

# Verbesserte Stromkomparatoren im Leistungsnormal der PTB

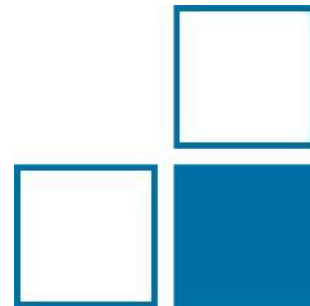
A. Dubowik, E. Mohns, M. Götz, E. Pesel, K. Dauke



Alexander Dubowik  
AG 2.32 Zeitsynchronisierte Messsysteme und Sensoren

***318. PTB Seminar***

***Virtuelle Konferenz  
- Mai 2021 -***



- Motivation
- Stromkomparator + Messwiderstand
- Optimierung der Stromquelle (bessere Stabilität + sdev)
- Zusammenfassung und Ausblick

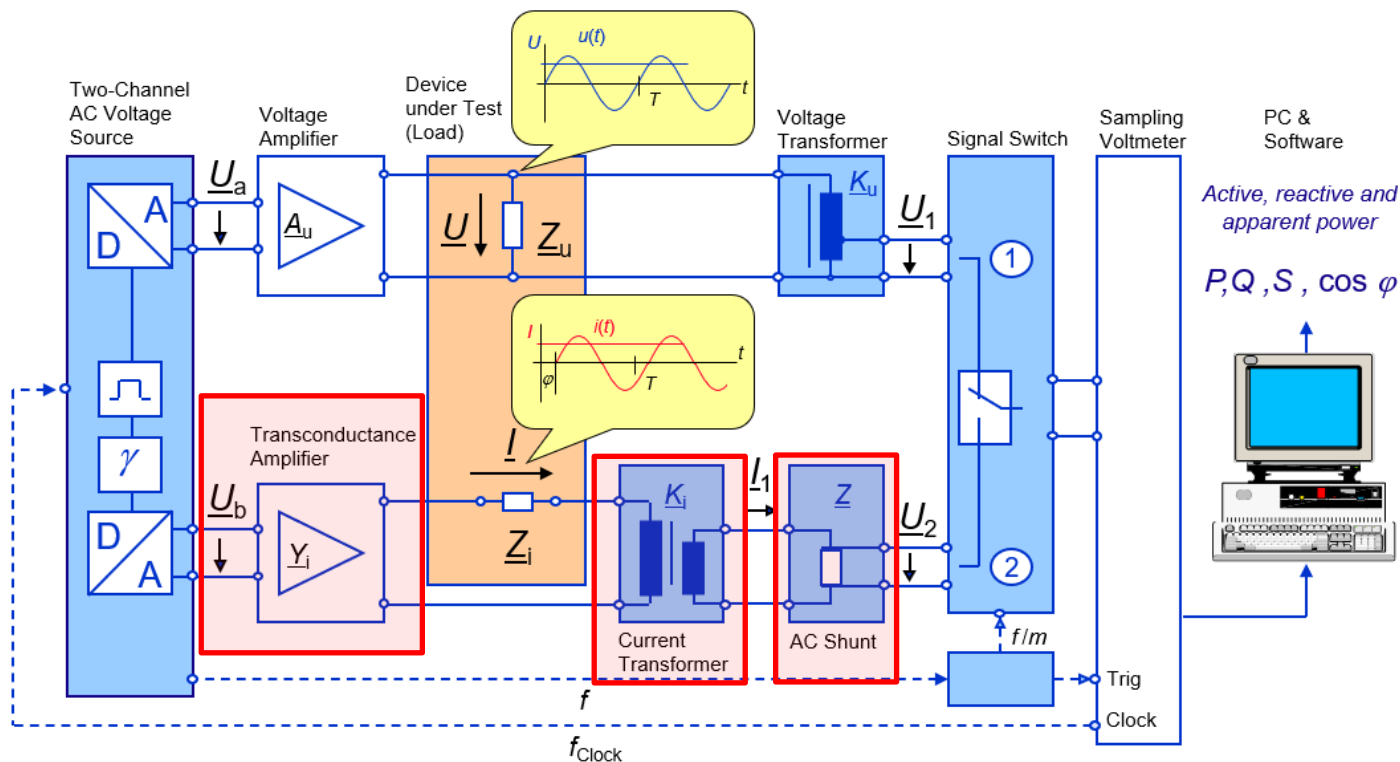


- **Motivation**
- Stromkomparator + Messwiderstand
- Optimierung der Stromquelle (bessere Stabilität + sdev)
- Zusammenfassung und Ausblick



# Motivation

## Aufbau des Leistungsnormals



# Motivation

## Unsicherheiten der Komponente des Leistungsnormals

Typ B Unsicherheit für Wirkleistung bei 120 V - 5 A - $\varphi = 0^\circ$					
Beitrag $X_i$	Wert	relative MU $u(X_i)$ in $10^{-6}$	Sensitivitäts- koeffizient $c_i$	Varianz $(c_i \cdot u(X_i))^2$ in $10^{-12}$	Gewichtung in %
rms Spannung $U_1$	6 V	0,6	1	0,36	8
rms Spannung $U_2$	1 V	1,8	1	3,24	72
Spannungsteiler $F_U$	6 V / 120 V = 0,05	0,5	1	0,25	6
Stromwandler mit Messwiderstand $F_{IU}$	1 V / 5 A = 0,2 $\Omega$	0,8	1	0,64	14
$\sum(\text{var}) = 4,49 \cdot 10^{-12}$ Wirkleistung $P = 600 \text{ W}$					
relative Messunsicherheit $u(P) = 2,1 \cdot 10^{-6} (k=1)$					

Anteil von 86 %

### Verbesserungen

- $U_{\text{out}}$  des Stromwandlers
- Stromwandler + Messwiderstand
- Stabilität des Transconductance Verstärkers (Typ A MU  $\downarrow$ )

$$U = U_1 / F_u, \quad I = U_2 / F_{iu}, \quad \varphi = \arg\{ \underline{U} / \underline{I} \}$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi, \quad S = U \cdot I, \quad Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$$

- Motivation
- **Stromkomparator + Messwiderstand**
- Optimierung der Stromquelle (bessere Stabilität + sdev)
- Zusammenfassung und Ausblick



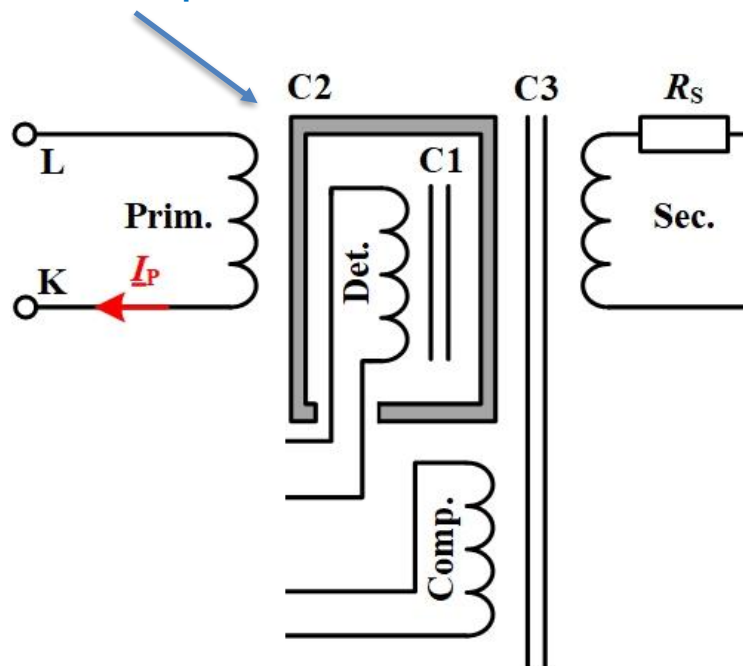
## Existierender IU-Konverter

- Bereiche: 100 mA bis 10 A
- Ausgang: 1 V
- Unsicherheit: 1.6 ppm ( $k = 2$ )
- vollständig passives Design
- Niedrige Ausgangsspannung
- hohe interne Phasenfehler
- Bürdenabhängigkeit
- + passives Design (Zuverlässigkeit)

## Neuer IU-Konverter

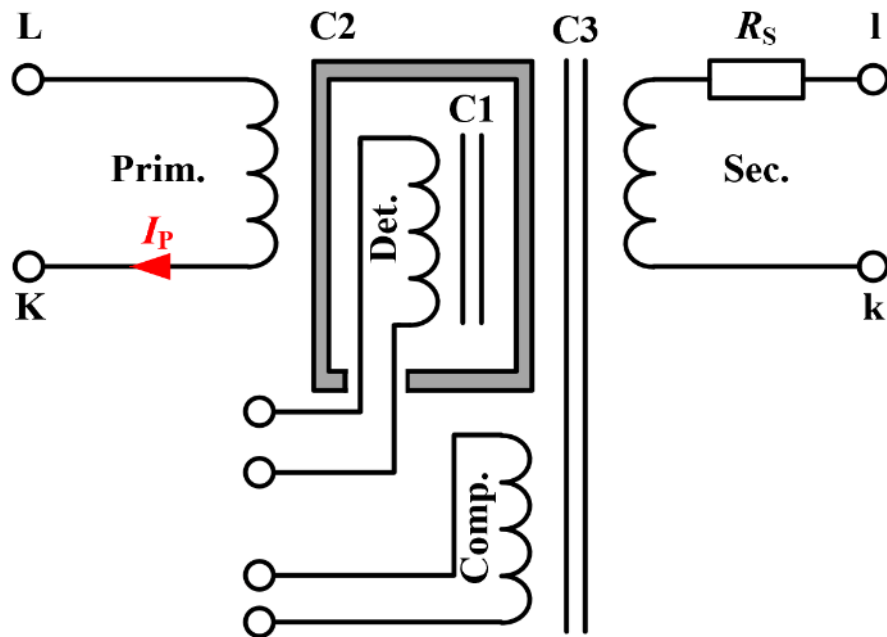
- Bereiche: 100 mA bis 10 A
- Ausgang: 3 V
- Unsicherheit: 0.4 ppm ( $k = 2$ )
- vollständig aktives Design
- Fehlersuche bei Defekt
- + Fehlerkompensiert
- + geringe Magnetisierungsspannung (NIC)
- + aktiver Messwiderstand
- + Temperaturgesteuert
- + Keine Bürdenabhängigkeit

## 1. Strom Komparator



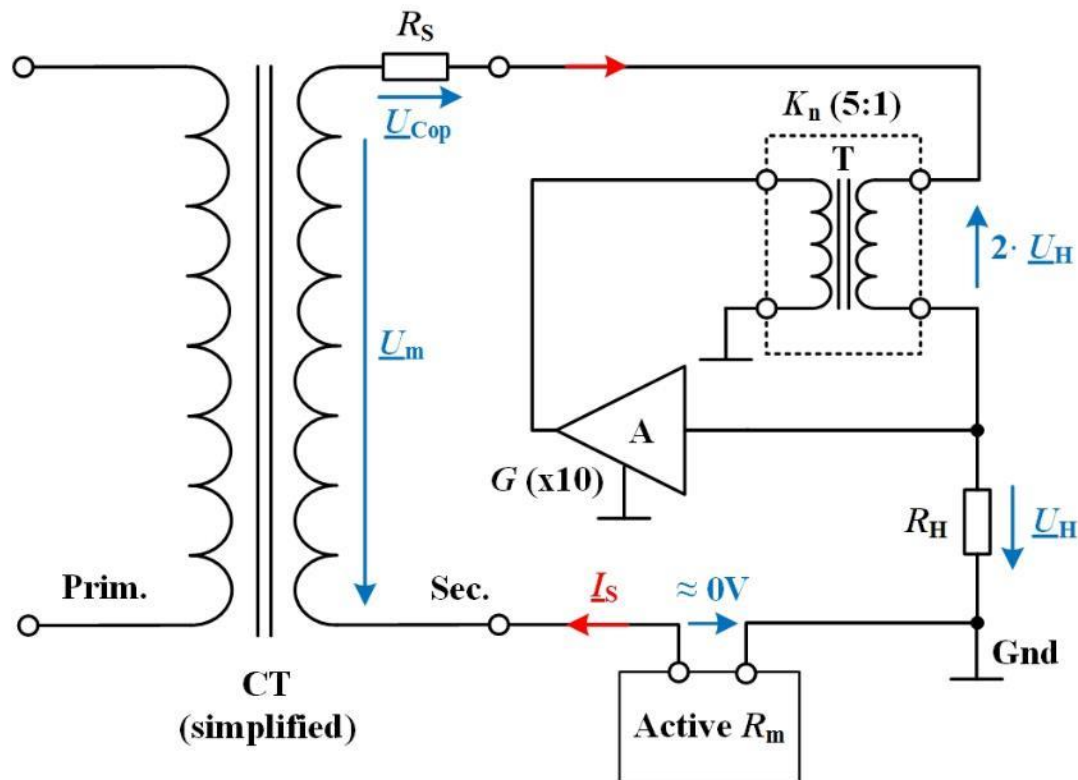


# 1. Stromkomparator

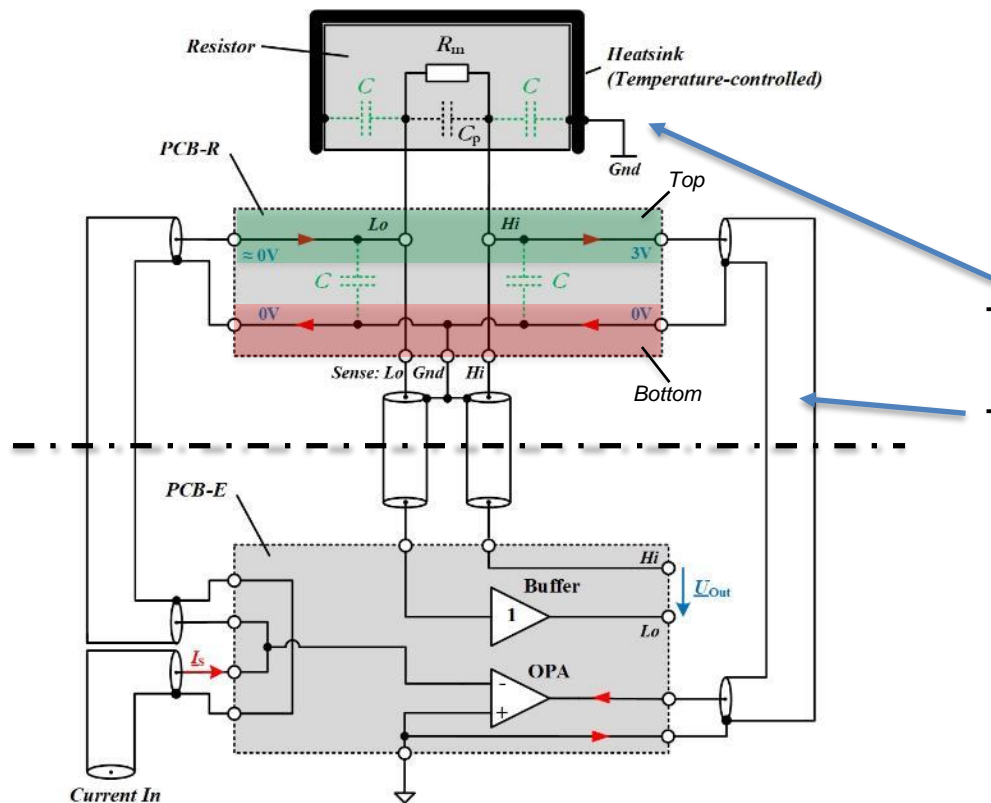


IW-25 mA		
$I_{P,N}$ in A	$I_{S,N}$ in A	$K_n$
5	0,025	200
2,5	0,025	100
1	0,025	40
0,5	0,025	20
0,25	0,025	10
0,1	0,025	4

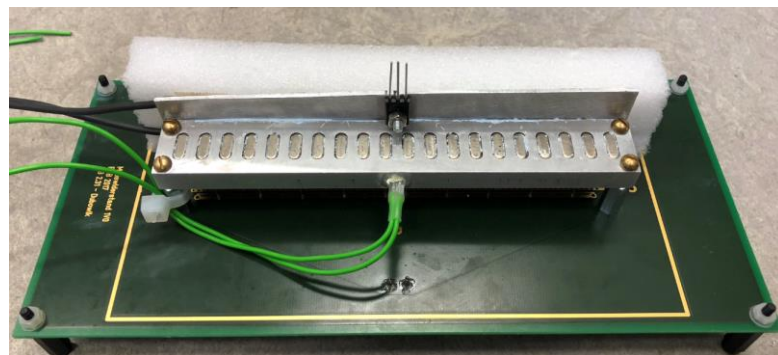
## 2. Negative Impedance Converter (NIC)



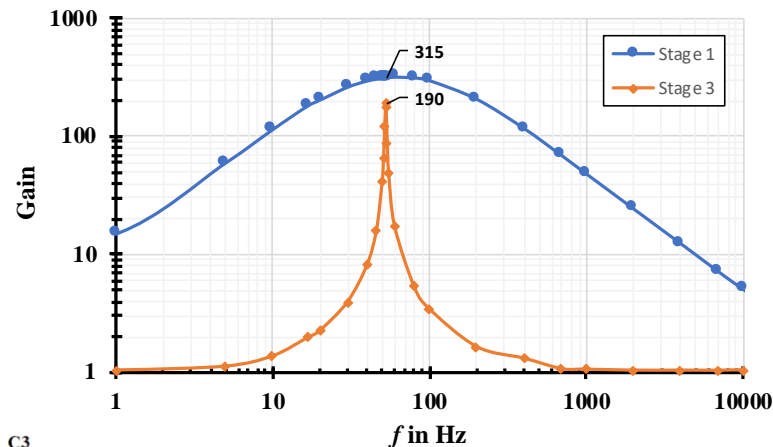
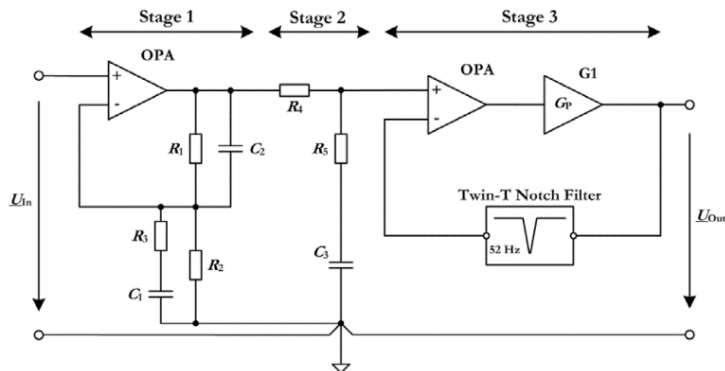
# 3. Temperaturgesteuerter Messwiderstand



- 20 Widerstände (VHP101) mit 600Ω
- Koaxiale Verdrahtung des Widerstandes



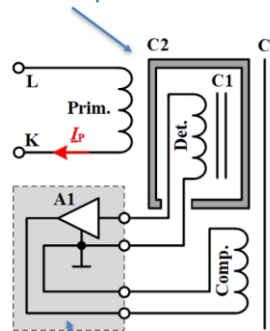
# 4. Fehlerkorrektur



Reduktion des magnetischen Fehlers

$$\underline{E} = \underline{E}_{\text{mag.}} + \underline{E}_{\text{mag.Streufeld}} + \underline{E}_{\text{kapazitiv}}$$

1. Strom Komparator

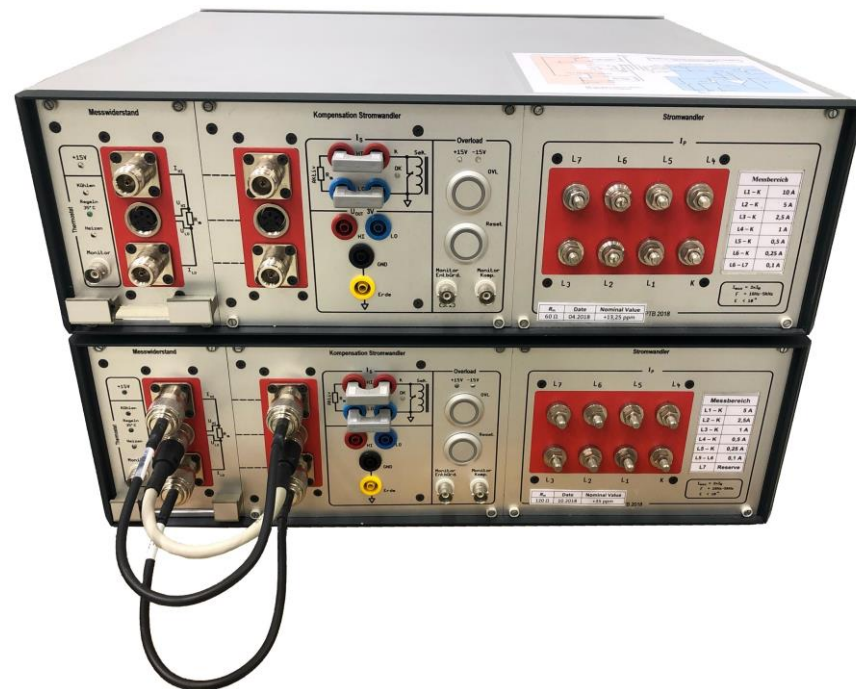


4. Fehlerkorrektur

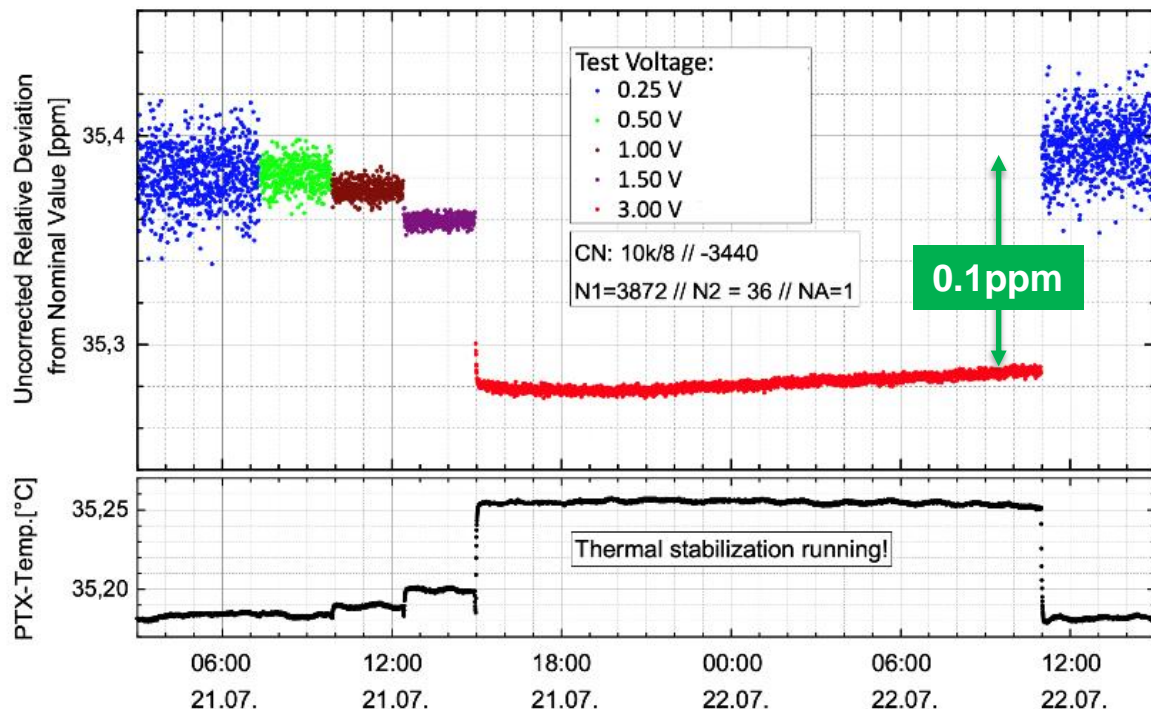
Gain	
16,7 Hz	350
50 Hz	12 500
52 Hz	60 000
60 Hz	5 500

# Ergebnisse des Stromwandlers

IW-25 mA				
Date: 2020	15 AW, $R_m=120\ \Omega$ , $f=52\ \text{Hz}$			
$I_{P,N}$ in A	$\varepsilon_i$ in $\mu\text{A/A}$	$\delta_i$ in $\mu\text{rad}$	$U(\varepsilon_i)$ in $\mu\text{A/A}$	$U(\delta_i)$ in $\mu\text{rad}$
0,1	-0,01	-0,16	0,25	0,25
0,25	-0,13	-0,24		
0,5	-0,11	-0,18		
1	-0,17	-0,21		
2,5	-0,12	-0,26		
5	-0,17	-0,23		
<b>Average</b>	-0,12	-0,21	0,28	0,28
<b>Std Dev</b>	0,06	0,04		



# Ergebnisse des Widerstandes (25mA – 120 Ohm – 3V)



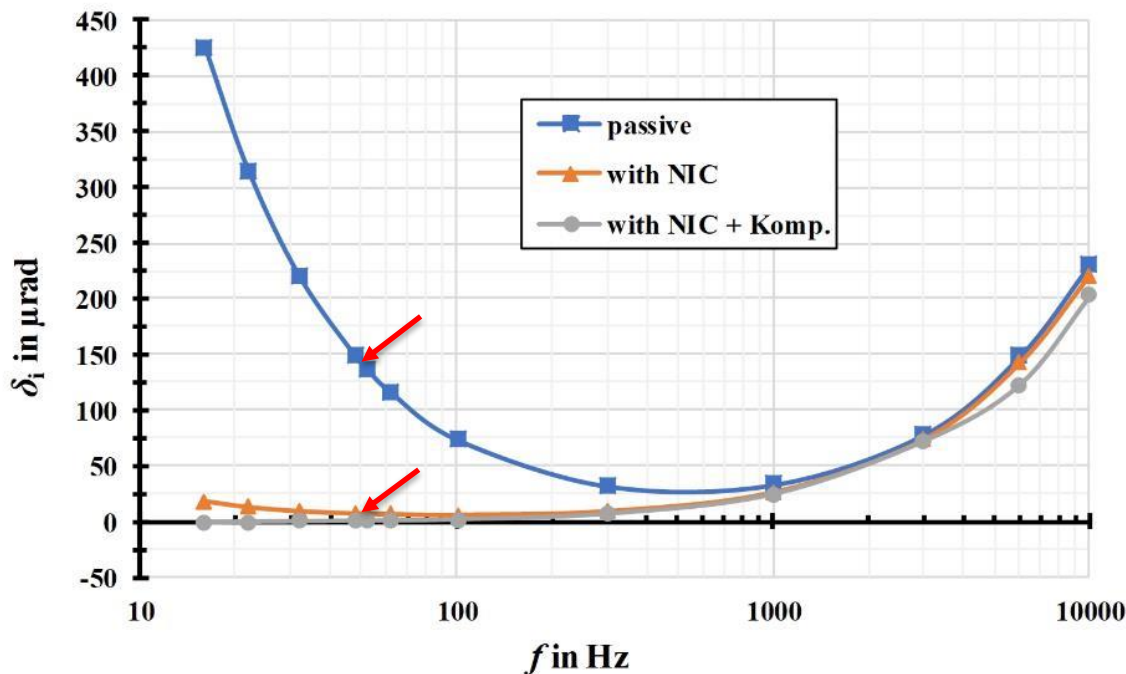
**Relative Abweichung vom Nominalwert:**

2020: 35.28 ppm

Drift pro Jahr: ca. 0,1 ppm

Einlaufzeit (< 0.1 ppm): 2 Tage

Einlaufzeit (< 0.02 ppm): 6 Tage



## Beispielwerte für 52 Hz

	passiv in $\mu\text{rad}$	mit NIC in $\mu\text{rad}$	aktiv in $\mu\text{rad}$
52 Hz	137	6	0,3

> 1 kHz

Keine Fehlerreduzierung  
passiv = aktiv

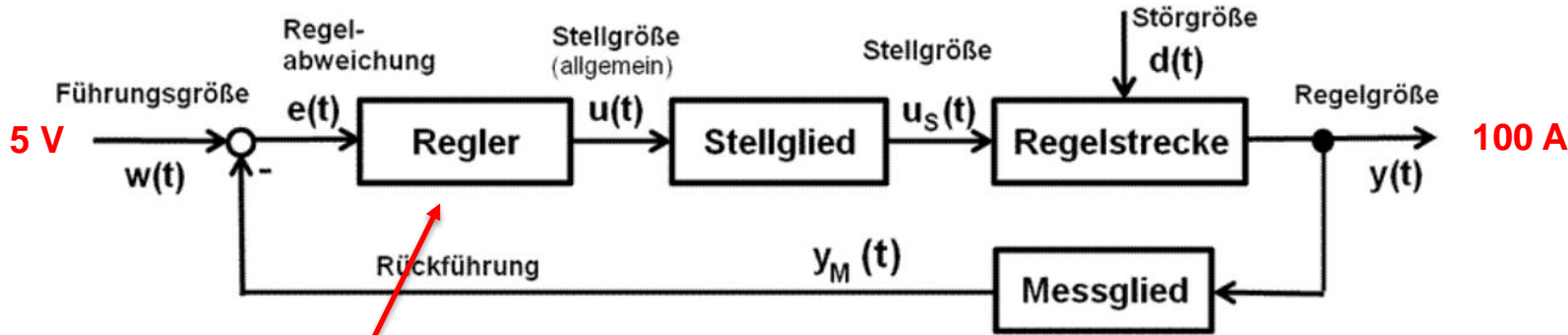


- Motivation
- Stromkomparator + Messwiderstand
- **Optimierung der Stromquelle (bessere Stabilität + sdev)**
- Zusammenfassung und Ausblick





# Optimierung des Transkonduktanz Verstärkers

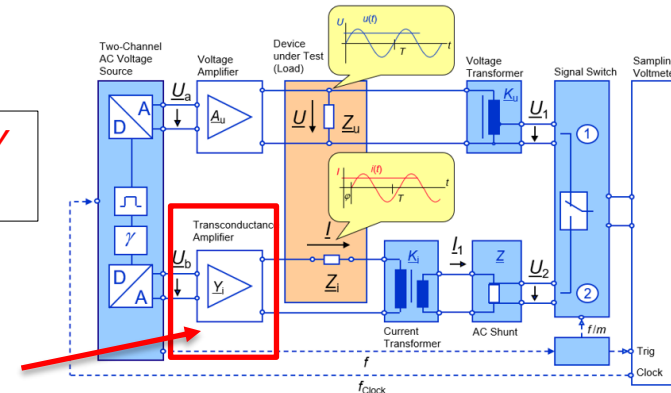


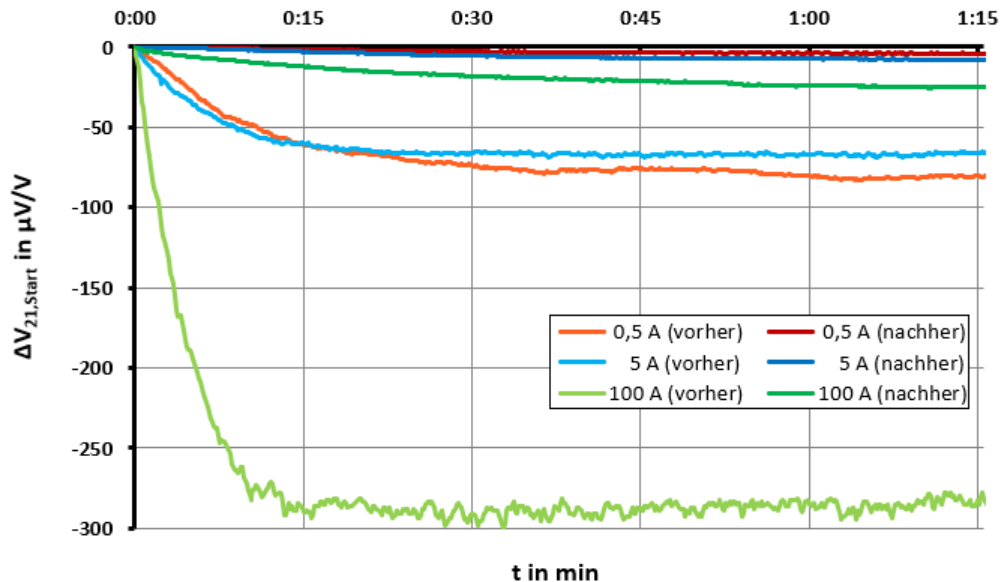
Verstärkungsoptimierung  
Von ca. x1 auf x400 (52Hz)

Erfahrungen aus Fehlerkomp. (Notch-Struktur)

Bessere Widerstände 4x VISHAY  
Z201 → Reduktion der Leistung

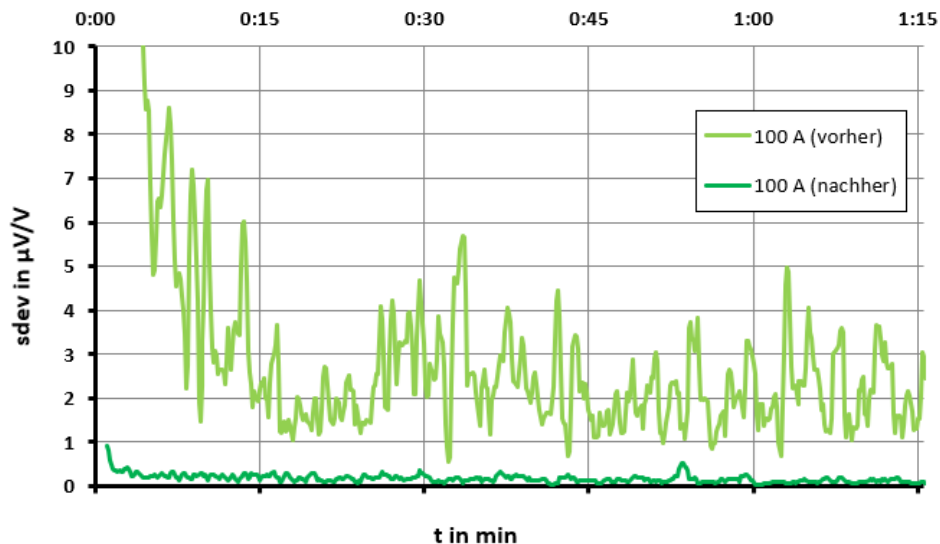
Transkonduktanz Verstärker





## Ergebnisse für 100 A - Bereich

	vorher	nachher
<b>Drift</b>	ca. 290 ppm	ca. 25 ppm
<b>sdev</b>	ca. 4 ppm	ca. 0,2 ppm



## Ergebnisse für 100 A - Bereich

	vorher	nachher
<b>Drift</b>	ca. 290 ppm	ca. 25 ppm
<b>sdev</b>	ca. 4 ppm	ca. 0,2 ppm

- Motivation
- Stromkomparator + Messwiderstand
- Optimierung der Stromquelle (bessere Stabilität + sdev)
- **Zusammenfassung und Ausblick**

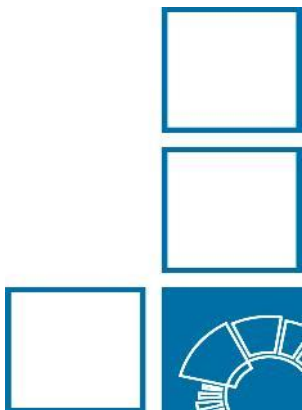


- Aufbau eines optimierten aktiven AC-Strom-Spannungswandlers
- Abweichungen und Messunsicherheiten wurden stark reduziert (sub-ppm-Bereich)
- Stabilität und Einlaufverhalten der Stromquelle wurden optimiert

## Voraussichtliche Reduktion der Messunsicherheit des Leistungsnormal von 5 ppm ( $k=2$ ) auf 3 ppm ( $k=2$ ) durch die Umbaumaßnahmen

- Zeitkonstante des Messwiderstandes (Phasenwinkel)
- Verifikation des neuen Stromwandlers gegen den Alten (Vergleichsmessung)
- Erweiterungsstromwandler bis 100A Stromwandler

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

Alexander Dubowik

Telefon: 0531 592-2385

E-Mail: [alexander.dubowik@ptb.de](mailto:alexander.dubowik@ptb.de)

[www.ptb.de](http://www.ptb.de)

