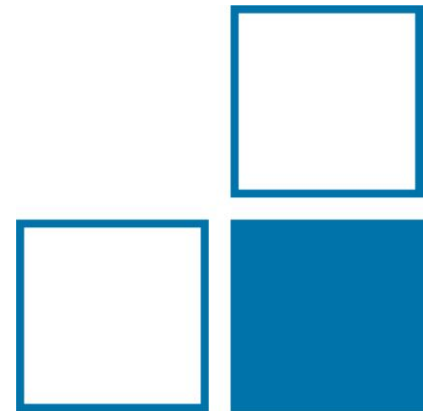


Kalibriermöglichkeiten für hohe Gleichspannungen bis 800 kV

Julian Hahne



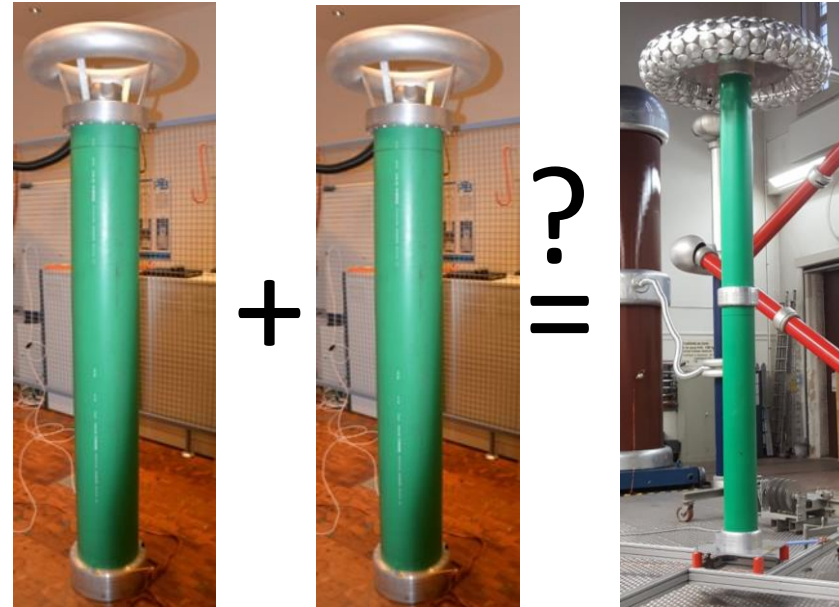
- Einleitung
- Kalibrierverfahren
- Messergebnisse und Messunsicherheit
- Zusammenfassung und Ausblick

- Anstieg der Übertragungsspannungen
→HGÜ
- Messung über Spannungsteilern
- PTB: Bewahrung + Weitergabe der Einheiten
- Bisher kein Normal über 300 kV
- PT800 kalibrierbar ohne bis 800 kV zu messen?



Kalibrierverfahren

- Zerlegung in Einzelmodule
- Kalibrierung der Einzelmodule
- Rechnerische Überlagerung der Einzelmodule
- Verifizierung im schwedischen Metrologie-Institut RISE



- Maßstabsfaktor M eines Teilers

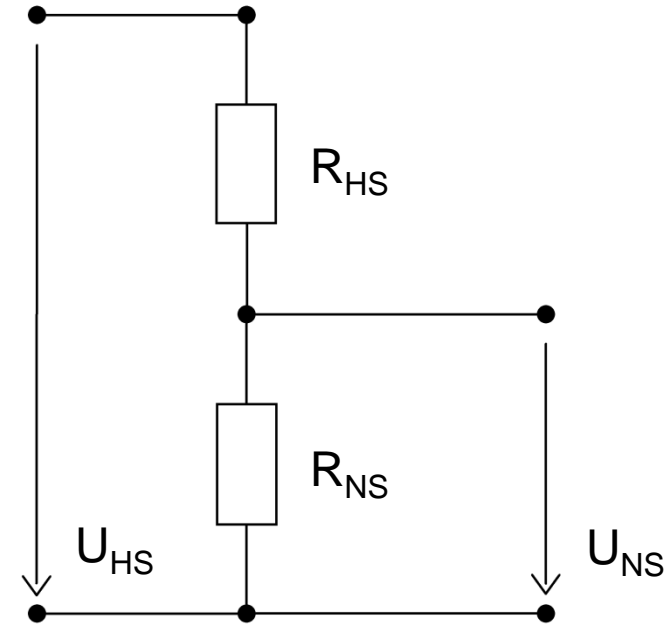
$$M = \frac{U_{HS}}{U_{NS}}$$

- Vergleich von zwei Teilern

$$\frac{M_P}{M_R} = \frac{U_{NS,R}}{U_{NS,P}}$$

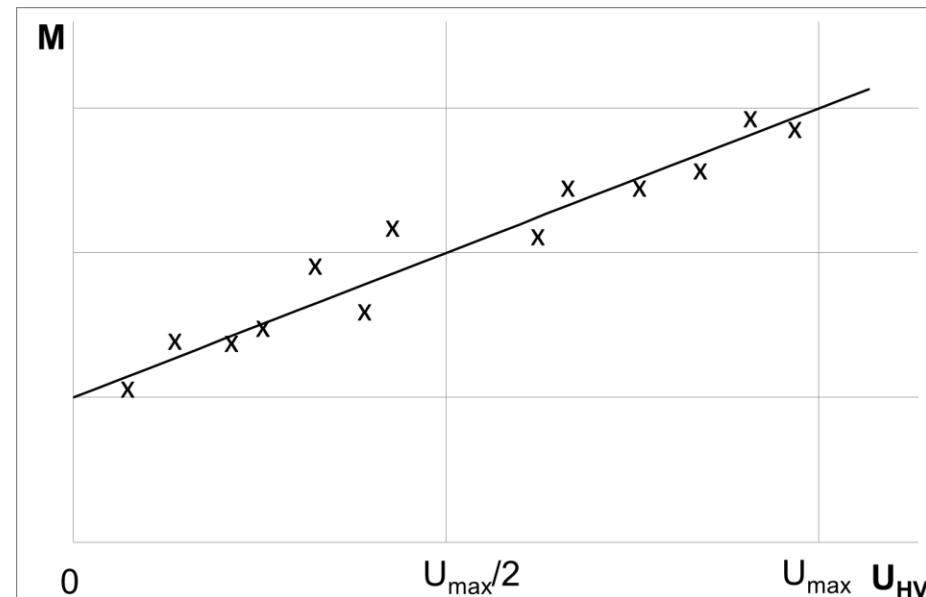
- Modellfunktion

$$M_P = \frac{U_{NS,R}}{U_{NS,P}} M_R$$



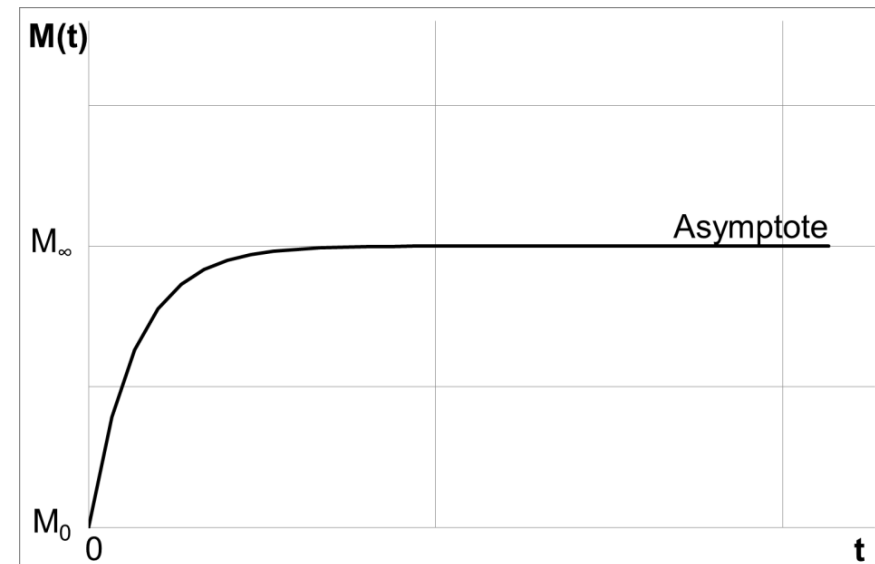
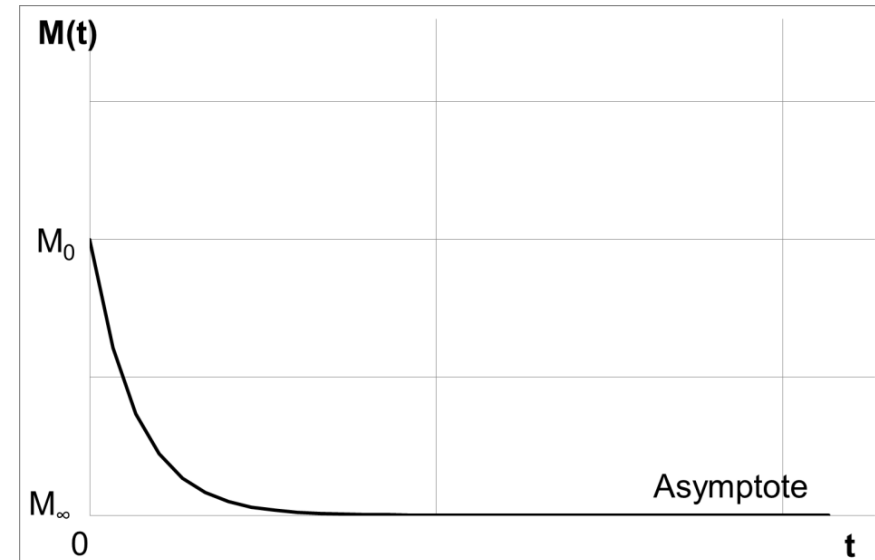
M_P : Maßstabsfaktor Prüfteiler
 M_R : Maßstabsfaktor Referenzteiler
 $U_{NS,P}$: Niederspannung am Prüfteiler
 $U_{NS,R}$: Niederspannung am Referenzteiler

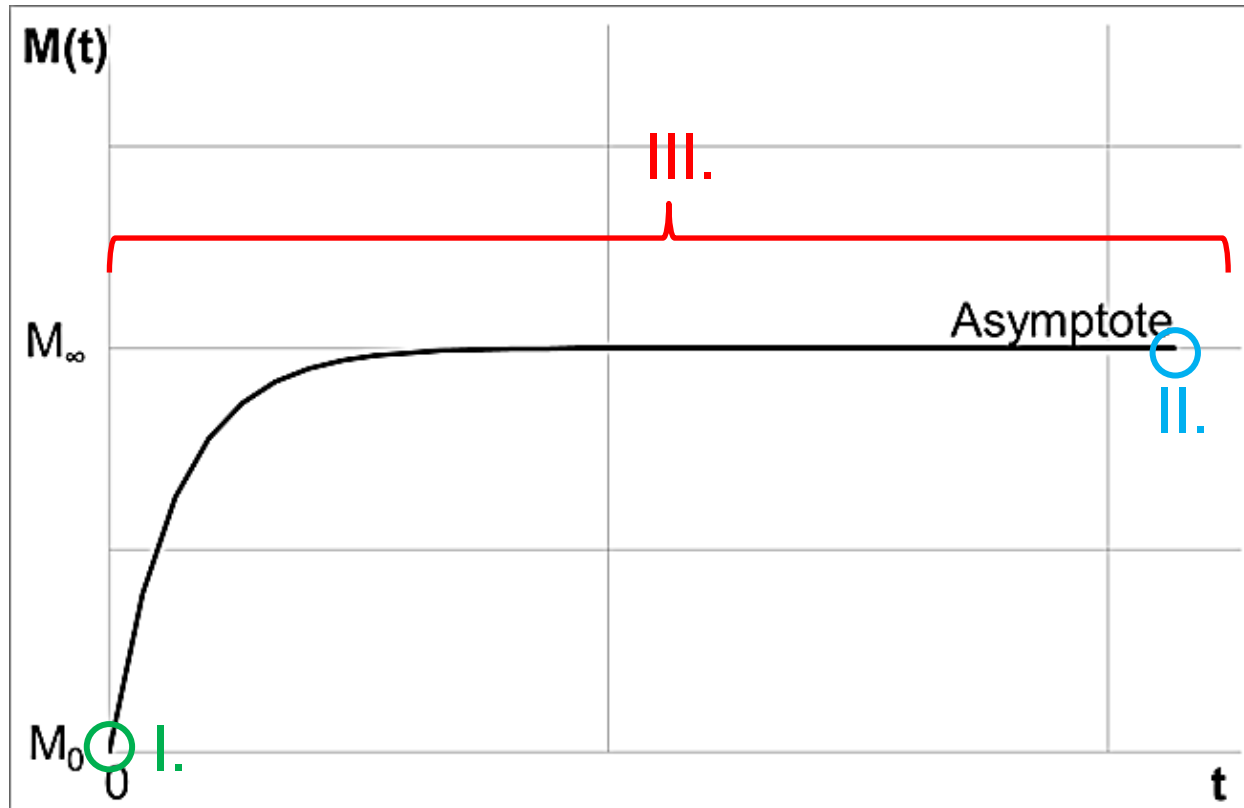
- Maßstabsfaktor spannungsabhängig
- Kurzzeitige Spannungsbelastung
- Maßstabsfaktor steigt mit Spannung
- Ideal: Gerade
- Unsicherheit aus Geradensteigung



- Maßstabsfaktor temperaturabhängig
- Spannungsbelastung über längeren Zeitraum
- Änderung Maßstabsfaktor aufgrund Eigenerwärmung
- Ideal: exponentieller Einlauf

→ 3 mögliche Zustände





I. keine Eigenerwärmung

II. vollständig Eingelaufen

III. unbekannter Erwärmungszustand

- Messung Maßstabsfaktor + Messunsicherheit bei 200 kV
- Messung Linearität bis 200 kV
- Annahme Linearität gültig bis 400 kV
- Messung Stabilität bei 75, 100, 150 und 200 kV
- Addition der Maßstabsfaktoren → Maßstabsfaktor des Gesamtteilers



- Typ-A: gemessene Niederspannungen
- Typ-B: Referenzteiler, Digitalvoltmeter
- Linearität, Stabilität
- Außerdem:
 - Polarität
 - Langzeitstabilität
 - Raumtemperatur

Rückführungskette

Josephson-Normal



Referenz-Quelle



10 V

Digitalvoltmeter



Referenz-Teiler



1 kV

Normal-Teiler



100 kV

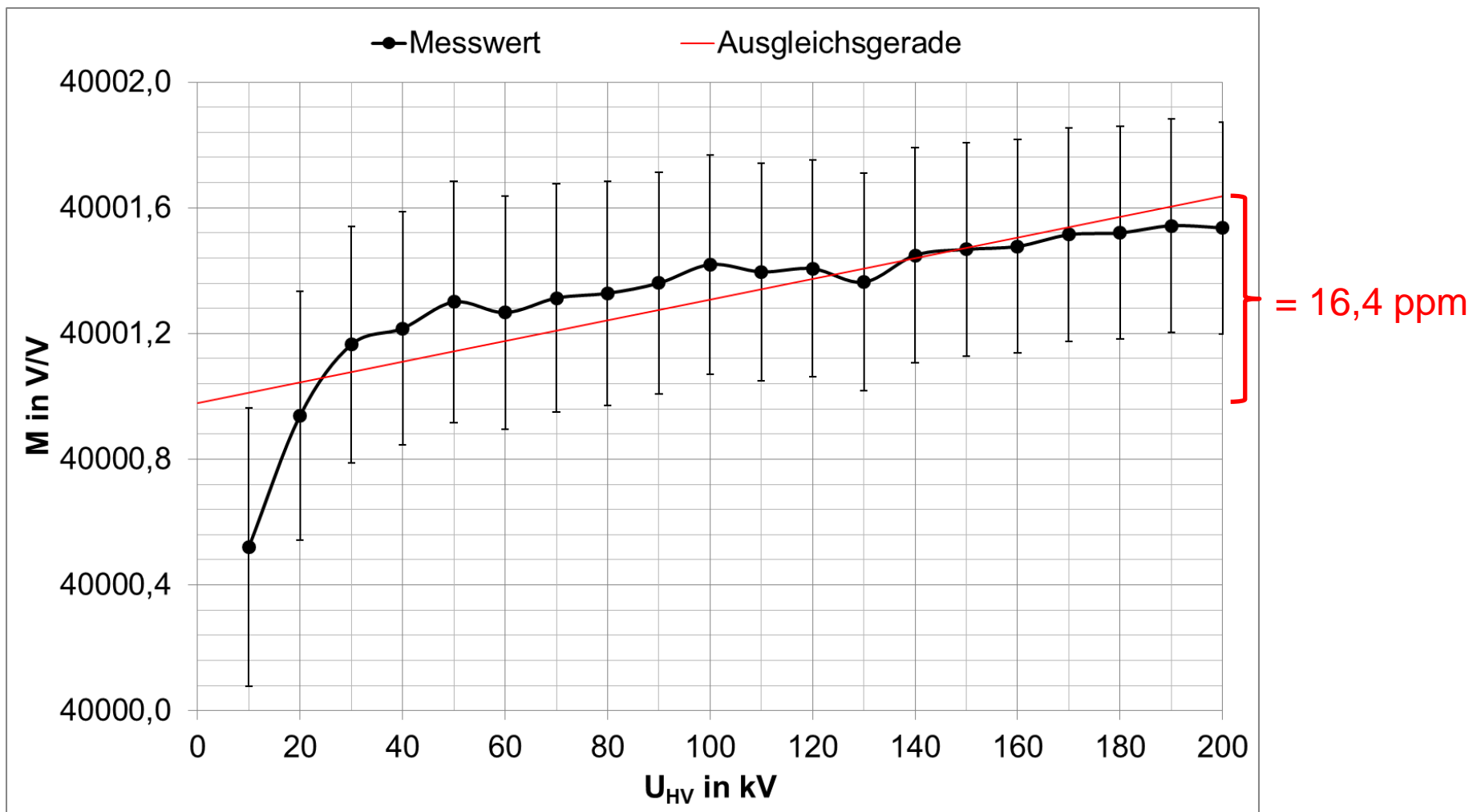
Prüfteiler



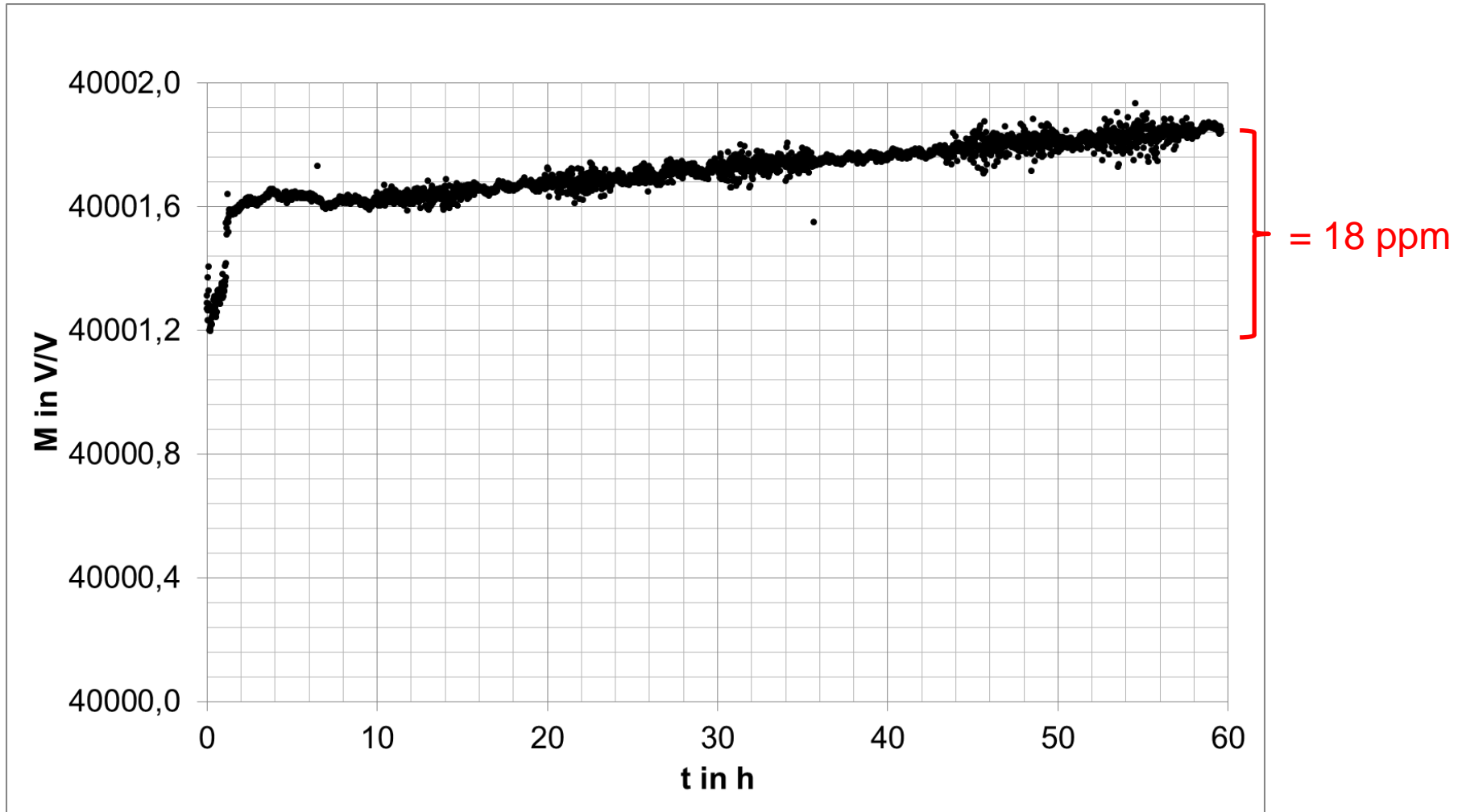
bis 800 kV



Linearität PT400.1



Stabilität PT400.1 bei 200 kV



Messunsicherheitsbudget PT400

Unsicherheitsbeitrag (k=2) in ppm	PT400.1	PT400.2
Referenzteiler	8,1	8,1
Typ-A bei positiver Spannung	0,3	0,5
Typ-A bei negativer Spannung	0,3	0,5
Messgerät Prüfling	1,8	1,8
Messgerät Referenz	1,5	2,6
Polarität	0	0
Linearität	16,4	2,2
Stabilität	18	10

kombinierte Messunsicherheit (k=2) in ppm	PT400.1	PT400.2
keine Eigenerwärmung	24	11
vollständig Eingelaufen	24	11
unbekannter Erwärmungszustand	33	16

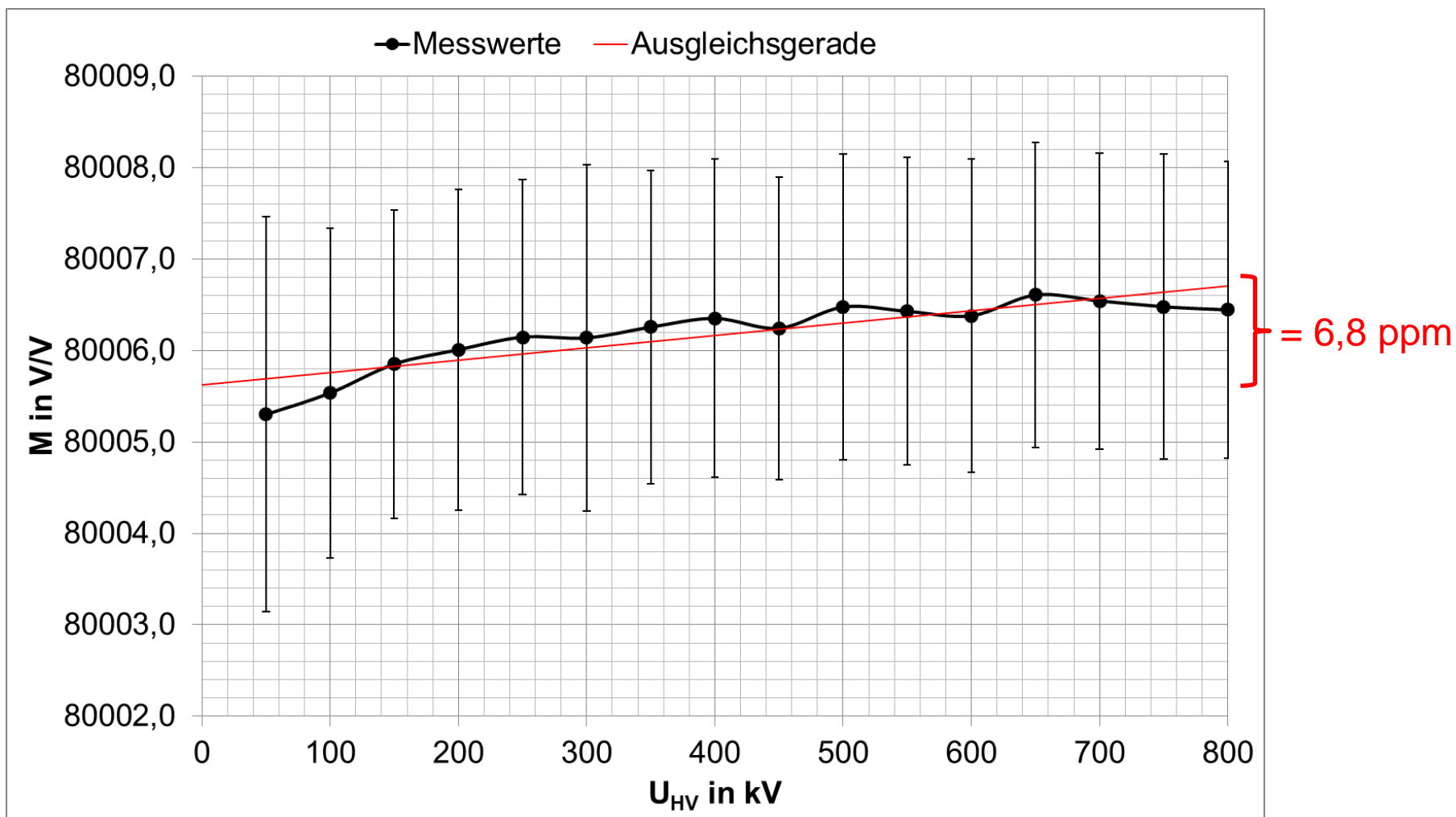
Abschätzung des Maßstabsfaktors PT800

$$M_{PT800} = M_{PT400.1} + \frac{R_{NS2}}{R_{NS1}} (M_{PT400.2} - 1)$$

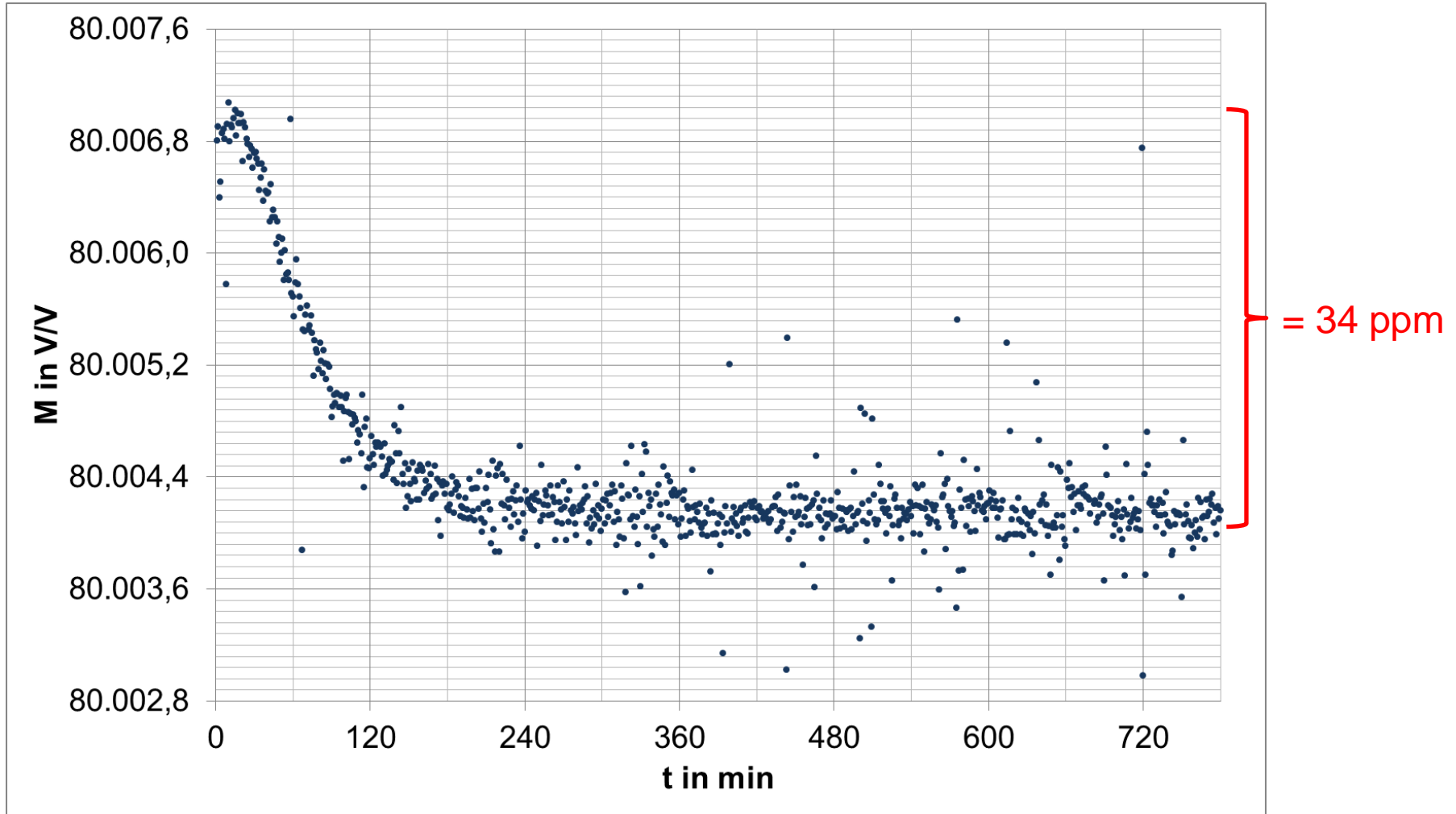
kombinierte Messunsicherheit (k=2) in ppm	PT800
keine Eigenerwärmung	13
vollständig Eingelaufen	13
unbekannter Erwärmungszustand	20

Für $T_{\text{Raum}} = 23 \pm 1 \text{ °C}$ und $U = 0$ bis 800 kV





Stabilität PT800 bei 800 kV

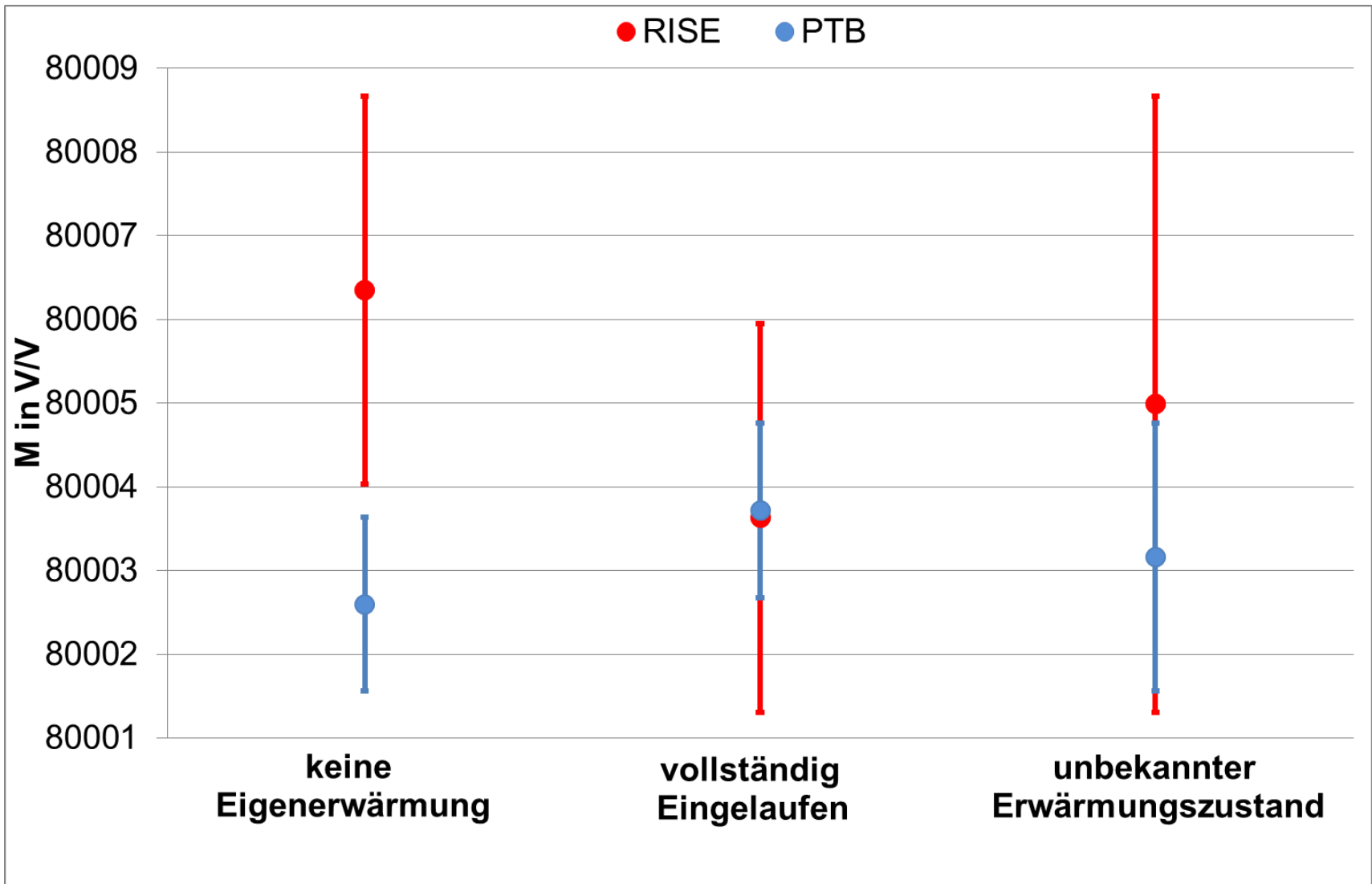


Messunsicherheitsbudget PT800

Unsicherheitsbeitrag (k=2) in ppm	PT800
Referenzteiler	20
Typ-A bei positiver Spannung	1,6
Typ-A bei negativer Spannung	1,7
Messgerät Prüfling	1,8
Messgerät Referenz	1,8
Polarität	7,8
Linearität	6,8
Stabilität	34

kombinierte Messunsicherheit (k=2) in ppm	PT800
keine Eigenerwärmung	29
vollständig Eingelaufen	29
unbekannter Erwärmungszustand	46

Vergleich RISE - PTB



- Verfahren zur Kalibrierung des PT800 möglich
- Ergebnisse im RISE teilweise bestätigt
- Unsicherheit PT800 ≥ 20 ppm
- Wiederholung der Kalibrierung zur Verifizierung
- Weitere Vergleichsmessung mit 800 kV Normal zur Bestätigung
- Überprüfung der Langzeitstabilität



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

Dr.-ing. Johann Meisner

Telefon: 0531 592-2320

E-Mail: johann.meisner@ptb.de

www.ptb.de



Stand: 10/13

1. Modellfunktion aufstellen

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

2. Unsicherheiten $u(x_i)$ der Eingangsgrößen x_i ermitteln

- Typ-A: aus Standardabweichung der Messung
- Typ-B: aus Datenblättern, Kalibrierscheinen....

3. Beigeordnete Messunsicherheit bestimmen

$$u_i = u(x_i) \frac{\delta f}{\delta x_i}$$

4. Kombinierte Messunsicherheit

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_i (u_i)^2}$$

5. Erweiterte Messunsicherheit

$$U = k u_c(y)$$

6. Messergebnis

$$Y = y \pm U = y(1 \pm \varepsilon)$$