

# EMV-Fachtagung 2024 - Graz

## Einfluss von Stromzangen bei der Störstrommessung

Kriz Alexander, Nakovits Thomas

EMV-Prüfstelle & Kalibrierlabor Seibersdorf

Seibersdorf Labor GmbH

[www.seibersdorf-laboratories.at](http://www.seibersdorf-laboratories.at)

# Einleitung

- Bei der Messung von Störströmen an Kabeln und Kabelbäumen werden typischerweise Stromzangen eingesetzt.
- Anwendung findet dieses Messverfahren sowohl bei Messungen nach CISPR 16/32 als auch im Automotive & Avionic Bereich z.B. OEM-Normen → CISPR 25 (CP-Messung) oder DO-160.
- Die Transferimpedanz von Stromzangen wird dabei für die Bestimmung/Berechnung des gemessenen Stromes verwendet:

$$I \text{ [dB}\mu\text{A]} = U \text{ [db}\mu\text{V]} - Z_T \text{ [dB}\Omega\text{]}$$

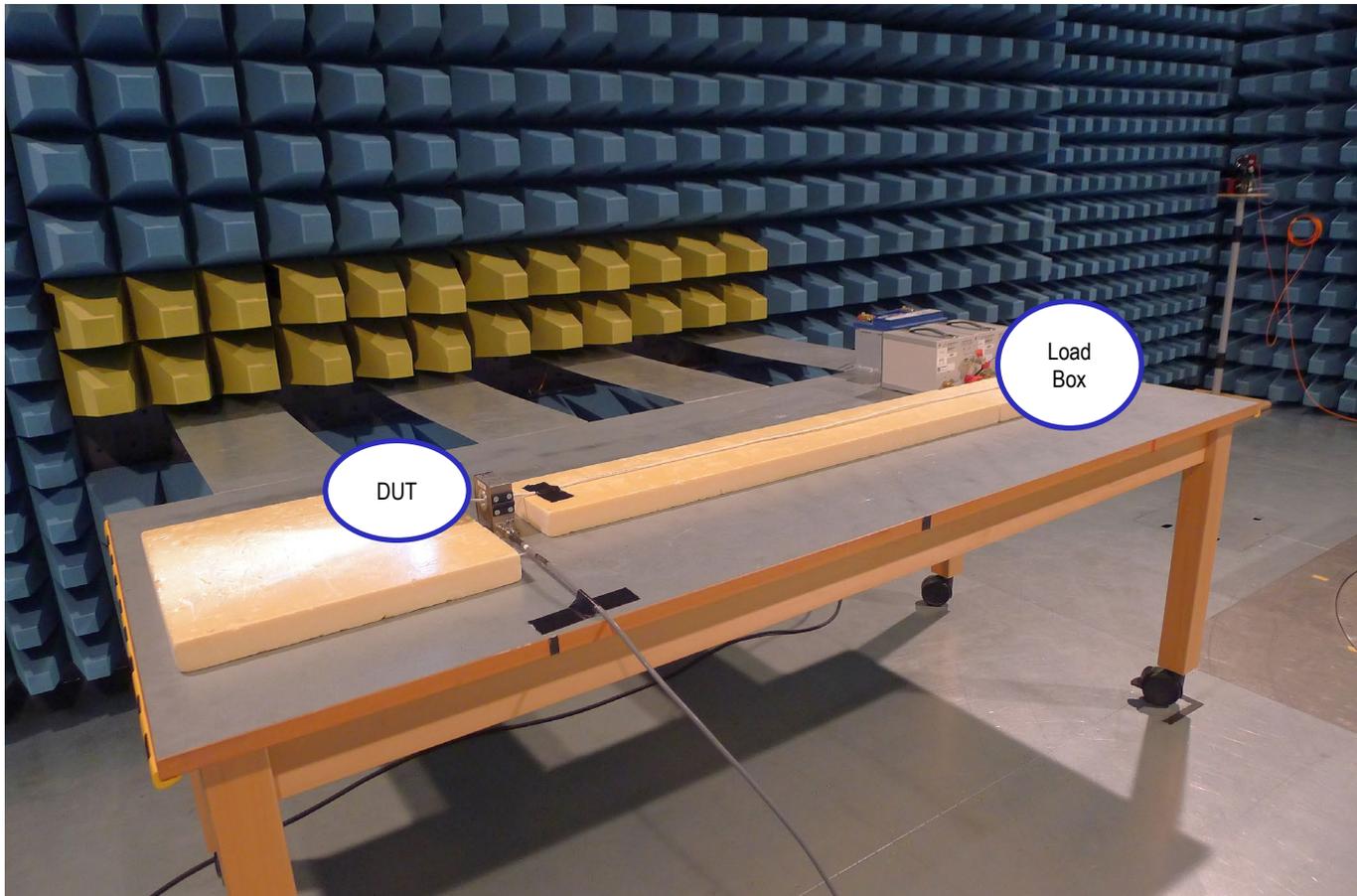
I	...	gemessener Strom im Leiter / Kabelbaum (= Messergebnis)
U	...	gemessene Spannung am Messempfänger
$Z_T$	...	Transferimpedanz der Stromzange

# Praktische Herausforderungen im Labor

- Anforderung an Messequipment + Kalibrierung  
(Stromzange nach CISPR 16-1-2)
- Auswahl der Stromzangen in Abhängigkeit vom Durchmesser des zu messenden Kabelbaums
- Auswahl der Stromzangen in Abhängigkeit vom zu messenden Frequenzbereich (wenige kHz bis hunderte MHz)
- Verwendung von aktiven oder passiven Stromzangen
- Angaben im Datenblatt der Stromzange eindeutig und vollständig?
  - Transferimpedanz über kompletten Frequenzbereich angegeben
  - Angaben zur Sättigung inkl. Frequenzbereich des „Betriebsstromes“
  - Innendurchmesser der Stromzange

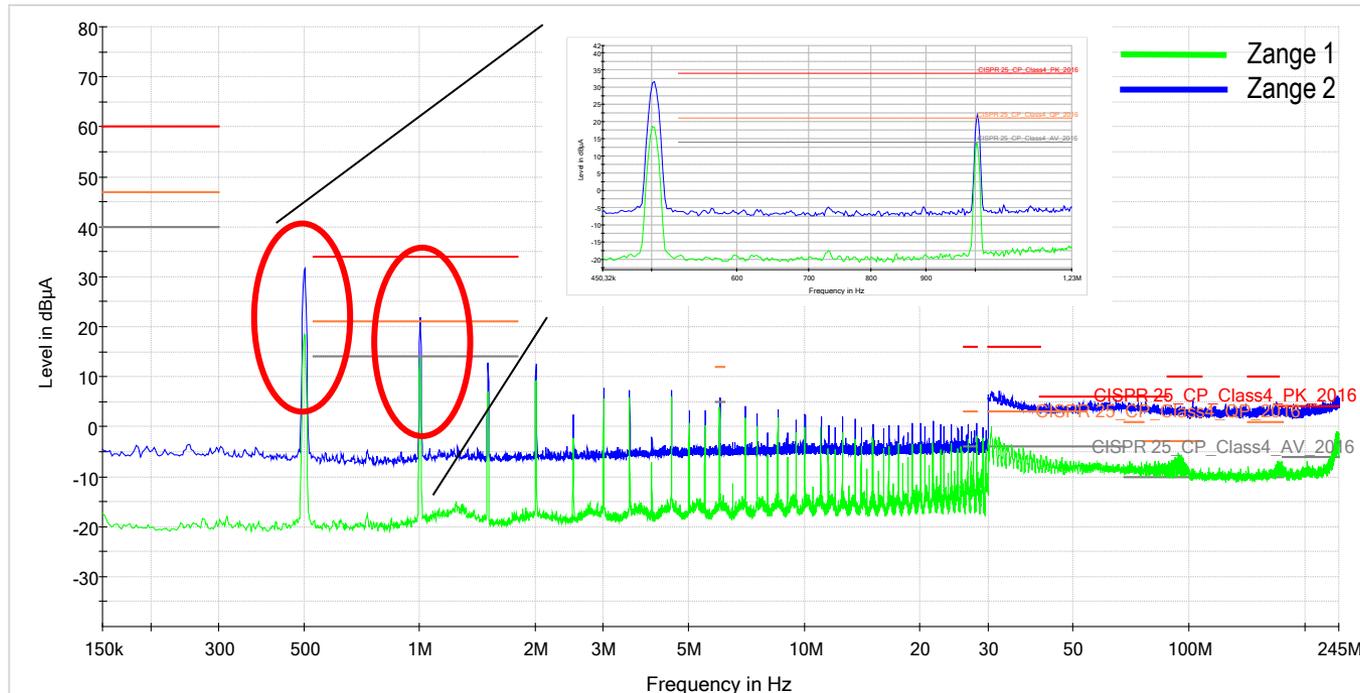
# Hintergrund & Motivation 1

- Messaufbau an realen Prüfling nach CISPR 25 (CP-Methode)



# Hintergrund & Motivation 2

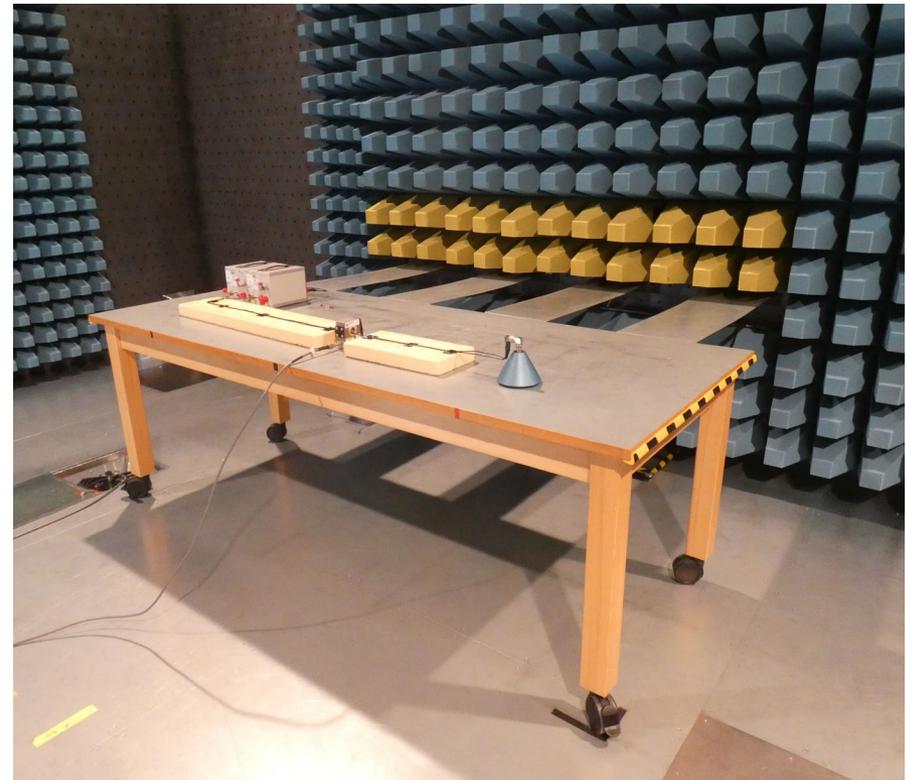
- Messungen an realen Prüflingen zeigen Unterschiede im Ergebnis



- Woher kommt dieser Unterschied?
- Wo liegt der „wahre“ Wert?

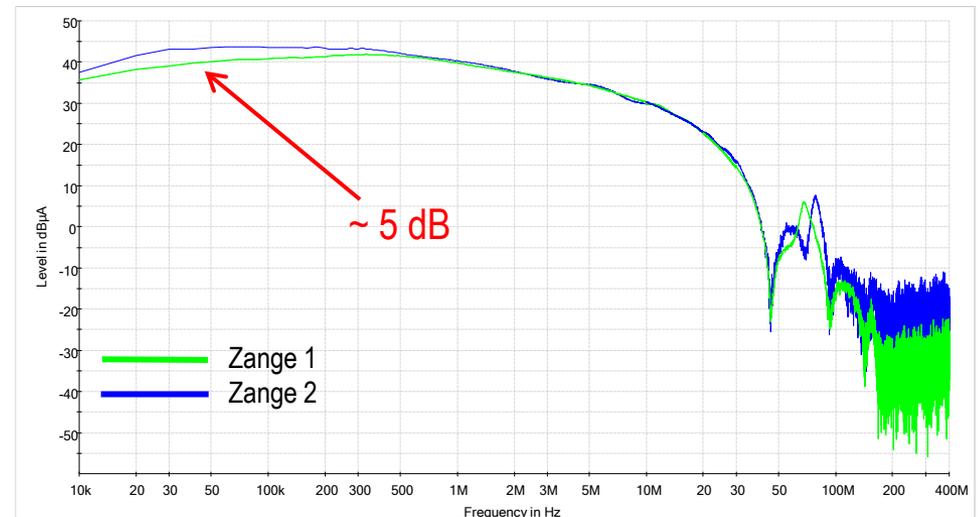
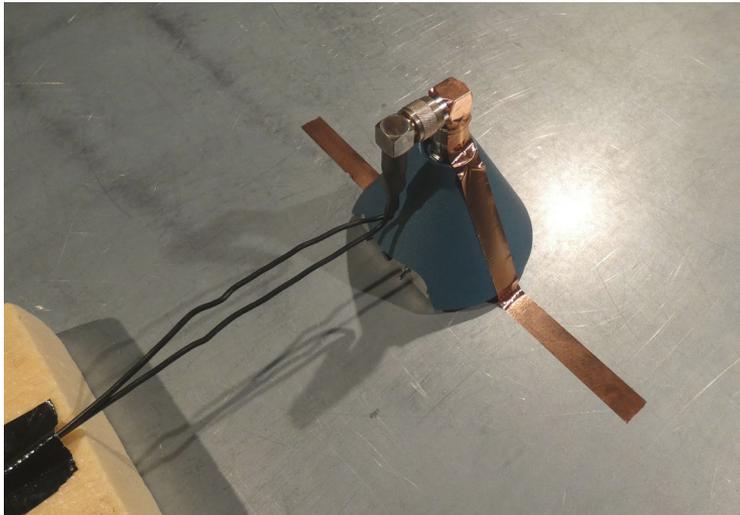
# Messungen im CISPR 25-Aufbau

- Messung mit 2 Stromzangen im CISPR 25 Aufbau mit RefRad und LISNs.
- Die Messung des tatsächlich im Kabelbaum fließenden Stroms wurde unter Berücksichtigung der Transferimpedanzen der Strommesszangen durchgeführt.
- Verschiedene Konfigurationen bis hin zum niederimpedanten Leiter als Teil des Kabelbaums wurden vermessen.
- Die Messergebnisse sind als Plots Strom in  $\text{dB}\mu\text{A}$  über Frequenz dargestellt.



# Messungen im CISPR 25-Aufbau

## Konfiguration 1

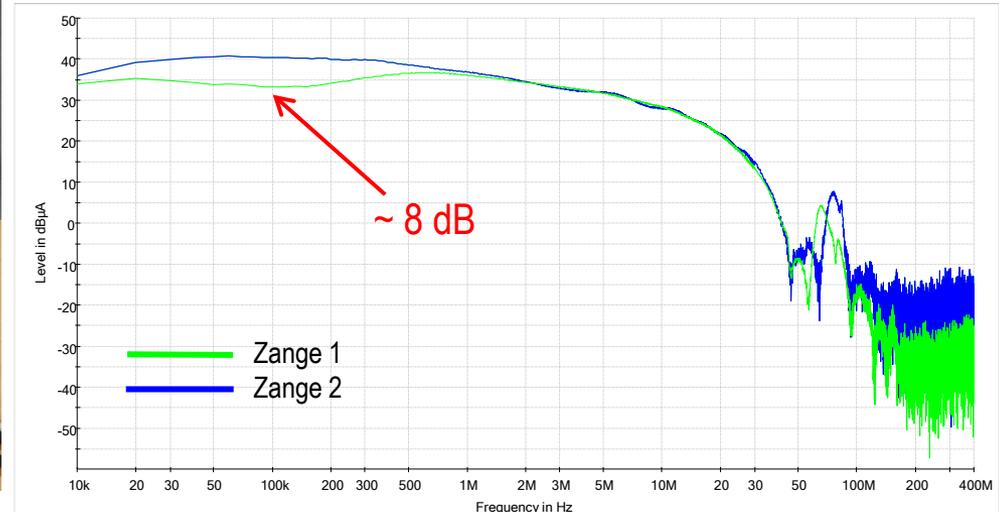
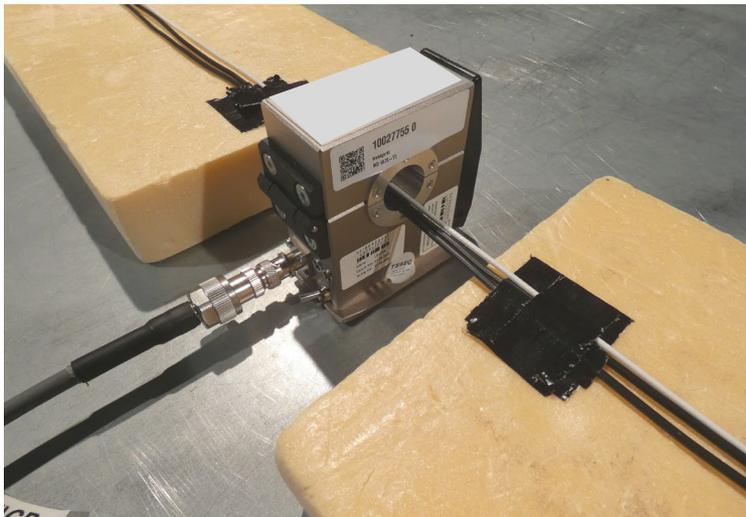


P50

- Kammgenerator mit Kupferband geerdet, 2-Draht Leitung durch Stromzangen.
- Die Differenz im gemessenen Störstrom mit beiden Stromzangen beträgt in dieser Konfiguration  $\sim 5$  dB.

# Messungen im CISPR 25-Aufbau

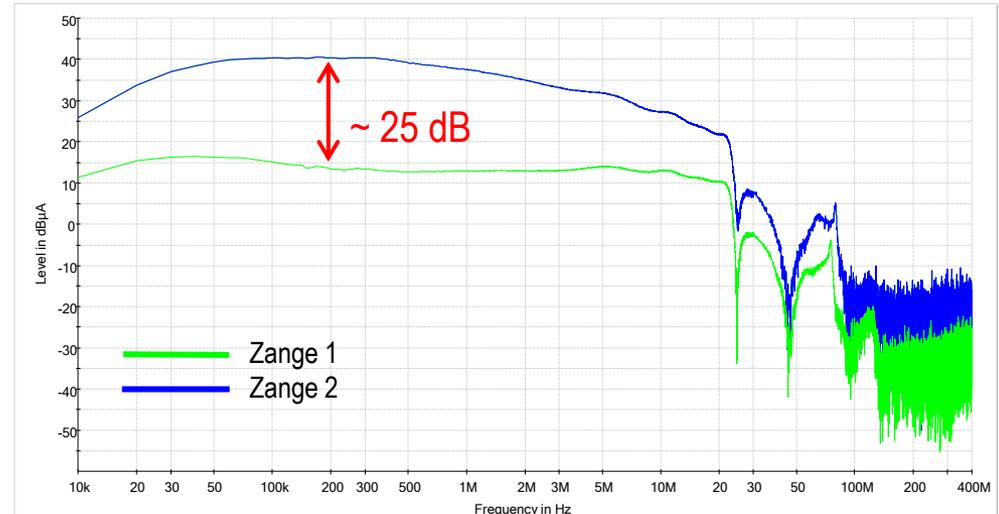
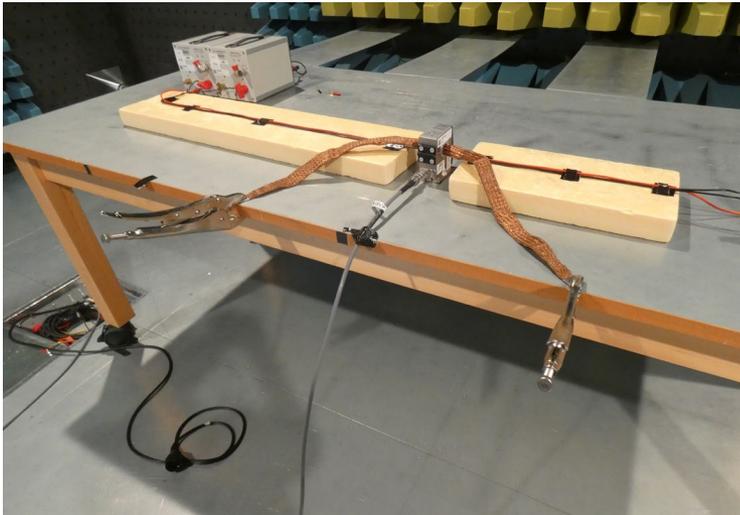
## Konfiguration 2



- Kammgenerator mit Kupferband geerdet, 2-Draht Leitung und eine zusätzlich beidseitig geerdete Koax-Leitung durch Stromzangen.
- Die Differenz im gemessenen Störstrom mit beiden Stromzangen beträgt in dieser Konfiguration  $\sim 8$  dB. Zusätzlich muss noch der Fehler im Absolutwert des gemessenen Stroms berücksichtigt werden.

# Messungen im CISPR 25-Aufbau

## Konfiguration 3



- Kammgenerator mit Kupferband geerdet, 2-Draht Leitung und eine zusätzlich beidseitig geerdetes Masseband durch Stromzangen.
- Die Differenz im gemessenen Störstrom mit beiden Stromzangen beträgt in dieser Konfiguration  $\sim 25$  dB. Der Fehler im Absolutwert des gemessenen Stroms erhöht zusätzlich sich weiter.

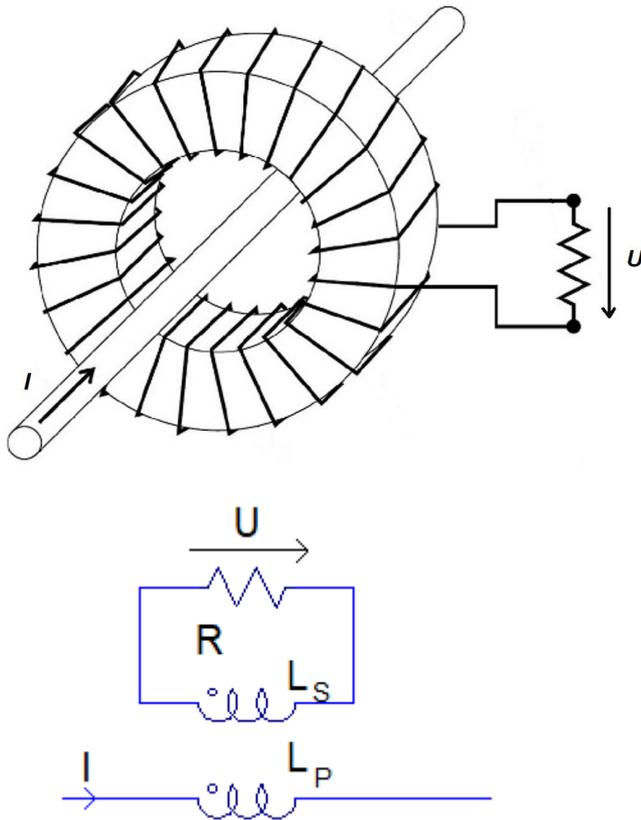
# Messungen im CISPR 25-Aufbau

## Conclusio

- In der Praxis können im selben Aufbau mit unterschiedlichen Stromzangen, je nach Konfiguration und Typ des Kabelbaums deutliche Abweichungen auftreten.
- Bei den Messungen wurden im Worst-Case (= bei sehr niederimpedanter Leitung im Messkreis) Differenzen bis zu 25 dB im gemessenen Strom festgestellt.
- Bei fertig konfektionierten Kabelbäumen bei den Messungen an realen Prüflingen im Labor ist die Leitungskonfiguration nicht erkennbar.
- Im Zuge der Messungen zeigt sich, dass die Stromzange mit höherer Transferimpedanz niedrigere Pegel im Vergleich zur zweiten Stromzange liefert.

# Simulationsmodell

## Modell einer Stromzange



- Transformator-Modell
  - ◆ Primär: zu messender Leiter (eine Windung)
  - ◆ Sekundär: Wicklung am Ringkern
- Abschluss der Sekundärseite mit 50  $\Omega$  (Eingangsimpedanz Messempfänger)
- Kenngröße  
Transferimpedanz  $Z_T = U / I$
- Kalibrierung im TEM-Wellenleiter (Calibration Jig)

# Simulationsmodell

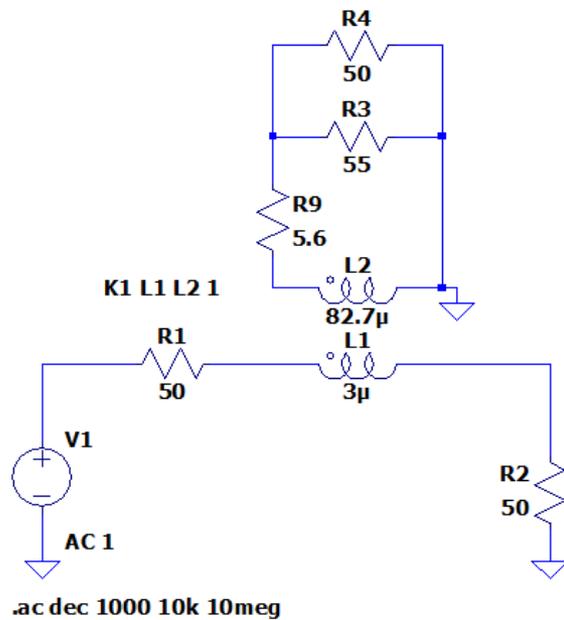
## Bestimmung der Modellparameter

- Messung von  $S_{11}$  der Stromzange an der Anschlussbuchse mit dem Netzwerkanalysator
- Umrechnung von  $S_{11}$  in eine Impedanz
- Bestimmung der Sekundärinduktivität (meist Ersatzschaltbildes für die Sekundärseite - R und L Kombination)
- Bestimmung der Transferimpedanz nach Messmethode aus CISPR 16-1-2
- Annahme des frequenzunabhängigen Koppelfaktor von 1
- Simulation der Transferimpedanz
- Anpassen der Primärinduktivität bis gemessene Transferimpedanz und simulierte Transferimpedanz zusammenpassen

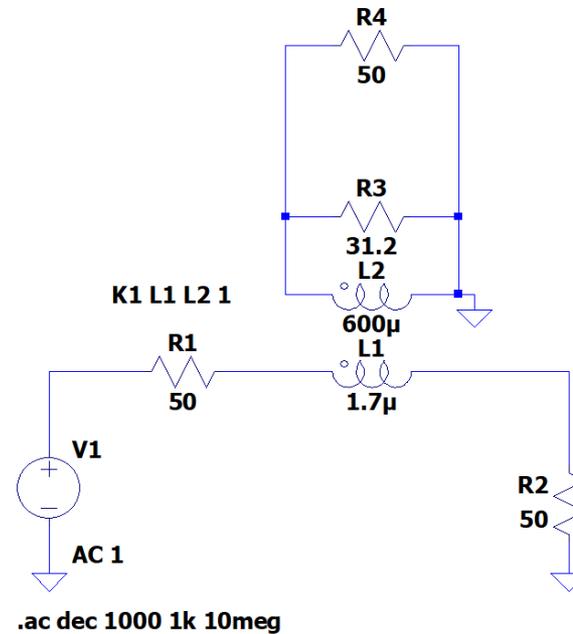
# Simulationsmodell

SPICE-Modelle der beiden Stromzangen

- Stromzange 1



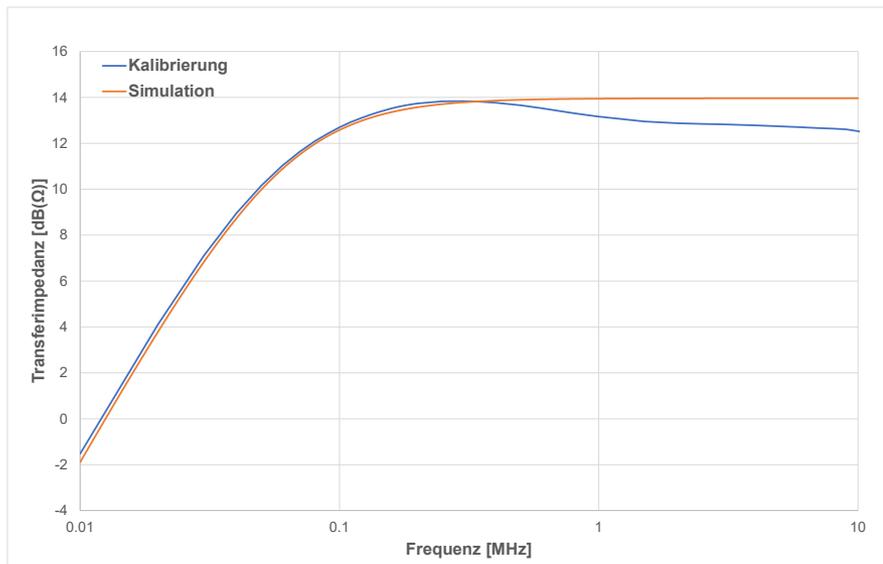
- Stromzange 2



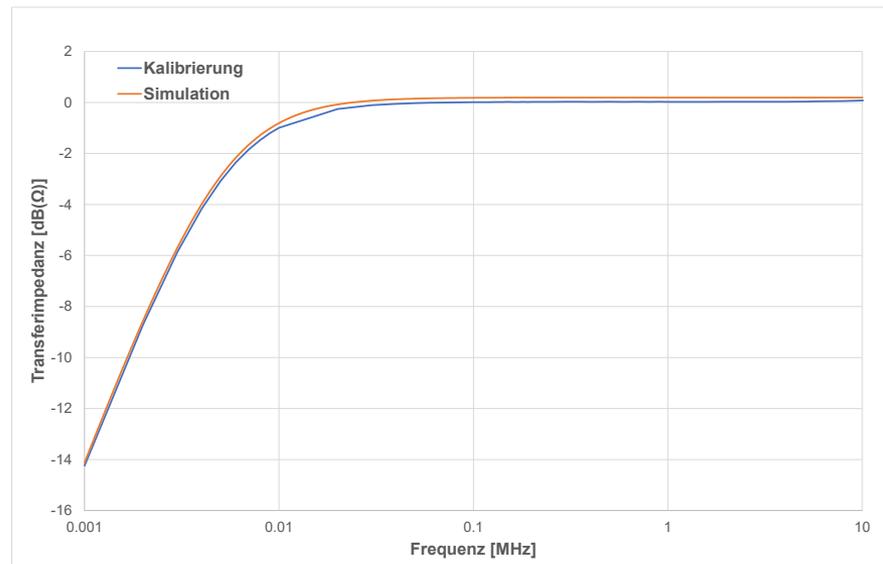
# Simulationsmodell

## Vergleich simulierte und kalibrierte Transferimpedanz

### ■ Stromzange 1



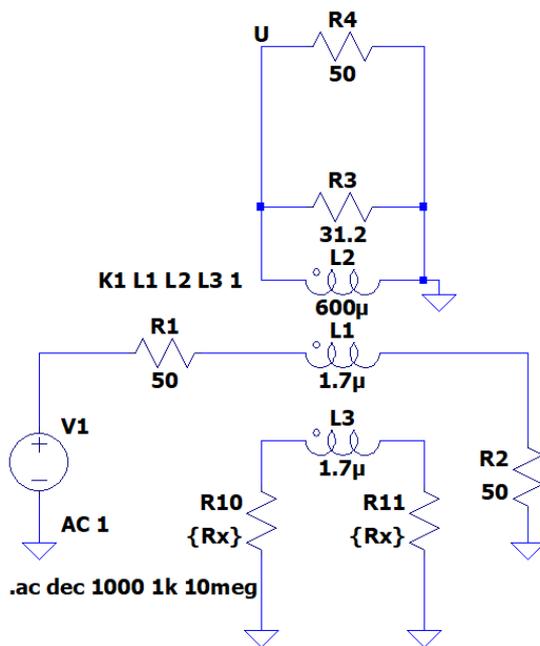
### ■ Stromzange 2



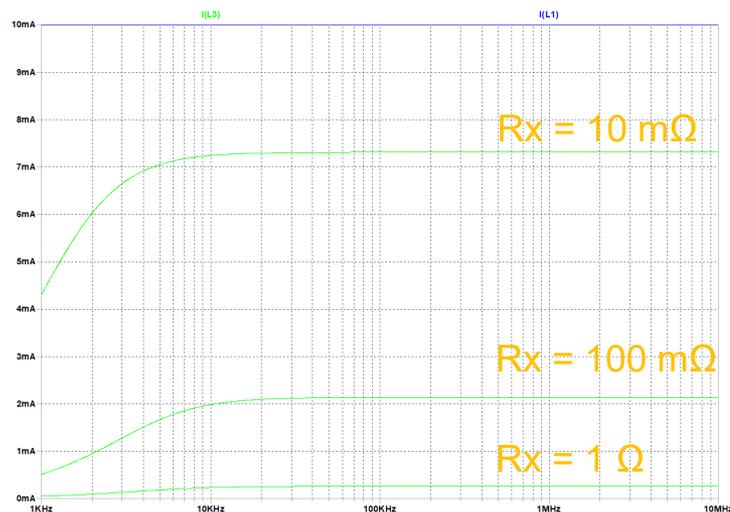
# Simulationsmodell

Erweiterung auf 3 Windungen, Rückwirkung auf Messaufbau

.step param rx list 10m 100m 1



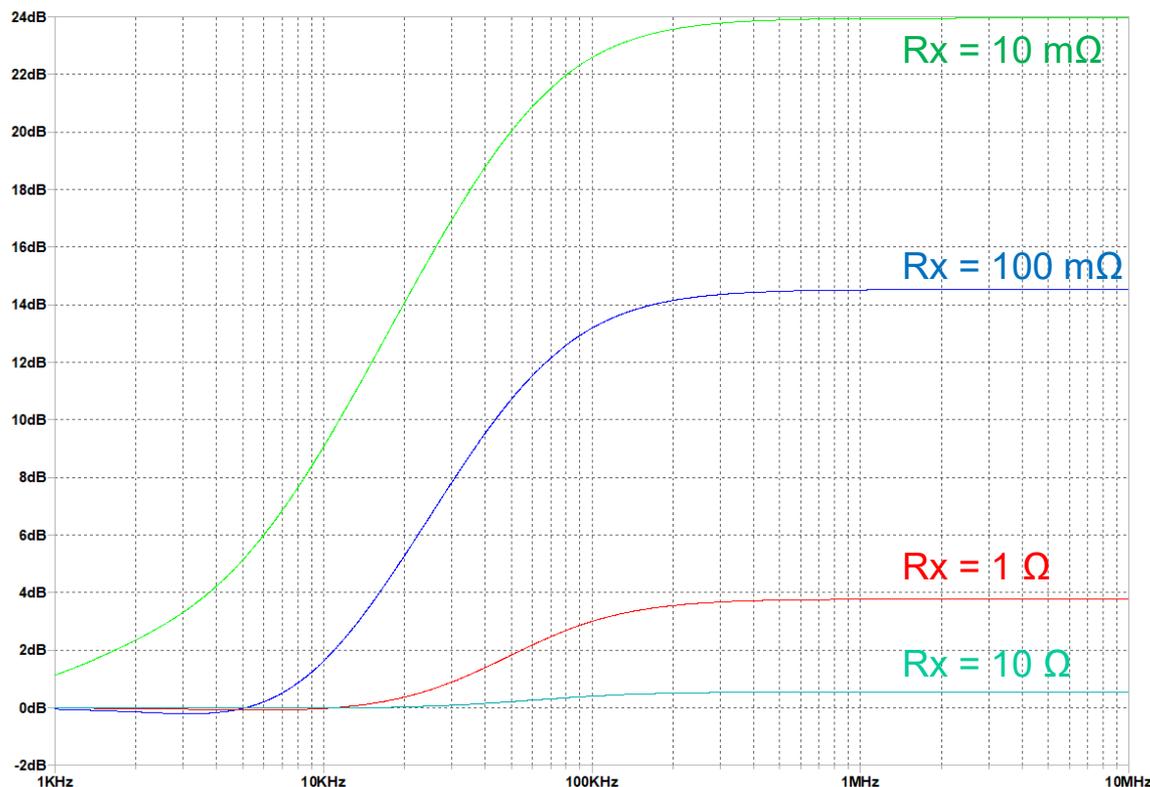
- Bei mehreren Leitern durch die Stromzange haben alle die gleiche Induktivität
- Verkopplung auch auf der Primärseite!
- Strom in L3 induziert - in Gegenphase, Amplitude abhängig von der Impedanz Rx



- Stromzange misst Summe der Ströme
- Er wird ein zu geringer Strom gemessen!

# Simulationsmodell

## Fehlerabschätzung



- Darstellung der Differenz der gemessenen Ströme zwischen beiden Zangen
- Differenz abhängig von der Impedanz der zweiten Primärwicklung
- Je größer die Transferimpedanz ist desto größer ist der Messfehler

# Simulationsmodell

## Conclusio

- Stromzangen lassen sich sehr gut durch ein simples Modell bis ca. 10 MHz beschreiben.
- Mithilfe von Messungen bzw. Simulationen können die Parameter von handelsüblichen Stromzangen einfach bestimmt werden.
- Durch niederimpedante Leitungen in Kabelbäumen entsteht eine negative systematische Abweichung.
- Diese Abweichung ist sowohl von der Impedanz der Leitung als auch von der Transferimpedanz der Stromzange abhängig.
- In extremen Fällen kann die Differenz zweier Stromzangen bis zu 24 dB betragen.
- Die absoluten Fehler betragen bis zu 35 dB (bei Stromzange 1)

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

**DI Dr. Alexander Kriz**

T +43 50 550-2846

[alexander.kriz@seibersdorf-laboratories.at](mailto:alexander.kriz@seibersdorf-laboratories.at)

**Ing. Thomas Nakovits**

T +43 50 550-2561

[thomas.nakovits@seibersdorf-laboratories.at](mailto:thomas.nakovits@seibersdorf-laboratories.at)



Seibersdorf Labor GmbH, 2444 Seibersdorf, Austria

<https://www.seibersdorf-laboratories.at/>