m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Messunsicherheit der Temperaturdifferenzmessung unter Berücksichtigung von Korrelation

Martin Kestner

Gliederung

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

- Metegra-Unternehmensportrait
- Temperaturmessung mit Platin-Sensoren
- Messunsicherheit der Widerstandsmessung
- Messunsicherheit der Badtemperaturmessung
- Berücksichtigung von Korrelation
- Zusammenfassung

© Martin Kestner

Metegra-Unternehmensportrait

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

- **Gegründet:** 01.01.2000
- **Gesellschafter:**

avacon	enercity	mainova	CENTRA PLUS
25 %	25 %	25 %	25 %

- **Eigenständige GmbH**
  - ca. 2.000 m² Prüffläche
  - 20 Prüfstationen für Messgeräte
  - Staatlich anerkannte Prüfstellen für Messgeräte für Elektrizität, Gas, Wasser, Wärme
  - DAkkS-Kalibrierlaboratorium
  - Benannte Stelle für Modul F der MID, Modul B (MI-003) in Kürze (Q4/2014)
- **Standort: Hannover/Laatzen**
- **Mitarbeiter: 25**
- **Web: www.metegra.de**

13985 EG 21 10 | 01980 GG 21 10 | 02101 WG 21 10 | 00071 KG 21 10

000101
D-K-15004-01-00
2012-09

CE M 08 2087

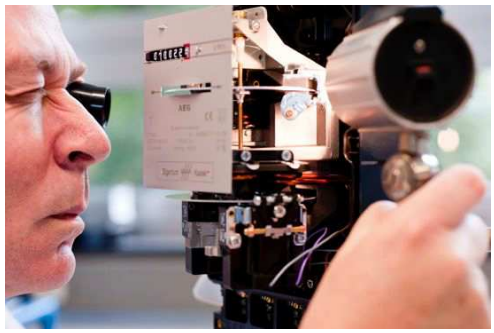
Metegra-Unternehmensportrait (2)

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Unsere Dienstleistungen für

<u>Energieversorgungsunternehmen, Messstellenbetreiber:</u>

- Bemusterung von Prototypen
- Annahmeprüfung
- Ersteichung
- Netzstichprobe
- Stichprobe zur Verlängerung der Eichfrist
- Instandsetzung und Nacheichung
- Befundprüfung
- Überprüfung Spannungsprüfer
- Zählerlogistik
- Zählerentsorgung und Dokumentation
- Beratung



Metegra-Unternehmensportrait (3)

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Unsere Dienstleistungen für

Zählerhersteller:

- Konformitätsbewertung nach MID
  - Modul F
  - Modul F, statistisch
  - Modul B (in Vorbereitung)
- Sondermessungen für die Produktentwicklung

Industrie und Behörden:

- DAkkS-Kalibrierungen
- Überprüfung Spannungsprüfer
- Beratung

© Martin Kestner

Temperaturmessung mit Platin-Sensoren

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

- Abhängigkeit des elektrischen Widerstands R eines Pt100-Temperatursensors von der Temperatur Θ im Bereich größer 0 °C nach DIN EN 60751:

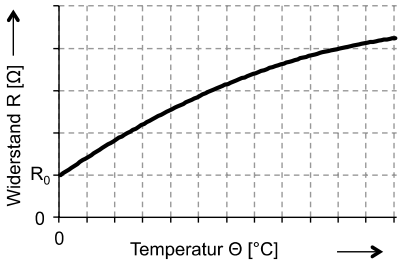
$$R(\Theta) = R_0 \cdot (1 + A \cdot \Theta + B \cdot \Theta^2)$$

bzw. $$R(\Theta) = R_0 + \alpha \cdot \Theta + \beta \cdot \Theta^2$$

$$\alpha = R_0 \cdot A \text{ und } \beta = R_0 \cdot B$$

$R_0 = 100\ \Omega$ (Grundwiderstand bei 0 °C)

$A = 0{,}045\ °C^{-1}$
$B = -0{,}00015\ °C^{-2}$ } Materialkonstante



Kennlinie eines Pt100-Sensors

- Für individuelle Fühler werden die Werte von R_0, α, β durch 3 Messungen bei 3 verschiedenen Temperaturen bestimmt. Hierfür werden thermostatisierte Bäder verwendet.
- Die Badtemperaturen sind nach DIN EN 1434 zu wählen. Übliche Temperaturen sind 40 °C, 80 °C und 120 °C.

Platin-Temperatursensoren

© Martin Kestner

Temperaturmessung mit Platin-Sensoren

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

- Zu lösendes Gleichungssystem:

$$R_0 + \alpha \cdot \Theta_1 + \beta \cdot \Theta_1^2 = R_1$$
$$R_0 + \alpha \cdot \Theta_2 + \beta \cdot \Theta_2^2 = R_2$$
$$R_0 + \alpha \cdot \Theta_3 + \beta \cdot \Theta_3^2 = R_3$$

- Mit Unsicherheiten behaftete Messwertpaare: $(\Theta_1, R_1), (\Theta_2, R_2), (\Theta_3, R_3)$
- Üblicherweise wird eine größere Zahl von Einzelfühlern geprüft und dann rechnerisch ermittelt, welche Fühlerpaare aus Vorlauf- und Rücklauffühlern die Eichfehlergrenzen der Temperaturdifferenz einhalten.
- Maximal zulässige Messunsicherheit (inkl. Paarungsverfahren) nach DIN EN 1434: ⅕ der zulässigen Fehlergrenzen (⅕ MPE)
- Kennlinien von Vorlauf- bzw. Rücklauftemperaturfühler:

$$R_{VL}(\Theta) = R_{0,VL} + \alpha_{VL} \cdot \Theta + \beta_{VL} \cdot \Theta^2$$
$$R_{RL}(\Theta) = R_{0,RL} + \alpha_{RL} \cdot \Theta + \beta_{RL} \cdot \Theta^2$$

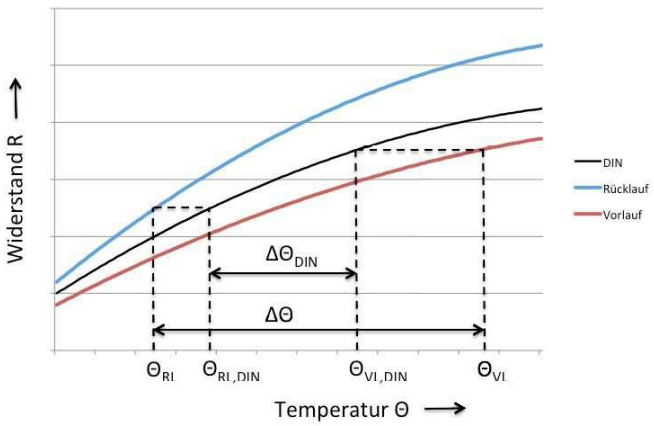
- In Wärmezähler-Rechenwerken mit austauschbaren Temperaturfühlern sind nicht die individuellen Kennlinien der angeschlossenen Fühler hinterlegt, sondern die genormte Kennlinie nach DIN EN 60751:

$$R_{DIN}(\Theta) = R_{0,DIN} + \alpha_{DIN} \cdot \Theta + \beta_{DIN} \cdot \Theta^2$$

© Martin Kestner

Messabweichung der Temperaturdifferenz

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik



Die Kennlinien der Temperaturfühler entsprechen in der Regel nicht genau der DIN-Kennlinie. Daher kommt es zu einem systematischen Anzeigefehler der Vor- und Rücklauftemperaturen.

Temperaturdifferenzfehler Δ(ΔΘ) in Abhängigkeit von den Kennlinien des Vorlauf- und Rücklauffühlers (gem. AGFW-Merkblatt FW 212, Gl. 21):

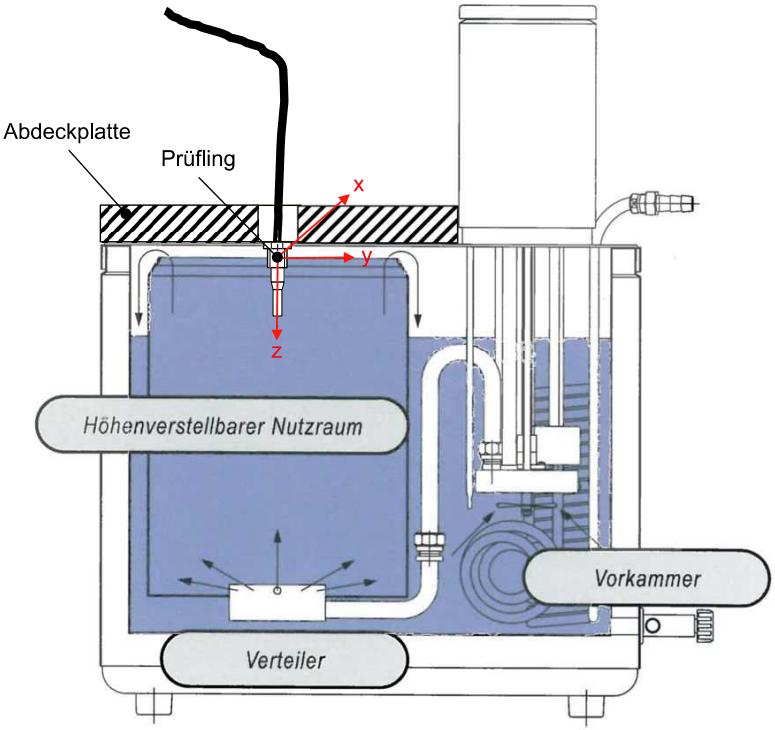
$$\Delta(\Delta\Theta) = \Delta\Theta_{DIN} - \Delta\Theta$$

$$\Delta(\Delta\Theta) = \frac{\sqrt{\alpha_{DIN}^2 - 4 \cdot \beta_{DIN} \cdot \left(R_{0,DIN} - R_{0,VL} - \alpha_{VL} \cdot (\Theta_{RL} + \Delta\Theta) - \beta_{VL} \cdot (\Theta_{RL} + \Delta\Theta)^2\right)}}{2 \cdot \beta_{DIN}}$$
$$- \frac{\sqrt{\alpha_{DIN}^2 - 4 \cdot \beta_{DIN} \cdot \left(R_{0,DIN} - R_{0,RL} - \alpha_{RL} \cdot \Theta_{RL} - \beta_{RL} \cdot \Theta_{RL}^2\right)}}{2 \cdot \beta_{DIN}} - \Delta\Theta$$

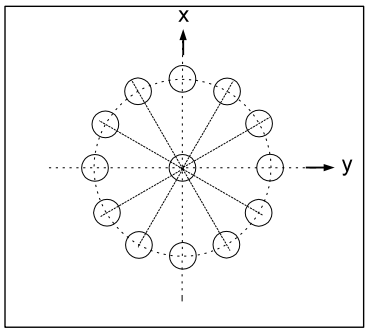
© Martin Kestner

Aufbau eines Temperaturbades (Beispiel)

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik



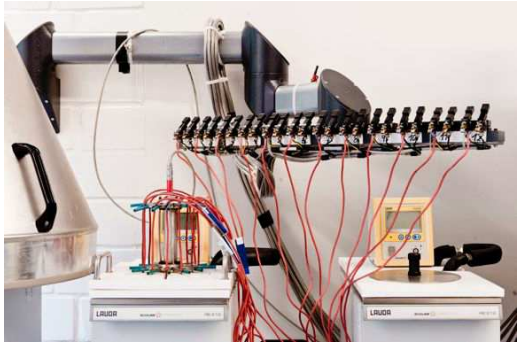
Quelle: Lauda Gesamtprospekt



Abdeckplatte für
13 Messplätze

Messunsicherheit der Widerstandsmessung

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik



Beispiel: 40 °C Bad (Metegra)

Modellgleichung:

$$\delta R_{40} = \delta R_t + \delta R_{xy} + \delta R_z + \delta R_{Mul} + \delta R_{PP2} + \delta R_{Kon} + \delta R_{Zul} + \delta R_{\Theta Zul} + \delta R_{Rep}$$

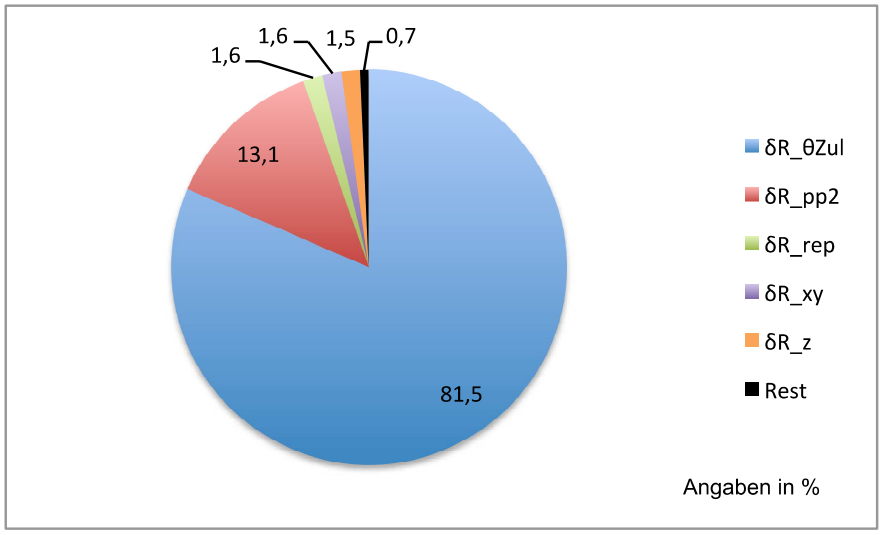
δR_{40}: Unsicherheit der Widerstandsmessung im 40 °C Bad (Ergebnis)
δR_t: zeitliche Schwankungen im Bad
δR_{xy}: Unsicherheit durch inhomogene Badtemperatur in einer waagerechten Ebene (12 Prüfplätze)
δR_z: Unsicherheit durch inhomogene Badtemperatur in Bezug auf die Eintauchtiefe (10 Tauchtiefen)
δR_{Mul}: Unsicherheit des Multimeters für die Ermittlung von δR_t, δR_{xy}, δR_z
δR_{PP2}: Messelektronik PP2
δR_{Kon}: Kontaktwiderstände
δR_{Zul}: Zuleitungswiderstand
$\delta R_{\Theta Zul}$: unterschiedliche Temperaturen auf den Zuleitungen
δR_{Rep}: Wiederholstreuung des Prüflings

Messunsicherheit der Widerstandsmessung (2)

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Ergebnisse (ermittelt mit GUM-Workbench):

- Erweiterte Messunsicherheit U = 5,2 mΩ (für k = 2)
- Aufteilung der Messunsicherheitsanteile:



Verteilung:

δR_θZul	Rechteck
δR_pp2	Normal
δR_rep	Normal
δR_xy	Normal
δR_z	Normal

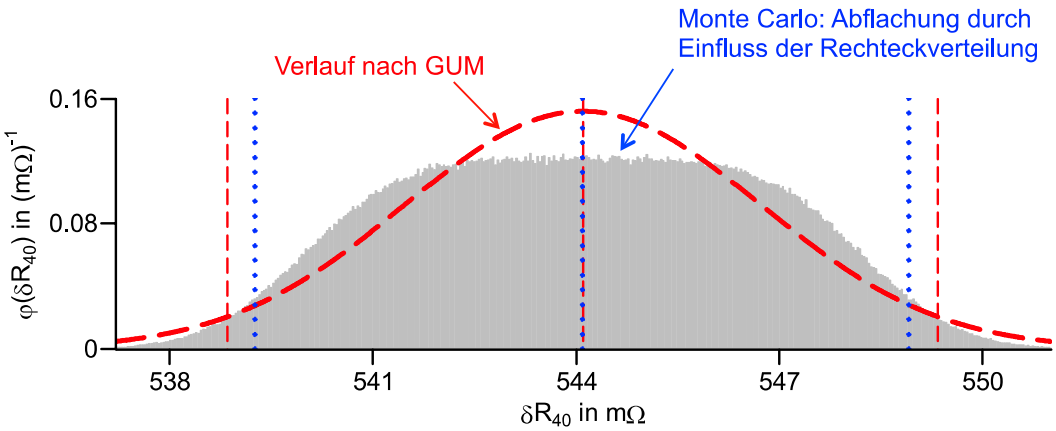
Der dominierende Messunsicherheitsanteil ist die Änderung des Zuleitungswiderstands aufgrund der schwankenden Raumtemperatur.

© Martin Kestner

Messunsicherheit der Widerstandsmessung (3)

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation



Ergebnis der Monte Carlo Simulation für δR_{40}

Simulator: OMCE V:1.1.14
Mittelwert: 544.1 mΩ
Standardmessunsicherheit: 2.6 mΩ
Überdeckungsintervall (p=0.9545): [539.3, 548.9] mΩ (symmetrische Wahrscheinlichkeit)
Erweitertes Messunsicherheitsintervall (p=0.9545): (+4.8, -4.8) mΩ (symmetrische Wahrscheinlichkeit)
Anzahl der Monte Carlo Durchläufe: 2000000
Blockgröße: 10000 Durchläufe

© Martin Kestner

Messunsicherheit der Badtemperaturmessung

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Beispiel: 40 °C Bad (Metegra)

Modellgleichung: $\Delta\Theta = \Delta\Theta_S + \delta\Theta_K + \delta\Theta_{PP2}$

$\Delta\Theta$: Unsicherheit der Badtemperaturmessung (Ergebnis)

$\Delta\Theta_S$: Unsicherheit des Normalthermometers

$\delta\Theta_K$: Unsicherheit der Koeffizienten R_0, A, B des Normalthermometers

$\delta\Theta_{PP2}$: Unsicherheit der Messelektronik PP2

© Martin Kestner

Messunsicherheit der Badtemperaturmessung (2)

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Nach Eingabe der Modellgleichung und der Abschätzungen für die Eingangsgrößen in das Programm GUM-Workbench ergibt sich folgendes Messunsicherheitsbudget:

$\Delta\Theta$: **Unsicherheit der Temperaturmessung im 40°-Bad**

Größe	Wert	Std.-Mess-unsicherheit	Freiheits-grad	Verteilung	Sensitivitäts-koeffizient	Unsicher-heitsbeitrag	Index
$\Delta\Theta_S$	0.0 °C	$5.00 \cdot 10^{-3}$ °C	100	Normal	1.0	$5.0 \cdot 10^{-3}$ °C	80.7 %
$\delta\Theta_K$	0.0 °C	$577 \cdot 10^{-6}$ °C	unendlich	Rechteck	1.0	$580 \cdot 10^{-6}$ °C	1.1 %
$\delta\Theta_{PP2}$	0.0 °C	$2.38 \cdot 10^{-3}$ °C	100	Normal	1.0	$2.4 \cdot 10^{-3}$ °C	18.2 %
$\Delta\Theta$	0.0 °C	$5.57 \cdot 10^{-3}$ °C	150				

==========

Ergebnisse:

Größe	Wert	Erw.-Mess-unsicherheit	Erweiter-ungsfaktor	Überdeckungs-wahrscheinlichkeit
$\Delta\Theta$	0.0 °C	0.011 °C	2.00	95% (Normal)

© Martin Kestner

Zwischenergebnisse

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Zusammen mit den Ergebnissen bei 80°C und 120 °C ergibt sich folgende Übersicht:

	Erweiterte Messunsicherheit U (k=2)		
Größe	40 °C	80 °C	120 °C
Badtemperatur Θ	11 mK	11 mK	16 mK
Widerstand R	5,2 mΩ	5,4 mΩ	6,1 mΩ

Weiteres Vorgehen

- Unter Verwendung dieser Zwischenergebnisse und Gleichung 21 aus AGFW-FW 212 wird die Unsicherheit der relativen Temperaturdifferenz bestimmt (➔ GUM-Workbench).
- Hierfür wird eine feste Rücklauftemperatur von 40 °C angesetzt.
- Es werden 3 Temperaturdifferenzen untersucht:

  3 K; 10 K; 100 K

© Martin Kestner

Modellgleichung für den relativen Temperaturdifferenzfehler

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

$F_{\Delta\Theta rel} = (\Delta\Theta_{DIN} - \Delta\Theta) / \Delta\Theta * 100;$

$\Delta\Theta_{DIN} = sqrt(sqr(\alpha_{DIN}) - 4 * \beta_{DIN} * (R_{0DIN} - R_{0VL} - \alpha_{VL} * (\Theta_{RL} + \Delta\Theta) - \beta_{VL} * sqr(\Theta_{RL} + \Delta\Theta))) / (2 * \beta_{DIN}) - sqrt(sqr(\alpha_{DIN}) - 4 * \beta_{DIN} * (R_{0DIN} - R_{0RL} - \alpha_{RL} * \Theta_{RL} - \beta_{RL} * sqr(\Theta_{RL}))) / (2 * \beta_{DIN});$

$\alpha_{DIN} = R_{0DIN} * A_{DIN};$

$\beta_{DIN} = R_{0DIN} * B_{DIN};$

$\Theta_{VL} = \Theta_{RL} + \Delta\Theta;$

$R_{0VL} = D_{1VL} / D_{VL};$

$\alpha_{VL} = D_{2VL} / D_{VL};$

$\beta_{VL} = D_{3VL} / D_{VL};$

$D_{VL} = (\Theta_{3VL} - \Theta_{2VL}) * sqr(\Theta_{1VL}) - (\Theta_{3VL} - \Theta_{1VL}) * sqr(\Theta_{2VL}) + (\Theta_{2VL} - \Theta_{1VL}) * sqr(\Theta_{3VL});$

$D_{1VL} = (\Theta_{2VL} * sqr(\Theta_{3VL}) - sqr(\Theta_{2VL}) * \Theta_{3VL}) * R_{1VL} - (\Theta_{1VL} * sqr(\Theta_{3VL}) - sqr(\Theta_{1VL}) * \Theta_{3VL}) * R_{2VL} + (\Theta_{1VL} * sqr(\Theta_{2VL}) - sqr(\Theta_{1VL}) * \Theta_{2VL}) * R_{3VL};$

$D_{2VL} = -(sqr(\Theta_{3VL}) - sqr(\Theta_{2VL})) * R_{1VL} + (sqr(\Theta_{3VL}) - sqr(\Theta_{1VL})) * R_{2VL} - (sqr(\Theta_{2VL}) - sqr(\Theta_{1VL})) * R_{3VL};$

$D_{3VL} = (\Theta_{3VL} - \Theta_{2VL}) * R_{1VL} - (\Theta_{3VL} - \Theta_{1VL}) * R_{2VL} + (\Theta_{2VL} - \Theta_{1VL}) * R_{3VL};$

$R_{0RL} = D_{1RL} / D_{RL};$

$\alpha_{RL} = D_{2RL} / D_{RL};$

$\beta_{RL} = D_{3RL} / D_{RL};$

$D_{RL} = (\Theta_{3RL} - \Theta_{2RL}) * sqr(\Theta_{1RL}) - (\Theta_{3RL} - \Theta_{1RL}) * sqr(\Theta_{2RL}) + (\Theta_{2RL} - \Theta_{1RL}) * sqr(\Theta_{3RL});$

$D_{1RL} = (\Theta_{2RL} * sqr(\Theta_{3RL}) - sqr(\Theta_{2RL}) * \Theta_{3RL}) * R_{1RL} - (\Theta_{1RL} * sqr(\Theta_{3RL}) - sqr(\Theta_{1RL}) * \Theta_{3RL}) * R_{2RL} + (\Theta_{1RL} * sqr(\Theta_{2RL}) - sqr(\Theta_{1RL}) * \Theta_{2RL}) * R_{3RL};$

$D_{2RL} = -(sqr(\Theta_{3RL}) - sqr(\Theta_{2RL})) * R_{1RL} + (sqr(\Theta_{3RL}) - sqr(\Theta_{1RL})) * R_{2RL} - (sqr(\Theta_{2RL}) - sqr(\Theta_{1RL})) * R_{3RL};$

$D_{3RL} = (\Theta_{3RL} - \Theta_{2RL}) * R_{1RL} - (\Theta_{3RL} - \Theta_{1RL}) * R_{2RL} + (\Theta_{2RL} - \Theta_{1RL}) * R_{3RL};$

© Martin Kestner

(Vorläufige) Unsicherheit der Temperaturdifferenz

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

ΔΘ	⅕ MPE	U (k=2)
3 K	0,70 %	0,78 %
10 K	0,28 %	0,22 %
100 K	0,12 %	0,04 %

- Bei ΔΘ = 3 K wird die max. zulässige Unsicherheit überschritten.
- Abhilfe:

  Berücksichtigung von **Korrelation**. Korrelation liegt vor, da für die Messungen der Badtemperatur und der Widerstandswerte der Vor- und Rücklauffühler in den 3 Bädern jeweils das gleiche Normal verwendet wurde.

© Martin Kestner

Was ist Korrelation?

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Duden.de:

1. (bildungssprachlich, Fachsprache) **wechselseitige Beziehung**
2. (Mathematik) nur statistisch, mithilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu erfassender **loser, zufälliger Zusammenhang zwischen bestimmten Erscheinungen**

Statistiklexikon *de.statista.com*:

Eine Korrelation misst die **Stärke einer statistischen Beziehung von zwei Variablen zueinander**. Bei einer positiven Korrelation gilt „je mehr Variable A... desto mehr Variable B“ bzw. umgekehrt, bei einer negativen Korrelation „je mehr Variable A... desto weniger Variable B“ bzw. umgekehrt.

Eine negative Korrelation besteht etwa zwischen der Variable „aktuelles Alter“ und „verbleibende Lebenserwartung“.

Korrelation beschreibt jedoch **keine eindeutige Ursache-Wirkungs-Beziehung** in die eine und/oder andere Richtung.

Beispiele (*wikipedia.de*):

- *„Aus der Tatsache, dass in Sommern mit hohem Speiseeisumsatz viele Sonnenbrände auftreten, kann man nicht schlussfolgern, dass Eis essen Sonnenbrand erzeugt.*
- *Zwischen dem Rückgang der Störche im Burgenland und einem Rückgang der Anzahl Neugeborener kann es durchaus eine Korrelation geben, aber weder bringen Störche Kinder noch umgekehrt.“*

© Martin Kestner

Berücksichtigung der Korrelation nach GUM[1]

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Bei korrelierten Eingangsgrößen X_i, X_j erhält man gemäß GUM, Kap. 5.2.2 die kombinierte Standardunsicherheit u_c der Ergebnisgröße Y aus folgender Gleichung:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} c_i \cdot c_j \cdot u(x_i, x_j)$$

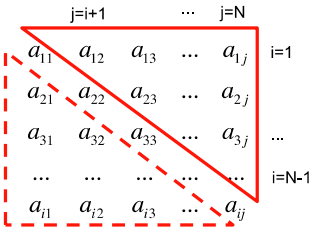
Die Abhängigkeiten sind symmetrisch: $u(x_i, x_j) = u(x_j, x_i)$

$$u_c^2(y) = \underbrace{\sum_{i=1}^{N} c_i^2 \cdot u^2(x_i)}_{\text{unkorrelierter Fall}} + \underbrace{2\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N} c_i \cdot c_j \cdot u(x_i, x_j)}_{\text{Mischterme mit Kovarianzen}}$$

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{N} c_i^2 \cdot u^2(x_i) + 2\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N} c_i \cdot c_j \cdot u(x_i) \cdot u(x_j) \cdot r(x_i, x_j)$$

Empfindlichkeitskoeffizienten:

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}; \quad c_j = \frac{\partial f}{\partial x_j}$$



Korrelationskoeffizient:

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i) \cdot u(x_j)}$$

[1] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO/IEC, 2008

© Martin Kestner

Korrelationskoeffizient

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Korrelationskoeffizient r nach Bravais und Pearson:

- Dimensionsloses Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen zwei mindestens intervallskalierten Merkmalen
- Wertebereich: $-1 \leq r \leq +1$
- r = +1 (bzw. -1): vollständig positiver (bzw. negativer) linearer Zusammenhang
- r = 0: die beiden Merkmale hängen überhaupt nicht linear voneinander ab

Korrelationskoeffizient für zwei Zufallsvariablen X und Y:

$$r(X,Y) = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma(X) \cdot \sigma(Y)}$$

Cov (X,Y): Kovarianz
σ: Standardabweichung

Empirischer Korrelationskoeffizient für Messreihen von gepaarten Ausprägungen $(x_1,y_1), (x_2,y_2), \ldots, (x_n, y_n)$:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}}$$

© Martin Kestner

Bestimmung der Korrelationskoeffizienten

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Vorgehen:

- Messung der Badtemperatur und der Widerstandswerte von Vorlauf- und Rücklauffühler 20 mal hintereinander (in allen 3 Bädern).
- Ermittlung der Korrelationskoeffizienten mit Excel (Funktion „Pearson“).
- Beispiel für 80 °C Bad:

Messung	Widerstandswert (Ohm) 0638_Vorlauf R_{2VL}	Badtemperatur (°C) 0638_Vorlauf θ_{2VL}	Widerstandswert (Ohm) 0638_Rücklauf R_{2RL}	Badtemperatur (°C) 0638_Rücklauf θ_{2RL}
1	130,889	79,926	130,892	79,926
2	130,886	79,917	130,889	79,925
3	130,890	79,926	130,892	79,923
4	130,883	79,915	130,888	79,925
5	130,891	79,936	130,896	79,927
6	130,884	79,914	130,889	79,919
7	130,890	79,932	130,895	79,925
8	130,886	79,920	130,890	79,918
9	130,883	79,912	130,887	79,913
10	130,887	79,920	130,890	79,920
11	130,886	79,915	130,889	79,917
12	130,883	79,909	130,889	79,927
13	130,886	79,916	130,887	79,908
14	130,889	79,920	130,889	79,914
15	130,885	79,917	130,888	79,914
16	130,888	79,917	130,890	79,914
17	130,888	79,925	130,891	79,917
18	130,888	79,917	130,889	79,917
19	130,888	79,928	130,892	79,919
20	130,885	79,919	130,889	79,916
Mittelwert:	**130,887**	**79,920**	**130,890**	**79,919**
Wiederholstreuung:	**0,00245**	**0,00682**	**0,00237**	**0,00541**

Korrelationskoeffizienten:

$r(R_{2VL}; \Theta_{2VL}) = 0{,}8549$

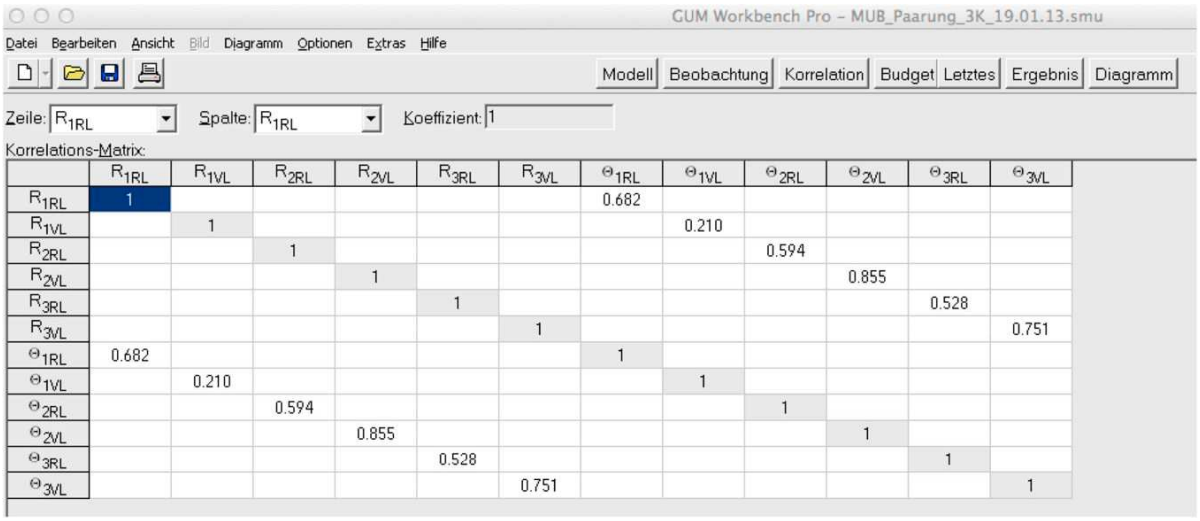
$r(R_{2RL}; \Theta_{2RL}) = 0{,}5942$

© Martin Kestner

Eingabe der Korrelationskoeffizienten in die GUM-Workbench

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Empirisch ermittelte Korrelations-Matrix:



	R_{1RL}	R_{1VL}	R_{2RL}	R_{2VL}	R_{3RL}	R_{3VL}	Θ_{1RL}	Θ_{1VL}	Θ_{2RL}	Θ_{2VL}	Θ_{3RL}	Θ_{3VL}
R_{1RL}	1						0.682					
R_{1VL}		1						0.210				
R_{2RL}			1						0.594			
R_{2VL}				1						0.855		
R_{3RL}					1						0.528	
R_{3VL}						1						0.751
Θ_{1RL}	0.682						1					
Θ_{1VL}		0.210						1				
Θ_{2RL}			0.594						1			
Θ_{2VL}				0.855						1		
Θ_{3RL}					0.528						1	
Θ_{3VL}						0.751						1

© Martin Kestner

Unsicherheit der Temperaturdifferenz

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

ΔΘ	⅕ MPE	U	U_{korr}
3 K	0,70 %	0,78 %	0,57 % ✓
10 K	0,28 %	0,22 %	0,15 % ✓
100 K	0,12 %	0,04 %	0,02 % ✓

Ergebnis:

Nach Berücksichtigung von Korrelation wird bei allen 3 Temperaturdifferenzen die max. zulässige Unsicherheit von ⅕ MPE eingehalten.

© Martin Kestner

Zusammenfassung

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

- Die Kennlinien-Parameter R_0, α und β von Platin-Widerstandssensoren werden üblicherweise experimentell unter Verwendung von thermostatisierten Bädern ermittelt.
- Es können relativ hohe Messunsicherheiten auftreten, da bei den Messungen mehrfach das gleiche Normal verwendet wird.
- Durch Berücksichtigung von Korrelation lassen sich die Messunsicherheiten deutlich reduzieren.
- Auch in der Praxis sollte auf geringe Messunsicherheit der Temperaturmessung geachtet werden:

Quelle: Heizungsjournal 7-8/2004, Minol

Messunsicherheit??

© Martin Kestner

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

m|e|t|e|g|r|a
Maßgebend in Messtechnik

Dipl.-Ing. Martin Kestner

Leiter
- Staatl. anerkannte Prüfstellen EG 21, GG 21, WG 21, KG 21
- Kalibrierlaboratorium D-K-15004-01-00
- Benannte Stelle NB 2087

Metegra GmbH
Peiner Straße 47
30880 Laatzen

Tel.	(05102) 6778 - 12
Fax	(05102) 6778 - 50
Mobil	(0170) 9 29 67 78
E-Mail	martin.kestner @metegra.de
Web	www.metegra.de

© Martin Kestner