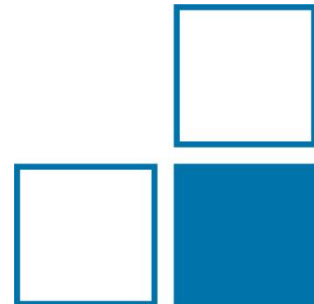


Untersuchung des Linearitätsverhaltens von Trägerfrequenz-Brückenverstärkern für die DMS-Messtechnik

M. F. Beug, H. Moser, A. Kölling und M. Hinz

314. PTB-Seminar
Braunschweig, 15. Mai 2019



Einleitung und Motivation

Kalibrierung von Brückennormalen und Messverstärkern

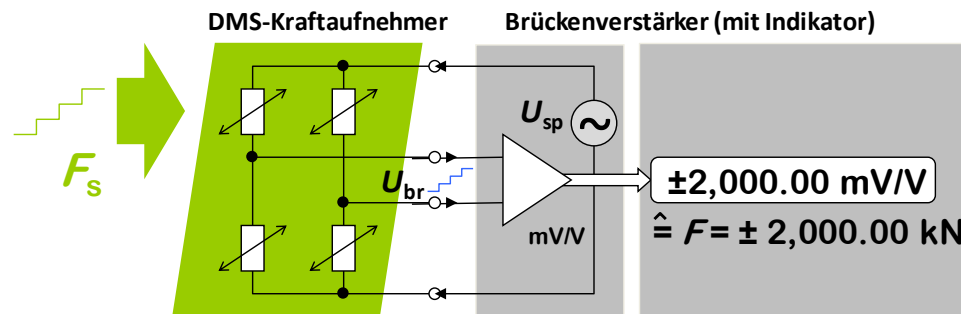
Neuer Messplatz für die Linearitätsuntersuchung

Linearitätsuntersuchung von Brückenverstärkern

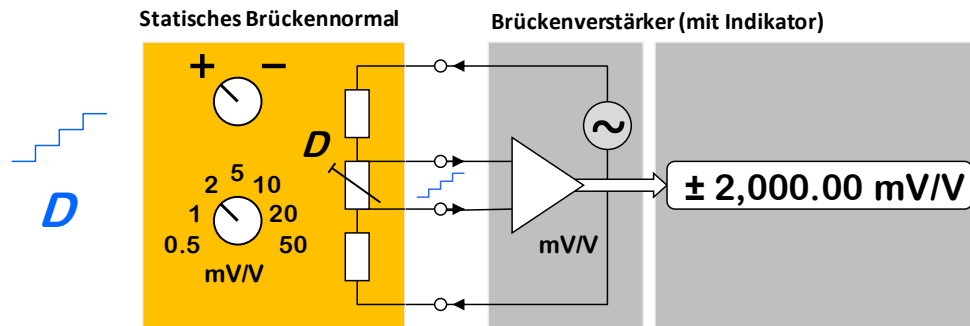
Zusammenfassung und Ausblick

• Trägerfrequenz Brückenverstärker für DMS-Aufnehmer

- Dehnmessstreifen-Aufnehmer in Betrieb mit einer Trägerfrequenz-Speisespannung U_{sp}
- Die Brückenverstimmung U_{br}/U_{sp} ist eine **rationetrische Größe** in mV/V (z.B. 2 mV/V „full scale“)



- Ein statische Brückennormal simuliert eine definierte (**rationetrische**) Brückenverstimmung in mV/V zur Kalibrierung von Messverstärkern (→ Austauschbarkeit)
- Brückennormale (z.B. BN100) werden in der PTB kalibriert und auf induktive Spannungsteiler rückgeführt



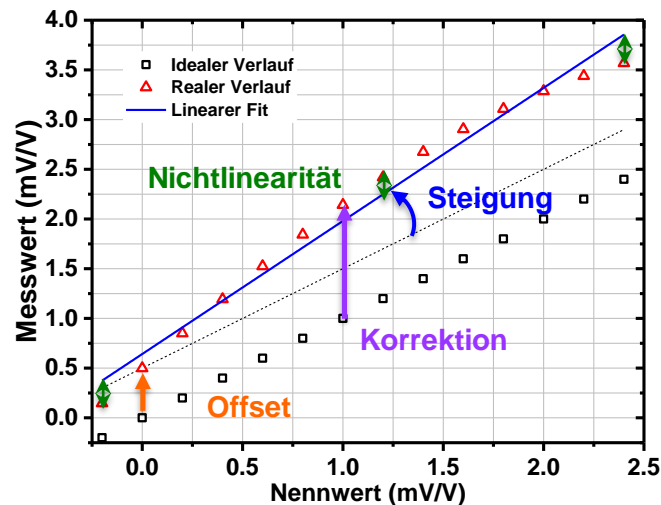
Einleitung: Kalibrierung von Brückenverstärkern

• Kalibrierung von Steigung und Linearität

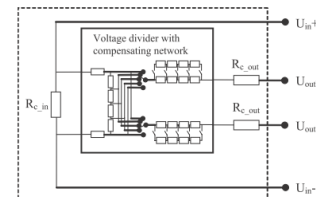
- Die Kalibrierung des Brückenverstärkers zur Messung des Spannungsverhältnisses U_{br}/U_{sp} hat die üblichen Anteile:

1. Nullpunktabweichung (Offset)
2. Abweichende Verstärkung (Steigung)
3. Linearitätsabweichungen (Nichtlinearität)

- Das HBM BN100A ermöglicht wirkliche Kalibrierung mit Ermittlung der Korrekturen
- Bis zu 26 Kalibrierpunkte im Bereich 0 mV/V bis 2,5 mV/V



- LinChecker (M.Hiti & HBM) untersucht die Linearität mit bis zu 36 Messpunkten zwischen 0 mV/V und 2,5 mV/V



[M. Hiti, Meas. Sci. Technol. 26 (2015)]

• Beide Methoden haben zu geringe Auflösung für wirkliche Linearitätsbewertung

Einleitung und Motivation

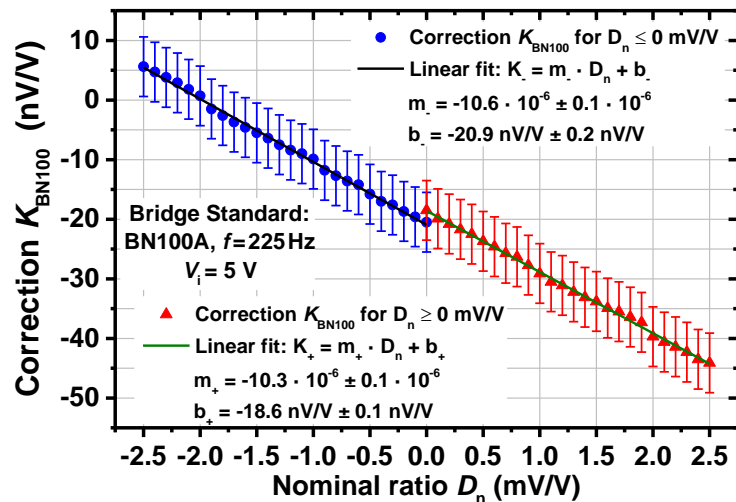
Kalibrierung von Brückennormalen und Messverstärkern

Neuer Messplatz für die Linearitätsuntersuchung

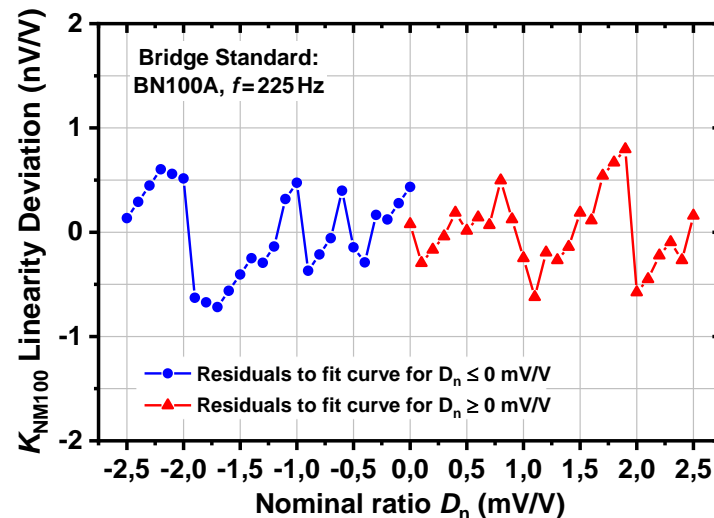
Linearitätsuntersuchung von Brückenverstärkern

Zusammenfassung und Ausblick

Kalibrierung des Brückennormals BN100A

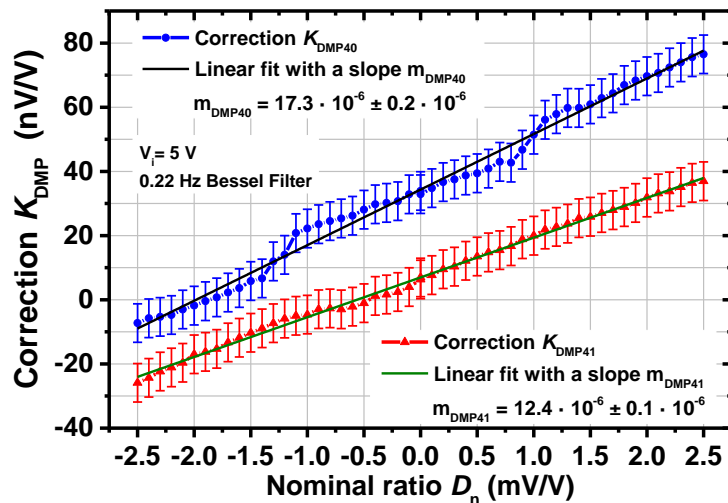


- Das BN100A wurde im Nennwertbereich $\pm 2,5$ mV/V an allen 0,1 mV/V Punkten durchgeführt
- Die erweiterte ($k=2$) Unsicherheit der einzelnen (absoluten) Kalibrierpunkte ist $U = 5$ nV/V

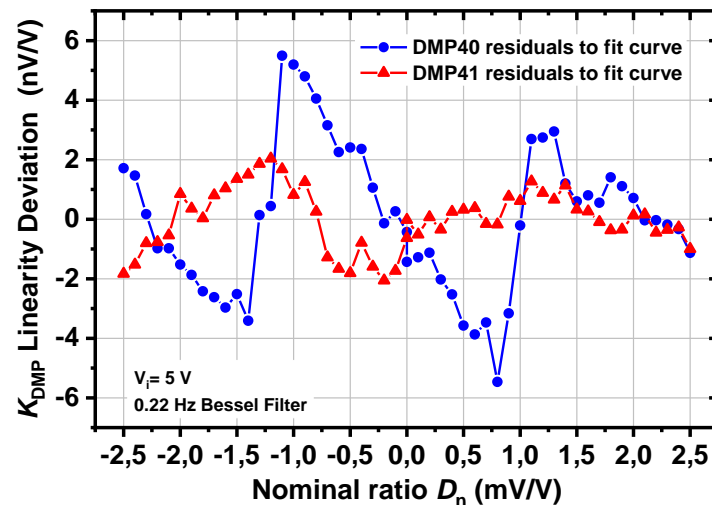


- Das BN100A zeigt ein sehr lineares Verhalten mit dem bekannten Offset bei 0 mV/V
- Die Residuen der Fit-Kurven sind alle kleiner als 1 nV/V

- Kalibrierung von HBM DMP40 und DMP41



- Die erweiterte ($k=2$) Unsicherheit der DMP40 und DMP41 Kalibrierpunkte ist $U = 6$ nV/V
- Das DMP40 zeigt stärkere Abweichungen von der Fit-Geraden mit Residuen größer als ± 5 nV/V
- Das DMP41 zeigt eine bessere Linearität mit Residuen innerhalb von ± 2 nV/V



Fragen:

- Ist das Verhalten des Brückenverstärkers zwischen den Kalibrierten Punkten wirklich linear?
- Könnte eine sehr gute Linearität dafür verwendet werden die Messverstärker Unsicherheit unter 1 mV/V zu verringern? (Linchecker-Ansatz M. Hiti)

Einleitung und Motivation

Kalibrierung von Brückennormalen und Messverstärkern

Neuer Messplatz für die Linearitätsuntersuchung

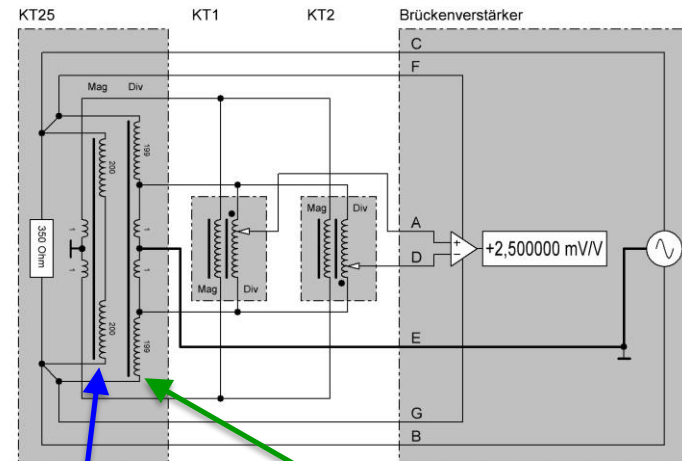
Linearitätsuntersuchung von Brückenverstärkern

Zusammenfassung und Ausblick

- Aufbau mit zweistufigem 1/200 Vorteiler

Aufbau mit zwei kaskadierten Induktivteilern zur Unsicherheitsreduzierung:

- Zweistufiger 1/200 Vorteiler
- Entspricht $\pm 5 \text{ mV/V}$
- 350Ω Eingangswiderstand
- Extra Wicklung zur Versorgung der Magnetisierungswicklung der nachgeschalteten Teiler
- Stabiles Teilungsverhältnis, dessen Wert aber nicht separat kalibriert wird → **Nur Linearitätsuntersuchung**
- Nachgeschaltete 8-dakadische Sullivan F9200 Induktivteiler (10^8 Steps in $\pm 5 \text{ mV/V}$) oder automatisierte 24-bit Binärteiler
- Im Vergleich: 100 Werte mit BN100 und 36 Werte mit LinChecker-Widerstandsnetzwerk

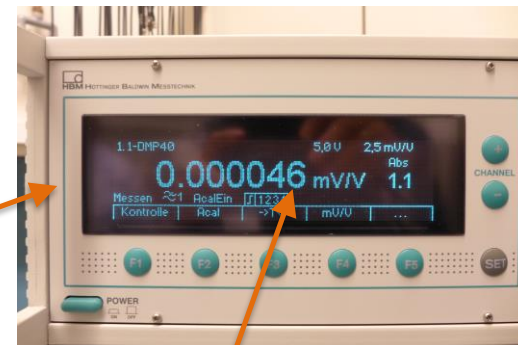
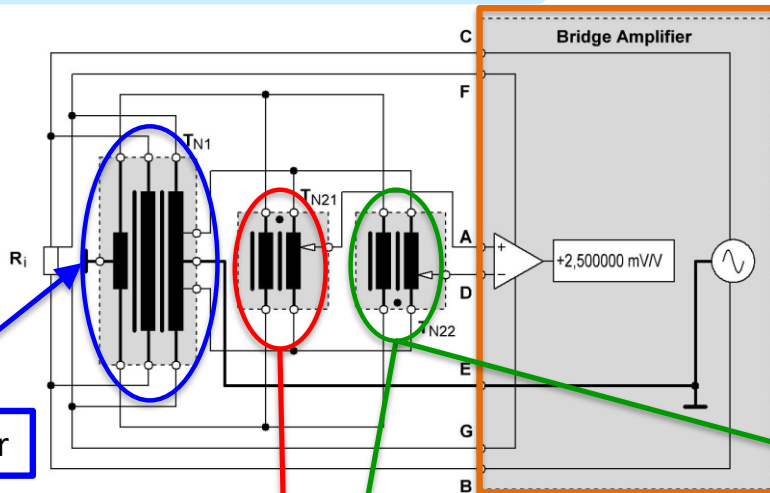


Magnetisierungs-
Kern und
Wicklung

Teiler-Kern
und Teiler-
Wicklung

Neuer Messplatz für Linearitätsuntersuchungen

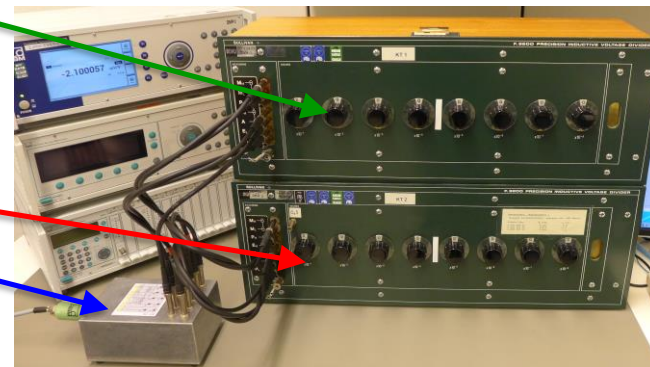
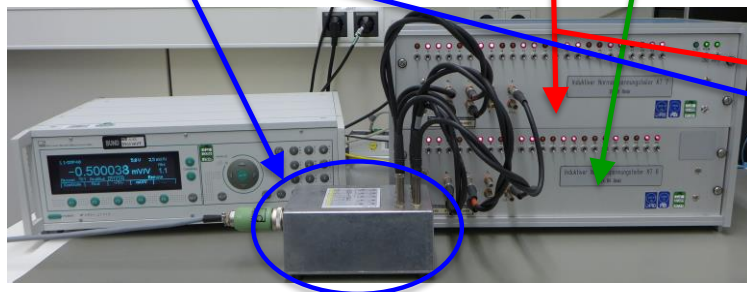
- Manueller und automatischer Betrieb



Letzte Stelle ergibt 1 nV/V Auflösung.

1/200 Vorteileiler

Nachteile für die Feinauflösung



Einleitung und Motivation

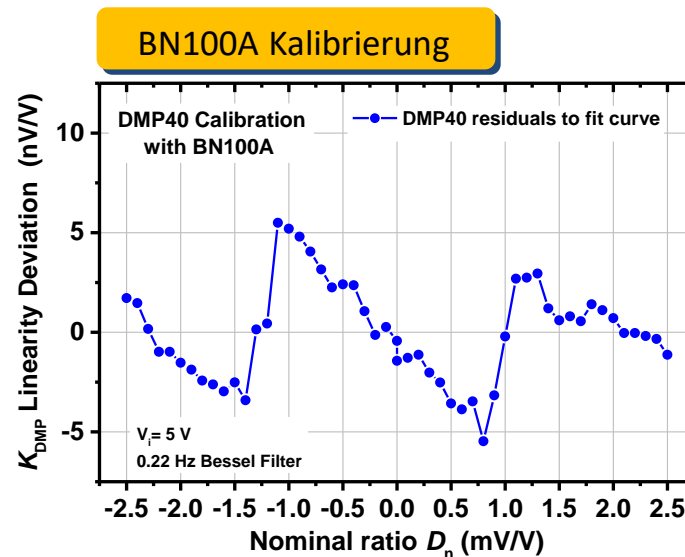
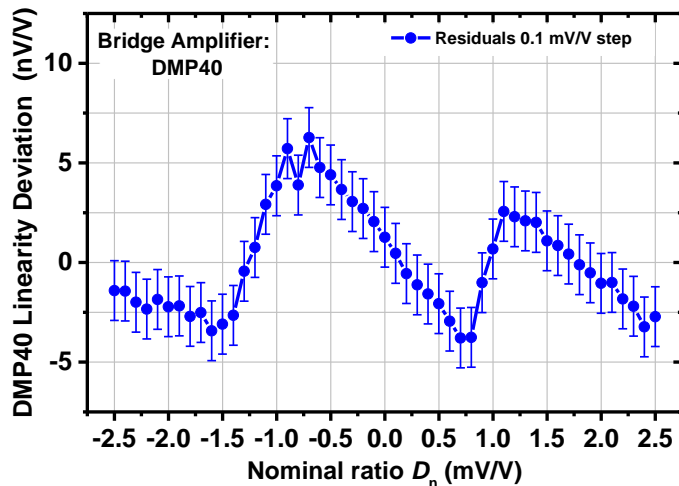
Kalibrierung von Brückennormalen und Messverstärkern

Neuer Messplatz für die Linearitätsuntersuchung

Linearitätsuntersuchung von Brückenverstärkern

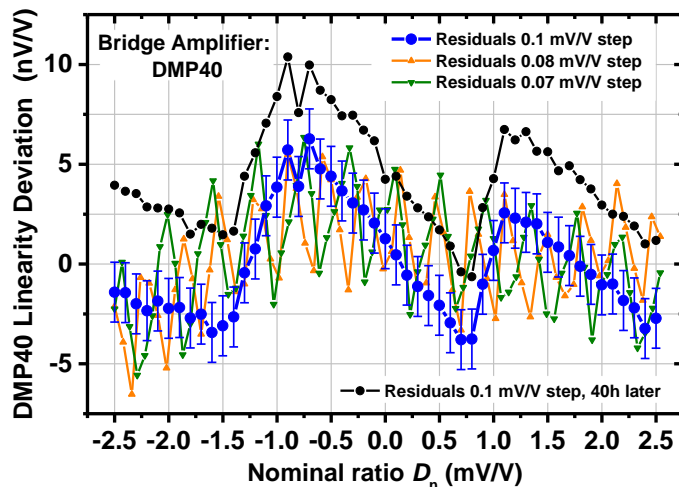
Zusammenfassung und Ausblick

- Linearität HBM Brückenverstärker DMP40 #1

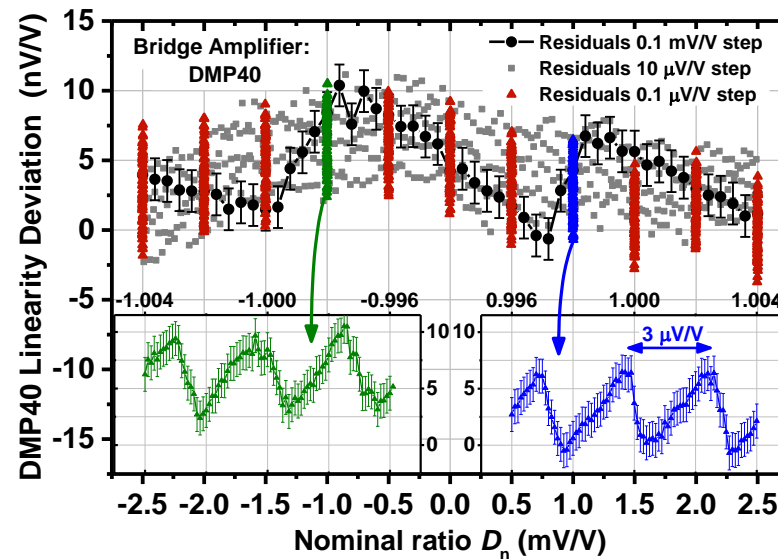


- Die Linearitätsuntersuchung, die mit 0,1 mV/V Schrittweite mit dem neuen Messplatz durchgeführt wurde, ähnelt dem Verlauf der BN100A Messung sehr stark

- Linearität HBM Brückenverstärker DMP40 #1

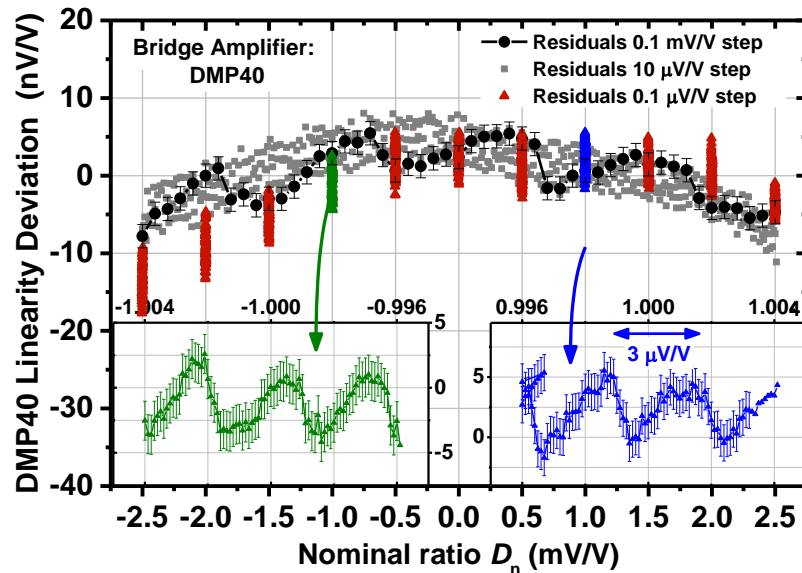
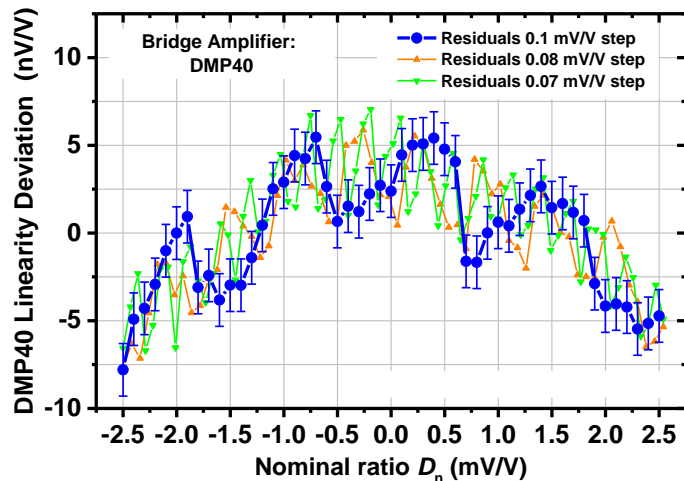


- Die Linearitätsmessung mit 0,08 mV/V Schrittweite sieht der Verlauf schon deutlich anders aus
- Und mit 0,07 mV/V Schrittweite sieht der Verlauf wieder ganz anders aus



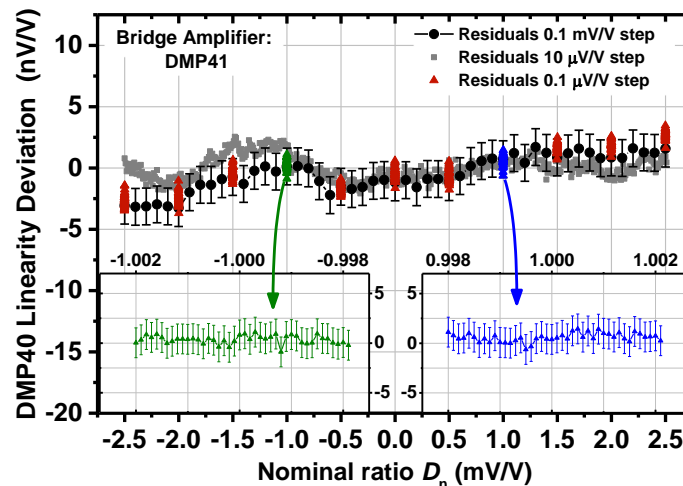
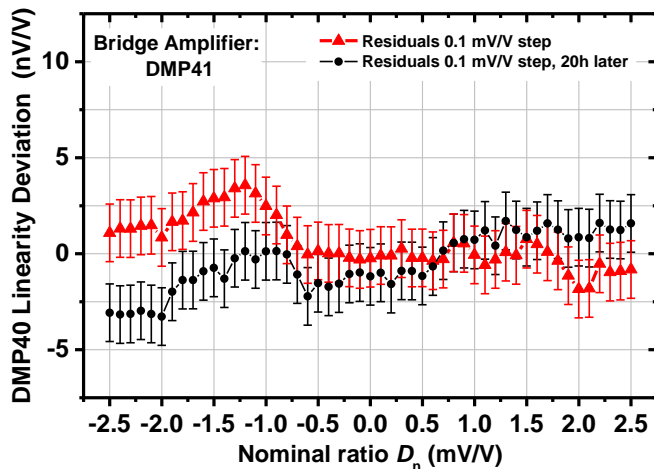
- Wiederholungsmessung 0,1 mV/V Schrittweite nach 40 h zeigt Drift (Autocal aus)
- Die Erklärung der Ergebnisvariationen ist eine „Sägezahn“-Feinstruktur mit 3 $\mu\text{V/V}$ Periode und einer peak-to-peak Amplitude von 10 nV/V

• Linearität des Brückenverstärkers DMP40 #2



- Ein zweites DMP40 zeigte ein sehr ähnliches Verhalten bezüglich „Sägezahn“-Feinstruktur und thermischen driften
- Der reproduzierbare 100 μ V/V Verlauf ist das Resultat einer zu geringen Auflösung (ähnlich „Alias-Effect“)

• Linearität des Brückenverstärkers HBM DMP41



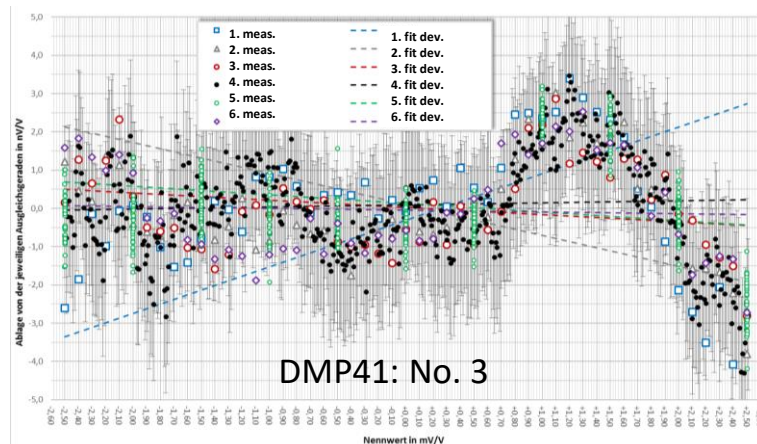
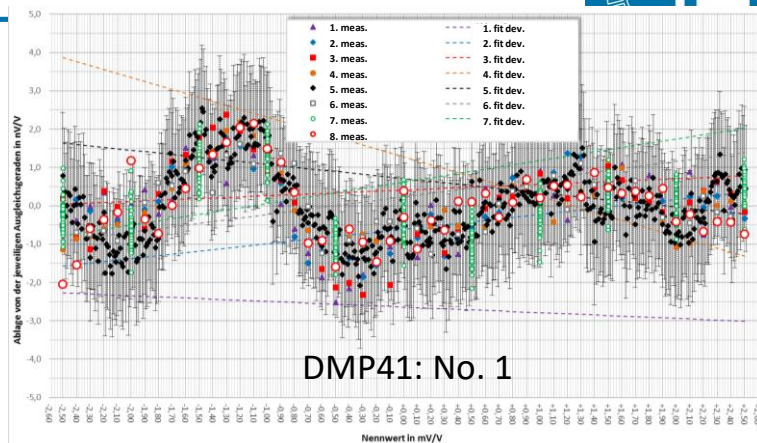
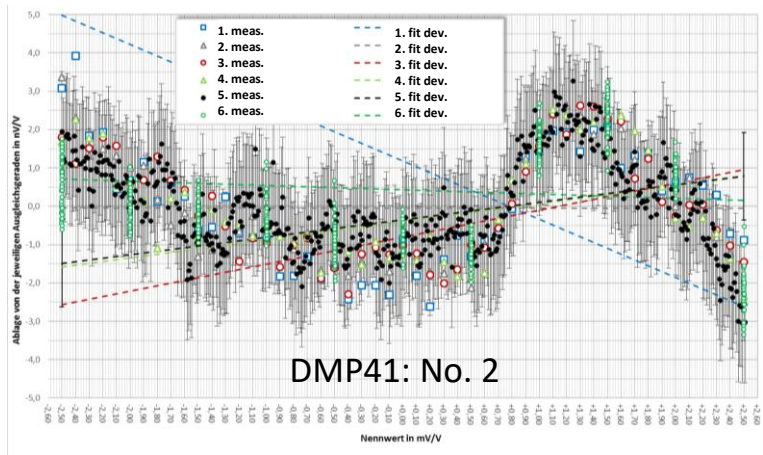
- Linearitätsuntersuchung mit 0,1 mV/V Schrittweite ähnelt stark dem BN100A Ergebnis
- Ein thermisches Driften des DMP41 ist nach 20 h deutlich zu erkennen, obwohl die Autocal Funktion bei diesem Modell kontinuierlich arbeitet

- Auch für deutlich verringerte Schrittweiten zeigt das DMP41 einen linearen Verlauf
- Die Linearität ist lokal besser als 2 nV/V, und bleibt insgesamt innerhalb von ± 5 nV/V

Linearität von hochpräzisen Brückenverstärkern

• Linearität von drei verschiedenen DMP41

- Das thermische Driften wurde eliminiert (zu jeder Messung wurde eine eigene Fit-Kurve bestimmt)
- Dadurch erhalten die Linearitätsabweichungen von drei verschiedenen DMP41 einen charakteristischen Verlauf



Einleitung und Motivation

Kalibrierung von Brückennormalen und Messverstärkern

Neuer Messplatz für die Linearitätsuntersuchung

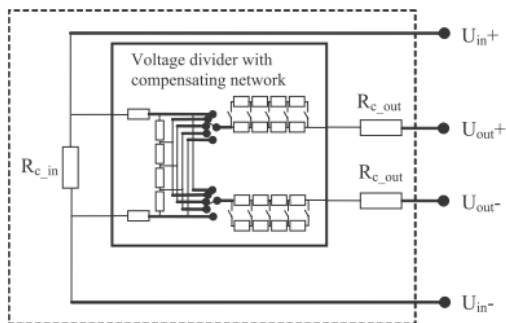
Linearitätsuntersuchung von Brückenverstärkern

Zusammenfassung und Ausblick

- Der neue Messplatz zur Linearitätsuntersuchung von 225 Hz Brückenverstärkern ermöglicht eine Auflösung/Schrittweite $< 1 \text{ nV/V}$ ($\pm 5 \text{ mV/V}$ Untersuchungsbereich mit $> 10^7$ Schritten)
- Die erweiterte ($k=2$) Unsicherheit der Linearitätsabweichungen liegt bei 2 nV/V
- Nur eine derart kleine Schrittweite erlaubt eine tatsächliche Linearitätsuntersuchung von Brückenverstärkern (DMP40 Sägezahnverhalten wird erkennbar)
- Eine reine Linearitätsuntersuchung mit resistivem LinChecker hat eine ähnliche Auflösung wie ein BN100A, benötigt aber immer eine zusätzliche Kalibrierung der Steigung (mit BN100A)
- Die beiden untersuchten DMP40 zeigten eine Sägezahn-Mikrostruktur mit $3 \mu\text{V/V}$ Periode und einer peak-to-peak Amplitude von 10 nV/V (Spezifikation ist erfüllt)
- Das DMP41 zeigt eine deutlich bessere Linearität (lokal $< 2 \text{ nV/V}$)
→ Potentiell Unsicherheitsreduktion für Nennwerte $< 1 \text{ mV/V}$ denkbar

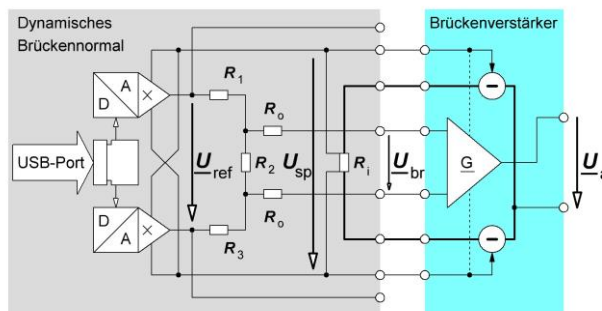
- Sehen Sie Bedarf für Linearitätsuntersuchungen von Brückenverstärkern im Rahmen von Brückenverstärker Kalibrierungen?

LinChecker:



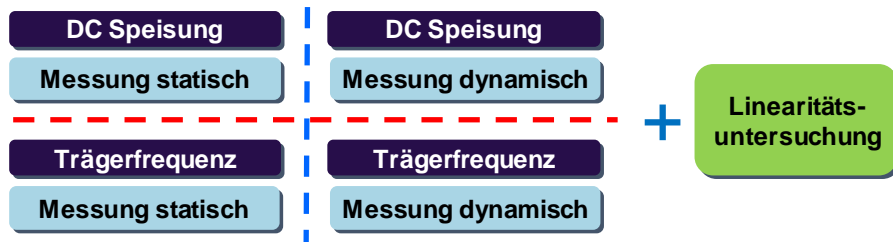
- Dieses Widerstandsnetzwerk ist mit 36 Messpunkten in der Auflösung zu stark eingeschränkt

PTB dynamisches Brückennormal (254. PTB-Seminar 2010):

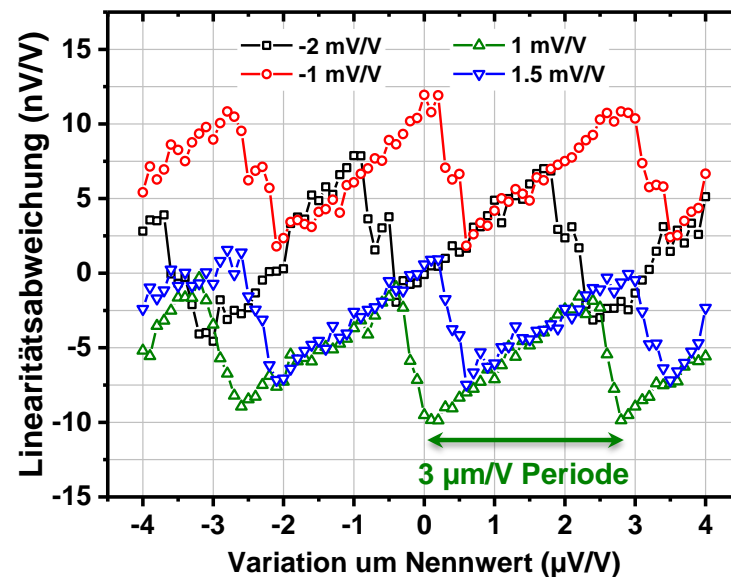


- Das Brückennormal kann statisch und dynamisch betrieben werden
- Ratiometrischer Bezug auf U_{sp} durch multiplizierende DACs (MDACs)
- Sinusförmige sowie beliebige Signalformen sind programmierbar
- Das Referenzsignal U_{ref} wird zur Phasenbestimmung verwendet
- **PTB Technologietransfer mit Q.33 ist möglich**

• Brückenverstärker Untersuchungsmöglichkeiten des DynBN-S



- Das DynBN-S ermöglicht alle vier denkbaren Kalibrierungsarten sowie die Linearitätsuntersuchung von Brückenverstärkern.
- Die Schrittweite (Auflösung) in der Linearitätsmessung beträgt 76 nV/V



- Die sehr fein aufgelöste Linearitätsuntersuchung mit DynBN-S zeigt wieder das typischen Sägezahnverhalten (Periode 3 $\mu\text{V/V}$) des DMP40.

Vielen Dank!



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Dr. M. Florian Beug
Telefon: 0531 592-2120
E-Mail: florian.beug@ptb.de

www.ptb.de

