorrektur auf Grund von Variationen der Temperatur innerhalb der Messzeit (DKD-R 5-4: 3.4)

$t_N$ : Typ B Normalverteilung  
Wert: 180,10 °C  
Erweiterte Messunsicherheit:  $30 \cdot 10^{-3}$  °C  
Erweiterungsfaktor: 2

Der Kalibrierschein für das als Normalthermometer verwendete Widerstandsthermometer gibt die Beziehung zwischen Widerstand und Temperatur an. Der gemessene Widerstandswert entspricht einer Temperatur von 180,10 °C mit einer beigeordneten erweiterten Messunsicherheit von 30 mK (Erweiterungsfaktor  $k = 2$ ).

$\delta t_N$ : Typ B Normalverteilung  
Wert: 0 K  
Erweiterte Messunsicherheit:  $10 \cdot 10^{-3}$  K  
Erweiterungsfaktor: 1

Die Temperatur des als Gebrauchsnorm verwendeten Widerstandsthermometers wird mit 180,10 °C bestimmt. Die auf Temperatur umgerechnete Standardmessunsicherheit der Widerstandsmessung entspricht  $u(\delta t_N) = 10 \text{ mK}$ .

$\delta t_D$ : Typ B Rechteckverteilung  
Wert: 0 K  
Halbbreite der Grenzen:  $40 \cdot 10^{-3} \text{ K}$

Aus dem allgemeinen Verhalten von Widerstandsthermometern der verwendeten Art wird die Abweichung des Widerstandswertes des eingesetzten Widerstandsthermometers auf Grund seiner Alterung seit der letzten Kalibrierung abgeschätzt mit den Grenzen  $\pm 40 \text{ mK}$ .

$\delta t_X$ : Typ B Rechteckverteilung  
Wert: 0 K  
Halbbreite der Grenzen:  $50 \cdot 10^{-3} \text{ K}$

Die Anzeige des Kalibratorthermometers vermag Temperaturwerte in Schritten von 0,1 K anzuzeigen. Die Temperaturabweichung auf Grund der endlichen Auflösung der Anzeige liegt deshalb in den Grenzen  $\pm 50 \text{ mK}$ .

$\delta t_H$ : Typ B Rechteckverteilung  
Wert: 0 K  
Halbbreite der Grenzen:  $50 \cdot 10^{-3} \text{ K}$

Die gemessenen Werte zeigen, dass die Temperaturabweichung auf Grund der bei auf- und absteigendem Messzyklus auftretenden Hysteresis im Bereich  $\pm 50 \text{ mK}$  liegt.

$\delta t_B$ : Typ B Rechteckverteilung  
Wert: 0 K  
Halbbreite der Grenzen:  $250 \cdot 10^{-3} \text{ K}$

Aus den gemessenen maximalen und minimalen Temperaturwerten in der Messzone der Bohrung wird die Temperaturabweichung auf Grund der axialen Inhomogenität durch die Grenzen  $\pm 250 \text{ mK}$  abgeschätzt.

$\delta t_R$ : Typ B Rechteckverteilung  
Wert: 0 K  
Halbbreite der Grenzen:  $70 \cdot 10^{-3} \text{ K}$

Der zu kalibrierende Kalibrator besitzt 6 Bohrungen. Die größte gemessene Temperaturdifferenz betrug 140 mK, woraus für die Temperaturverteilung zwischen den Bohrungen Grenzen von  $\pm 70 \text{ mK}$  abgeschätzt werden.

$\delta t_L$ : Typ B Rechteckverteilung  
Wert: 0 K  
Halbbreite der Grenzen:  $50 \cdot 10^{-3} \text{ K}$

Aus den gemessenen Temperaturunterschieden wird eine mögliche Abweichung auf Grund der Beladung der einzelnen Bohrungen abgeschätzt zu  $\pm 50 \text{ mK}$ .

$\delta t_V$ : Typ B Rechteckverteilung  
Wert: 0 K  
Halbbreite der Grenzen:  $30 \cdot 10^{-3} \text{ K}$

Temperaturabweichungen auf Grund zeitlicher Variationen während der Messzeit von 30 min werden durch die Grenzen  $\pm 30 \text{ mK}$  abgeschätzt.

**Korrelation:**

Korrelationen zwischen den Werten der Eingangsgrößen werden als unwesentlich angesehen.

**Messunsicherheits-Budgets:**

**t<sub>x</sub>:**                      **Temperatur der Bohrung**

Größe	Wert	Std.-Mess-unsicherheit	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag	Index
t <sub>N</sub>	180.1000 °C	0.0150 °C	Normal	1.0	0.015 °C	0.9 %
δt <sub>N</sub>	0.0 K	0.0100 K	Normal	1.0	0.010 °C	0.4 %
δt <sub>D</sub>	0.0 K	0.0231 K	Rechteck	1.0	0.023 °C	2.0 %
δt <sub>iX</sub>	0.0 K	0.0289 K	Rechteck	-1.0	-0.029 °C	3.2 %
δt <sub>H</sub>	0.0 K	0.0289 K	Rechteck	1.0	0.029 °C	3.2 %
δt <sub>B</sub>	0.0 K	0.144 K	Rechteck	1.0	0.14 °C	79.7 %
δt <sub>R</sub>	0.0 K	0.0404 K	Rechteck	1.0	0.040 °C	6.3 %
δt <sub>L</sub>	0.0 K	0.0289 K	Rechteck	1.0	0.029 °C	3.2 %
δt <sub>V</sub>	0.0 K	0.0173 K	Rechteck	1.0	0.017 °C	1.1 %
t <sub>x</sub>	180.100 °C	0.162 °C				

Die dem Ergebnis beigeordnete Standardmessunsicherheit wird durch den Effekt der unbekanntem Temperaturkorrektur in Bezug auf die axiale Temperaturinhomogenität in der Messbohrung und die radiale Temperaturdifferenz zwischen den Messbohrungen dominiert. Die resultierende Verteilung ist keine Normalverteilung, sondern im Wesentlichen trapezförmig. Einzelheiten hierzu sind in DAkKS-DKD-3-E2, Abschnitt S10.13 erläutert. Für das obige Beispiel ergibt sich ein Kantenparameter  $\beta = 0,563$ , was für eine Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95 % zu einem Erweiterungsfaktor  $k = 1,74$  führt.

**Ergebnisse:**

Größe	Wert	Erw.-Mess-unsicherheit	Erweiterungsfaktor	Überdeckungswahrscheinlichkeit
t <sub>x</sub>	180.10 °C	0.28 °C	1.74	manuell