

Breitbandiger Stromwandlermessplatz bis 150 kHz für die Messung von Stromstärkeverhältnissen bis 50 A

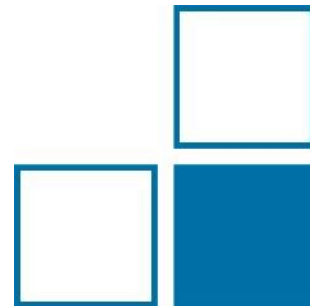
A. Dubowik, E. Mohns



Alexander Dubowik
AG 2.32 Zeitsynchronisierte Messsysteme und Sensoren

323. PTB-Seminar

- Mai 2023 -



Agenda

- Motivation
- Stromwandlermessplatz
- Quelle und Breitbandstromwandler
- Zusammenfassung und Ausblick





Ziel Leistungsmessung



Möglichkeit der Kalibrierung
bis zu **50 A** und **150 kHz**



Möglichkeit der Kalibrierung
bis zu **1400 V** und **30 kHz**

Anwendung im EMPIR
Projekt **WindEFCY**

- Rückführung von
TransfERNormalen für vor
Ort Kalibrierungen

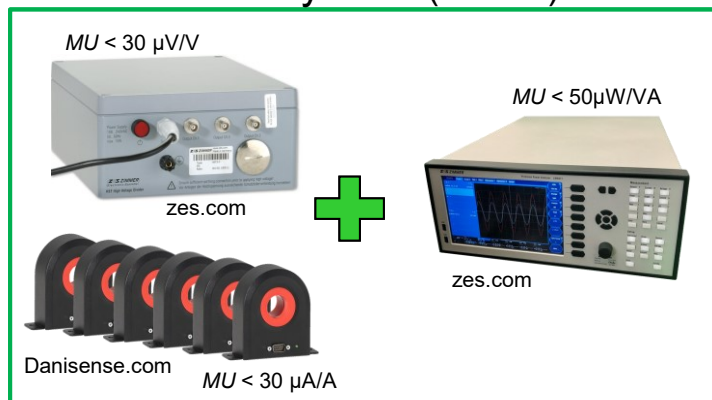
Anwendung im nationalen
Projekt **Stromkalib**

- StromwandlERMessplatz

Ziel:

- Schaffung der Messtechnik für eine Vor-Ort-Kalibrierung von verbauten Messsystemen im Gondelprüfstand → Referenzmesssystem (RPMS)
- Rückführung des Referenzsystems (Stroms- und Spannungssensoren, Leistungsmessgerät)
- Angestrebte Gesamtunsicherheit des RPMS von 0,02 % für die gemessene elektr. Leistung
- Angestrebte Bandbreite des RPMS von 20 kHz

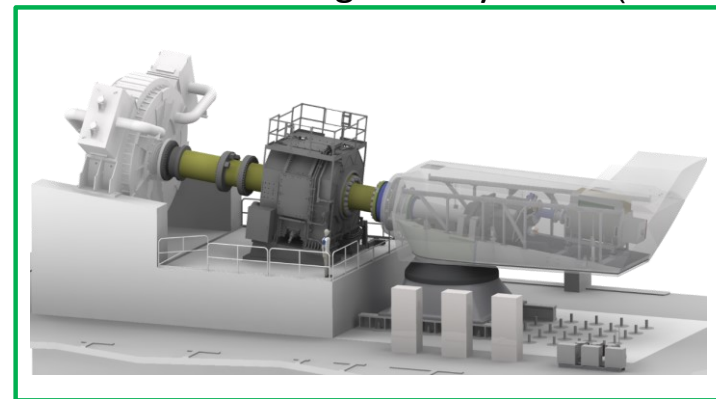
Referenzmesssystem (RPMS)

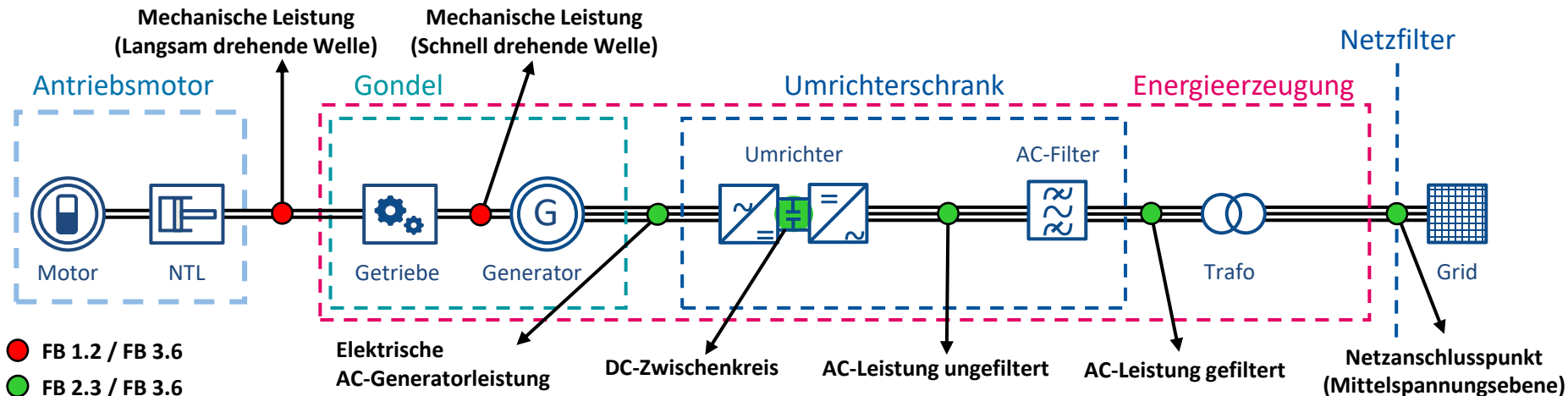


Kalibrierung im
Gondelprüfstand



Elektrische Leistungsmesssysteme (EPMS)



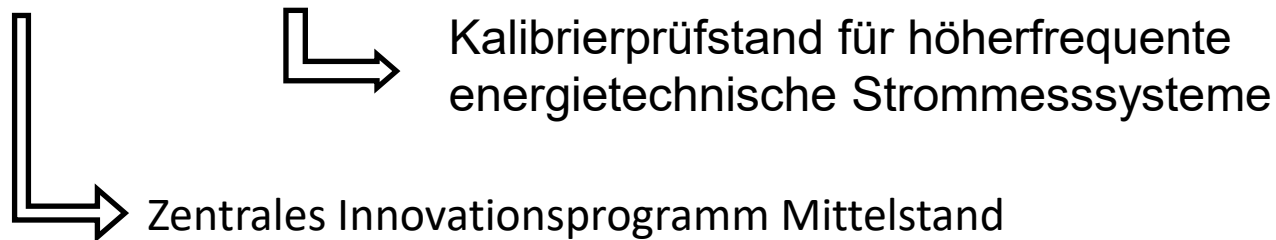


Quelle: Center for Wind Power Drives der RWTH Aachen (CWD)



Quelle: Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES)

ZIM – Stromkalib



Ziel: Kalibriermöglichkeiten bis zu 50 A und 150 kHz in Kalibrierlaboratorien ermöglichen



TU Dresden



Condensator Dominit GmbH



QMK GmbH



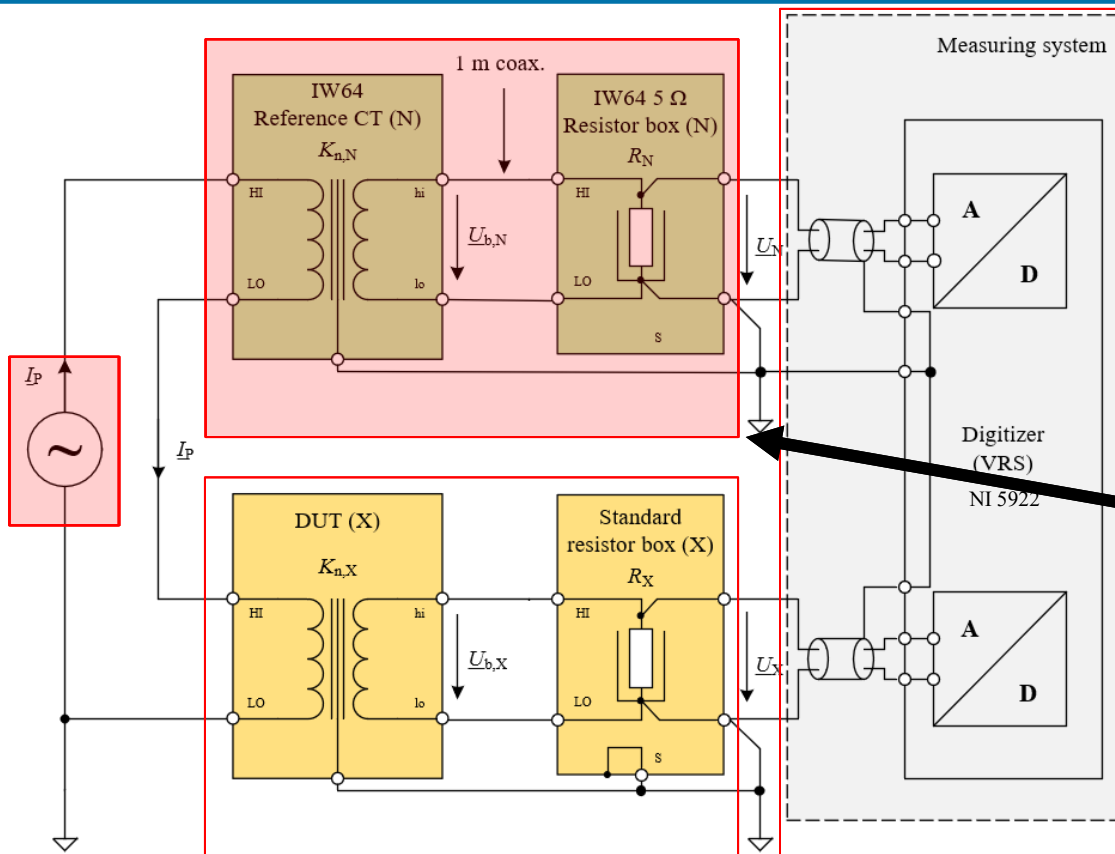
Spitzenberger und Spies



PTB

Stromwandler Messplatz

Stromquelle
50 A (150 kHz)



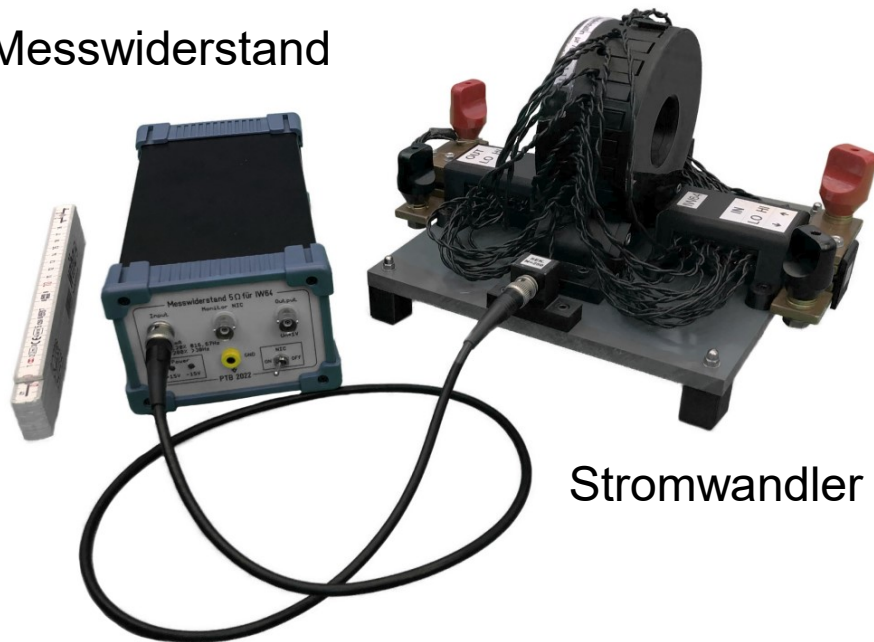
Referenzstromwandler
50 A (150 kHz)

Wichtige Komponenten

50 A – Breitbandstromwandler (Eigenbau)



Aktiver Messwiderstand



Stromwandler

4-Quadranten-Verstärker (200x110x60) cm

Prototype des Stromverstärkers



Eigenschaften:

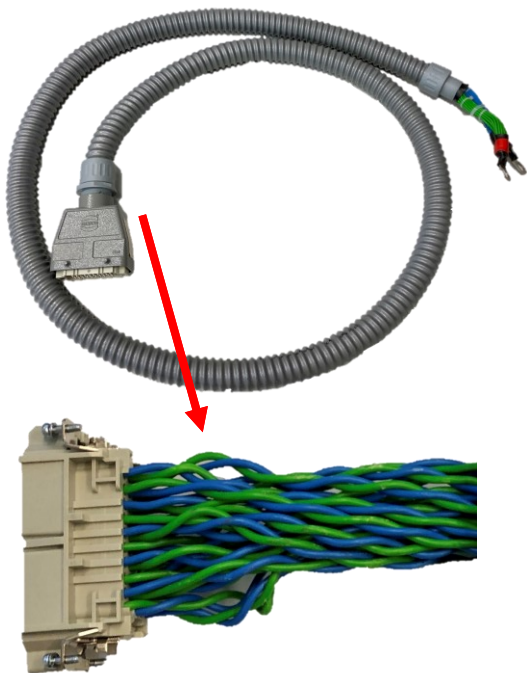
- 2 Ausgänge für Industriestecker / Laborleitungen / Kabelschuhe
- Frequenzbereich: **DC ... 150 kHz**
- Integriertes Internes Netzteil
- Output Bereich:
 - 140 Arms / 30 Vrms
 - **70 Arms / 70 Vrms**
- Ext. Differenzeingang (programmierbar von $\pm 2\text{Vp}$... $\pm 25\text{Vp}$)



4-Quadranten-Verstärker

Optimierung der Anschlussleitung

Version 1:
2,5 m Leitung (40 pins)



Version 2:
2 m Leitung, eng verdrillt (40 pins)



Optimierung der Anschlussleitung

old cable (Version 1)				
	Source monitor		$Z = U / I$	$L = Z / \omega$
f in Hz	I in A	U in V	Z in Ω	L in μH
150000	10	2.05	0.20	0.22
	20	4.10	0.20	0.22
	40	8.21	0.21	0.22
	71	14.52	0.21	0.22
200000	10	2.70	0.27	0.22
	20	5.41	0.27	0.22
	40	10.84	0.27	0.22
	50	13.57	0.27	0.22
	70	19.05	0.27	0.22

new cable (Version 2)				
	Source monitor		$Z = U / I$	$L = Z / \omega$
f in Hz	I in A	U in V	Z in Ω	L in μH
150000	10	1.59	0.16	0.17
	20	3.19	0.16	0.17
	40	6.39	0.16	0.17
	71	11.18	0.16	0.17
200000	10	2.10	0.21	0.17
	20	4.20	0.21	0.17
	40	8.41	0.21	0.17
	50	10.52	0.21	0.17
	70	14.75	0.21	0.17

Optimierung = 23 %

Source
Cable
Cable + Ref. CT

= +70 V / 70 A

= - 11 V

= - 19 V

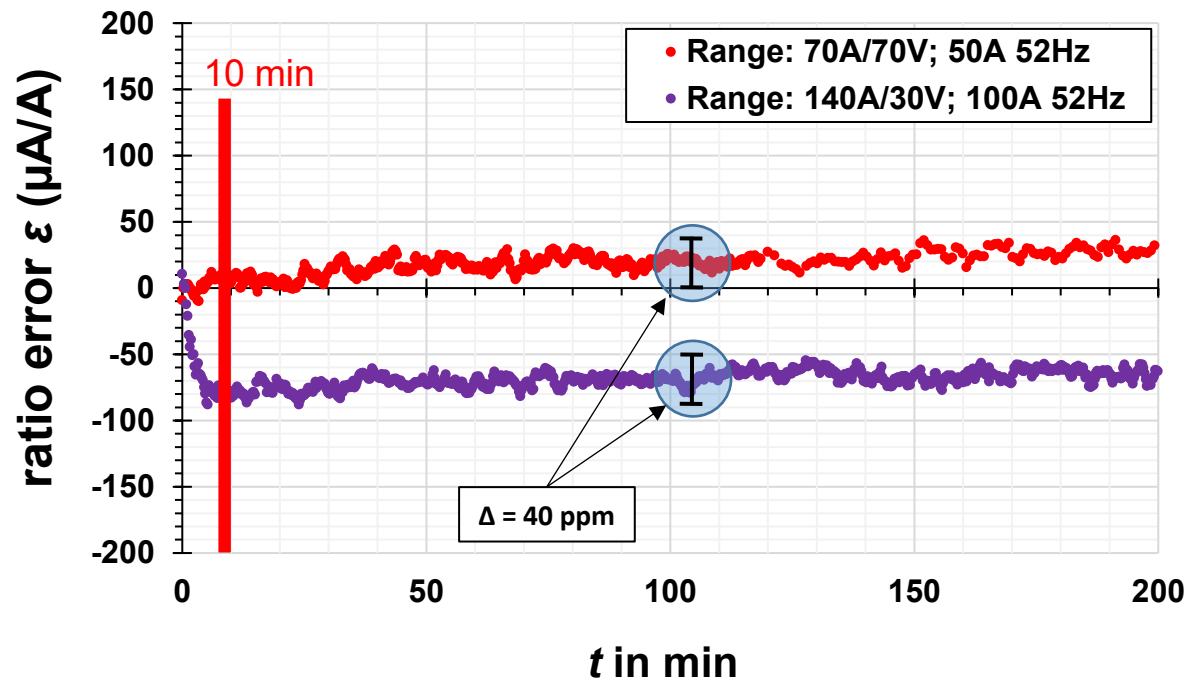
DUT = 50 V (0.8 μH)



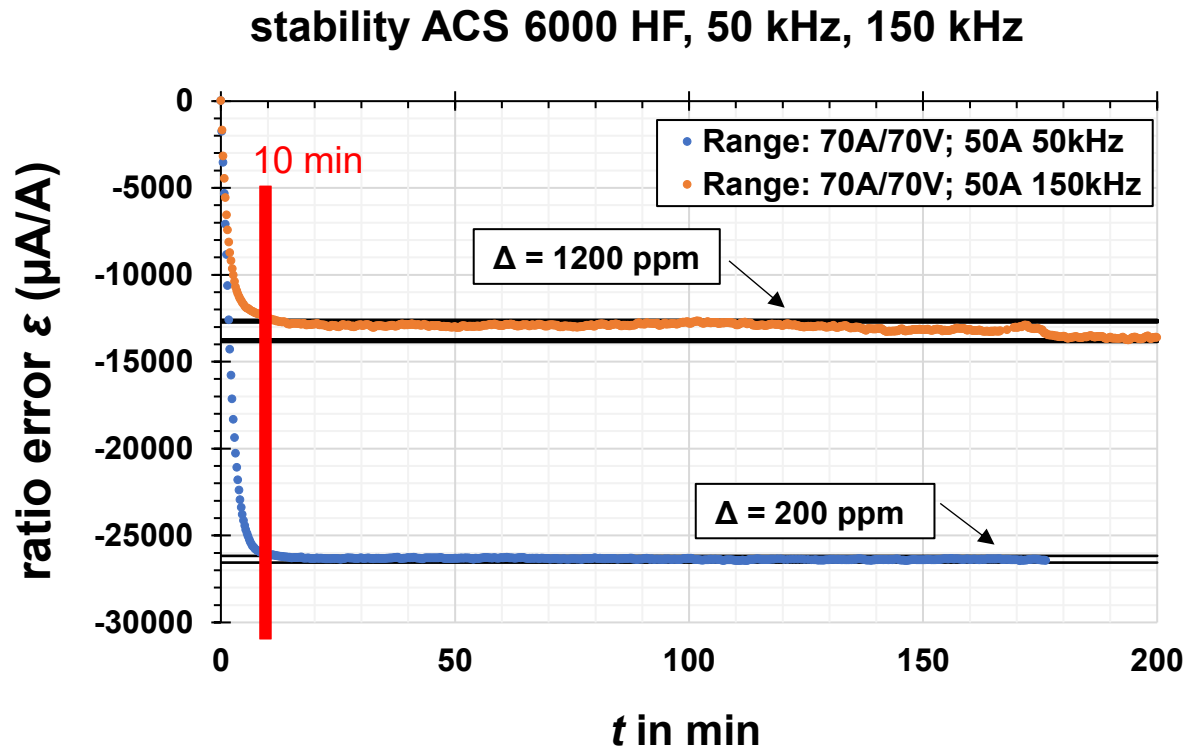
Stabilität des ACS 6000 HF Verstärkers



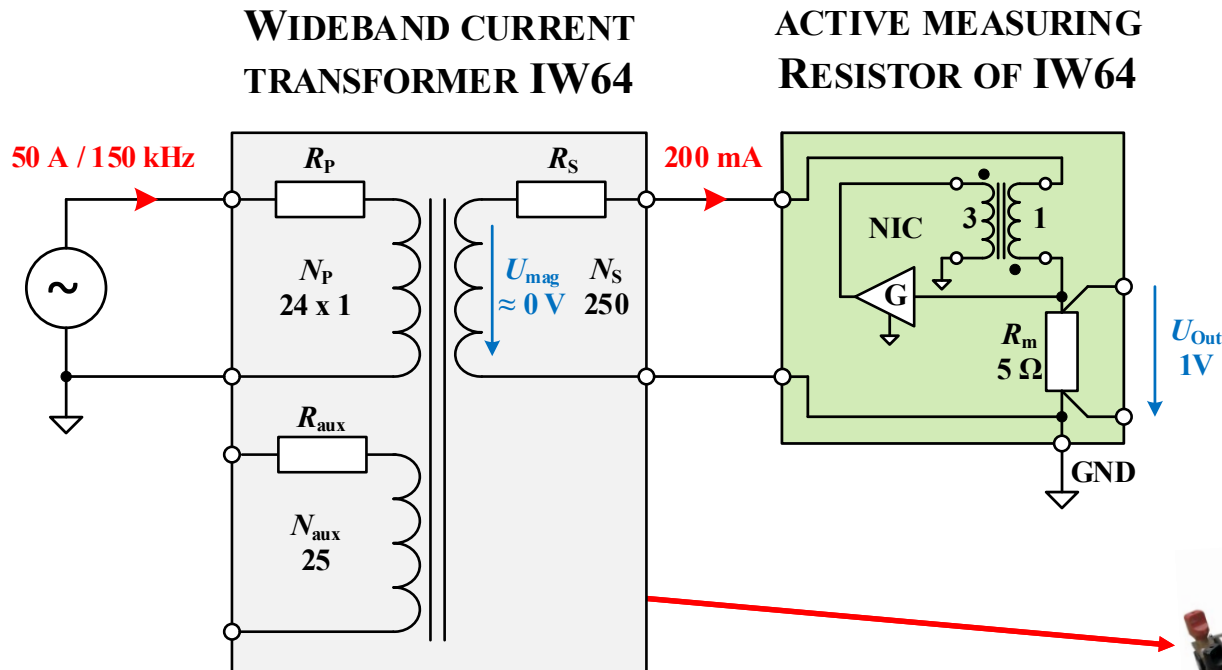
stability ACS 6000 HF, 52 Hz



Stability of the ACS 6000 HF amplifier

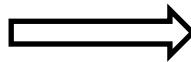
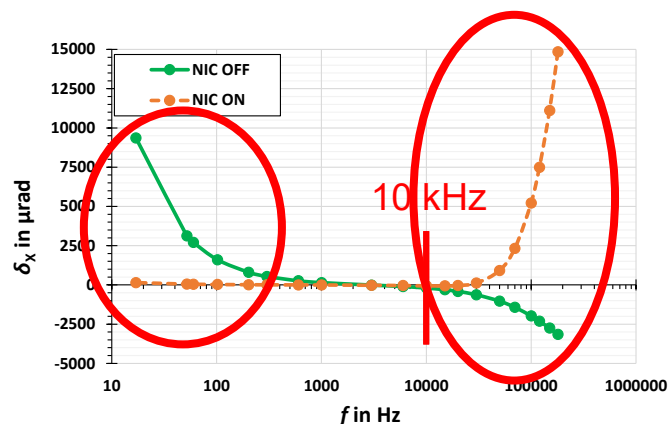
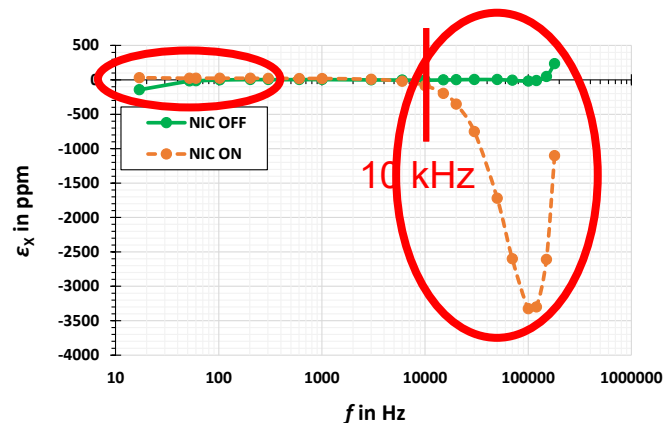


Aufbau des Stromwandlers



Bandwidth	I_{PN}	I_{P_MAX}	I_{SN}	N_P / N_S ratio	R_M	U_{SN}
17 Hz ... 150 kHz	50 A	$I_{PN} \cdot 2$	0.2 A	1:250	5 Ω	1 V

Untersuchung elektronische Kompensation



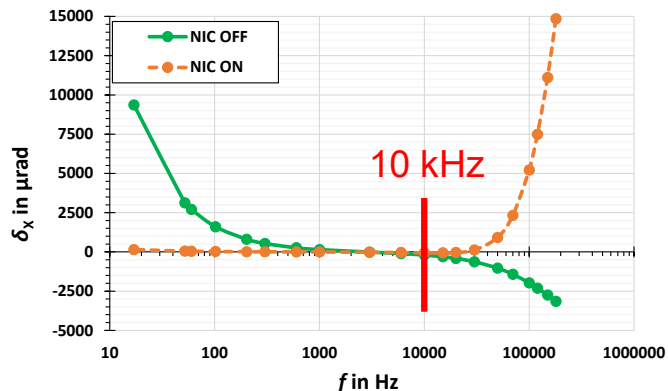
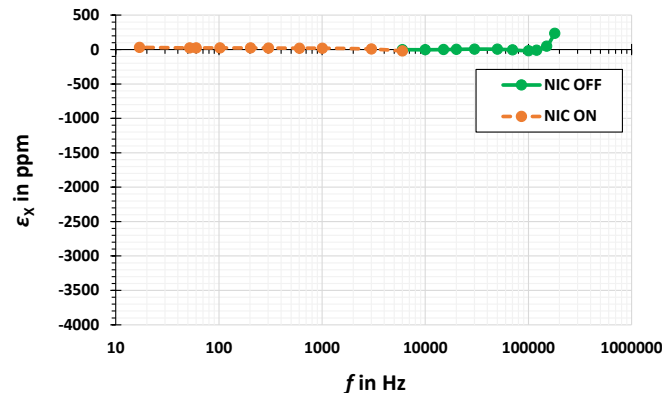
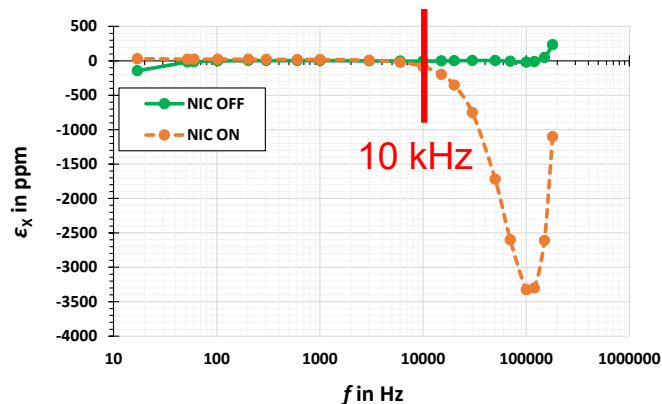
< 10 kHz: NIC - ON

> 10 kHz: NIC - OFF

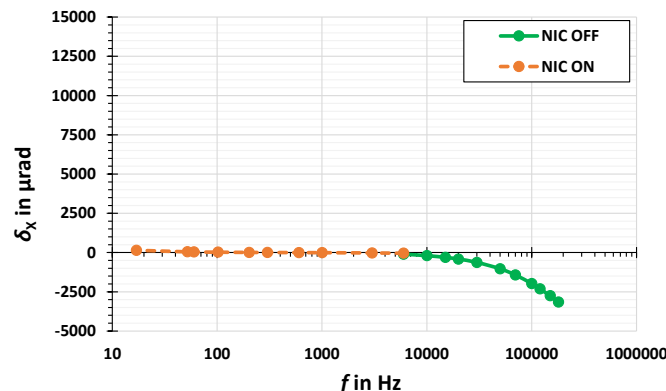


NIC - Umschaltung

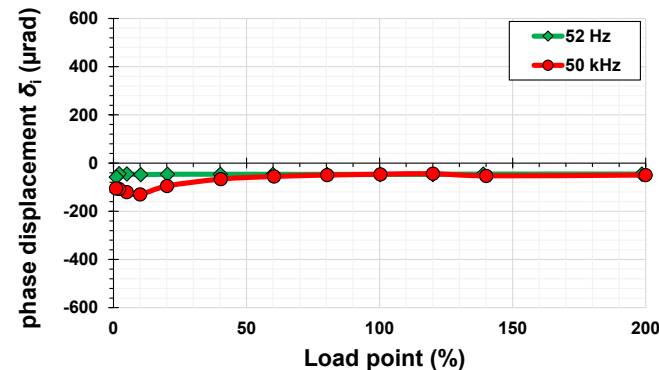
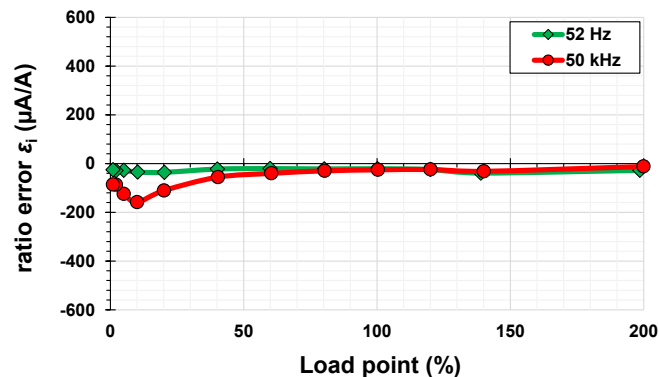
Untersuchung elektronische Kompensation



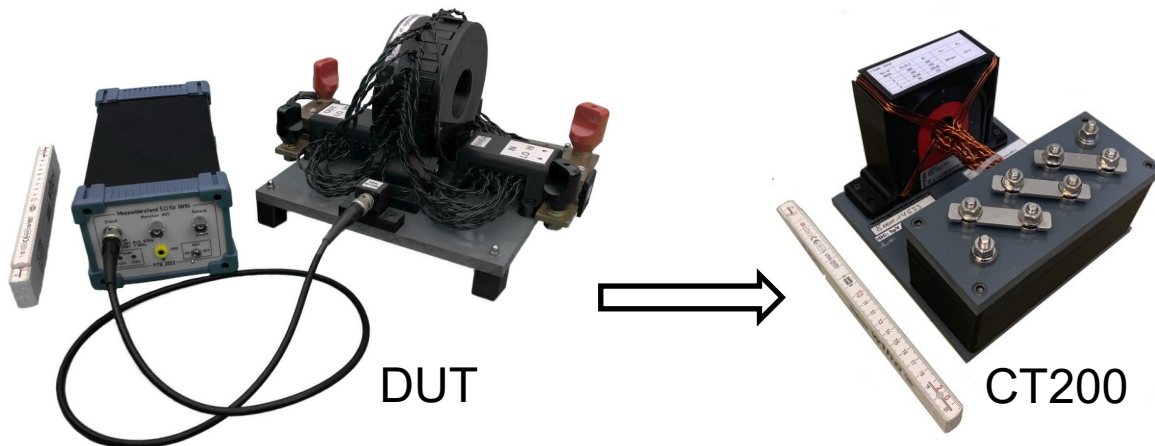
< 10 kHz: NIC - ON
 > 10 kHz: NIC - OFF



Linearität des Stromwandlers



- **Linearity:** 1 % ... 200 % (0.5 A ... 100 A)
- **Frequency:** 52 Hz and 50 kHz
- **Δ min/max:**
 - $\Delta\varepsilon_{i(52\text{Hz})} = 19 \text{ ppm}$ $\Delta\delta_{i(52\text{Hz})} = 13 \text{ μrad}$
 - $\Delta\varepsilon_{i(50\text{kHz})} = 146 \text{ ppm}$ $\Delta\delta_{i(50\text{kHz})} = 86 \text{ μrad}$



Frequenzgang des Stromwandlers

DUT



Reference shunts:

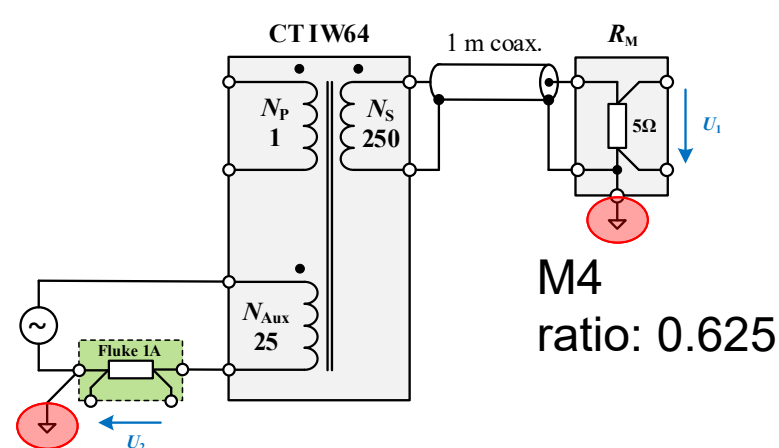
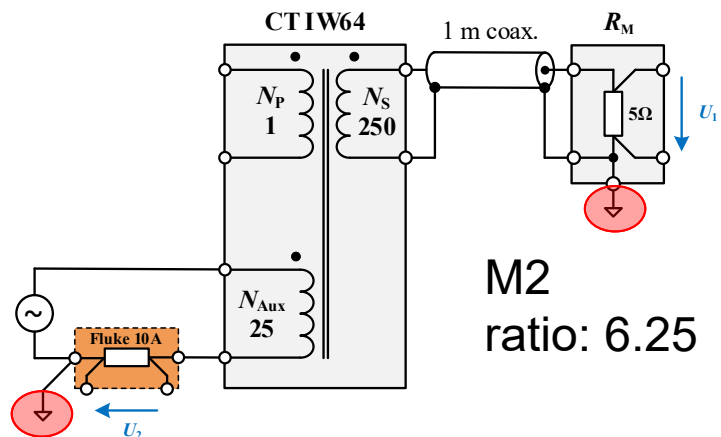
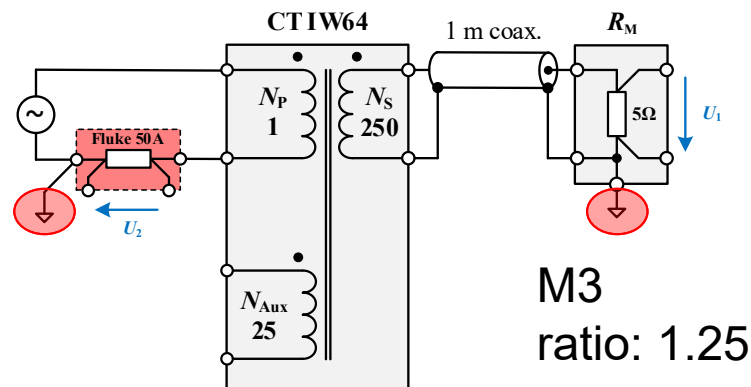
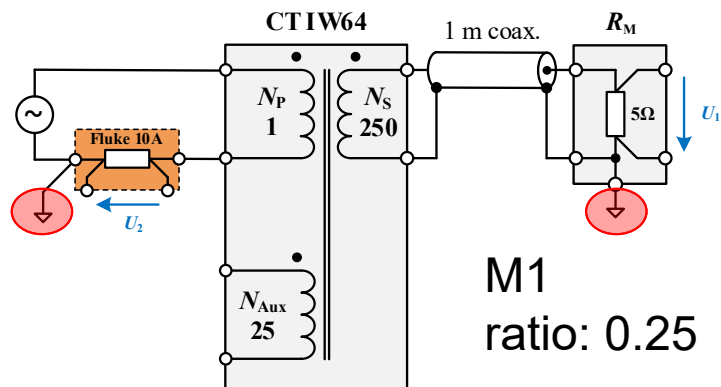
Fluke A40B 50 A

Fluke A40B 10 A

Fluke A40B 1 A

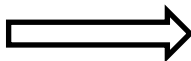


Kalibrierprozess (17 Hz ... 150 kHz)

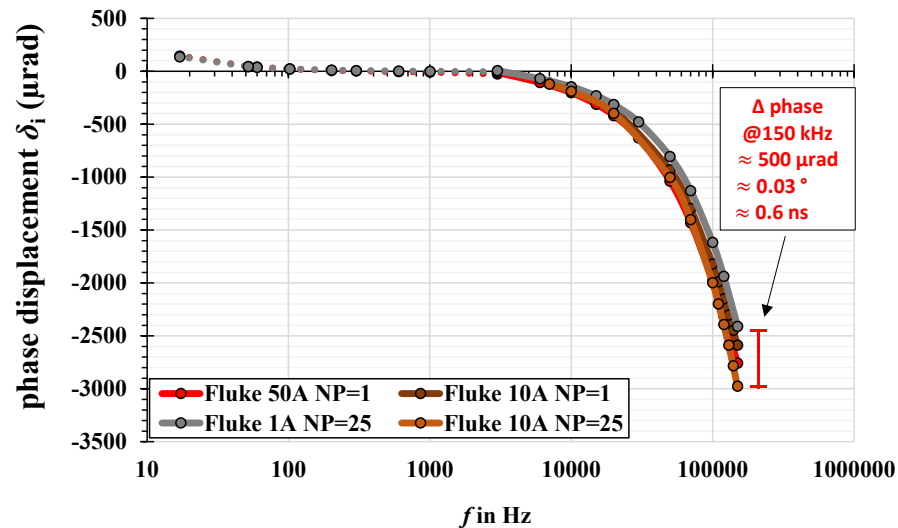
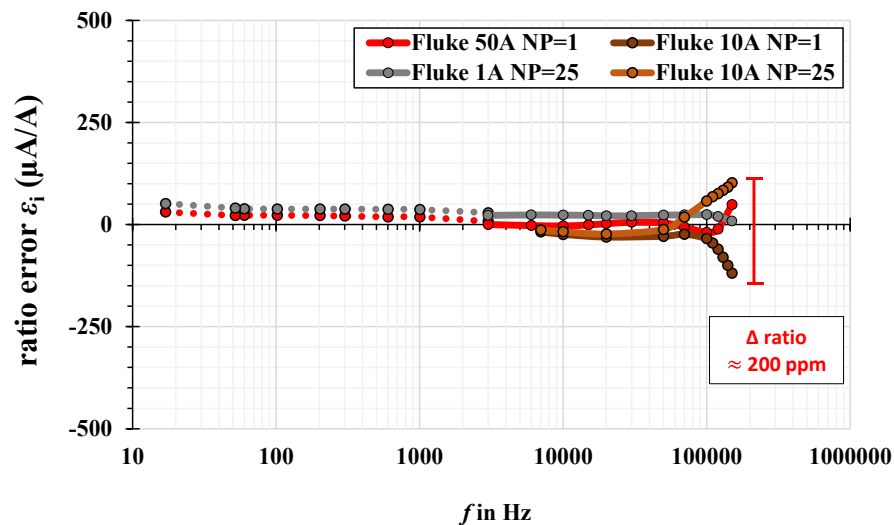


Frequenzgang des Stromwandlers

DUT
(CT)



Reference
A40B-Shunts



Vorgängermodell bis 10 kHz

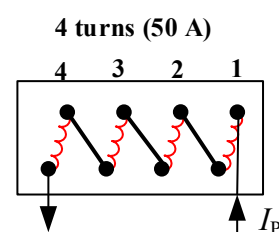
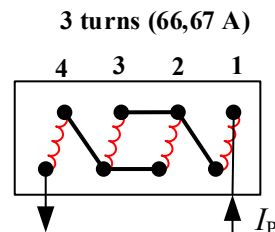
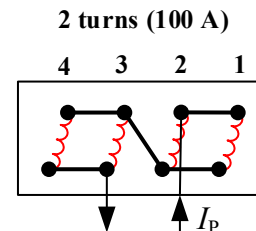
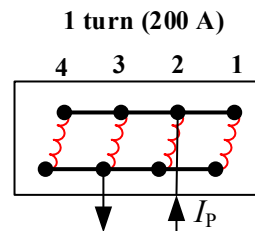
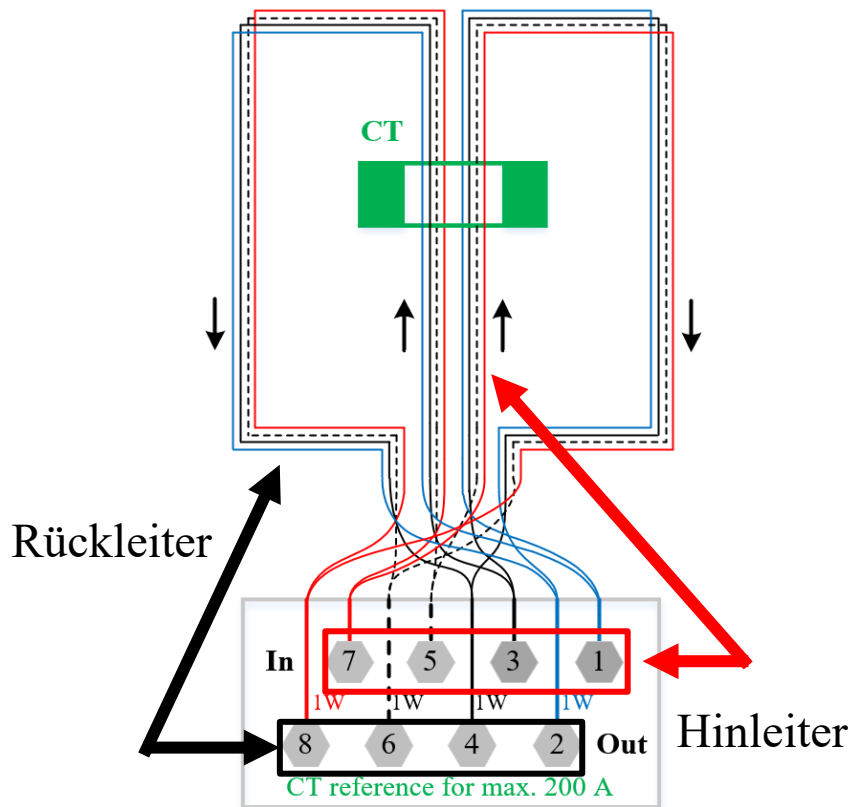
CT200

CT600

CT2000



Aufbau CT200



Optimierte Stromsensoren für 150 kHz



CT200



CT600



CT 2000

$f = 150 \text{ kHz}$

$N_p = 1; 75 \text{ A} / 30 \text{ V}$

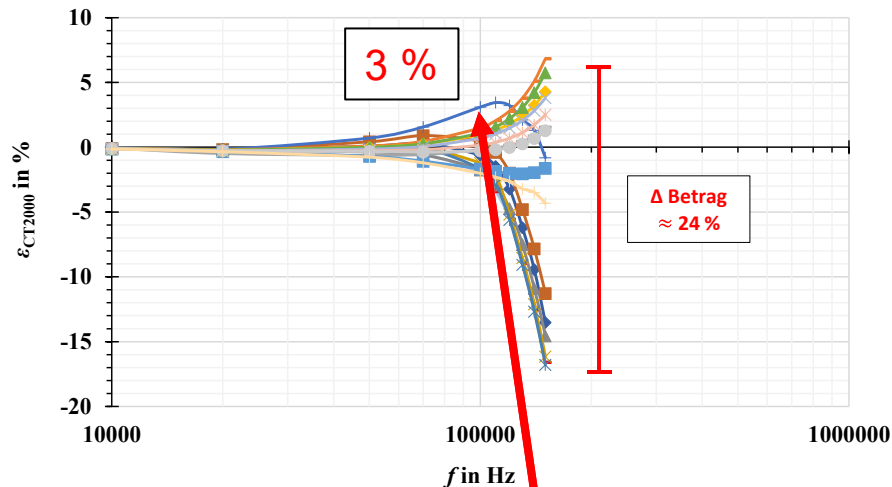
$N_p = 4; 30 \text{ A} / 70 \text{ V}$

Frequenzgang CT2000

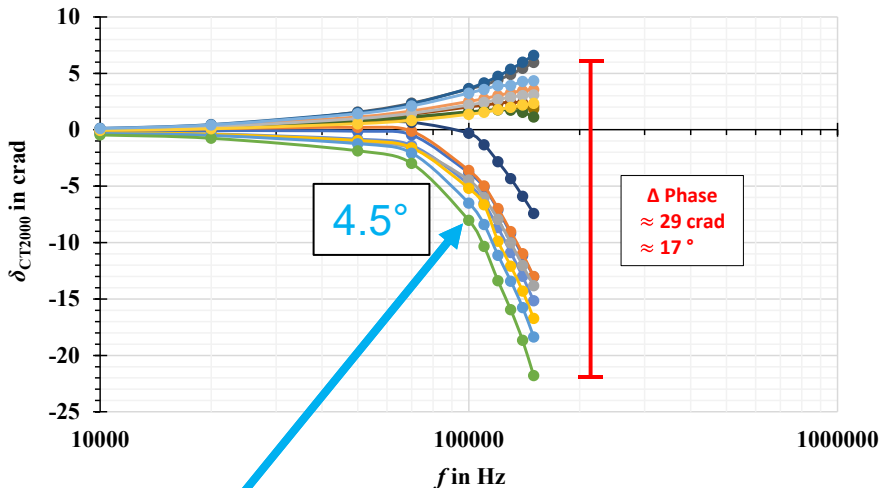


Frequenzgang CT2000

Betragsabhängigkeit Leitungsführung (CT2000)



Phasenabhängigkeit Leitungsführung (CT2000)



Bandwidth	f(-3dB)	kHz	300		
Gain error	DC - 1kHz			0.01%	% refers to nominal current
	1kHz - 10kHz	ϵ_G	%	1.50%	
	10kHz - 100kHz			3.00%	
Phase shift	DC - 1kHz			0.04°	
	1kHz - 10kHz	ϕ	°	0.50°	
	10kHz - 100kHz			3.00°	

- Erfolgreicher Prototyp einer Stromquelle entwickelt
 - Spannungs und Strombereich: **70 V and > 50 A**
- Entwicklung eines Referenz-Breitbandstromwandlers
 - bis **100 A und 150 kHz**

To Do:

- Bestimmung der Messunsicherheit des Breitbandstromwandlers
- Es wird ein Prüfstand eingerichtet, um einen 50 Hz Strom mit einem überlagerten Hochfrequenzstrom zu messen
- Untersuchung der induktive Kopplung zwischen den beiden Strompfaden
- Rückführung des Stromwandlersets bis 2000 A

Thank you for your
attention!



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Alexander Dubowik

Phone: 0531 592-2385

E-Mail: alexander.dubowik@ptb.de

www.ptb.de

