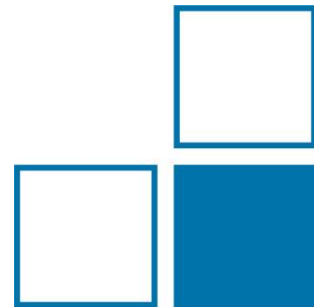














Aufbau eines automatisierten Messplatzes für DMS-Brückennormal-Kalibrierungen

Axel Kölling, Florian Beug, Harald Moser, Michael Hinz,
Gerhard Muchow

316. PTB Seminar „Aktuelle Fortschritte von Kalibrierverfahren im
Nieder- und Hochfrequenzbereich“ am 3. September 2020



-  **Einleitung / Motivation**
-  **Erfahrung mit der Automatisierung von Induktivteilern**
-  **Aufbau des automatisierten Brückennormal-Messplatzes**
-  **Vergleichsmessungen manueller / automatisierter Messplatz**
-  **Einfluss der Automatisierung auf die Kalibrierkosten**
-  **Zusammenfassung / Ausblick**

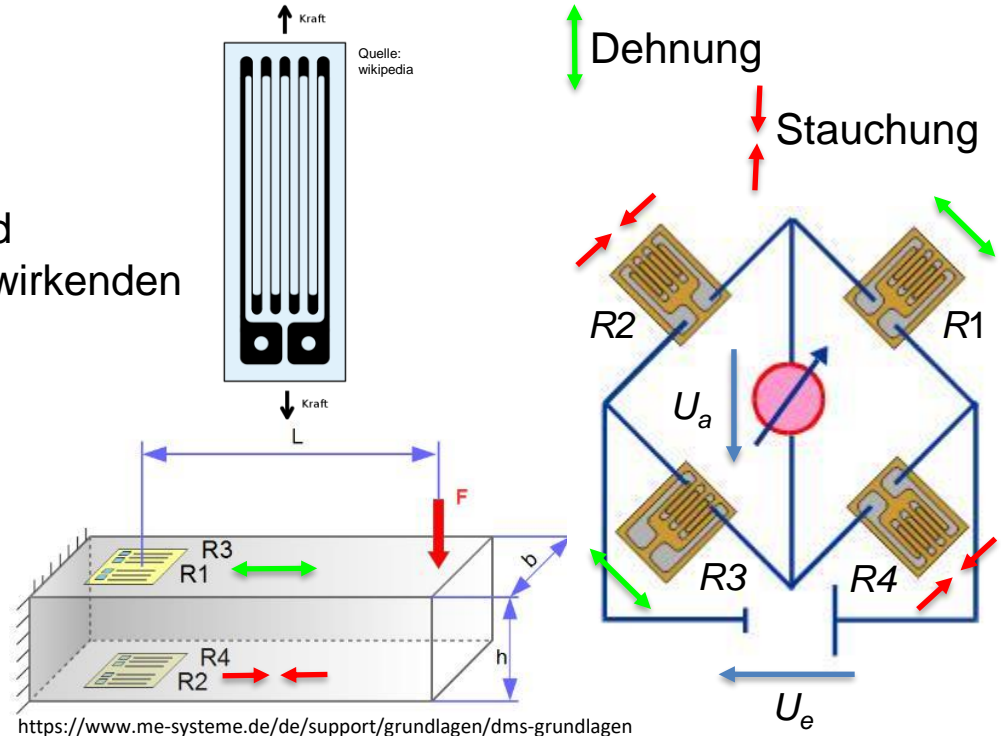
-  **Einleitung / Motivation**
-  Erfahrung mit der Automatisierung von Induktivteilern
-  Aufbau des automatisierten Brückennormal-Messplatzes
-  Vergleichsmessungen manueller / automatisierter Messplatz
-  Einfluss der Automatisierung auf die Kalibrierkosten
-  Zusammenfassung / Ausblick

• Kraftmessung mit DMS

DMS - DehnungsMessStreifen

Sensor zur Kraftmessung

- Mäanderförmiger Widerstandsdraht, Widerstandsänderung durch Längen- und Querschnittsänderung auf Grund der einwirkenden Kraft
- Beispiel: Biegestab mit vier DMS
- Präzisionsmessungen mittels als Wheatstonebrücke geschaltete vier DMS (Vollbrücke), Messverstärker speist die Brücke, misst die Differenzspannung und bildet das Verhältnis



- Rückführung der Messgröße mV/V

Messgröße: Spannungsverhältnis U_a / U_e in mV/V

Rückführung: DMS-Brückennormale oder Kalibriergeräte (BN100A, K148, etc.)



Quelle: <https://www.hbm.com/de/2315/precision-amplifiers-and-calibration-instruments/>

Einleitung

• Kalibrierung von DMS-Brückennormalen in der PTB

Messgröße:

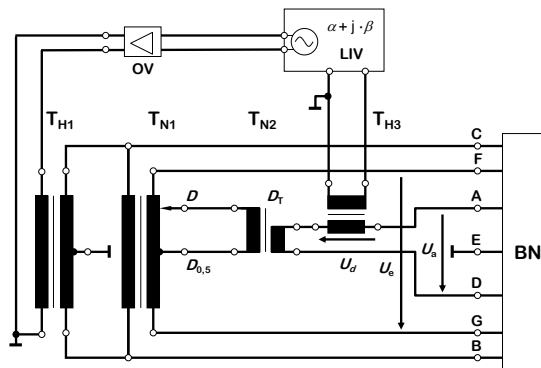
AC-Spannungsverhältnis mV/V

T_{N1} (8-dekadischer Normalteiler)

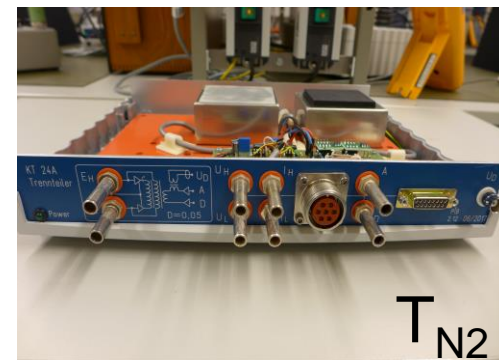
T_{N2} (1/20 Trennteiler mit integriertem Trenntrafo T_{H3})

Auflösung von 2×10^{-10} V/V

Messunsicherheit 1×10^{-8} V/V



T_{N1}



T_{N2}

• Gründe für die Automatisierung von Kalibrierungen

- Hohes und weiter ansteigendes Kalibrieraufkommen (Bsp. Auftrag 500 Messpunkte, reine Messzeit ca. 70 h)
- Hohe physische Belastung (50000 Schalterrastungen bei einer Kalibrierung), monotone Arbeit
- zweiter unabhängiger Messplatz: ermöglicht Vergleichsmessungen und legt bisher unbekannte systematische Einflüsse auf das Messergebnis offen!

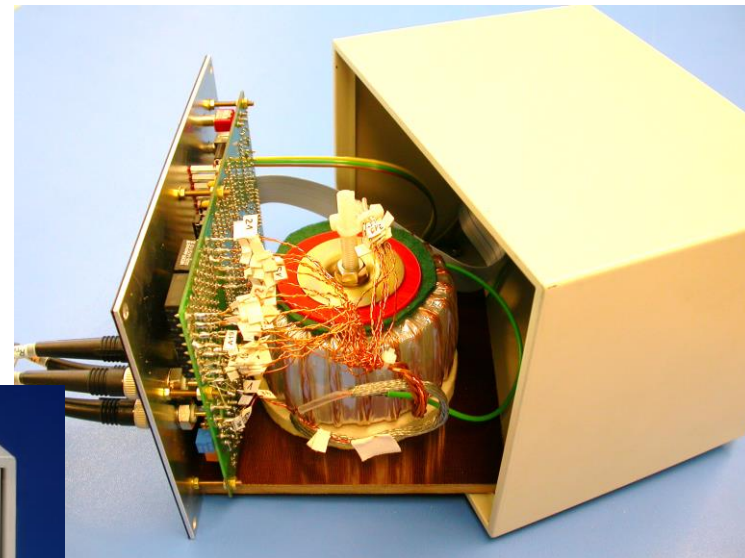
• Voraussetzung für die Automatisierung

- Keine Verschlechterung bei der Messunsicherheit
- Vertretbarer Entwicklungsaufwand? (zeitlich, finanziell)
- Technische Umsetzbarkeit?
(kommerzielle Geräte, Umbau handbetriebener Geräte)

- ☐ Einleitung / Motivation
- ☒ **Erfahrung mit der Automatisierung von Induktivteilern**
- ☐ Aufbau des automatisierten Brückennormal-Messplatzes
- ☐ Vergleichsmessungen manueller / automatisierter Messplatz
- ☐ Einfluss der Automatisierung auf die Kalibrierkosten
- ☐ Zusammenfassung / Ausblick

Automatisierung von Induktivteilern

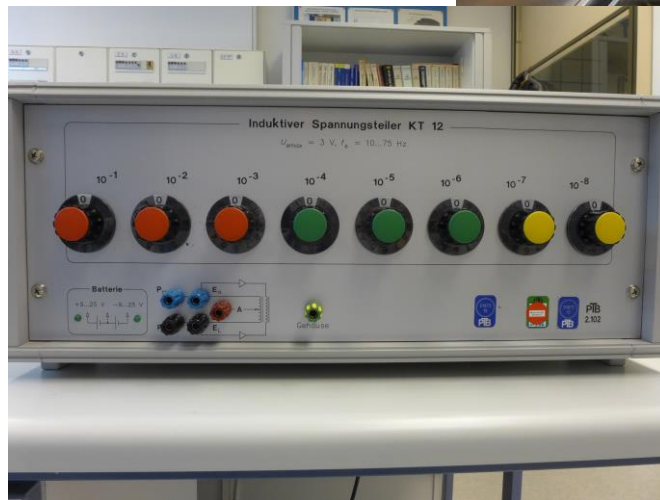
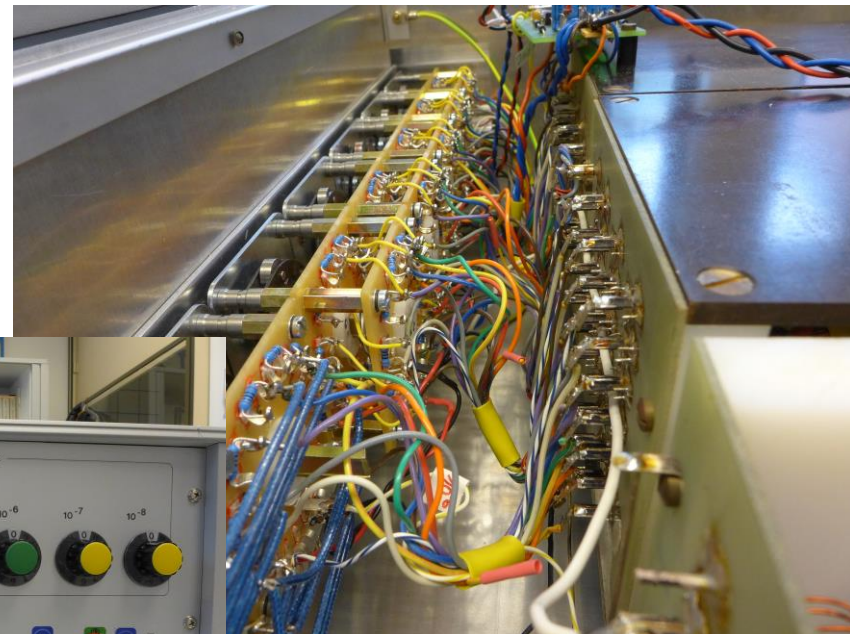
- Automatisierte Kalibrierung von AC-Temperaturmessbrücken
- Rechnersteuerung über Reed-Relais
(IEEE Vol. 56,. No. 2, April 2007)



KT20A

Automatisierung von Induktivteilern

- Umbau eines 8-dekadischen induktiven Spannungsteilers mit SDS-Relais (2010)
- Probleme 2013: Relais zeigten instabile und stark erhöhte Kontaktwiderstände
- Resultat: Rückbau auf Stufenschalter

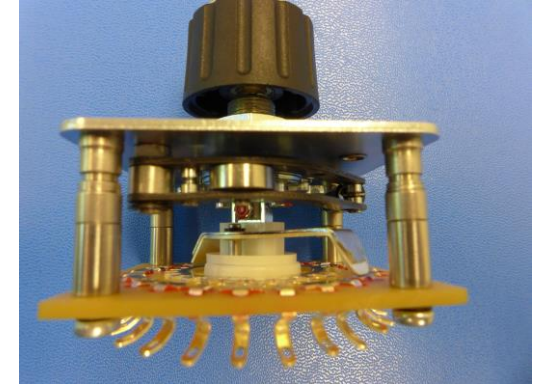


KT12

• Stufenschalter vs. Relais

Vorteile von mechanischen Stufenschaltern:

- Dauerhaft niedrigere Kontaktwiderstände ($<5 \text{ m}\Omega$) als Relaiskontakte (typ. $>50 \text{ m}\Omega$) durch größere Kontaktflächen
 - Bessere Langzeitstabilität
- ➔ Automatisierung von induktiven Spannungsteilern mit Stufenschaltern und Schrittmotoren hat deutliche Vorteile gegenüber der Verwendung von Relais



Schalter Typ SBE, Fa. Ebe

• Automatisierung: Stufenschalter vs. Relais

Korrosion bei Stufenschaltern:

- Kontinuierliche Nutzung vermindert Korrosion
- Korrodierte Kontakte mit wirksamen Mitteln säubern und konservieren



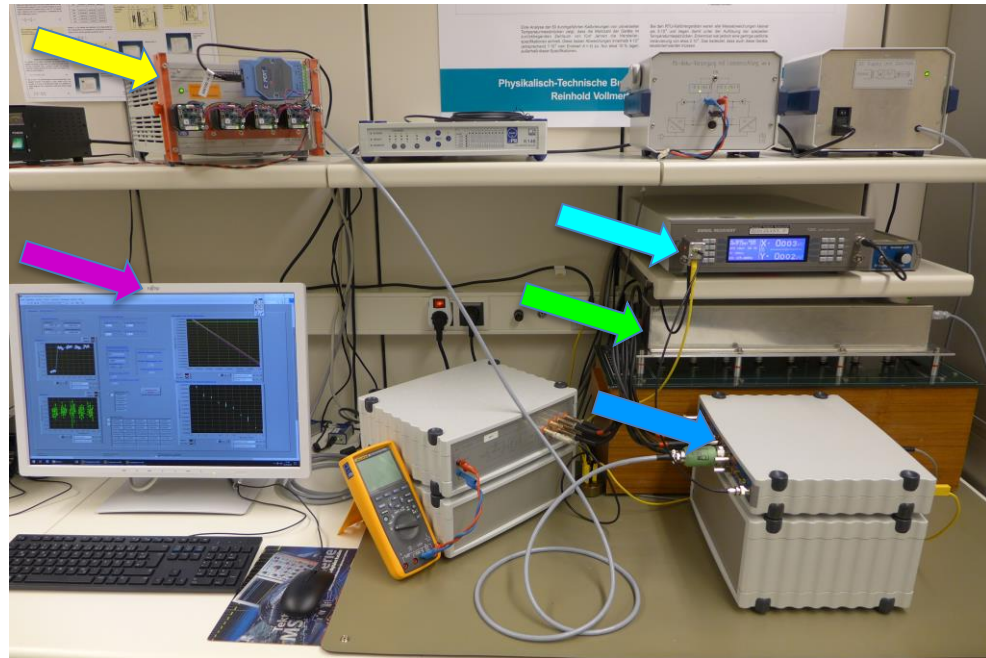
Schalter nach langjähriger Lagerung

- ☐ Einleitung / Motivation
- ☐ Erfahrung mit der Automatisierung von Induktivteilern
- ☒ **Aufbau des automatisierten Brückennormal-Messplatzes**
- ☐ Vergleichsmessungen manueller / automatisierter Messplatz
- ☐ Einfluss der Automatisierung auf die Kalibrierkosten
- ☐ Zusammenfassung / Ausblick

Aufbau des automatisierten Messplatzes

• Hauptkomponenten

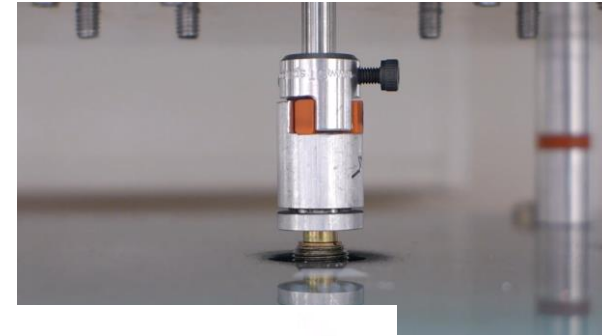
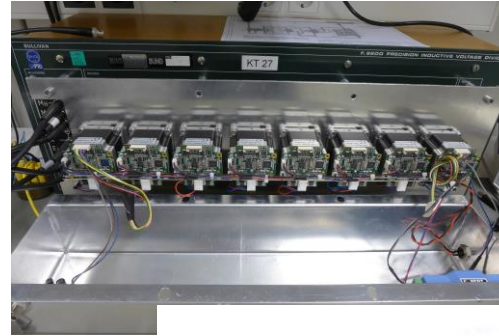
- Schrittmotor-Vorsatz für den Prüfling BN100A
- Schrittmotor-Vorsatz für den dekadischen Teiler T_{N1} (KT27)
- 1/20tel Trennteiler T_{N2} (KT24A)
- Lock-In-Verstärker mit Aus-Schalter
- PC mit LabView-Steuerprogramm



Aufbau des automatisierten Messplatzes

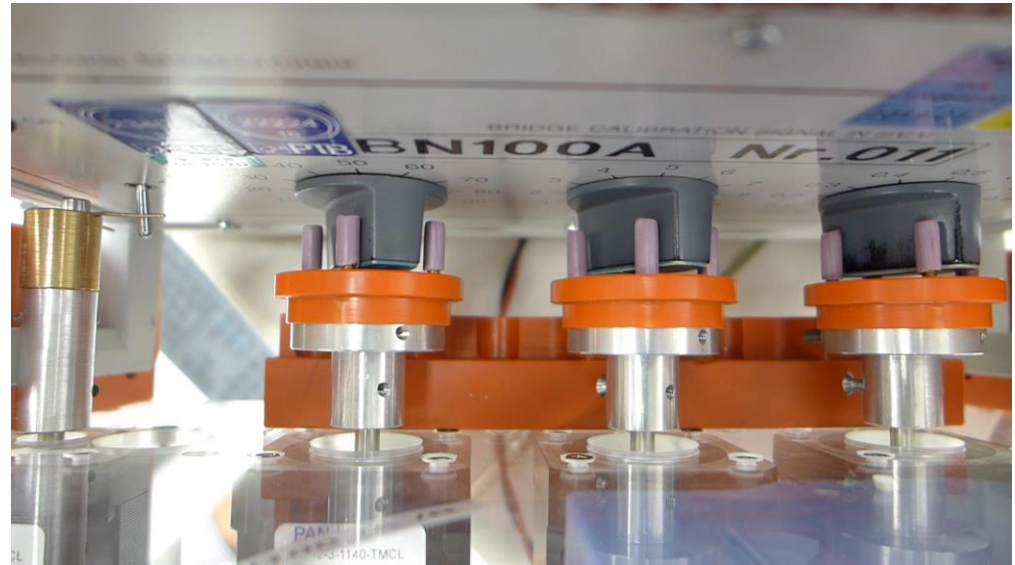
• Schrittmotorvorsatz für den dekadischen Teiler KT27

- Leistungsfähige Stromversorgung 24V / 10A für die Speisung der Motoren
- Serielle Ansteuerung RS-485
- Mechanische Kopplung realisiert durch optimierte kommerziell erhältliche Kupplung



• Schrittmotor-Vorsatz für den Prüfling

- Auswahl der geeigneten Schrittmotoren (Drehmoment, Abmessungen, Geschwindigkeit, eingebaute Decoder zur Positionsbestimmung, etc.)
- Individuelle mechanische Kopplung Motor/Schalter
- Schalter müssen einrasten



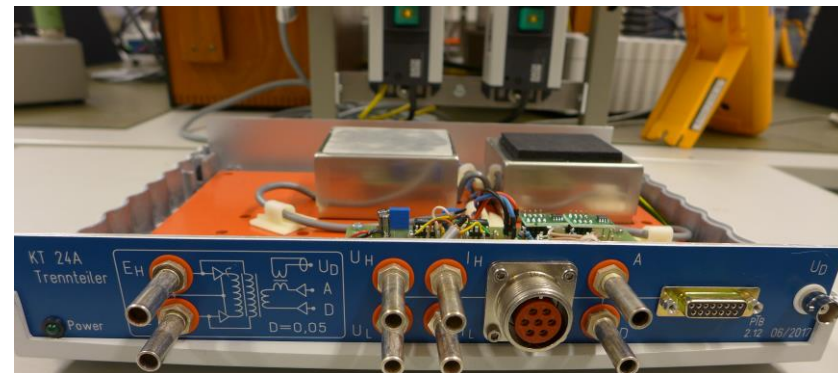
Aufbau des automatisierten Messplatzes

• Aufbau eines zweiten 1/20 Trennteilers KT24A

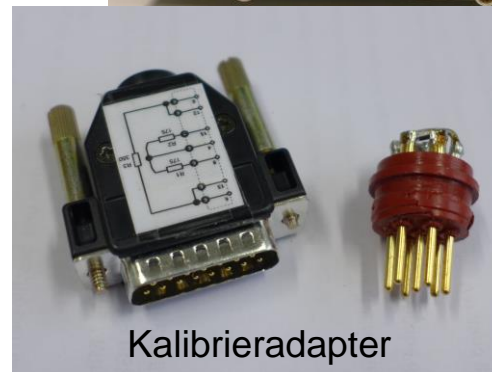
Neuerungen gegenüber KT24

- Sub-D Anschlussbuchse (keine Adapterkabel notwendig)
- Bestimmung der Referenzebene (wichtig bei hohen Frequenzen)

➔ weitere Einflüsse auf das Kalibrierergebnis wurden erkannt und können korrigiert werden



Trennteiler KT24A



Kalibrieradapter

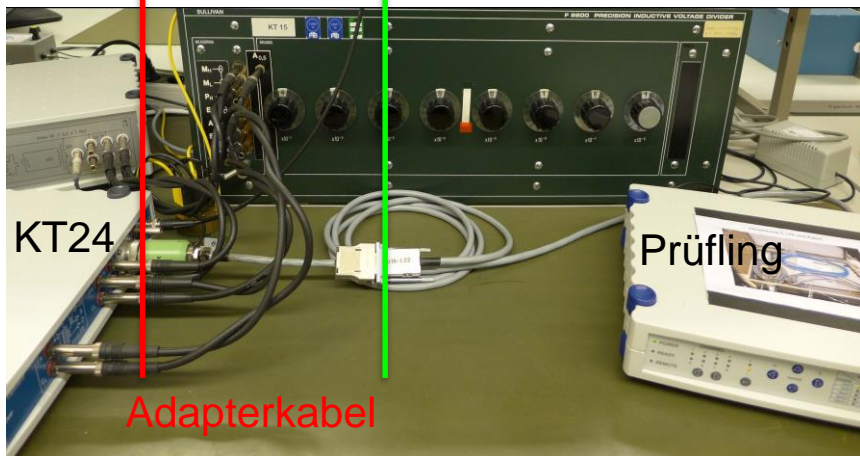
Aufbau des automatisierten Messplatzes

- Wo liegt die Referenzebene

Bisherige Kalibrierung

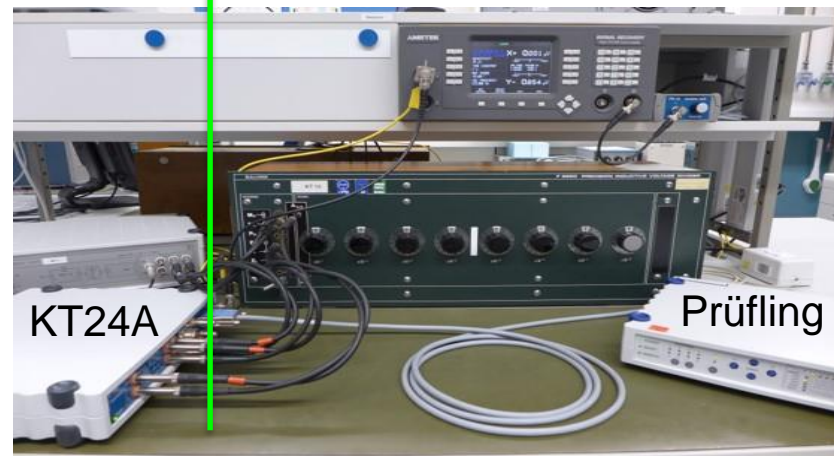
Referenzebene während der Kalibrierung

Referenzebene laut Kalibrierschein



Neue Kalibrierung

Referenzebene laut Kalibrierschein
und während der Kalibrierung



Einfluss der Referenzebene auf das Kalibrierergebnis bei 4800 Hz

Beispiel: K148, Speisung 5 V, 4,8 kHz

$U = 100 \times 10^{-6} \text{ mV/V}$

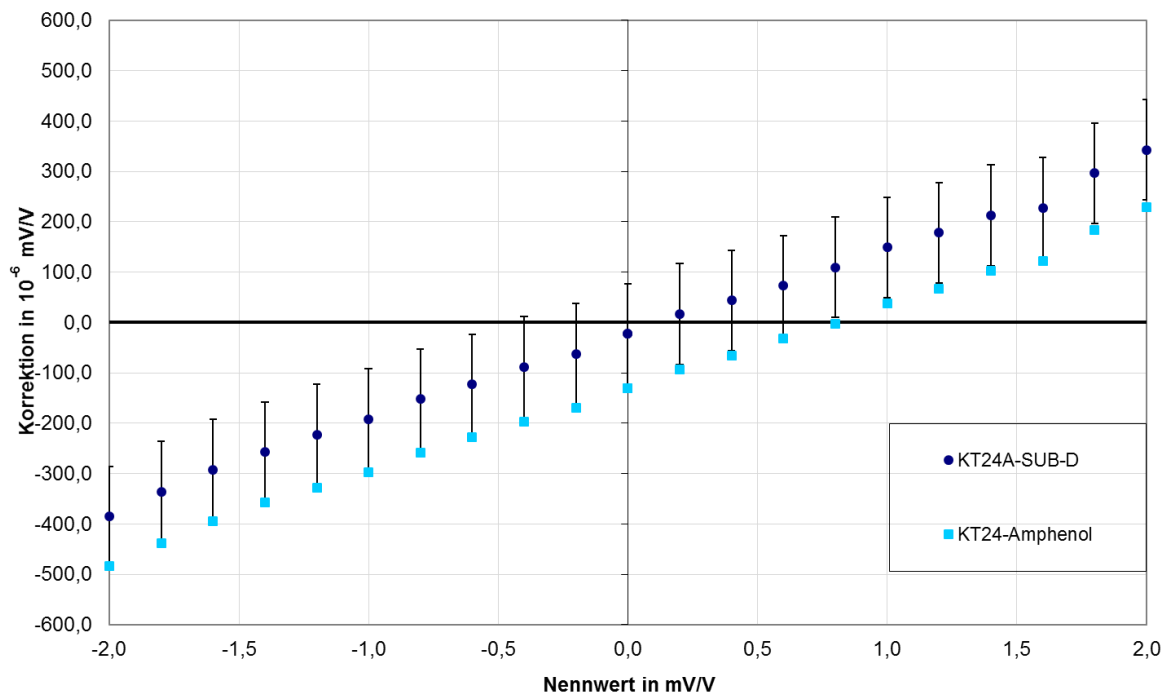
Unterschiedlicher Anschluss:

- KT24A: direkter Anschluss mit Sub-D Kabel
- KT24: zusätzlicher Adapter auf Amphenol notwendig

Berechnung der Messergebnisse:

- Es wurden nur die jeweiligen Trennteiler-Korrekturen verwendet
- Auf die Korrektur der Referenzebene wurde verzichtet

Vergleich der Kalibrierwerte des K148 bei 5V und 4800 Hz

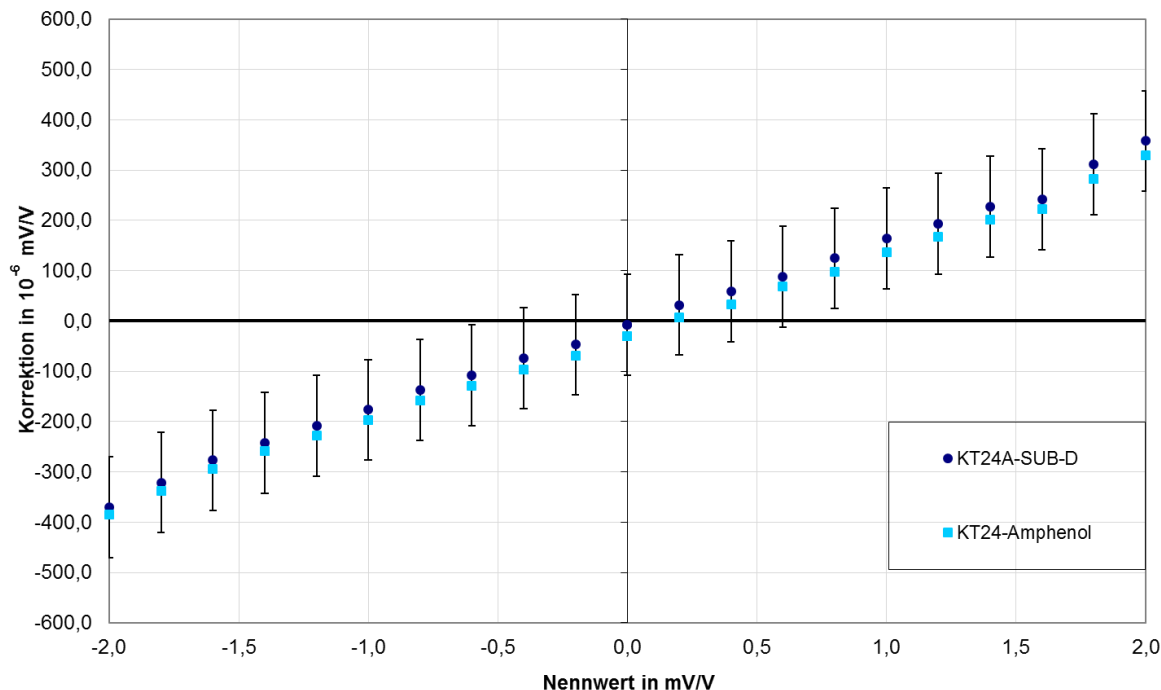


Berechnung der Messergebnisse:

- Es wurden die jeweiligen Trennteiler- Korrekturen verwendet
- Die Korrektur der Referenzebene wurde für alle Anschlüsse verwendet

Wichtig! Die Kalibrierergebnisse gelten nur mit dem zugehörigen Kabel

Vergleich der Kalibrierwerte des K148 bei 5V und 4800 Hz



- ☐ Einleitung / Motivation
- ☐ Erfahrung mit der Automatisierung von Induktivteilern
- ☐ Aufbau des automatisierten Brückennormal-Messplatzes
- ☒ **Vergleichsmessungen manueller / automatisierter Messplatz**
- ☐ Einfluss der Automatisierung auf die Kalibrierkosten
- ☐ Zusammenfassung / Ausblick

Vergleichsmessung

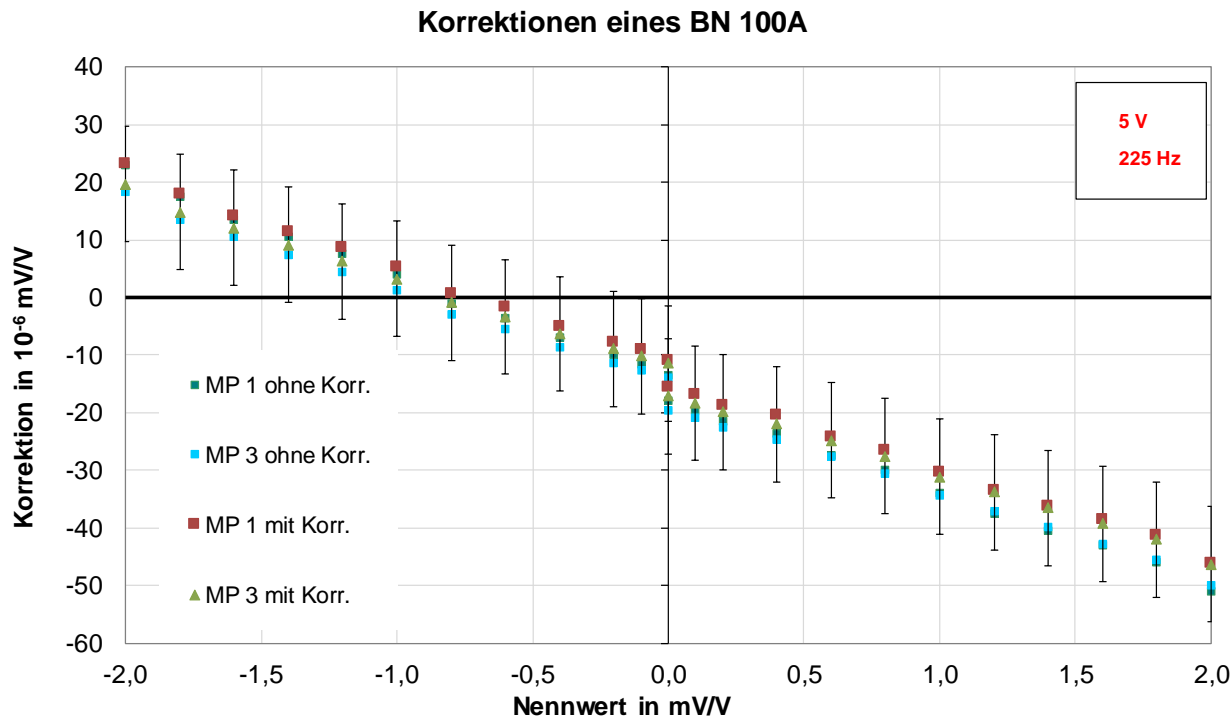
Beispiel:

BN 100A

Speisung 5 V, 225 Hz

$U = 10 \times 10^{-6} \text{ mV/V}$

- Sehr gute Übereinstimmung zwischen manuellem (MP 1) und automatisiertem Messplatz (MP 3)
- Geringer Einfluss der Referenzebene auf das Ergebnis

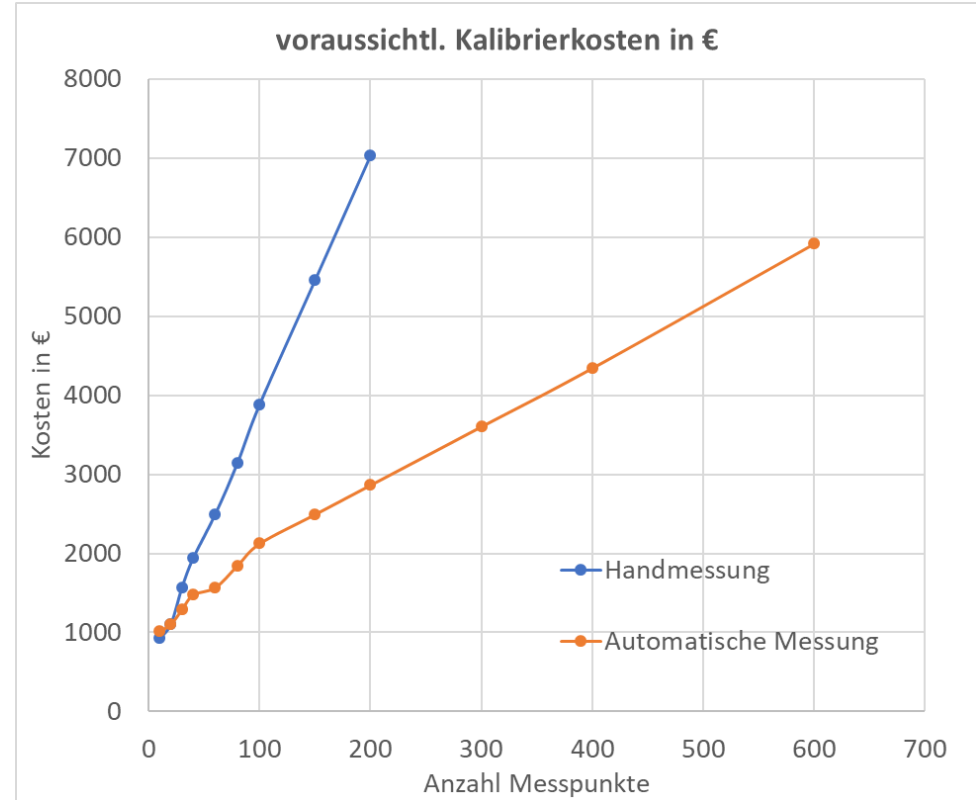


- ☐ Einleitung / Motivation
- ☐ Erfahrung mit der Automatisierung von Induktivteilern
- ☐ Aufbau des automatisierten Brückennormal-Messplatzes
- ☐ Vergleichsmessungen manueller / automatisierter Messplatz
- ☒ **Einfluss der Automatisierung auf die Kalibrierkosten**
- ☐ Zusammenfassung / Ausblick

Reduzierung der Kalibrierkosten

voraussichtliche Kalibrierkosten
nach vollständiger Validierung des
automatischen Messplatzes

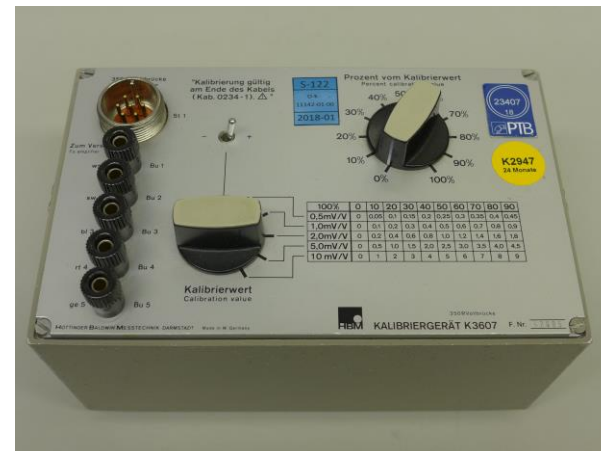
- bei wenigen Messpunkten ändern sich die Kalibrierkosten kaum
- bei vielen Messpunkten ist die Kostenreduktion deutlich größer



- ☐ Einleitung / Motivation
- ☐ Erfahrung mit der Automatisierung von Induktivteilern
- ☐ Aufbau des automatisierten Brückennormal-Messplatzes
- ☐ Vergleichsmessungen manueller / automatisierter Messplatz
- ☐ Einfluss der Automatisierung auf die Kalibrierkosten
- ☒ **Zusammenfassung / Ausblick**

- Es wurde ein vollautomatischer Messplatz zur Kalibrierung von DMS-Brückennormalen entwickelt.
- Die Kalibrierergebnisse stimmen im Rahmen der aktuellen Messunsicherheit vollständig mit denen des manuellen Messplatzes überein.
- Die neu definierte Referenzebene hat bei hohen Frequenzen einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das Kalibrierergebnis.
- Bei einer großen Anzahl von Messpunkten reduziert sich der personelle Aufwand deutlich. Dies macht eine umfangreichere Kalibrierung der Prüflinge erschwinglich.
- Die physische Belastung durch stundenlanges monotones „Knöpfedrehen“ wird auf ein Minimum reduziert.

- Anpassung der Software für die Kalibrierung bis 100 mV/V (KT34)
- Aufbau weiterer Motorvorbauten für handbetätigte Prüflinge (K3607/K3608)
- Erstellen weiterer LabView-Treiber für rechnersteuerbare Prüflinge



K3607

Vielen Dank!



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

Dipl.-Ing. (FH) Axel Kölling

Telefon: 0531 592-2115

E-Mail: Axel.Koelling@ptb.de

www.ptb.de



Stand: 09/20