


MU 02	Wasserbad, Temperaturmessung	 Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen																																	
<p>Wasserbad, Temperaturmessung</p> <p>Autor: Michael Matus, BEV</p> <p>Bestimmung der Temperatur eines Wasserbades mittels kalibriertem Pt100 Sensor und geprüften Ohmmeter. Als Ohmmeter wird ein Agilent 3458A Multimeter herangezogen. Hauptzweck dieses Beispiels ist die Diskussion der Unsicherheitskomponenten welche aus diesem Messgerät herrühren. Ausserdem wird eine relativ komplizierte Modellfunktion (Wurzelfunktion) verwendet ohne auf Näherungen zurückzugreifen.</p> <p>Modellgleichung:</p> <p>{Wassertemperatur gleich der Sensortemperatur mit Kontaktunsicherheit}</p> $t_W = t_{\text{Sensor}} + \delta_K;$ <p>{Umkehrfunktion der Widerstand-Temperaturkennlinie nach EN 60751}</p> $t_{\text{Sensor}} = (-R_0 \cdot A + \sqrt{R_0^2 \cdot A^2 - 4 \cdot R_0 \cdot B \cdot (R_0 - R)}) / (2 \cdot R_0 \cdot B);$ <p>{Eigentliche Widerstandsmessung mit Spezifikation des Ohmmeters}</p> $R = R_M + \delta_{\text{spec}} + \delta_{\text{NMI}};$ <p>Liste der Größen:</p> <table> <tr> <th>Größe</th><th>Einheit</th><th>Definition</th></tr> <tr> <td>t_W</td><td>°C</td><td>Temperatur des Wasserbades (Messwert)</td></tr> <tr> <td>R_M</td><td>Ohm</td><td>Widerstand-Messwert</td></tr> <tr> <td>δ_{spec}</td><td>Ohm</td><td>Spezifikation des Ohmmeters</td></tr> <tr> <td>δ_{NMI}</td><td>Ohm</td><td>Rückführungsunsicherheit der Ohmmeterprüfung</td></tr> <tr> <td>δ_K</td><td>°C</td><td>Kontaktübergang zwischen Wasser und Sensor</td></tr> <tr> <td>R_0</td><td>Ohm</td><td>Widerstand bei 0 °C (Sensorkonstante)</td></tr> <tr> <td>A</td><td>°C⁻¹</td><td>Sensorkonstante</td></tr> <tr> <td>B</td><td>°C⁻²</td><td>Sensorkonstante</td></tr> <tr> <td>R</td><td>Ohm</td><td>Widerstand des Pt100 Sensors</td></tr> <tr> <td>t_{Sensor}</td><td>°C</td><td>Temperatur des Pt100 Sensors</td></tr> </table> <p>R_M: Typ A zusammengefasst Mittelwert: 108.44382 Ohm Experimentelle Standardabweichung: 0.0012 Ohm Anzahl der Beobachtungen: 5</p> <p>Es werden 5 einzelne Widerstandsmessungen durchgeführt und gemittelt. Die experimentelle Standardabweichung wird als Unsicherheitskomponente herangezogen. Diese Größe ist der einzig gemessene Wert in diesem Beispiel.</p> <p>δ_{spec}: Typ B Rechteckverteilung Wert: 0 Ohm Halbbreite der Grenzen: 0.0032 Ohm</p> <p>Die interessanteste Komponente. Unsicherheit eines kalibrierten Agilent 3458A Multimeters. Verwendetes Dokument: Agilent Technologies 3458A Multimeter User's Guide, Seite 283, 285 und 286. Es werden unterschiedliche Spezifikationen (als relative Toleranzgrenzen) angegeben, welche zu addieren sind. Wir brauchen nur die Werte für den 100 Ω Messbereich und Vierleiterschaltung.</p> <p>Temperaturkoeffizient: 2,08 ppm/°C (Hier nehmen wir eine Umgebungstemperatur von 20 °C an)</p> <p>Accuracy (ppm of Reading + ppm of Range): 12+5 bis zu Jahr nach Kalibrierung (20+10 bis zu zwei</p>			Größe	Einheit	Definition	t_W	°C	Temperatur des Wasserbades (Messwert)	R_M	Ohm	Widerstand-Messwert	δ_{spec}	Ohm	Spezifikation des Ohmmeters	δ_{NMI}	Ohm	Rückführungsunsicherheit der Ohmmeterprüfung	δ_K	°C	Kontaktübergang zwischen Wasser und Sensor	R_0	Ohm	Widerstand bei 0 °C (Sensorkonstante)	A	°C ⁻¹	Sensorkonstante	B	°C ⁻²	Sensorkonstante	R	Ohm	Widerstand des Pt100 Sensors	t_{Sensor}	°C	Temperatur des Pt100 Sensors
Größe	Einheit	Definition																																	
t_W	°C	Temperatur des Wasserbades (Messwert)																																	
R_M	Ohm	Widerstand-Messwert																																	
δ_{spec}	Ohm	Spezifikation des Ohmmeters																																	
δ_{NMI}	Ohm	Rückführungsunsicherheit der Ohmmeterprüfung																																	
δ_K	°C	Kontaktübergang zwischen Wasser und Sensor																																	
R_0	Ohm	Widerstand bei 0 °C (Sensorkonstante)																																	
A	°C ⁻¹	Sensorkonstante																																	
B	°C ⁻²	Sensorkonstante																																	
R	Ohm	Widerstand des Pt100 Sensors																																	
t_{Sensor}	°C	Temperatur des Pt100 Sensors																																	
Datum: 16.03.2017 Ver.: 1	Datei: GUM_Beispiel1.smu	Seite 1 von 3																																	

MU 02	Wasserbad, Temperaturmessung	 Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen																																																															
<p>Jahren nach Kalibrierung)</p> <p>Kalibrierunsicherheit relativ zum NIST Normal: 3 ppm</p> <p>d_{NMI}: Typ B Normalverteilung Wert: 0 Ohm Erweiterte Messunsicherheit: 0.00002 Ohm Erweiterungsfaktor: 2</p> <p>Verwendetes Dokument: Agilent Technologies 3458A Multimeter User's Guide, Seite 286. Danach beziehen sich alle Spezifikationen auf das NIST 10 kΩ Normal. In der KCDB gibt NIST eine relative erweiterte Messunsicherheit von 0,2 ppm an. Für 100 Ω entspricht dies einer erweiterten Unsicherheit von 20 μΩ.</p> <p>d_K: Typ B Rechteckverteilung Wert: 0 °C Halbbreite der Grenzen: 0.001 °C</p> <p>Mit dieser Größe werden Unsicherheiten modelliert welche von der Ungleichheit von Medien- zu Sensortemperatur herrühren. Die Ursachen können vielfältig sein und müssten separat behandelt werden. Bei diesem Beispiel lediglich eingeführt um Submodelle zu diskutieren; daher wird die Unsicherheit auf einen unrealistisch niedrigen Wert gesetzt. Der Erwartungswert ist Null.</p> <p>R_0: Typ B Normalverteilung Wert: 100.002421 Ohm Erweiterte Messunsicherheit: 0.0004 Ohm Erweiterungsfaktor: 2</p> <p>Werte R_0 , A , B aus dem Kalibrierschein E16-2056 des BEV. Die Unsicherheiten sind nicht explizit im Schein angeführt. Messtechnisch stammen sie aus einem Ausgleich von vier Messwertpaaren und sind daher hochgradig korreliert. Korrelationen sind nicht Gegenstand der Präsentation und auch nicht aus dem Schein ersichtlich. Die Unsicherheiten sind daher "gefakt", aber so, dass die Temperaturunsicherheit der Kalibrierung reproduziert wird.</p> <div><table><tr><th>Thermometer Nr.</th><th>R_0 in Ohm</th><th>A in °C⁻¹</th><th>B in °C²</th><th>C in °C³</th></tr><tr><td>SNr.: 2 /11/ 15</td><td>100.002421</td><td>3.913102E-03</td><td>-5.959679E-07</td><td>---</td></tr></table><table><tr><th rowspan="2">Gerätebeschreibung</th><th>NORMAL t_{SOLL}</th><th colspan="5">PROPLIBS</th><th colspan="2">Messunsicherheit U der Messabweichungen</th></tr><tr><th>°C</th><th>R_{IST} Ohm</th><th>t_{IST} (Umrechnung nach EN 60751) °C</th><th>Mess- abweichung $t_{IST}-t_{SOLL}$ K (°C)</th><th>$t_{Ausgleich}$ °C</th><th>Mess- abweichung $t_{Ausgleich}-t_{SOLL}$ K (°C)</th><th>Ohm</th><th>K (°C)</th></tr><tr><td>Pt100 SNr.: 2 /11/ 15</td><td>0,011</td><td>100,0066</td><td>0,017</td><td>0,006</td><td>0,010</td><td>-0,001</td><td>0,0020</td><td>0,006</td></tr><tr><td>AP2 1433</td><td>20,008</td><td>107,8982</td><td>20,038</td><td>0,030</td><td>20,008</td><td>0,000</td><td>0,0020</td><td>0,006</td></tr><tr><td>MM903802</td><td>65,002</td><td>125,1969</td><td>65,070</td><td>0,068</td><td>65,001</td><td>-0,001</td><td>0,0019</td><td>0,005</td></tr><tr><td>MPMI 1004/369</td><td>100,003</td><td>138,5395</td><td>100,090</td><td>0,087</td><td>100,003</td><td>0,000</td><td>0,0022</td><td>0,006</td></tr></table></div> <p>Auszug aus Kalibrierschein E16-2056</p> <p>A: Typ B Normalverteilung Wert: $3.913102 \cdot 10^{-3} \text{ °C}^{-1}$ Erweiterte Messunsicherheit: $0.0000003 \text{ °C}^{-1}$ Erweiterungsfaktor: 1</p> <p>Werte R_0 , A , B aus dem Kalibrierschein E16-2056 des BEV. Die Unsicherheiten sind nicht explizit im Schein angeführt. Messtechnisch stammen sie aus einem Ausgleich von vier Messwertpaaren und sind daher hochgradig korreliert. Korrelationen sind nicht Gegenstand der Präsentation und auch nicht aus dem Schein ersichtlich. Die Unsicherheiten sind daher "gefakt", aber so, dass die Temperaturunsicherheit der Kalibrierung reproduziert wird.</p>			Thermometer Nr.	R_0 in Ohm	A in °C ⁻¹	B in °C ²	C in °C ³	SNr.: 2 /11/ 15	100.002421	3.913102E-03	-5.959679E-07	---	Gerätebeschreibung	NORMAL t_{SOLL}	PROPLIBS					Messunsicherheit U der Messabweichungen		°C	R_{IST} Ohm	t_{IST} (Umrechnung nach EN 60751) °C	Mess- abweichung $t_{IST}-t_{SOLL}$ K (°C)	$t_{Ausgleich}$ °C	Mess- abweichung $t_{Ausgleich}-t_{SOLL}$ K (°C)	Ohm	K (°C)	Pt100 SNr.: 2 /11/ 15	0,011	100,0066	0,017	0,006	0,010	-0,001	0,0020	0,006	AP2 1433	20,008	107,8982	20,038	0,030	20,008	0,000	0,0020	0,006	MM903802	65,002	125,1969	65,070	0,068	65,001	-0,001	0,0019	0,005	MPMI 1004/369	100,003	138,5395	100,090	0,087	100,003	0,000	0,0022	0,006
Thermometer Nr.	R_0 in Ohm	A in °C ⁻¹	B in °C ²	C in °C ³																																																													
SNr.: 2 /11/ 15	100.002421	3.913102E-03	-5.959679E-07	---																																																													
Gerätebeschreibung	NORMAL t_{SOLL}	PROPLIBS					Messunsicherheit U der Messabweichungen																																																										
	°C	R_{IST} Ohm	t_{IST} (Umrechnung nach EN 60751) °C	Mess- abweichung $t_{IST}-t_{SOLL}$ K (°C)	$t_{Ausgleich}$ °C	Mess- abweichung $t_{Ausgleich}-t_{SOLL}$ K (°C)	Ohm	K (°C)																																																									
Pt100 SNr.: 2 /11/ 15	0,011	100,0066	0,017	0,006	0,010	-0,001	0,0020	0,006																																																									
AP2 1433	20,008	107,8982	20,038	0,030	20,008	0,000	0,0020	0,006																																																									
MM903802	65,002	125,1969	65,070	0,068	65,001	-0,001	0,0019	0,005																																																									
MPMI 1004/369	100,003	138,5395	100,090	0,087	100,003	0,000	0,0022	0,006																																																									
Datum: 16.03.2017 Ver.: 1	Datei: GUM_Beispiel1.smu	Seite 2 von 3																																																															

Werte R_0 , A , B aus dem Kalibrierschein E16-2056 des BEV. Die Unsicherheiten sind nicht explizit im Schein angeführt. Messtechnisch stammen sie aus einem Ausgleich von vier Messwertpaaren und sind daher hochgradig korreliert. Korrelationen sind nicht Gegenstand der Präsentation und auch nicht aus dem Schein ersichtlich. Die Unsicherheiten sind daher "gefakt", aber so, dass die Temperaturunsicherheit der Kalibrierung reproduziert wird.

Größe	Wert	Std.-Mess-unsicherheit
R	108.44382 Ohm	$1.92 \cdot 10^{-3}$ Ohm
t_{Sensor}	21.64296 °C	$5.56 \cdot 10^{-3}$ °C

Größe	Wert	Std.-Mess-unsicherheit	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag	Index
R_M	108.443820 Ohm	$537 \cdot 10^{-6}$ Ohm	Normal	2.6	$1.4 \cdot 10^{-3}$ °C	6.1 %
δ_{spec}	0.0 Ohm	$1.85 \cdot 10^{-3}$ Ohm	Rechteck	2.6	$4.8 \cdot 10^{-3}$ °C	72.4 %
δ_{NMI}	0.0 Ohm	$10.0 \cdot 10^{-6}$ Ohm	Normal	2.6	$26 \cdot 10^{-6}$ °C	0.0 %
δ_K	0.0 °C	$577 \cdot 10^{-6}$ °C	Rechteck	1.0	$580 \cdot 10^{-6}$ °C	1.1 %
R_0	100.002421 Ohm	$200 \cdot 10^{-6}$ Ohm	Normal	-2.8	$-560 \cdot 10^{-6}$ °C	1.0 %
A	$3.913102 \cdot 10^{-3}$ °C ⁻¹	$300 \cdot 10^{-9}$ °C ⁻¹	Normal	-5600	$-1.7 \cdot 10^{-3}$ °C	8.9 %
B	$-596.0 \cdot 10^{-9}$ °C ⁻²	$15.0 \cdot 10^{-9}$ °C ⁻²	Normal	$-120 \cdot 10^3$	$-1.8 \cdot 10^{-3}$ °C	10.5 %
R	108.44382 Ohm	$1.92 \cdot 10^{-3}$ Ohm				
t_{Sensor}	21.64296 °C	$5.56 \cdot 10^{-3}$ °C				
t_W	21.64296 °C	$5.59 \cdot 10^{-3}$ °C				

Ergebnisse:

Größe	Wert	Erw.-Mess-unsicherheit	Erweiterungsfaktor	Überdeckungs-wahrscheinlichkeit
t _w	21.643 °C	0.011 °C	2.00	95% (Normal)