

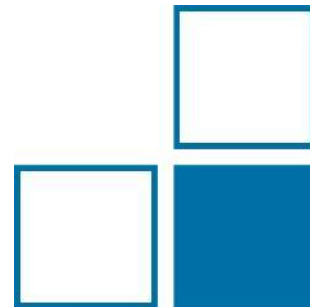
# **Aktiver Breitband-Spannungsteiler bis 480V als Referenz für Leistungs- oder Wandlermessplätze**

**A. Dubowik, E. Mohns**

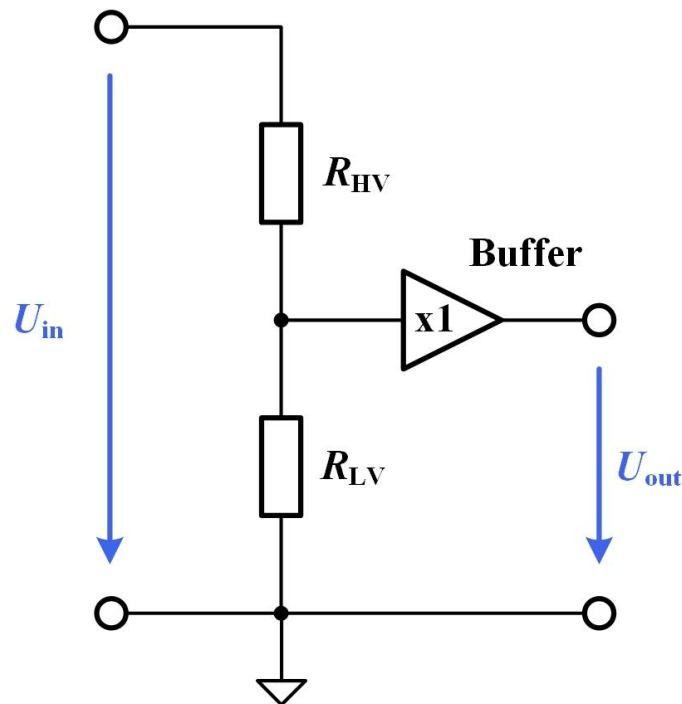
***333. PTB-Seminar Abteilung 2***

***- 06. Mai 2026 -***

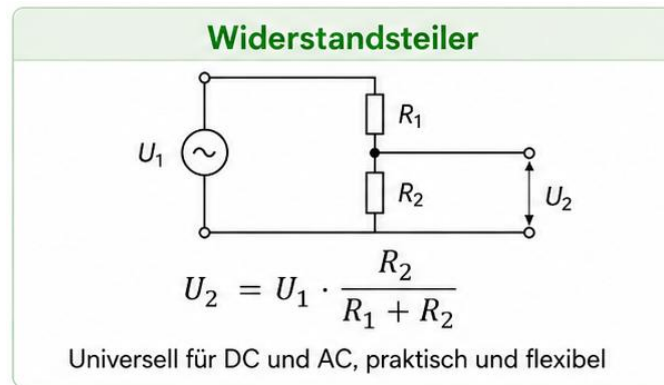
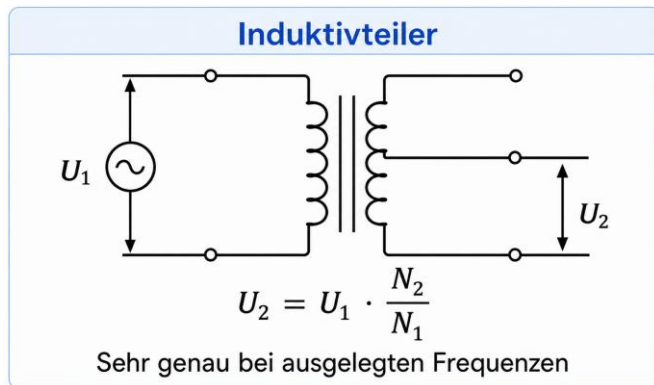
Alexander Dubowik  
FB 2.3 Elektrische Energiemesstechnik  
AG 2.35 Netzintegration, erneuerbare Energien und Speicher



- Motivation und Einleitung
- Voruntersuchungen
- Aufbau / Ersatzschaltbilder
- Messergebnisse
- Zusammenfassung



# Motivation – Warum ein Widerstandsteiler?



	Induktivteiler (Normalwandler)		Widerstandsteiler	
<b>Genauigkeit</b>	Sehr hoch	✓	Hoch, aber aufwändiger Abgleich	⚠
<b>Stabilität</b>	Sehr Gut bei ausgelegten Frequenzen	✓	Gut, aber aufwändig: Temperaturabhängig, Alterung, Belastung	⚠
<b>Bandbreite</b>	Ausgelegt für bestimmte Frequenzen (Sättigungseffekte, L, C, Kernverluste)	⚠	<b>Breitbandig</b> (Probleme: L, C, Geometrie, Aufbau, Abschirmung, Kühlung)	✓
<b>DC-Eignung</b>	Nicht geeignet	✗	<b>DC-geeignet</b>	✓

- Hochpräziser Breitbandteiler für die Zukunft notwendig
- Technischen Zusammenarbeit (Kooperation) mit Brasilien (INMETRO)

## Vorkenntnisse:

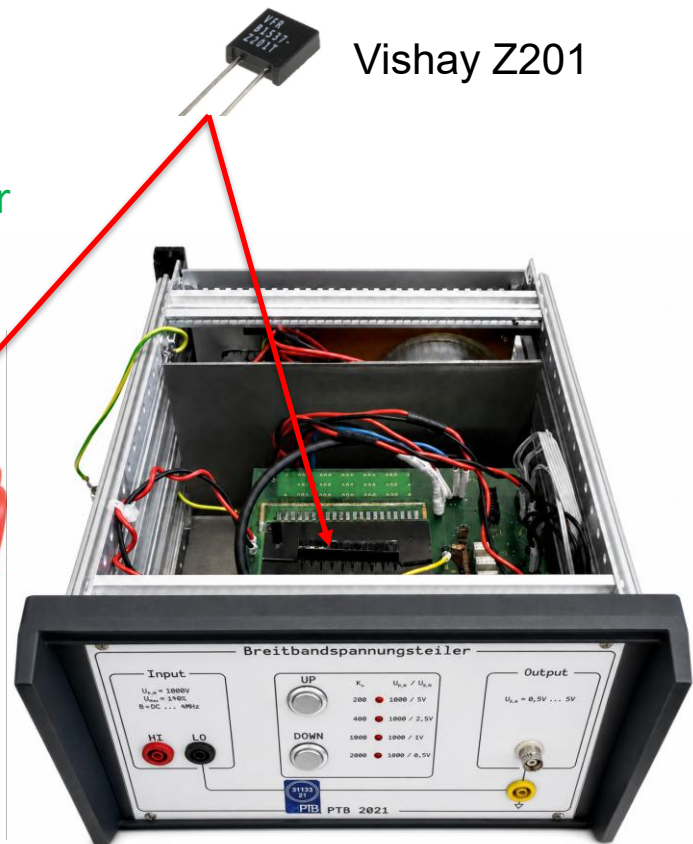
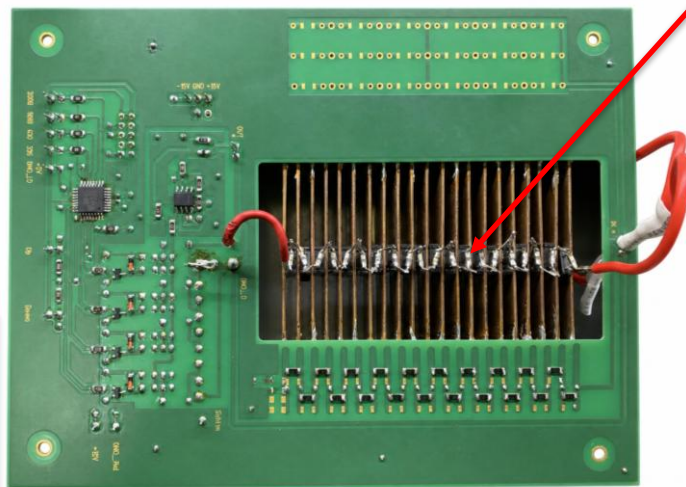
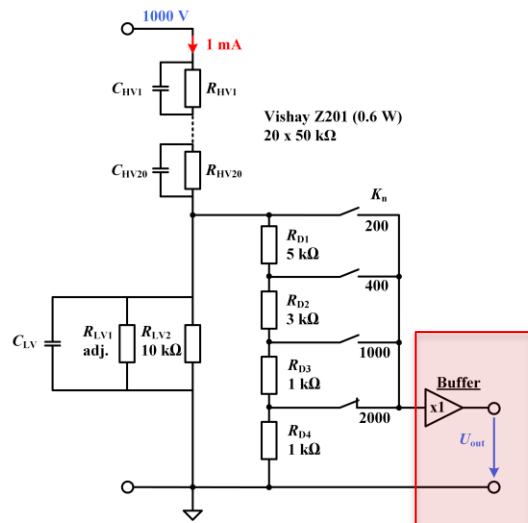
- PTB:
  - Erfahrungen mit einem umschaltbaren aktiven Breitbandteilern (<30 kHz)
- INMETRO:
  - Erfahrungen aus einem südamerikanischem Projekt (Argentinien, Brasilien, Uruguay)

# Motivation / Projektentstehung

## Vorkenntnisse:

### ■ PTB Breitbandteiler:

- Umschaltbar bis 1400 V
- Keine Belastungsprobleme wegen Ausgangspuffer
- Nutzbare metrologische Bandbreite < 30 kHz



Vishay Z201

# Motivation / Projektentstehung

## Vorkenntnisse:

### ■ INMETRO Einzelteiler:

- Viele Einzelteiler, Aufwendige Konstruktion + Abgleich
- Belastungsprobleme
- Breitbandig durch Schirmung

Z-Foil Audio



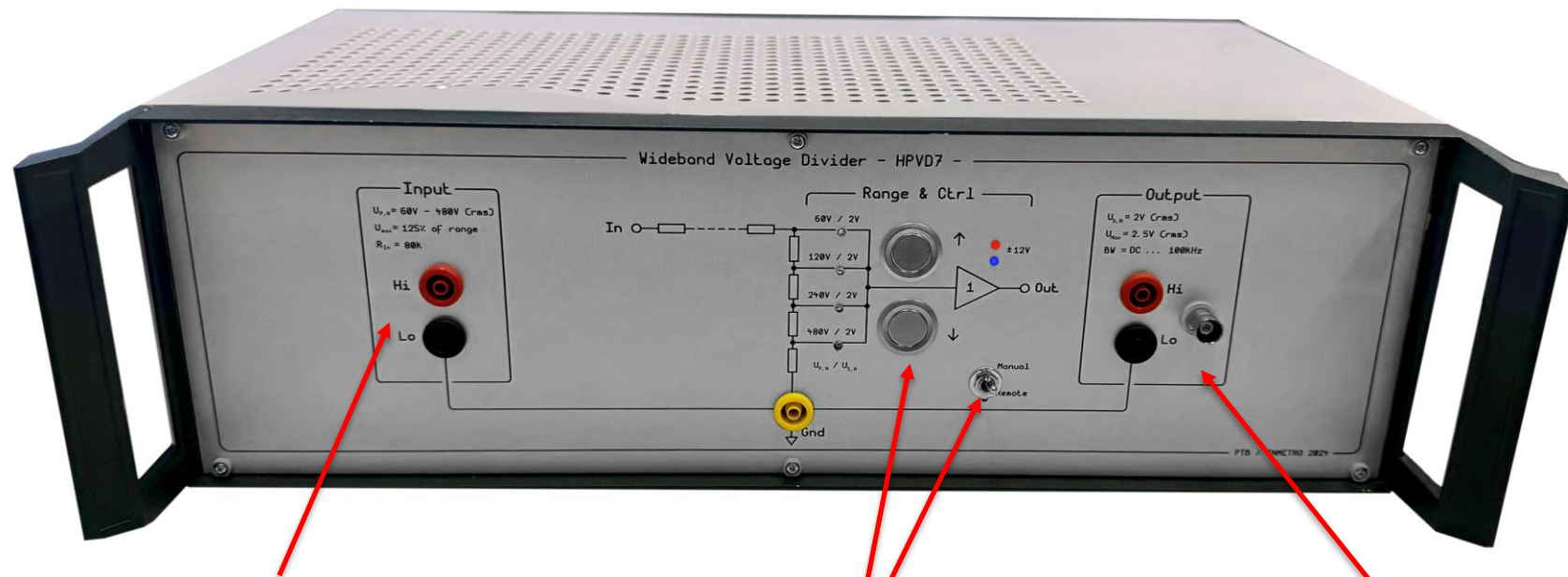
## Neun Widerstands-Spannungsteiler

4 V, 8 V, 16 V, 32 V, 64 V, 128 V, 256 V, 512 V, 1024 V



PTFE Platine

# Spannungsteiler



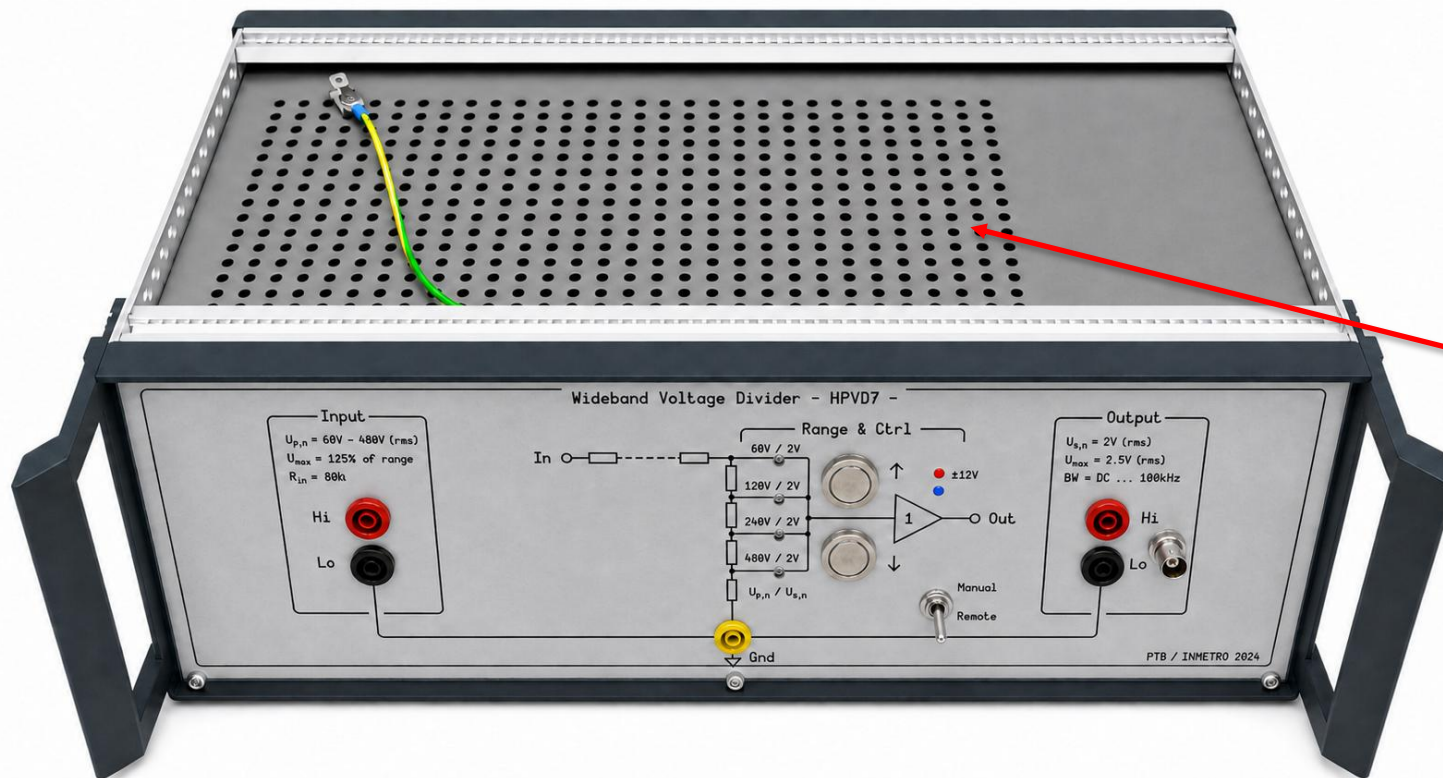
**Eingang**  
(480V, 240V, 120V, 60V +25%)

**Bereichsumschaltung**

**Ausgang**  
(2 V)



# Spannungsteiler

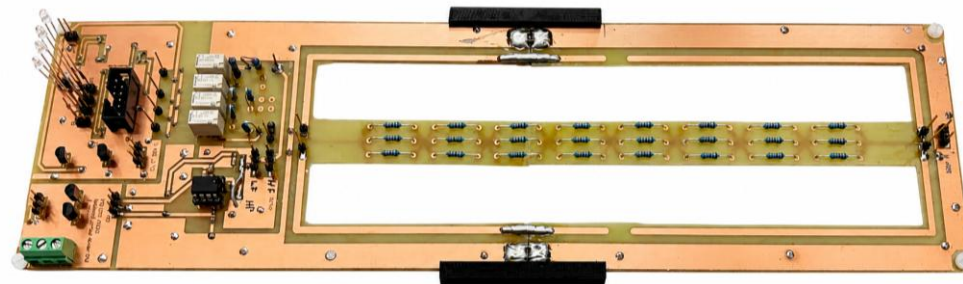
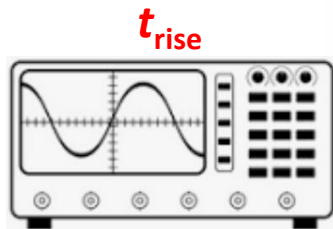
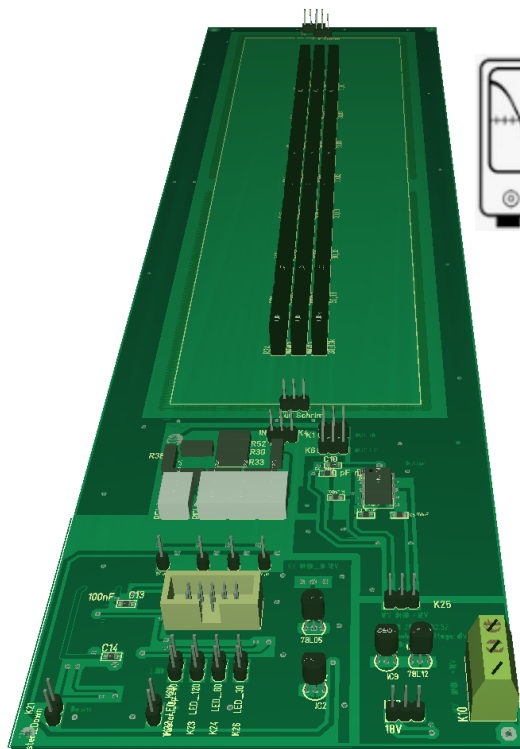


**Abschirmung mit  
Luftlöchern**

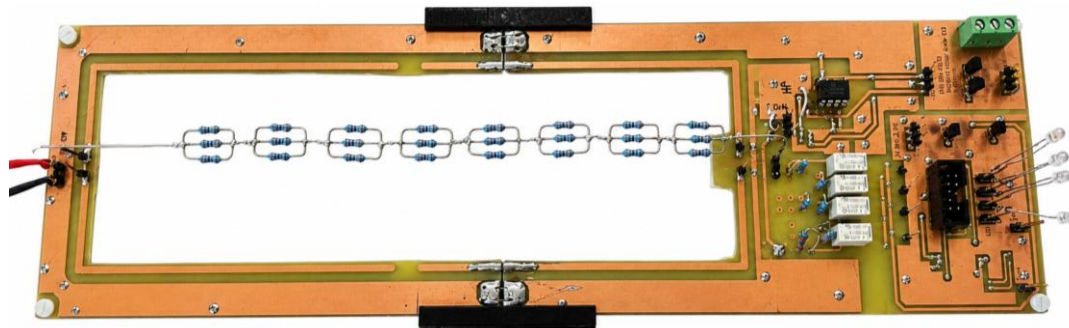


# Voruntersuchungen (Anstiegszeit)

## Aufbau und Verdrahtung



1. Widerstände **auf einem Steg**



2. Widerstände **freiluftverdrahtet**

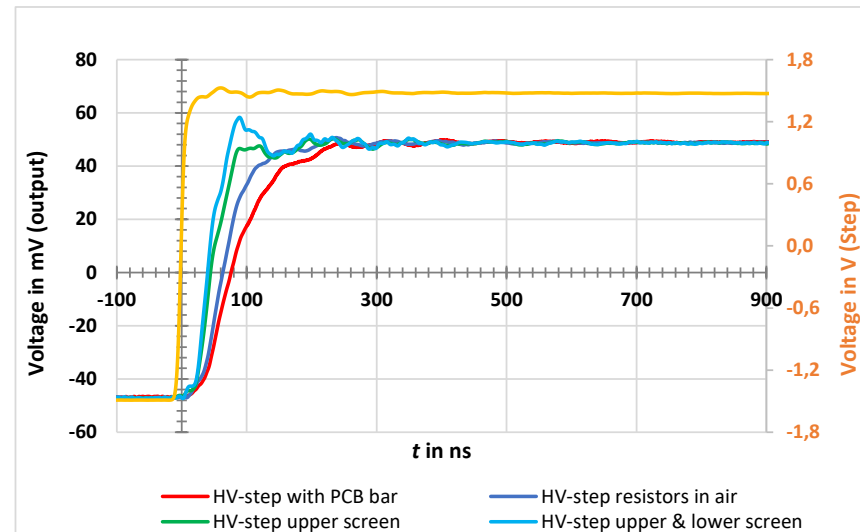
# Untersuchung der Schirmung



3. Obere Schirmung



4. Untere Schirmung

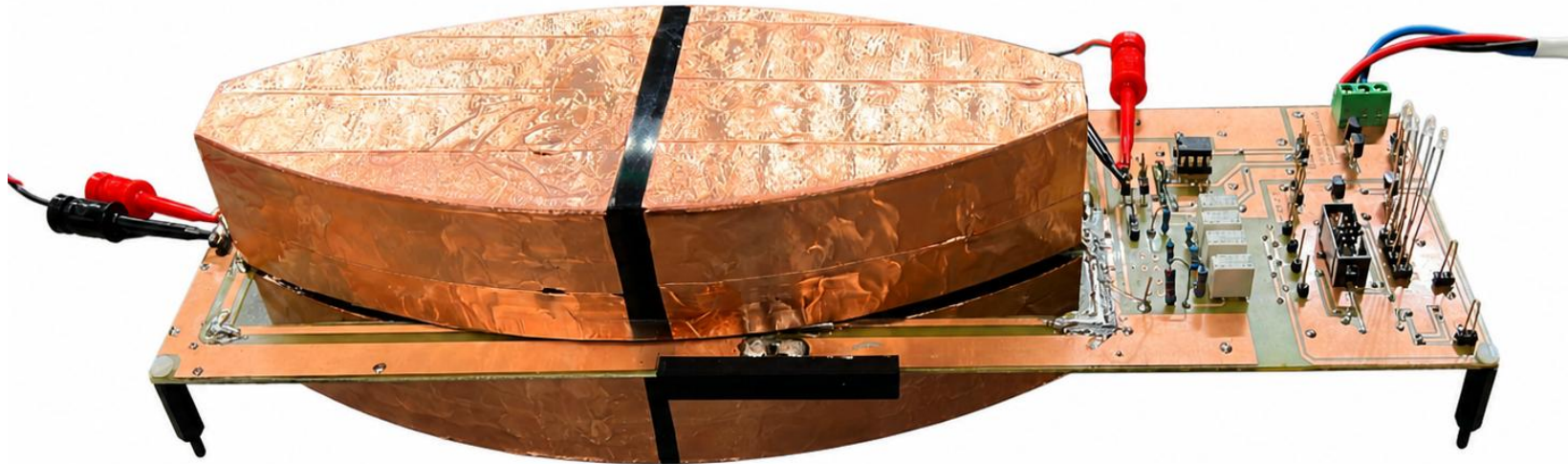


$t_{\text{rise}}$	Steg	= 116 ns
$t_{\text{rise}}$	Freiluft	= 80 ns
$t_{\text{rise}}$	Schirm oben	= 54 ns
$t_{\text{rise}}$	beide Schirme	= 42 ns

$$f_{3dB} \approx \frac{0,35}{t_{\text{rise}}}$$

ca. 3 MHz - 8 MHz

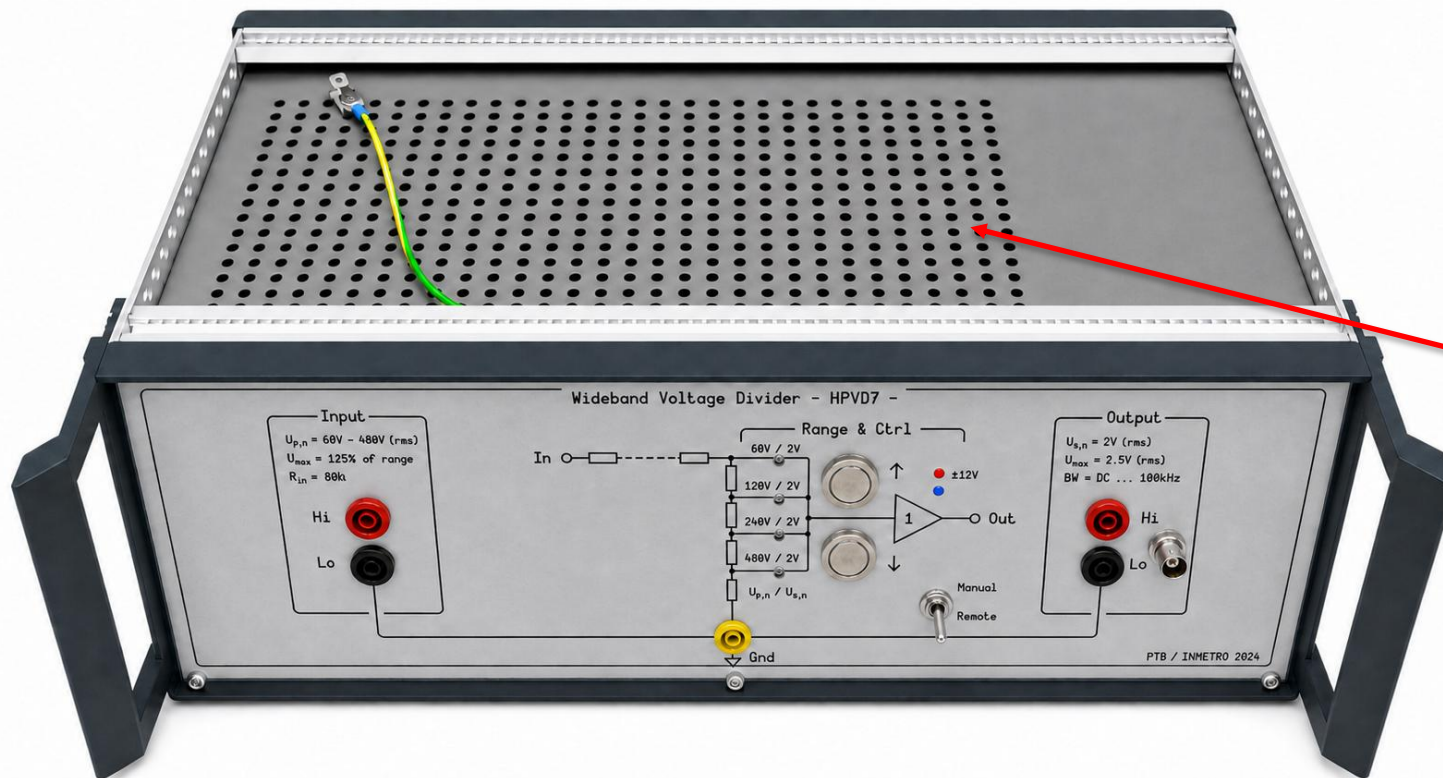
# Untersuchung der Schirmung



**Die Form und die Stärke des Materials hat einen geringen Einfluss, da durch einen Abgleich der Schirmung ähnliche Ergebnisse erreicht werden können.**



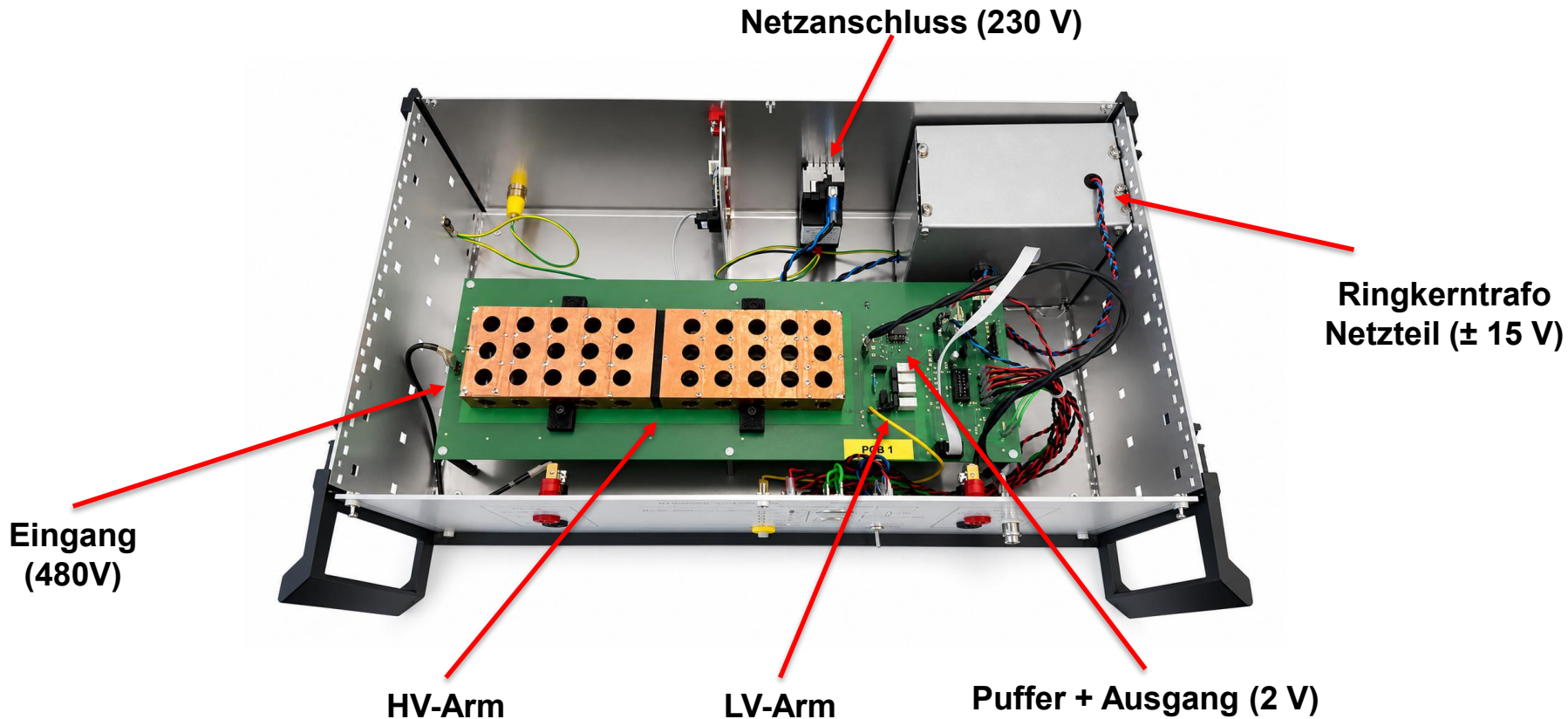
# Spannungsteiler



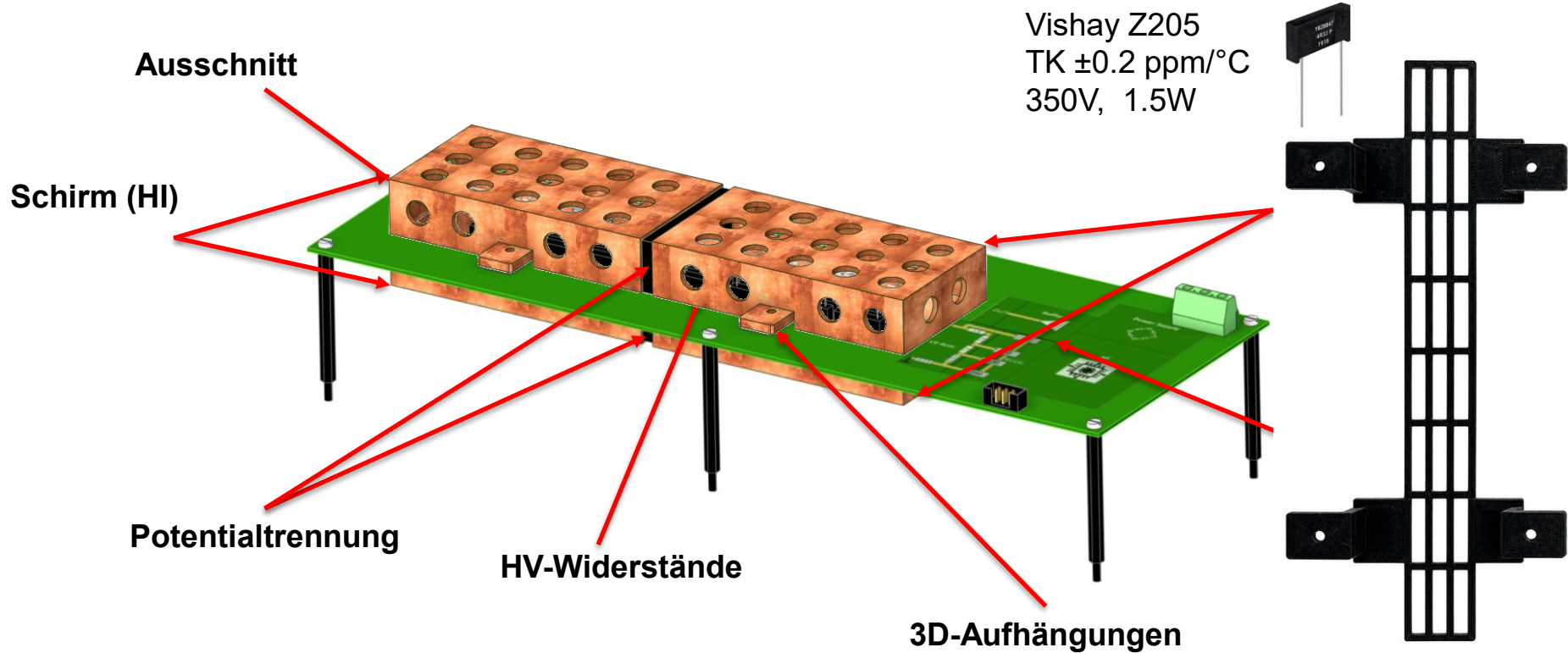
**Abschirmung mit  
Luftlöchern**



# Spannungsteiler

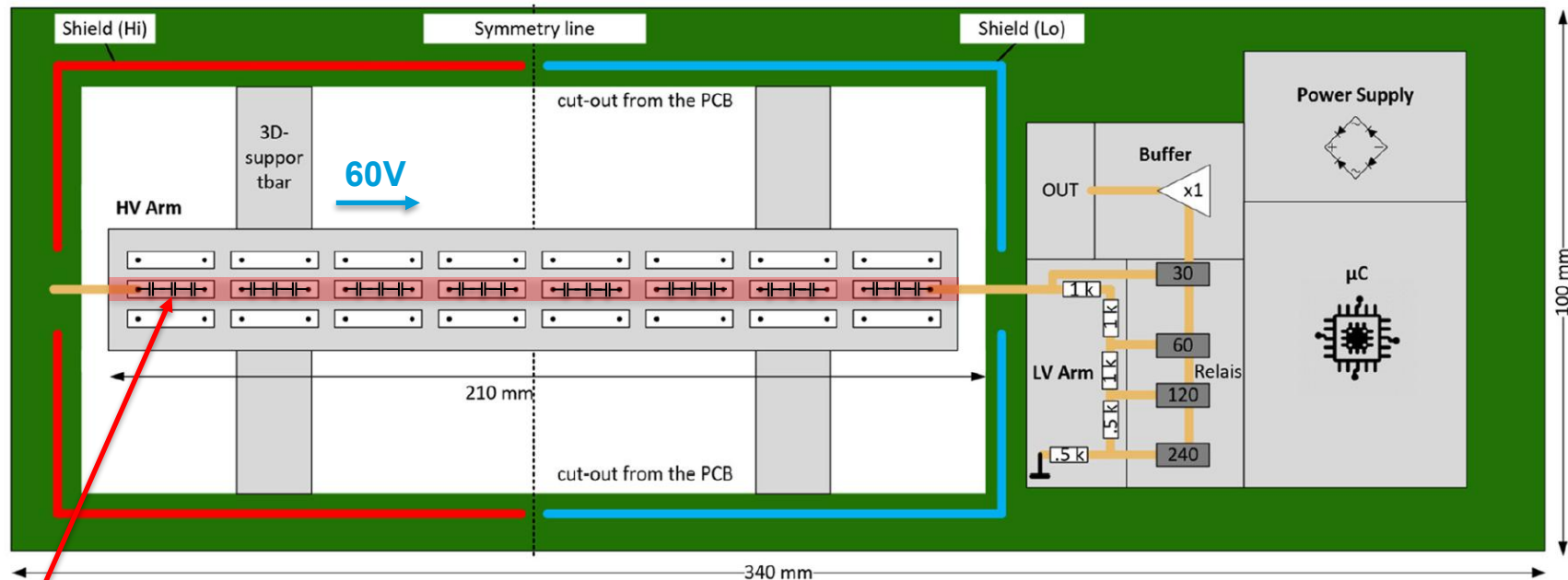


# Spannungsteiler Platine





# Spannungsteiler Platine

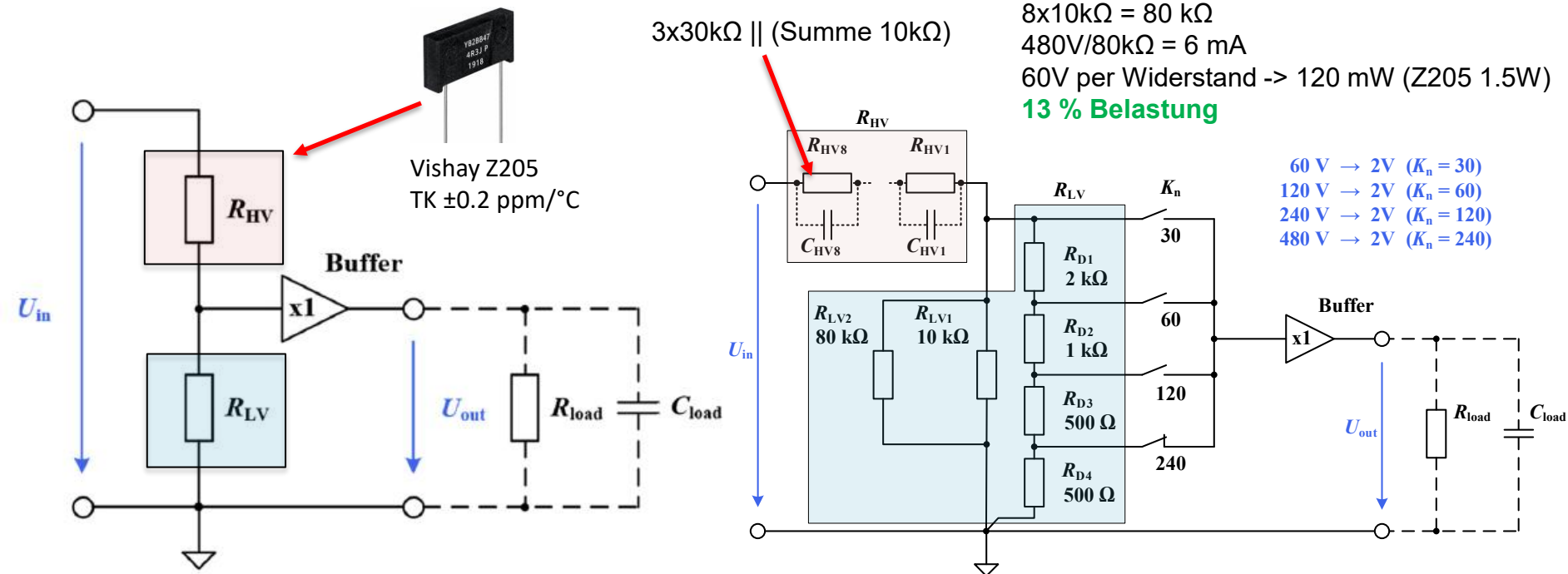


Np0 ca. 22 pF > 500V



Spannungsbelastung 12%

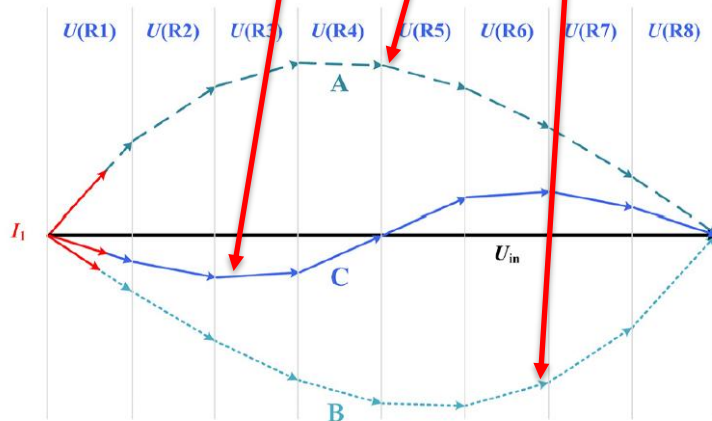
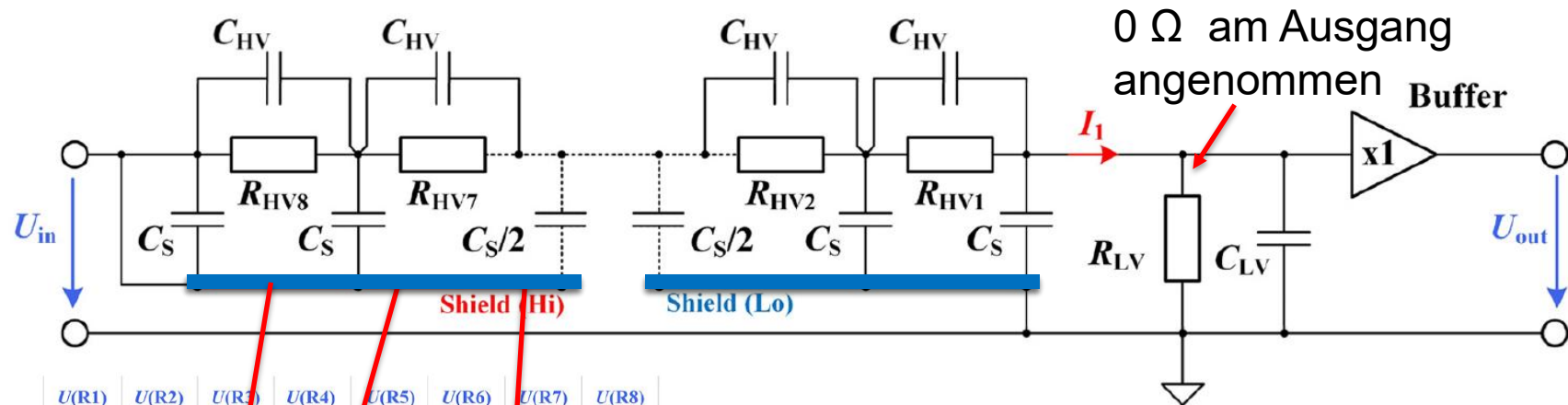
# Ersatzschaltbild Widerstandsteiler



## Veröffentlichung:

A. Dubowik, E. Mohns, R. Ribeiro, G. Kyriazis, and M. Schmidt, "Multi-range voltage divider for wideband power measurements," *tm – Technisches Messen*, vol. 92, no. 9–10, pp. 369–381, 2025, doi: 10.1515/teme-2025-0042.

# Schrimauswirkung



A) Schirm an HI-Potential (Imaginärteil x500)

B) Schirm an GND-Potential (Imaginärteil x500)

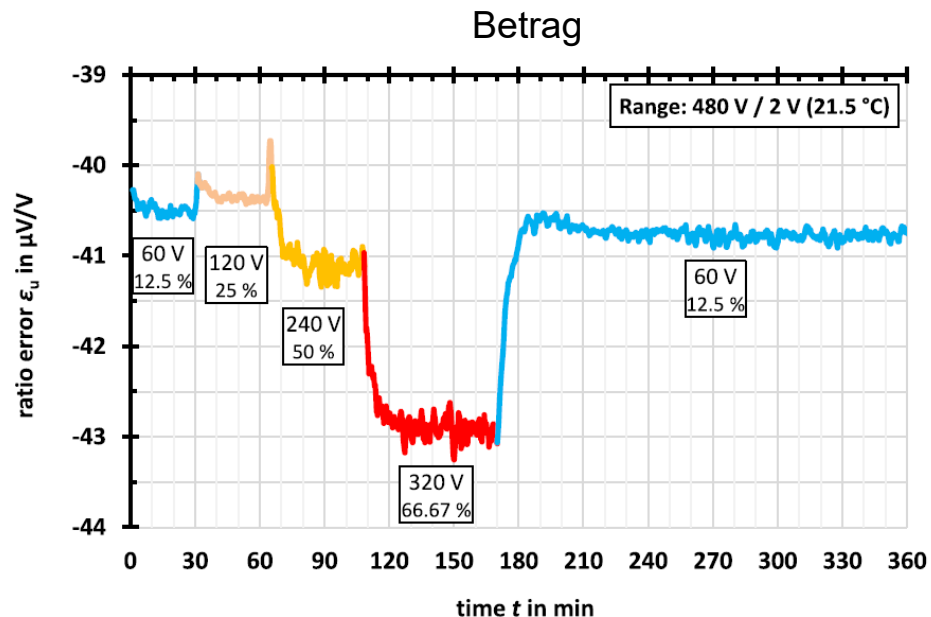
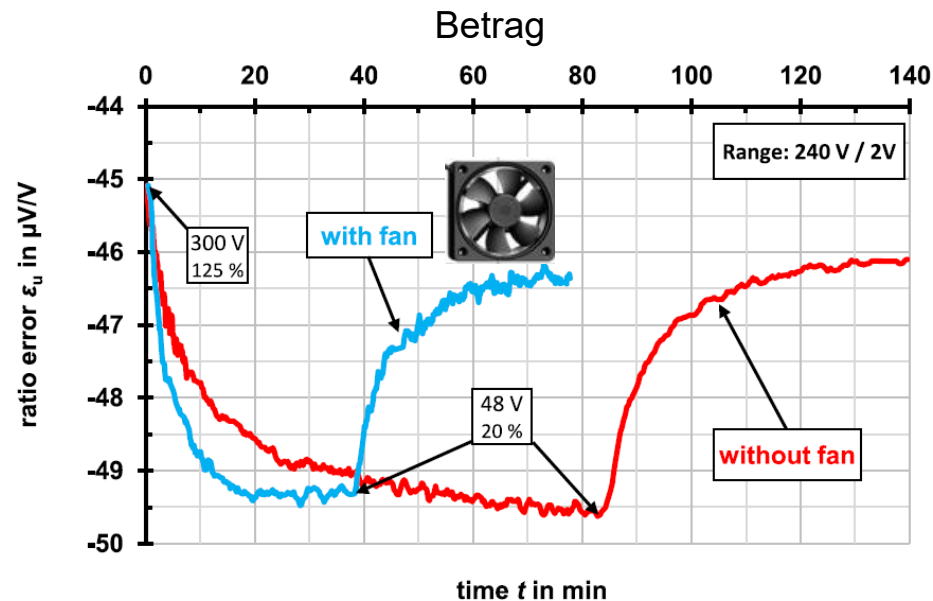
C) An Hi- und GND-Potential angeschlossen (Imaginärteil x1000)

# 52 Hz Messabweichungen

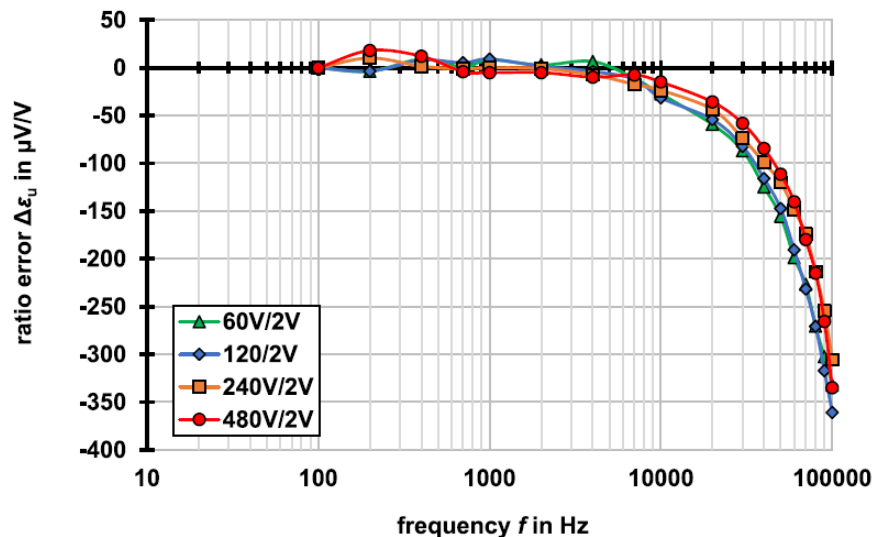
$f = 52 \text{ Hz}$		PTB divider	
$U_{\text{test}}$ in V	$\epsilon_u$ in ppm	$\delta_u$ in $\mu\text{rad}$	dc offset in $\mu\text{V}$
60	4.4	-2.6	0
120	-21.2	-1.7	-1
240	-49.6	-0.2	-1
480	-44.1	0.4	-3

Kalibrierwerte nach 10 min Einlaufzeit

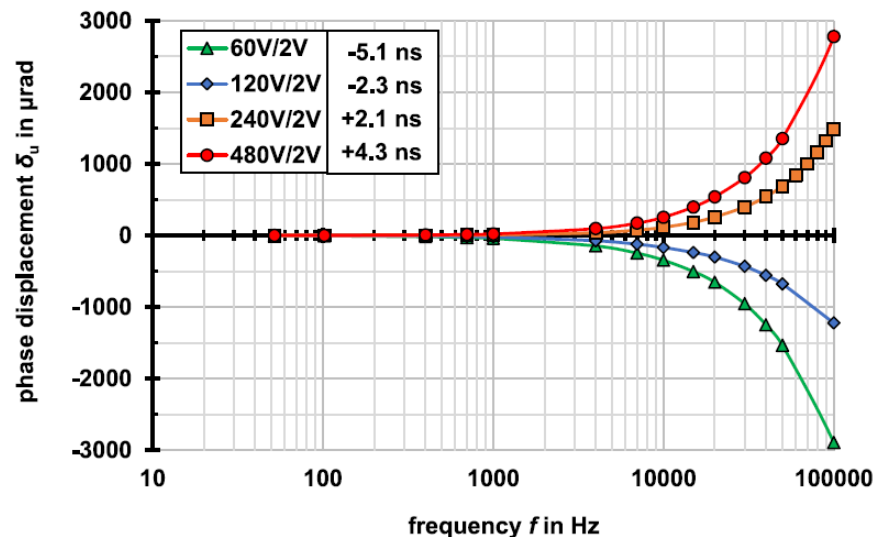
# Eigenerwärmung



## Betrag

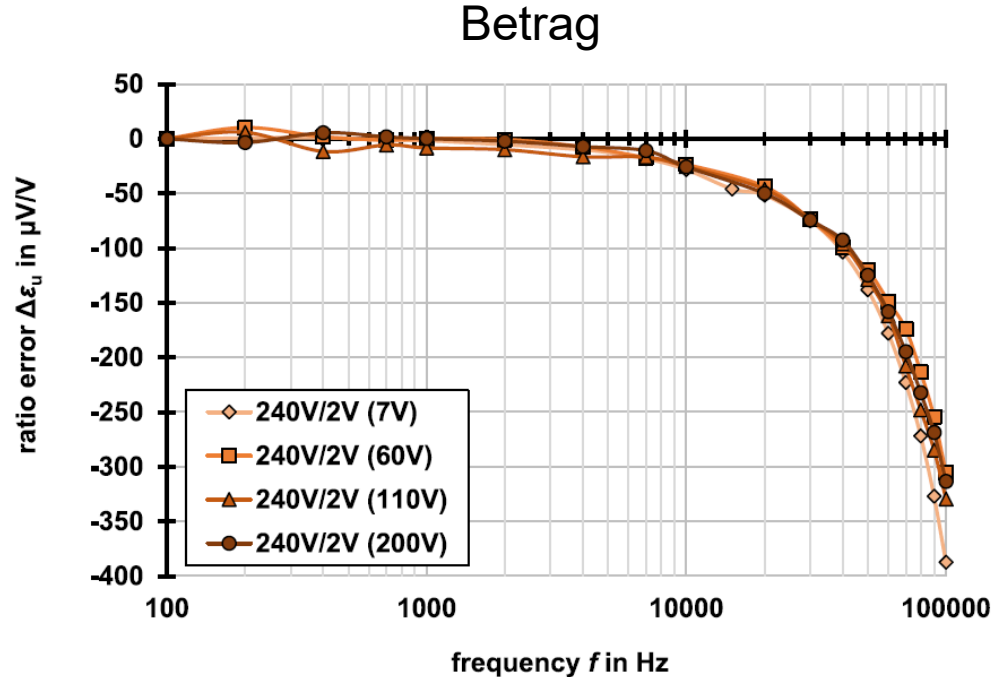


## Phase



Testspannung 7 V





Aussteuerung im 240 V Bereich von 7 V bis 200 V

- **Hochpräziser Spannungsteiler**
  - Aktiv (keine Belastungseffekte)
  - Breitbandig
  - DC-Fähig
  - Programmierbar für Automationen
  - „rein“ Lokal Steuerbar
  
- **Messabweichungen:**
  - Betrag:      bis 10 kHz:    < 100 ppm  
                     bis 100 kHz:   < 400 ppm
  
  - Phase:        bis 100 kHz:     $\pm 5$  ns (bei 100 kHz:  $\pm 3000$   $\mu$ rad bzw.  $0.2^\circ$ )

**Veröffentlichung:**

A. Dubowik, E. Mohns, R. Ribeiro, G. Kyriazis, and M. Schmidt, “Multi-range voltage divider for wideband power measurements,” *tm – Technisches Messen*, vol. 92, no. 9–10, pp. 369–381, 2025, doi: 10.1515/teme-2025-0042.

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)

