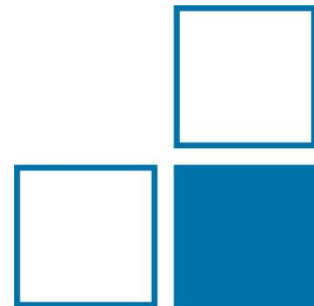


Nationaler Ringvergleich HF-Spannung

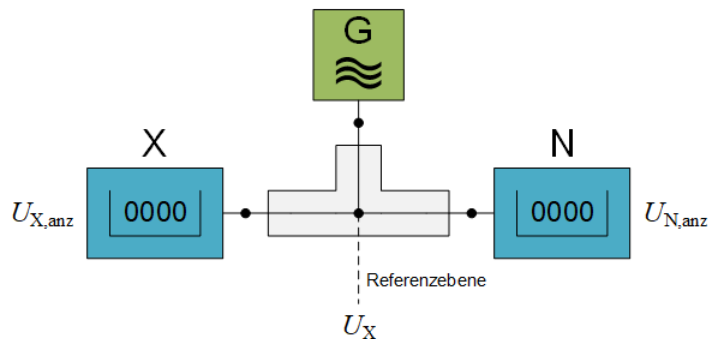
Florian Rausche, AG 2.22



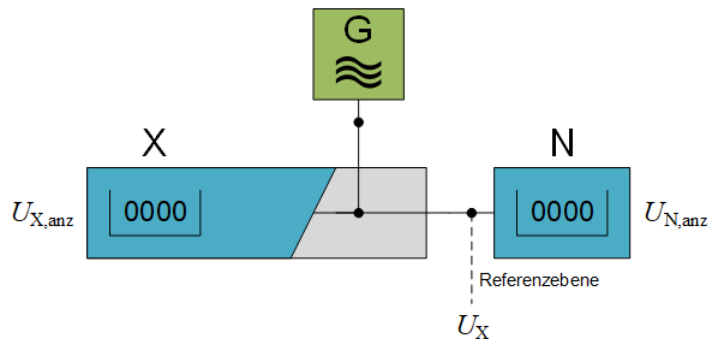
- HF-Spannungen
- Messgröße für Thermokonverter
- Messprinzip in der PTB
- T-Stücke
- Einfluss von Adaptern
- Normal aus dem nationalen Ringvergleich 2017-2018
- Ergebnisse des nationalen Ringvergleichs 2017-2018
- Zusammenfassung

HF-Spannungen (1)

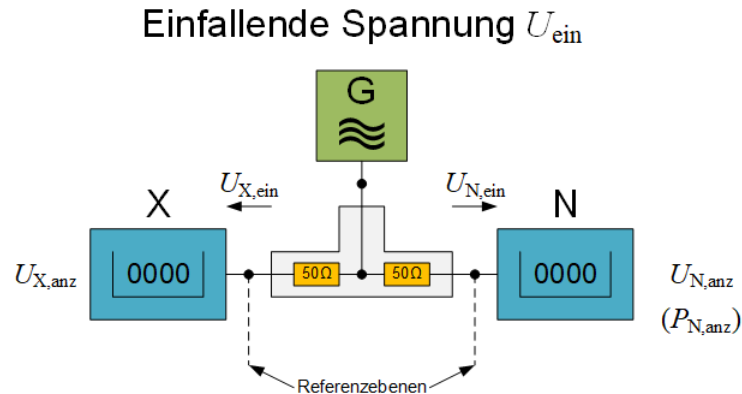
Messung mit T-Stück



Messung mit integriertem T-Stück

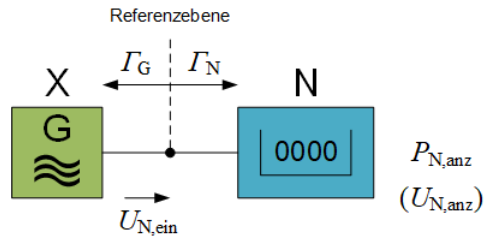


- U_X als Potentialdifferenz zwischen Innen- und Aussenleiter (wie bei DC und NF)
- Bis 1 GHz anwendbar für hochohmige Impedanzen sowie in 50Ω/75Ω Leitungssystemen
- Messung mit T-Stück
 - Referenzebene liegt in der Mitte des T-Stücks
 - das Normal muss bezüglich der Mitte des T-Stücks kalibriert sein
- Thermokonverter mit integriertem T-Stück
 - Referenzebene liegt in der Frontebene des integrierten T-Stücks
 - das Normal muss bezüglich der Frontebene seines Eingangssteckers kalibriert sein



- U_{ein} berechnet sich aus der einfallenden Leistung bei dem Nominalwellenwiderstand Z_0 des Leitungssystems
- Auch über 1 GHz anwendbar nur in 50Ω/75Ω Leitungssystemen
- Messung über symmetrischen 50Ω/75Ω Leistungsteiler
 - Reflexionsfaktoren des Leistungsteilers und der Leistungsmesser müssen bekannt sein
 - Referenzebenen liegen im Eingang der Leistungsmesser

Generatorspannung U_{Z_0}



- Ausgangsspannung U_{Z_0} eines HF-Generators an einer idealen Last mit $Z_0 = 50\Omega$ (oder 75Ω)
- Messung über Leistungsmesser
- Reflexionsfaktoren vom Generator und des Normals müssen bekannt sein
- U_{Z_0} wird aus den Reflexionsfaktoren Γ_G und Γ_N , der angezeigten Leistung $P_{N, \text{anz}}$ und der Nominalimpedanz Z_0 berechnet

Messgröße für Thermokonverter

- Frequenzabhängige relative Wechselspannungs-Gleichspannungs-Transferdifferenz

$$\delta_{\text{DC}}(f_{\text{HF}}) = \left. \frac{U_{\text{HF}}(f_{\text{HF}}) - U_{\text{DC}}}{U_{\text{DC}}} \right|_{U_{\text{TH}} = \text{const.}} = \left. \frac{U_{\text{HF}}(f_{\text{HF}})}{U_{\text{DC}}} - 1 \right|_{U_{\text{TH}} = \text{const.}}$$

$U_{\text{HF}}(f_{\text{HF}})$ Effektivwert der zu messenden Wechselspannung

U_{DC} äquivalente Gleichspannung, die die gleiche Thermospannungsanzeige U_{TH} am Spannungsmesser hervorruft

U_{TH} Thermospannung am Spannungsmesser

- zur Vereinfachung der Messtechnik wird die HF-AC-Spannungs-Transferdifferenz bestimmt.

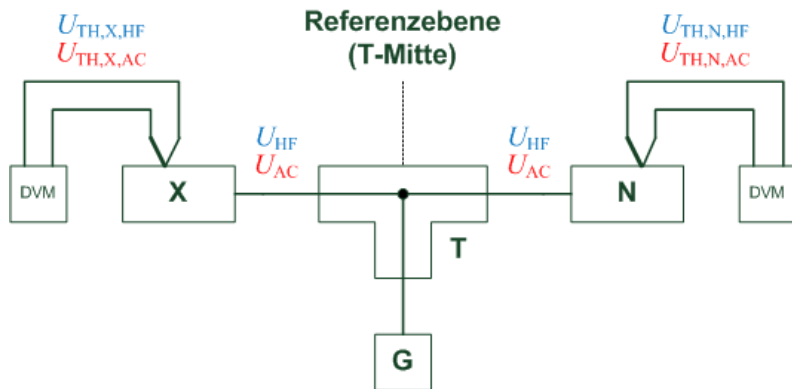
$$\delta_{\text{AC}}(f) = \left. \frac{U_{\text{HF}}(f) - U_{\text{AC}}(f)}{U_{\text{AC}}(f)} \right|_{U_{\text{TH}} = \text{const.}} = \left. \frac{U_{\text{HF}}(f)}{U_{\text{AC}}(f)} - 1 \right|_{U_{\text{TH}} = \text{const.}}$$

$U_{\text{AC}}(f_{\text{AC}})$ äquivalente AC-Wechselspannung ($f_{\text{AC}} = 100 \text{ kHz}$), die die gleiche Thermospannungsanzeige U_{TH} am Spannungsmesser hervorruft

- Die relative Wechselspannungs-Gleichspannungs-Transferdifferenz berechnet sich aus:

$$\delta_{\text{DC}}(f_{\text{HF}}) = \delta_{\text{DC}}(f_{\text{AC}}) + \delta_{\text{AC}}(f_{\text{HF}}) \cdot [1 + \delta_{\text{DC}}(f_{\text{AC}})]$$

$\delta_{\text{DC}}(f_{\text{AC}})$ relative Wechselspannungs-Gleichspannungs-Transferdifferenz bei f_{AC} (gemessen in AG 2.13 Wechselstrom-Gleichstrom Transfer, Impedanz)



$$\delta_{AC,X}(f_{HF}) = (\delta_{AC,N}(f_{HF}) + 1) \cdot n_X \cdot \sqrt{\frac{U_{Th,X,AC}(f_{AC})}{U_{Th,X,HF}(f_{HF})}} \cdot n_N \cdot \sqrt{\frac{U_{Th,N,HF}(f_{HF})}{U_{Th,N,AC}(f_{AC})}} - 1$$

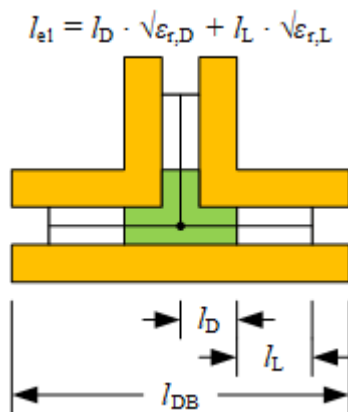
$\delta_{AC,N}(f_{HF})$	HF-AC-Spannungs-Transferdifferenz des Normalkonverters
n_X, n_N	Kennlinie zwischen Ein- und Ausgangsspannung des Messobjektes (X) und des Normalkonverters (N) ($n = 1, 6 \dots 2$)
$U_{th,X,AC}(f_{AC})$	Thermospannung des Messobjektes bei AC
$U_{th,X,HF}(f_{HF})$	Thermospannung des Messobjektes bei HF
$U_{th,N,AC}(f_{AC})$	Thermospannung des Normalkonverters bei AC
$U_{th,N,HF}(f_{HF})$	Thermospannung des Normalkonverters bei HF

- Parallelschalten von DUT (X) und Normal (N) über ein kommerzielles T-Stück
- Primäre Spannungsnorm ist ein DC gekoppelter Messkopf, mit dem die HF-Spannung auf HF-Leistung und HF-Impedanz zurückgeführt wird
- U_{HF} bzw. U_{AC} liegen gleichzeitig am DUT und am Normal an
- wechselweises Auslesen der Thermospannungen bei f_{AC} und f_{HF}
- die Referenzebene bzw. Messebene liegt in der Mitte des T-Stücks (T)
- das Normal muss bezüglich der Mitte des T-Stücks kalibriert sein
- das DUT wird bezüglich der Mitte des T-Stücks kalibriert
- Kennlinie der Ein- und Ausgangsspannung wird von Arbeitsgruppe 2.13 Wechselstrom-Gleichstrom Transfer, Impedanz bestimmt

5.1 Messung mit T-Verzweigung

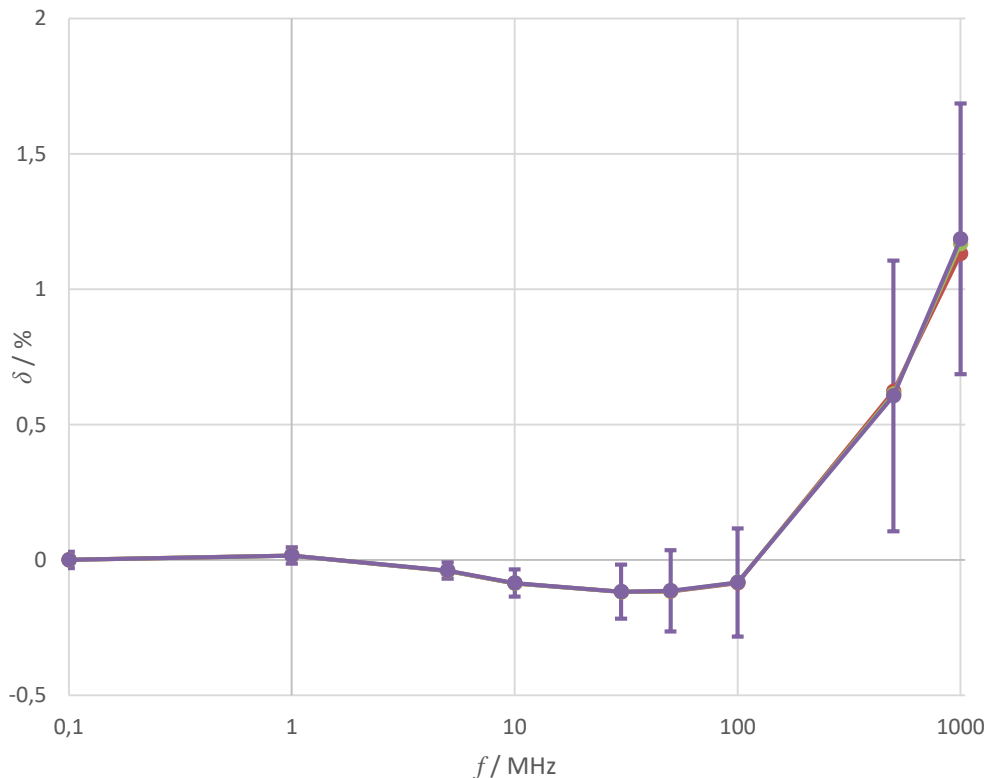
Im Frequenzbereich bis etwa 100 MHz sind auch im HF-Bereich Thermokonverter und Oszilloskope mit Eingangsimpedanzen weit oberhalb von $50\ \Omega$ üblich. Bei diesen hochohmigen Geräten ist bei der Kalibrierung eine klar definierte Messebene notwendig. Diese hochohmigen Messgeräte werden, wie in der NF-Technik üblich, durch Parallelschaltung mit einem kalibrierten HF-Spannungsnormal kalibriert. Es wird hier also wie im Niederfrequenzbereich die HF-Spannung als Potentialdifferenz zwischen den beiden Leitern gemessen. Die Kalibrierspannung, die sowohl am Normal als auch am Messobjekt anliegt, ist die Spannung in der Mitte der T-Verzweigung, welche im Gegensatz zum Leistungsteiler keine internen Widerstände enthält. **Die Spannung wird also bezüglich der Mitte der T-Verzweigung kalibriert.** Es werden – wenn nicht anders erwähnt – immer kommerzielle koaxiale T-Stücke passend zum Eingangsverbinder verwendet, damit nach der Kalibrierung mit dem Messgerät wieder das gleiche T-Stück benutzt werden kann. Andernfalls wird der Messwert verfälscht.

Quelle: DKD-L 02-02 Kapitel 5.1 (Seite 35)



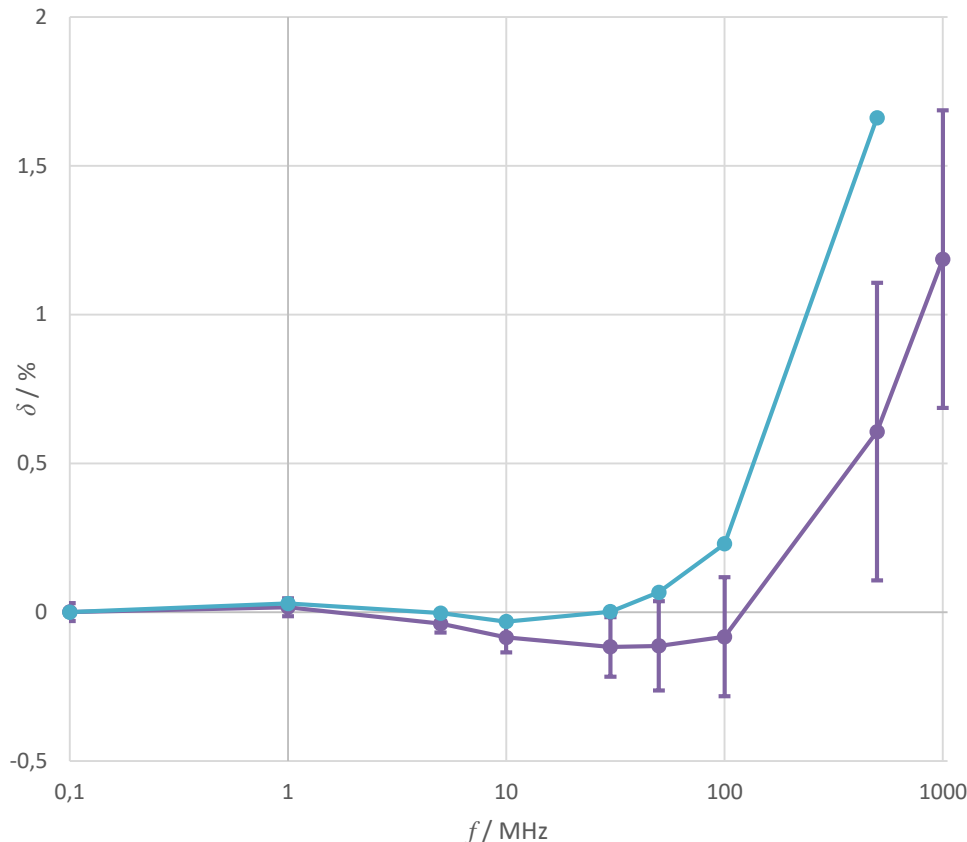
- die Referenzebene bzw. Messebene liegt in der Mitte des T-Stücks (T)
- im Datenblatt wird meist die Gesamtlänge (l_{DB}) angegeben
- l_{DB} ist nur die äußere mechanische Länge (**nicht** die elektrische Länge)
- elektrische Länge l_{el} berechnet sich aus der Länge l_D und der dielektrischen Leitfähigkeit $\epsilon_{r,D}$ des Dielektrikums (meist Teflon $\epsilon_{r,D} = 2$) und der Länge l_L und der dielektrischen Leitfähigkeit $\epsilon_{r,L}$ der Luftleitung ($\epsilon_{r,L} \approx 1$)
- 3 Hersteller $l_{DB} = 45\text{ mm}$ (Standard in der PTB)
- 2 Hersteller $l_{DB} = 44,5\text{ mm}$
- 1 Hersteller $l_{DB} = 42\text{ mm}$
- die Gesamtlänge l_{DB} des verwendeten T-Stücks wird künftig im Kalibrierschein stehen

T-Stücke (2)



- als Normal diente ein DC gekoppelter Messkopf (R&S NRS)
- als DUT diente der thermische Sensor aus dem Ringvergleich von 2008
- die Messspannung betrug 1 V
- Normal berechnet für ein T-Stück mit $l_{DB} = 42$ mm ($l_{el} = 14,6$ mm) und gemessen wurde mit einem T-Stück mit $l_{DB} = 45$ mm
- Normal berechnet für ein T-Stück mit $l_{DB} = 44,5$ mm ($l_{el} = 15,85$ mm) und gemessen wurde mit einem T-Stück mit $l_{DB} = 45$ mm
- Normal berechnet für ein T-Stück mit $l_{DB} = 45$ mm ($l_{el} = 16,1$ mm) und gemessen wurde mit einem T-Stück mit $l_{DB} = 45$ mm
- Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung innerhalb der Messunsicherheit trotz der falsch angenommenen Längen für die Referenzebene des Normals
- Die Berechnungen zeigen, dass der Einfluss von kommerziellen T-Stücken vernachlässigbar ist. Eine messtechnische Untersuchung steht noch aus.

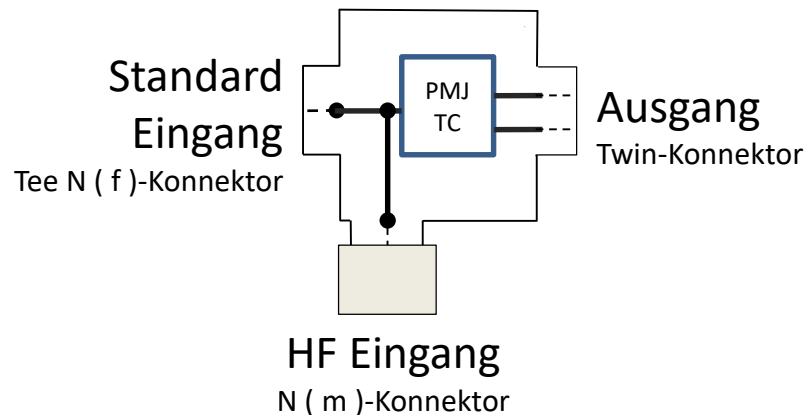
Einfluss von Adaptern



- als Normal diene ein DC gekoppelter Messkopf (R&S NRS)
- als DUT diene der thermische Sensor aus dem Ringvergleich von 2008
- zwischen dem T-Stück und dem DUT wurde ein Adapter ($l_{\text{mech}} = 44 \text{ mm}$) eingefügt
- die Messspannung betrug 1 V
- Messung ohne Adapter
- Messung mit Adapter
- Einfluss des Adapters macht sich schon bei niedrigen Frequenzen bemerkbar und wird zu höheren Frequenzen immer größer
- Adapter müssen bei der Messung **immer** berücksichtigt werden

Normal aus dem Ringvergleich (1)

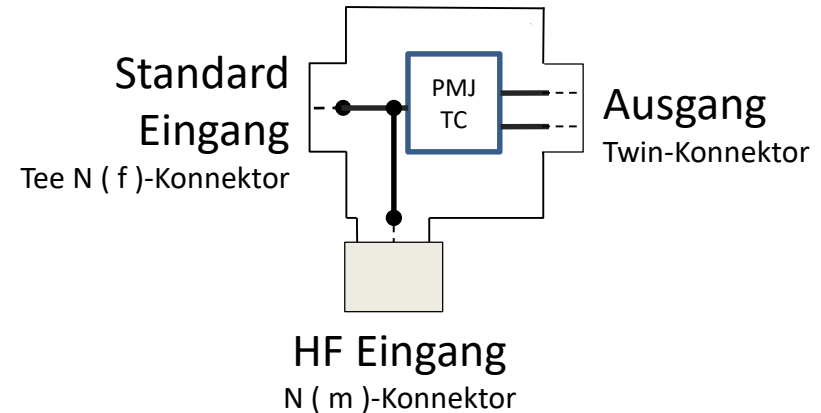
Messobjekt	Thermischer Konverter mit integrierter T-Verzweigung (Eigenbau) mit Quarz-PMJTC, N-Konnektor-Anschlüsse
Messgröße	HF-Spannungstransferdifferenz bei 1V HF-Spannung
Messfrequenzen	1 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 30 MHz, 50 MHz, 100 MHz, 500 MHz, 1 GHz (je nach Messmöglichkeit)



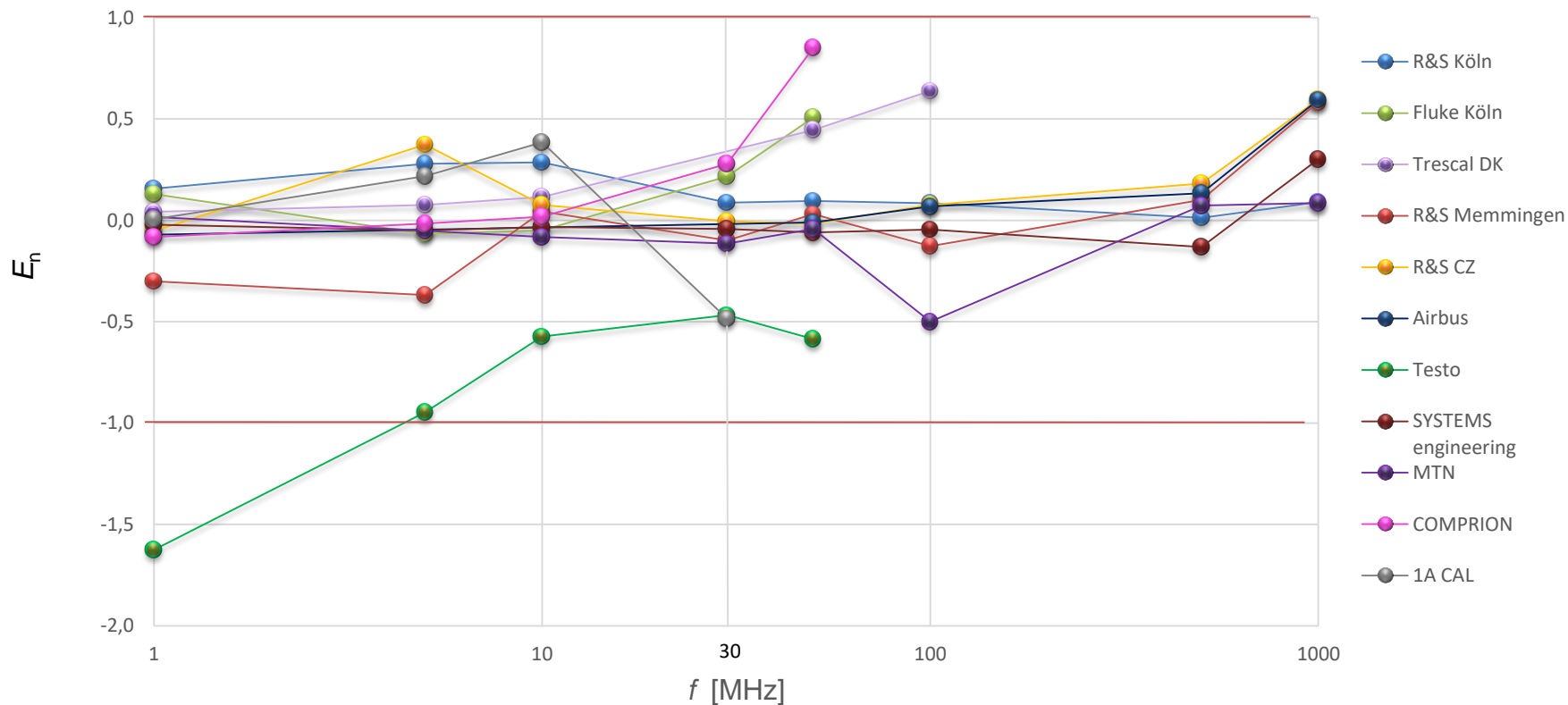
Normal aus dem Ringvergleich (2)

INFO

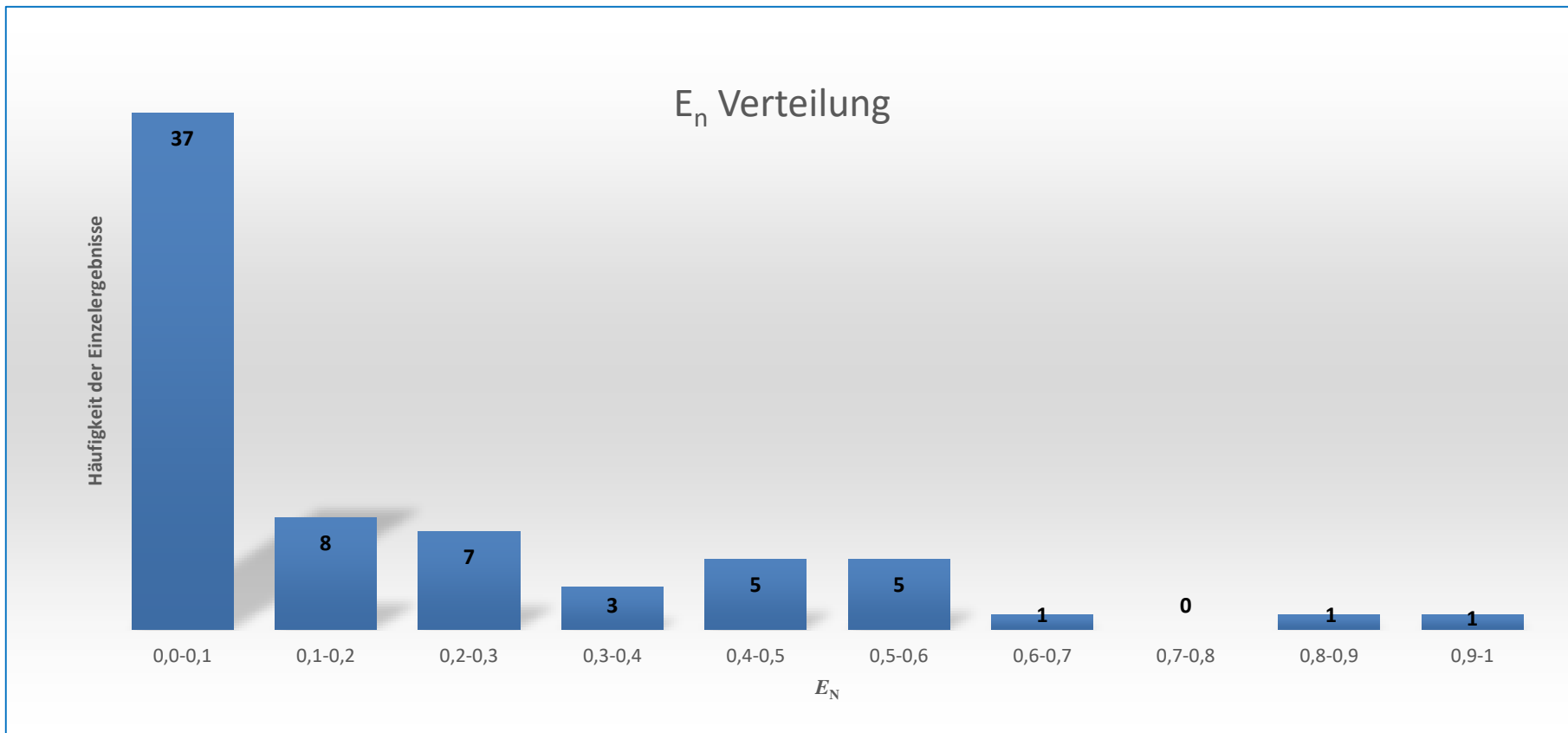
- die Referenzebene ist die Mitte eines N-tee (die in diesen Fall innerhalb des Gehäuses vom Quarz-Konverters liegt)



Ergebnisse des Ringvergleichs (1)



Ergebnisse des Ringvergleichs (2)



- Differenzierung von drei verschiedenen Spannungen (U_X , U_{ein} und U_{Z0})
- Messgröße in der HF-Spannungsmessung ist die relative Wechselspannungs-Gleichspannungs-Transferdifferenz
- Referenzebene bei Spannungsmessungen (U_X) mit einem T-Stück ist immer die Mitte des T-Stücks
- die Gesamtlänge l_{DB} des verwendeten T-Stücks wird künftig im Kalibrierschein stehen
- bei der einfallenden Spannung (U_{ein}) liegt die Referenzebene im Konnektor
- Die Berechnungen zeigen, dass der Einfluss von kommerziellen T-Stücken vernachlässigbar ist. Eine messtechnische Untersuchung steht noch aus.
- verwendete Adapter im Messaufbau müssen berücksichtigt werden
- DUT im Ringvergleich war ein Spannungsmesser mit integriertem T-Stück, dessen Länge dem eines kommerziellen T-Stücks ($l_{\text{DB}} = 45 \text{ mm}$) entspricht
- Insgesamt gute Ergebnisse im Ringvergleich

Danksagung

Susanne Weimann, PTB

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

Florian Rausche

Telefon: 0531 592-2221

E-Mail: florian.rausche@ptb.de

www.ptb.de



Stand: 05/19