



PTB

3rd international EMATEM-Workshop

May, 10th - 11th Berlin, Germany

***Neue transportable Normalmessaanlage zur Darstellung
und Weitergabe der elektrisch simulierten
Skala Thermische Energie***

Dr. Jürgen Rose

Department Heat of the PTB, Head of working group 7.61

Thermal Energy Measurement

juergen.rose@ptb.de

Zweck und Geltungsbereich

- Messaufgabe: Elektrische Simulation thermischer Energie, Kalibrierung der Energieanzeige / Prüfschnittstelle *) von Rechenwerken von Wärme- und Klimakältezählern bei Zulassungsprüfungen
 - *) Entkopplung Unsicherheitsbeitrag der hochaufgelösten Energieanzeige von der Unsicherheit der Messeinrichtung („1/5-Regel“ z. B. nach EN 1434)
- Qualifizierung von Transfer-Messgeräten und Prüfstellenbegutachtungen im Rahmen von Konformitätsbewertungsverfahren nach MID (Transportabilität, Umgebungsbedingungen)
- Messmethode: Direkter Vergleich zwischen der thermischen Energieanzeige / Prüfschnittstelle und der elektrischen Vorgabe durch die Prüfeinrichtung (Volumen, Temperaturdifferenz auf bestimmtem Temperaturniveau, Wärmekoeffizient)
- elektrisch simulierter Temperaturbereich 1 °C bis 200 °C, Temperaturdifferenzbereich 2 K bis 200 K, Durchflussbereich 6 l/h bis 1000 m³/h, Anschluss normativer Pt 100 bis Pt 10000, Herstellervorgaben der Parameter Ro,A, B
- resultierender Leistungsbereich thermischer Energie 13,6 W bis 236.000 kW

Unsicherheitsbeitrag durch begrenzte Energieauflösung des Prüflings

- Forderung der Norm: Unsicherheiten der Gebrauchsnormale, Verfahren und Messgeräte müssen immer bekannt sein und dürfen 1/5 der EFG nicht überschreiten.

Für mit $k = 2$ erweiterter Unsicherheit der Prüfeinrichtung folgt bei $\Delta\theta_{\min}$ nach DIN EN 1434 (EFG 1,5%): $U_{\text{Simulation thermische Energie, } \Delta\theta_{\min}, k=2} \leq 3 \cdot 10^{-3}$ bzw. $u_c^2 \leq 2,25 \cdot 10^{-6}$

- Energieumfang (Fortschritt) muss so groß sein, dass der Unsicherheitsbeitrag durch Energieauflösung des Rechenwerkes vernachlässigbar ist, d.h. $< 0,033$ fache der EFG (Eichbehörden der Länder: Richtlinie für die Eichung und Anforderungen an Normale)

→ Forderung zum Energieumfang in Abhängigkeit von der Rechenwerkauflösung im Prüfbetrieb

- Beispiel: Abschätzung des notwendigen Energiefortschrittes bei kleiner EFG (0,5%, d.h. $\Delta\theta_{\max}$) hochaufgelöste Rechenwerkanzeige mit typ. Energieauflösung 1 Wh, max. zul. Standardunsicherheit: $U_{\text{Anzmax}} = 0,5\% \cdot 0,033 = 0,0165\%$, Ablesung am Anfang und Ende der Messung, Ablesestandardunsicherheit $< 1/2$ der minim. Auflösung, angenommene Gleichverteilung der Rundungsunsicherheit der Energieanzeige ($1/\sqrt{3}$):

$$U_{\text{Anz}} = \sqrt{(1^2 + 1^2)} \cdot 1/\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 1 \text{ Wh} = 0,4 \text{ Wh.}$$

$$\text{Mindestenergiefortschritt: } E_{\text{min}} = U_{\text{Anz}} / U_{\text{Anzmax}} \cdot 100\% \cong 2400 \text{ Wh}$$

Dies kann prüfwirtschaftlich durch große Volumenfortschritte bzw. hohe Volumenimpulswertigkeit bewirkt werden.

- Rechenwerke mit *Impulsausgang* müssen mit synchronisierten Impulsflanken ausgelesen bzw. größere Prüfmengen gewählt wählen.

Prüfung von Wärmezähler-Rechenwerken

Thermische Energie $Q_{therm} = V \cdot \Delta\Theta \cdot K$ **Arbeitsgleichung eines Rechenwerkes**

V Volumen

$\Delta\Theta$ Temperaturdifferenz, berechnet aus gemessener Vor- und Rücklauftemperatur

K Wärmekoeffizient des Wärmeträgers (K -Faktor), abhängig von Druck und Temperatur

→ Messung der Temperaturdifferenz $\Delta\Theta$ mit Platin-Widerstandstemperaturfühlern nach DIN EN 60751

$$\Delta\Theta_{V,R} = (\Theta_V - \Theta_R) = -\sqrt{\frac{A^2 - 4B}{4B^2} + \frac{R_V}{R_0 \cdot B}} + \sqrt{\frac{A^2 - 4B}{4B^2} + \frac{R_R}{R_0 \cdot B}}$$

$A; B; R_0$ normative Konstanten (Messbereich 0 °C bis 850 °C, konventionelle Vorgaben)

$R_{V,R}$ vom Rechenwerk gemessene Widerstände (Temperatursignale, Messzweige des Wärmetauscher-Kreislaufsystems)

Die kombinierte Standardunsicherheit $u_c(Q_{Soll})$ folgt aus der kombinierten Varianz:

$$u_c^2(Q_{Soll}) = \left(\frac{\partial Q_{Soll}}{\partial V}\right)^2 u^2(V) + \left(\frac{\partial Q_{Soll}}{\partial \Theta_V}\right)^2 u^2(\Theta_V) + \left(\frac{\partial Q_{Soll}}{\partial \Theta_R}\right)^2 u^2(\Theta_R) + \left(\frac{\partial Q_{Soll}}{\partial K}\right)^2 u^2(K)$$

Fazit

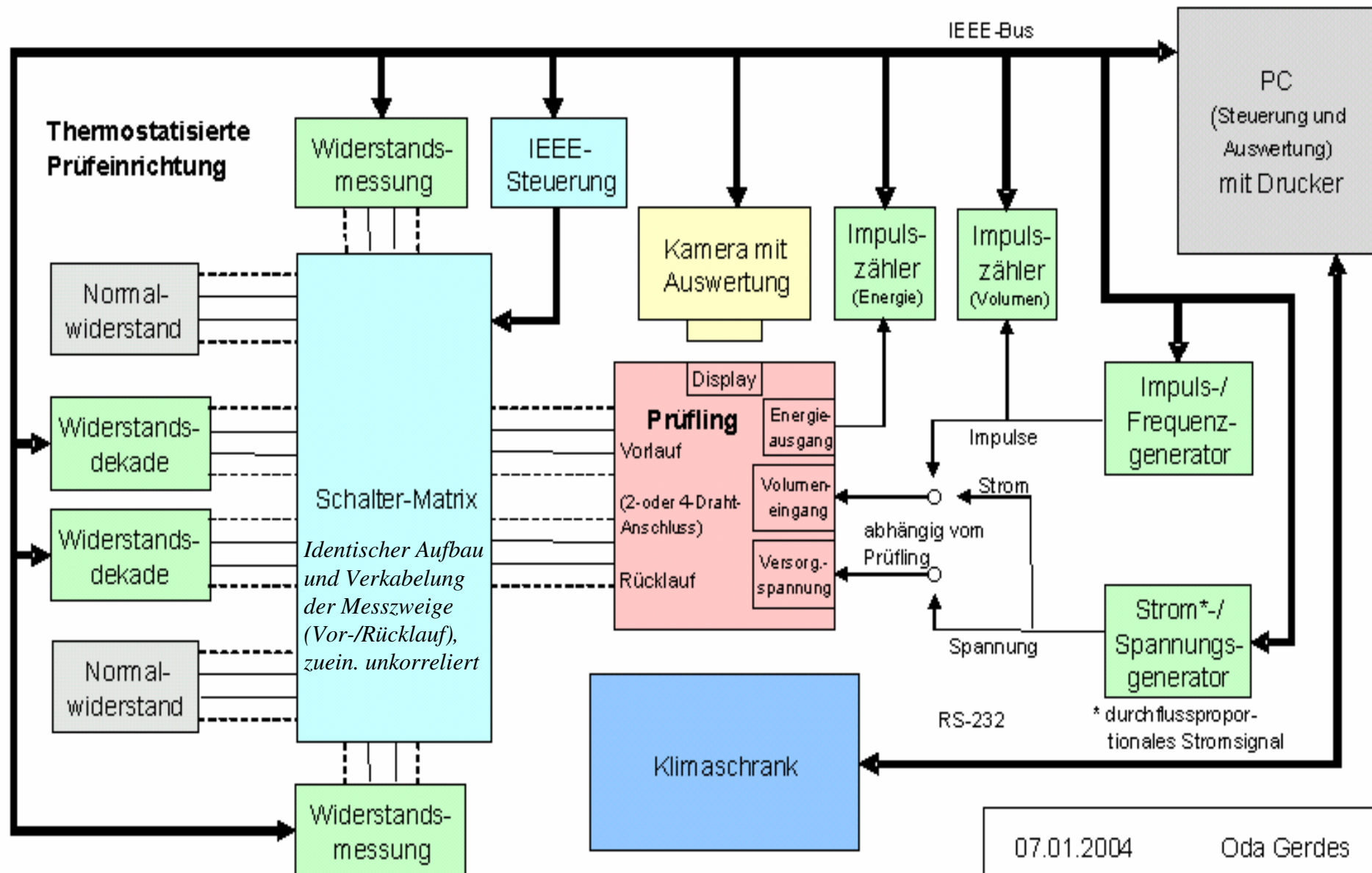
- Wegen im der Prüfbetrieb fehlerfrei abzählbaren ausgegebenen elektrischen Volumenimpulse folgt die Fehlerfreiheit der Volumensimulation,
- wegen der Vorgabe des konventionell wahren K -Faktors und der normativen Temperaturfühlerkonstanten bestimmen nur die Unsicherheiten der zur Temperatursimulation benutzten Vor- und Rücklaufwiderstände die Unsicherheit der simulierten thermischen Energie.

Prüfablauf

→ prüfen: Thermostatisierung der Messeinrichtung, eingeschwungener Zustand

1. Berechnung Prüfpunkt (Temperaturdifferenz $\Delta\Theta$ auf Temperaturniveau $\Theta_{V,R}$)
2. Auswahl Prüfwiderstände $R_{P,V,R}$ gemäß Schritt 1
3. (Re-) Kalibrierung der DMM-Widerstandsanzeigen
4. Messung ausgewählter Prüfwiderstände
5. Berechnung simulierter Temperaturen aus Schritt 4, Prüfg. zul.Toleranz zum Prfpkt.
6. Anschaltung Prüfwiderstände an WZ-Rechenwerk
7. Ausgabe Volumenfortschritt an WZ-Rechenwerk (Impulse)
8. Berechnung Wärmekoeffizient (K -Faktor), Istwert simulierte thermische Energie
9. Auslesung Ergebnis Prüfling, Berechnung Messabweichung WZ-Rechenwerk

Transportable Prüfereinrichtung für Wärmezähler-Rechenwerke / Hardware



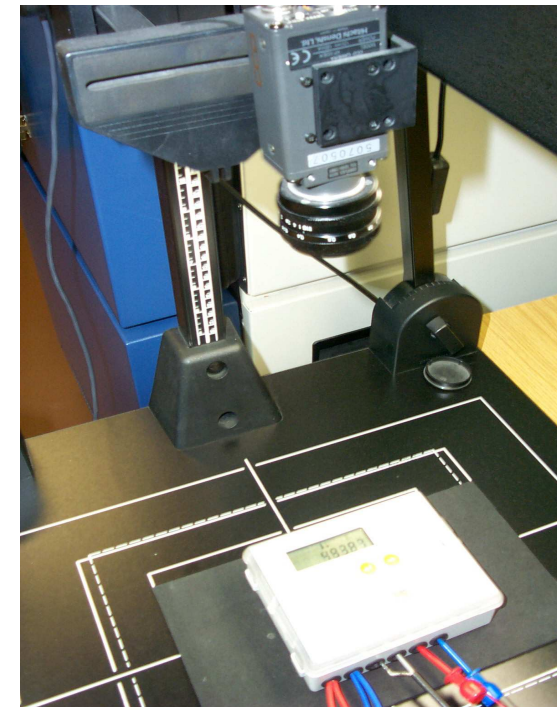


Klimagerät und Regelung

definierte Luftführung im Rollschrank

**Raum für Referenznormale
(verschiedene Testeinbauten)**

HF-Entstörung



Detailansicht Ziffernerkennung
(optional, sep. Auslesekontrolle)

- Gemeinschaftsentwicklung Stein-
beis-Transferzentrum TU Ilmenau
und PTB -

Gesamtansicht

Anforderungen an die Messeinrichtung

- moderne Wärmehähler, minimale Temperaturdifferenz $\Delta\theta_{\min}$: 2 K oder 3 K
- maximal zulässige relative Unsicherheit der Prüfeinrichtung $U_{Q_{\text{soll}},\Delta\theta_{\min},\text{rel}} = 1/5 \cdot E_C = 3 \cdot 10^{-3}$
 E_C : Fehlergrenze, MPE (= 1,5 % bei kritischer $\Delta\theta_{\min}$; Definition: „1/5-Regel“ z. B. nach DIN EN 1434)
- Fehlerfreiheit ausgegebener Volumenimpulse sowie konventionelle Vorgabe des k-Faktors

→ korrespondierende Nennwiderstandsänderung bei Platin-Widerstandstemperaturfühlern

Temperaturdifferenz $\Delta\theta_{\min} = 2 \text{ K}$	\equiv	0,736 Ω Widerstandsänderung für Pt 100 *)
	\equiv	3,86 Ω Widerstandsänderung für Pt 500
	\equiv	7,36 Ω Widerstandsänderung für Pt 1000

*) kleinster Wert im Bereich 198 °C bis 200 °C nach DIN EN 60751 (worst case)

→ Unsicherheiten dazustellender Widerstandsdifferenzen in Abhängigkeit von $\Delta\theta_{\min}$

$\Delta\theta_{\min}$ in K	:	2	3
Unsicherheit in mK	:	6	9
Unsicherheit in m Ω , für			
	Pt 100-Fühler :	2,2	3,3
	Pt 500-Fühler :	11,0	16,6
	Pt 1000-Fühler :	22,1	33,1

Für die Prüfeinrichtung ist zu verifizieren, dass sie den Forderungen zur Unsicherheit bei der Darstellung der Widerstandsdifferenz genügt. Erkennbar müssen *speziell ausgesuchte Messgeräte* zum Einsatz kommen !

Rechenwerkprüfung bei kritischem 2-Leiteranschluss

Darstellung gemessener Prüf Widerstände $R_{SimSoll,V,R}$ entsprechend dem Prüfpunkt ausgewählter Dekadenwiderstände $R_{Dek,R,V}$ (Rückführung auf Temperaturdifferenz)
 - Vorgehensweise für einen Messzweig -

A) Beginn der Messreihe: DMM, Anzeige A_N in 2-Leiter-Anschluss an kalibrierten Widerständen R_N :

$$A_N = \frac{R_N + R_{Umsch.1}}{K_N} \quad \leftarrow \text{Zusatzwiderstand der Hg-Schaltermatrix und Leitungswiderstände zum } R_N, \text{ im Prüfprogramm berücksichtigt}$$

B) Umschalten DMM auf Dekadenwiderstand R_{Dek} , Anzeige A_{Dek} :

$$A_{Dek} = \frac{R_{Dek} + R_{Umsch.2}}{K_N} \quad \leftarrow \text{Zusatzwiderstand der Hg-Schaltermatrix und Leitungswiderstände zum } R_{Dek}, \text{ bedeuten zusätzl. äquivalente Temperaturdarstellung (im Prüfprogramm berücksichtigt)}$$

$$\text{bzw.: } R_{Dek} = A_{Dek} \cdot K_N - R_{Umsch.2}$$

C) Umschalten auf Rechenwerk (RW), temperatursimulierender Widerstand $R_{SimSoll}$:

$$R_{SimQsoll} = R_{Dek} + R_{Umsch.3} \quad \leftarrow \text{Zusatzwiderstand der Hg-Schaltermatrix und Leitungswiderstände von Dekade zum RW (ebenfalls im Prüfprogramm berücksichtigt)}$$

$$\longrightarrow R_{SimQsoll} = A_{Dek} \cdot \frac{R_N + R_{Umsch.1}}{A_N} - R_{Umsch.2} + R_{Umsch.3}$$

Messzweige Vor- und Rücklauf nach identischem Formelapparat,
 gleichzeitige Anschaltung: Darstellung simulierter Temperaturdifferenz auf definiertem Niveau

Einflussgrößen auf die Messunsicherheit, Beiträge

- Unsicherheit der zur DMM-Kalibrierung benutzten Widerstände $R_{N,t}$ (abhängig von der Zeit t)
 - Temperaturkoeffizienten der Widerstände $R_{N,\vartheta}$ (abhängig von Temperaturänderungen ϑ , Verringerung durch Thermostatisierung)
 - Unsicherheit der Anzeigen der DMM $A_{N,t}$ (abhängig von der Zeit t)
 - Temperaturkoeffizienten der Anzeigen der DMM $A_{N,\vartheta}$ (abhängig von Temperaturänderungen ϑ , Verringerung durch Thermostatisierung)
 - Linearitätsabweichung der Anzeigen der DMM $A_{N,Lin}$ (im relev. Bereich)
 - Unsicherheit der Widerstandsdekaden $R_{Dek,t}$ (einschließlich Stabilität interner Relais, abhängig von der Prüfzeit t , für Rechenwerke 15 s ... 20 min)
 - Temperaturkoeffizienten der Widerstandsdekaden $R_{Dek,\vartheta}$ (abhängig von Temperaturänderungen ϑ , Verringerung durch Thermostatisierung)
 - Unsicherheit der Umschaltwiderstände $R_{Umsch.2-Leiter,t}$ (Schaltermatrix, thermospannungsfreie Hg-Relaispfade, abhängig von der Zeit t)
- *unabhängige Messungen, zuständiges PTB-Fachlabor, thermostatisierter und geschirmter Aufbau der Messeinrichtung*
- *Feststellung weiterer Beiträge durch Langzeitdriften: zunächst kurze Re-Kalibrierfristen, Historie erfassen*

Anmerkungen zur Standardunsicherheit des Verhältnisses K_N der angezeigten Widerstandswerte

- Messung R_N (Referenzen) und Messung R_{Dek} erfolgt durch das selbe DMM (Substitutionsmethode), d. h. Unsicherheitsbeiträge sind zunächst *korreliert*
- Aber:
Zu kalibrierende Widerstände R_{Dek} (Prüfdekaden) $\approx R_N$ (Auswahlreihe R_N)
→ Verringerung des Unsicherheitsbeitrages, da Verhältnis der Widerstände auftritt, nur Berücksichtigung systematischer Effekte wie Störspannungen wegen relativer Differenzbildung zwischen A_N und A_{dek}

Folglich:

- *Korrelierte Beiträge* der systematischen Effekte aus der Kalibrierung des DMM besitzen keinen Einfluss auf das Ergebnis:
Standardunsicherheit des Korrektionsfaktors r_C (lineare Näherung in den Abweichungen) wird allein durch *unkorrelierte* Beiträge, durch Störeffekte des DMM bestimmt.
(lineare Näherung in den Abweichungen zwischen A_N und A_{Dek} , vergl. DKD-3-E1)

Ableitung der Unsicherheit

- kombinierte Varianz für temperatursimulierenden Widerstand, ein Messzweig, 2-Leiter

$$\begin{aligned}
 u_c^2(R_{Sim\theta_{soll}}) = & \left(\frac{\partial R_{Sim\theta_{soll}}}{\partial R_{N,t}} \right)^2 \cdot u^2(R_{N,t}) + \left(\frac{\partial R_{Sim\theta_{soll}}}{\partial R_{N,\vartheta}} \right)^2 \cdot u^2(R_{N,\vartheta}) + \left(\frac{\partial R_{Sim\theta_{soll}}}{\partial A_{N,t}} \right)^2 \cdot u^2(A_{N,t}) \\
 & + \left(\frac{\partial R_{Sim\theta_{soll}}}{\partial A_{N,\vartheta}} \right)^2 \cdot u^2(A_{N,\vartheta}) + \left(\frac{\partial R_{Sim\theta_{soll}}}{\partial A_{N,Lin}} \right)^2 \cdot u^2(A_{N,Lin}) \\
 & + \left(\frac{\partial R_{Sim\theta_{soll}}}{\partial R_{Dek,t}} \right)^2 \cdot u^2(R_{Dek,t}) + \left(\frac{\partial R_{Sim\theta_{soll}}}{\partial R_{Dek,\vartheta}} \right)^2 \cdot u^2(R_{Dek,\vartheta}) \\
 & + \left(\frac{\partial R_{Sim\theta_{soll}}}{\partial R_{Umsch.1,t}} \right)^2 \cdot u^2(R_{Umsch.1,t}) + \left(\frac{\partial R_{Sim\theta_{soll}}}{\partial R_{Umsch.2,t}} \right)^2 \cdot u^2(R_{Umsch.2,t}) + \left(\frac{\partial R_{Sim\theta_{soll}}}{\partial R_{Umsch.3,t}} \right)^2 \cdot u^2(R_{Umsch.3,t})
 \end{aligned}$$

- Bildung partieller Ableitungen der Eingangsgrößen nach ihren jeweiligen Einflussgrößen (Modellgleichung), Bestimmung der Einzelstandardunsicherheiten der Teilkomponenten
 → Sensitivitätskoeffizienten $c_i \cong |1|$, unabhängige Messungen, Varianzkette
- Völlige Baugleichheit und funktionelle Unabhängigkeit der Vor- und Rücklaufzweige
 → Unsicherheit der Widerstandsdifferenz durch Multiplikation der Unsicherheit eines Zweiges mit dem Faktor $\sqrt{2}$ → erweiterte Messunsicherheit (k=2)

Schutz der Messeinrichtung

EMV-Einstrahlung aus Stromversorgung und Umgebung

- Um die Messgeräte vor EM-Störgrößen zu schützen, sind sie in einem geerdeten **Stahlschrank** untergebracht.
- Vor Leitungsstörungen schützen **Überspannungsschutz**, **Netzfilter** sowie die galvanische Trennung durch einen separat geschirmt/geerdeten und separat angeordneten **Trenntransformator**.

Temperaturschwankungen am Einbauort der Messgeräte

- Um sowohl die Digitalmultimeter als auch die Normalwiderstände in ihrem für die Kalibrierung betrachteten Bereich zu betreiben wurde der Schrank zur Aufnahme der Geräte mit einem Kühlgerät zur **Thermostatisierung** ausgestattet
(Temperaturniveau 23 °C, Temperaturschwankung < 1K)

Messunsicherheitsbudget (Rechenwerke mit Pt 100-Temperaturfühlern, Normalwiderstände) 1.10.04

Eingangsgröße, Einflussgröße	Standardmess- unsicherheit in Ω	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheits- beitrag in Ω
$\delta R_{N,t}$ Normalwiderstand, Serie Cropico Ltd., Nr. 51435 PTB-Kalibrierscheine, Kalibrierhistorie, Drift	$1 \cdot 10^{-6}$	Rechteck	0,9	$9 \cdot 10^{-7}$
$\delta R_{N,\vartheta}$ Kalibrierung im Temperaturbereich $(23 \pm 0,5)^\circ\text{C}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	Normal	0,9	$1,89 \cdot 10^{-6}$
$\delta A_{N,t}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$2,83 \cdot 10^{-6}$	Normal	-0,9	$-2,55 \cdot 10^{-6}$
$\delta A_{N,\vartheta}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$5,19 \cdot 10^{-6}$	Normal	-0,9	$-4,67 \cdot 10^{-6}$
$\delta A_{N,Lin}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$1,17 \cdot 10^{-4}$	Rechteck	-0,9	$-1,05 \cdot 10^{-4}$
$\delta R_{Dek,t}$ Anwahl von Neuwerten, emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$1,27 \cdot 10^{-5}$	Normal	1	$1,27 \cdot 10^{-5}$
$\delta R_{Dek,\vartheta}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$2,54 \cdot 10^{-6}$	Normal	1	$2,54 \cdot 10^{-6}$
$\delta R_{Umsch.1,t}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$3,76 \cdot 10^{-5}$	Normal	0,9	$3,38 \cdot 10^{-5}$
$\delta R_{Umsch.2,t}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$6,44 \cdot 10^{-5}$	Normal	-1	$-6,44 \cdot 10^{-5}$
$\delta R_{Umsch.3,t}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$4,34 \cdot 10^{-5}$	Normal	1	$4,34 \cdot 10^{-5}$
Messunsicherheit multipliziert mit $\sqrt{2}$ zur Widerstands-Differenz Darstellung (ΔR)	$1,92 \cdot 10^{-4}$			
erweiterte Messunsicherheit (k = 2) erweiterte relative Messunsicherheit für Prüfung bei $\Delta\theta_{\min} = 2 \text{ K}$	$3,84 \cdot 10^{-4} \Omega$ $5,2 \cdot 10^{-4}$	Ergebnis: Forderung zur Einhaltung der Messunsicherheit $U_{Qsoll, \Delta\theta_{\min,rel}} = 3 \cdot 10^{-3}$ wird eingehalten.		

Widerstände Vishay Typ VHA 512 incl. IPT

Bulk Metal Foil Widerstände

Vorteile: einfache **Handhabbarkeit** und Möglichkeiten für separate Thermostatisierung und HF-Abschirmung,

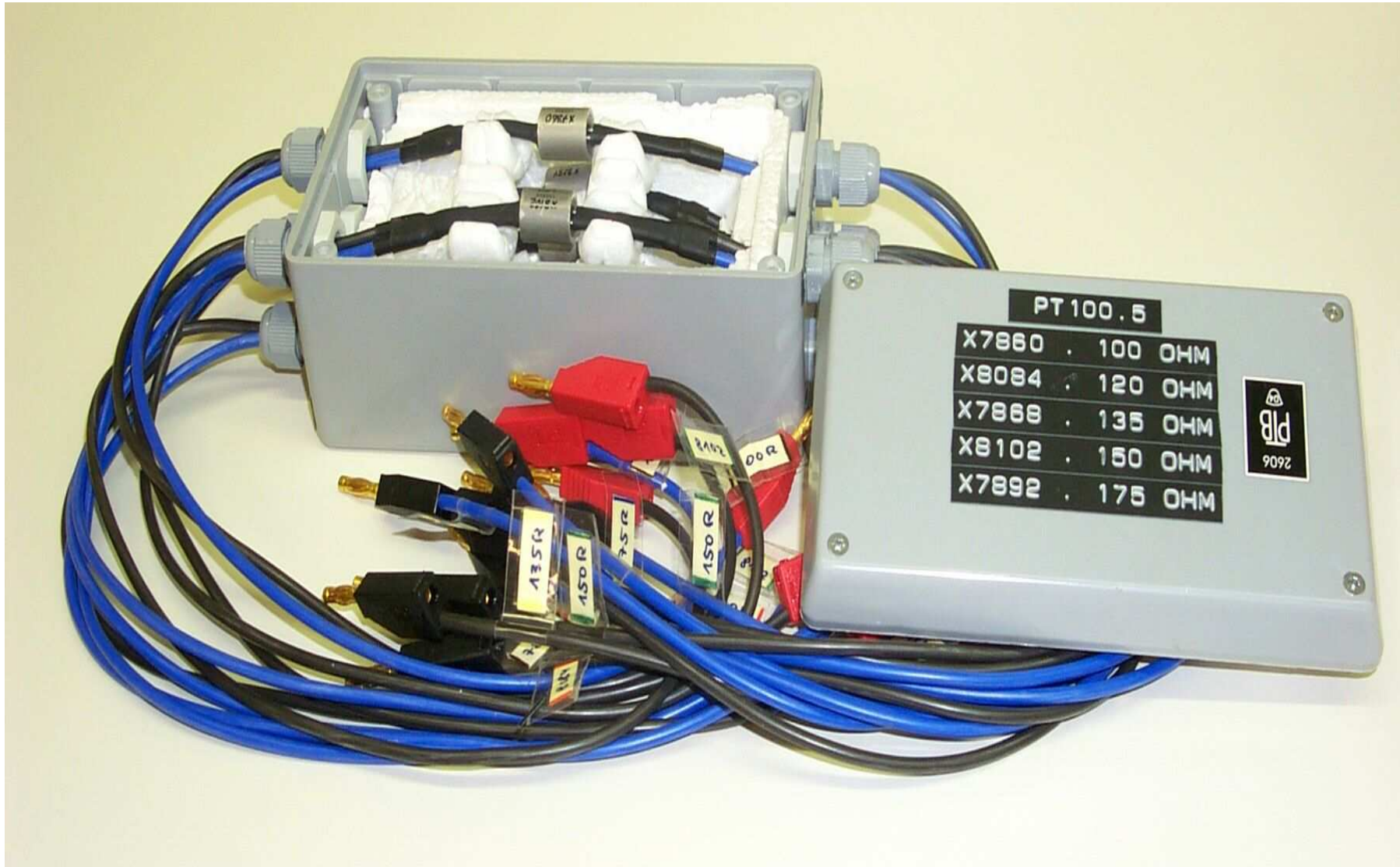
Seriengrößen lieferbar (Ermittlung der Offset- u. Linearitätsabweichung der DMM im Prüfbereich),

Bsp. Simulation Pt 100, Anschluss kalibrierter Widerstände, Auswahlreihe 100 Ω ; 120 Ω ; 135 Ω ; 150 Ω ; 175 Ω , Regressionsanalyse, rel. geringer Preis/Stück

Nachteile: Unsicherheitswerte (Maximalwerte nach Herstellerangaben):

- **Nominaler Temperaturkoeffizient:**
bei Ausführung ohne „burn-in“ 135 Ω , max. $\pm 0,27$ m Ω ($23 \pm 1,5$) $^{\circ}\text{C}$
 - **Stabilität:**
bei Ausführung ohne „burn-in“ 135 Ω , max. $\pm 1,17$ m Ω (1 Jahr)
- beziehbare Varianten mit “burn-in” (Bez. IPT-improved performance testing), keine Unsicherheitsangaben vom Hersteller, Sonderanfertigungen
- **Verwendbarkeit** (Unsicherheiten, TK, Langzeit-Stabilität) muss geprüft werden, Re-Kalibrierintervalle, Kenntnisgewinnung, in Abstimmung Hersteller / PTB

Separat abgeschirmte Vishay-Widerstände in therm. isolierter und thermost. Box, eingebracht im thermostatisierten Gesamtaufbau (abgestimmte Testvariante zum praktikablen Wechsel für häufige Re-Kalibrierungen)



Messunsicherheitsbudget (Rechenwerke mit Pt 100-Temperaturfühlern, Vishay-Widerstände) 1.10.04

Eingangsgröße, Einflussgröße	Standardmess- unsicherheit in Ω	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheits- beitrag in Ω
$\delta R_{N,t}$ schlechtester Wert (Hersteller) 1Jahr,ohne "burn-in", (derzeit Messungen PTB-Fachlab.,mit "burn-in")	$6,75 \cdot 10^{-4}$	Rechteck	0,9	$6,08 \cdot 10^{-4}$
$\delta R_{N,\vartheta}$ Fehlergrenzen im Temperaturbereich $(23 \pm 1,5) ^\circ\text{C}$, (derzeit Messungen bei $(23 \pm 0,01)^\circ\text{C}$,mit "b.-in")	$1,57 \cdot 10^{-4}$	Rechteck	0,9	$1,41 \cdot 10^{-4}$
$\delta A_{N,t}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$2,83 \cdot 10^{-6}$	Normal	-0,9	$-2,55 \cdot 10^{-6}$
$\delta A_{N,\vartheta}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$5,19 \cdot 10^{-6}$	Normal	-0,9	$-4,67 \cdot 10^{-6}$
$\delta A_{N,Lin}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$1,17 \cdot 10^{-4}$	Rechteck	-0,9	$-1,05 \cdot 10^{-5}$
$\delta R_{Dek,t}$ Anwahl von Neuwerten, emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$1,27 \cdot 10^{-5}$	Normal	1	$1,27 \cdot 10^{-5}$
$\delta R_{Dek,\vartheta}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$2,54 \cdot 10^{-6}$	Normal	1	$2,54 \cdot 10^{-6}$
$\delta R_{Umsch.1,t}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$3,76 \cdot 10^{-5}$	Normal	0,9	$3,38 \cdot 10^{-5}$
$\delta R_{Umsch.2,t}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$6,44 \cdot 10^{-5}$	Normal	-1	$-6,44 \cdot 10^{-5}$
$\delta R_{Umsch.3,t}$ emp.unter Bedingungen vom thermost. Prüfschrank	$4,34 \cdot 10^{-5}$	Normal	1	$4,34 \cdot 10^{-5}$
Messunsicherheit multipliziert mit $\sqrt{2}$ zur Widerstands-Differenz Darstellung (ΔR)	$8,91 \cdot 10^{-4}$			
erweiterte Messunsicherheit (k = 2) erweiterte relative Messunsicherheit für Prüfung bei $\Delta\theta_{min} = 2 \text{ K}$	$1,78 \cdot 10^{-3} \Omega$ $2,4 \cdot 10^{-3}$	Ergebnis: Forderung zur Einhaltung der Messunsicherheit $U_{Qsoll, \Delta\theta_{min,rel}} = 3 \cdot 10^{-3}$ wird eingehalten.		

Zusammenfassung und Ausblick

Elektrische Simulation thermischer Energie



- Leistungsbereich 13,6 W bis 236.000 kW, Temperaturbereich 1 °C bis 200 °C, Temperaturdifferenzbereich 2 K bis 200 K, Durchflussbereich 6 l/h bis 1000 m³/h
 - messtechnische Untersuchungen im Umgebungstemperaturbereich 16 °C bis 30 °C, z. B. bei Prüfstellenbegutachtungen, Skalenübertragung in Verfahren zur Konformitätsanerkennung von Wärme- und Klimakältezählern nach nationaler Umsetzung der MID (11/2006)
 - wahlfreie bildverarbeitungsgestützte Displayauslesungen und Anschaltungen von Prüfinterfaces
 - automatische messzyklische Kalibrierung zur Einhaltung normativer Qualitätsforderungen, bei kritischer Temperaturdifferenz 2 K, Einhaltung der Forderung zur Unsicherheit, (derzeit klassische Normalwiderstände, geschl. Aufbau)
- weitere Untersuchungen zur Verwendbarkeit von Vishay-Widerständen als „on-board-Normale“, Rekalibrierungen des Gesamtaufbaus für Pt 100 – Pt 10000,
- EMV-Untersuchungen (Nachweis der Störfestigkeit, EM-HF Feld ≥ 3 V/m)
- d. h. umfassende Prüfung auf Eignung als Transferstandard



PTB

Ingenieurgrundsatz

Die Messeinrichtungen müssen bezahlbar bleiben, *so genau wie nötig* messen, nicht wie möglich.

*Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit.*