

Nationaler Ringvergleich

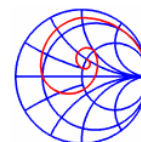
HF-Spannung 2008/2009

Draft B-Report

Stand: 22.06.2010

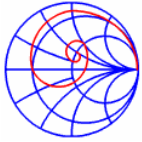
Physikalisch- Technische Bundesanstalt, Arbeitsgruppe 2.22
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

Dr.-Ing. Rolf Judaschke
Sonja Brandes

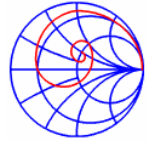


Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1. Organisation	1
2. TransfERNormal und Messfrequenzen	1
3. Teilnehmer	1
4. Messgrößen	2
4.1. Ergebnisberichte	2
4.2. Das Messobjekt.....	3
4.3. Die HF-Spannungstransferdifferenz.....	3
5. Ablauf der Messung	4
5.1. Kalibrierzeiten	4
5.2. Umlauf der Normale	5
6. Methoden der Kalibrierung	6
6.1. Rohde & Schwarz, Köln (DKD-K-00201).....	6
6.2. JDSU (DKD-K-00501).....	6
6.3. Kalibrierzentrum Bayern (DKD-K-01101)	7
6.4. MeßTechnikNord (DKD-K-01701).....	7
6.5. Trescal (DKD-K-04201).....	8
6.6. Kalibrierzentrum der Bundeswehr (DKD-K-12331).....	8
6.7. Systems Engineering (DKD-K-13301)	8
6.8. ESZ (DKD-K-18201)	9
6.9. testo industrial services (DKD-K-05301).....	9
6.10. EADS, Manching (DKD-K-00902).....	9
6.11. Rohde & Schwarz, Memmingen (DKD-K-16101).....	10
6.12. Fluke Deutschland GmbH (DKD-K-00902)	10
6.13. PTB, Braunschweig	10



7.	Übersicht über die Messergebnisse.....	11
7.1.	Vergleich der Ergebnisse	12
8.	Die Messergebnisse der einzelnen Kalibrierlaboratorien.....	16
8.1.	MeßTechnikNord (DKD-K-01701)	16
8.2.	Kalibrierzentrum der Bundeswehr (DKD-K-12331)	16
8.3.	Rohde & Schwarz, Memmingen (DKD-K-16101)	17
8.4.	Trescal (DKD-K-04201)	17
8.5.	Kalibrierzentrum Bayern (DKD-K-01101).....	18
8.6.	EADS, Manching (DKD-K-00902)	19
8.7.	Systems Engineering (DKD-K-13301).....	19
8.8.	ESZ (DKD-K-18201).....	20
8.9.	JDSU (DKD-K-00501)	20
8.10.	Rohde & Schwarz, Köln (DKD-K-00201)	21
8.11.	PTB, Braunschweig	22
9.	Auswertung des Ringvergleiches.....	23
9.1.	Resümee zur Angabe der HF-Spannungstransferdifferenz.....	23
9.2.	Resümee bzgl. des Messverfahrens	23
9.3.	Resümee zum Ablauf des Vergleiches.....	23
9.4.	Schlussbemerkung	24
	Technisches Protokoll	25



Zusammenfassung

Zwischen Juli 2008 und September 2009 wurde ein nationaler Ringvergleich für den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) in der Messgröße "HF-Spannung" durchgeführt. Bei diesem Vergleich wurde die HF-DC-Transferdifferenz eines thermischen Sensors bei 7 Frequenzen zwischen 1 MHz und 1 GHz bestimmt. Das Ergebnis zeigte für alle Teilnehmer im Allgemeinen eine gute Übereinstimmung mit den Referenzwerten.

1. Organisation

Der nationale Vergleich "HF-Spannung" wurde auf der 33. Sitzung des Fachausschusses "Hochfrequenz und Optik" des Deutschen Kalibrierdienstes (DKD) am 8. Mai 2008 beschlossen. Die Organisation lag in den Händen der Arbeitsgruppe Hochfrequenzmesstechnik der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB). Hier wurden auch die Referenzmessungen des Vergleiches vorgenommen.

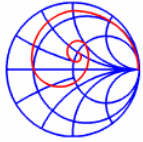
2. TransfERNormal und Messfrequenzen

Als Messobjekt des nationalen DKD-Ringvergleiches wurde ein eigens für den Vergleich an der PTB hergestellter thermischer Sensor, in dem sich die Messzelle eines R&S NRV-Z51 befindet, mit N-male-Konnektor eingesetzt (siehe Abb. 4.1 auf Seite 3).

Die Aufgabe dieses Vergleiches für die Teilnehmer bestand darin, die HF-DC-Transferdifferenz für die Frequenzen 1 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 50 MHz, 100 MHz, 500 MHz und 1 GHz (je nach Akkreditierungsumfang bzw. Messmöglichkeit) zu bestimmen.

3. Teilnehmer

Am Vergleich haben insgesamt 12 Kalibrierlaboratorien teilgenommen, von denen zu Beginn des Vergleichs insgesamt acht Teilnehmer für die Messgröße "HF-Spannung" akkreditiert waren, wobei sich die Akkreditierung bei zwei Kalibrierlaboren auf Frequenzen bis maximal 100 MHz im N-Konnektorsystem beschränkte:



Nationaler Ringvergleich HF-Spannung

DKD-K-00201	Rohde & Schwarz, Köln	Labor K
DKD-K-00501	JDSU, Eningen	Labor I
DKD-K-01101	Kalibrierzentrum Bayern, Egming	Labor E
DKD-K-01701	MeßTechnikNord, Wedel	Labor A
DKD-K-04201	Trescal, Darmstadt	Labor D
DKD-K-12331	Kalibrierzentrum der Bundeswehr, Mechnich	Labor B
DKD-K-13301	Systems Engineering, Stolberg	Labor G
DKD-K-18201	ESZ Eichenau	Labor H

Darüber hinaus nahmen folgende Kalibrierlaboratorien an der Vergleichsmessung teil:

DKD-K-05301	testo industrial services, Kirchzarten	
DKD-K-00902	Fluke Deutschland GmbH	
DKD-K-01901	EADS, Manching	Labor F
DKD-K-16101	Rohde & Schwarz, Memmingen	Labor C

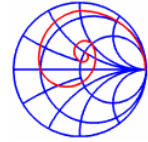
4. Messgrößen

Die Messgröße des Ringvergleichs für das TransfERNormal war die absolute, d.h. auf Gleichspannung bezogene HF-Spannungstransferdifferenz bei einer HF-Spannung von 1V, was einer Thermoelement-Ausgangsspannung von ca. 4 mV entspricht.

Die Kalibrierfrequenzen betragen: 1 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 50 MHz, 100 MHz, 500 MHz, 1 GHz (je nach Messmöglichkeit bzw. Akkreditierung)

4.1. Ergebnisberichte

Die Dokumentation der Messergebnisse sollte bei den für HF-Spannung akkreditierten DKD-Laboratorien in Form eines DKD-Kalibrierscheins, bei allen anderen Laboratorien in einem Kalibrierschein ähnlicher Form erfolgen. Das eingesetzte Messverfahren sollte kurz beschrieben werden. Ferner sollte eine Aussage über die Rückführung (auf PTB, anderes Staatsinstitut oder den DKD) gemacht werden.



4.2. Das Messobjekt

Beim Messobjekt handelt es sich um einen thermischer Sensor, N-male-Konnektor, der sich durch eine sehr gute Anpassung und einen flachen Frequenzverlauf auszeichnet.



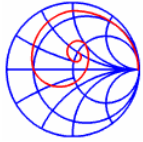
Abbildung 4.1: Thermischer Sensor mit N-Konnektor (PTB-Eigenbau).

4.3. Die HF-Spannungstransferdifferenz

Die absolute HF-Spannungstransferdifferenz ist definiert als die Differenz zwischen der HF-Spannung bei der Messfrequenz f und einer äquivalenten Gleichspannung in der Eingangsebene eines Sensors, die zur **gleichen** Thermospannung am Ausgang des Sensors führt, bezogen auf die äquivalente Gleichspannung:

$$\delta_{\text{DC}}(f) = \frac{U_{\text{HF}}(f) - U_{\text{DC}}}{U_{\text{DC}}} \Big|_{U_{\text{Th}} = \text{const.}} = \frac{U_{\text{HF}}(f)}{U_{\text{DC}}} - 1 \Big|_{U_{\text{Th}} = \text{const.}} \quad (1)$$

Diese Transferdifferenz war bei einer HF-Spannung von 1V zu bestimmen.



5. Ablauf der Messung

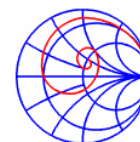
Die Kalibrierzeiten der einzelnen Kalibrierlaboratorien kann der Tabelle 5.1 entnommen werden. Für die Dauer der Kalibrierung wurden je Kalibrierlaboratorium drei Wochen veranschlagt. Hinzu kam ein Zeitraum von einer Woche für den Versand zum nächsten Teilnehmer.

Abbildung 5.2 zeigt das Umlaufschema des Ringvergleichs.

5.1. Kalibrierzeiten

Kalibrierlaboratorium		Kalibrierzeiten
PTB	Vormessung	16. Juni. - 20. Juni 2008
DKD-K-00201	Rohde und Schwarz, Köln	11. Juli - 10. August 2008
DKD-K-05301	testo industrial services , Kirchzarten	11. August - 7. September 2008
DKD-K-00501	JDSU, Eningen	8. - 28. September 2008
DKD-K-01901	EADS, Manching	20. Oktober - 9. November 2008
DKD-K-00902	Fluke Deutschland GmbH	10. November – 30. November 2008
PTB	Rückmessung	1. - 21. Dezember 2008
DKD-K-01101	Kalibrierzentrum Bayern, Egmating	22. Dez. 2008 – 11. Januar 2009
DKD-K-01701	MeßTechnikNord, Wedel	12. Jan. 2009 – 1. Februar 2009
DKD-K-04201	Trescal, Darmstadt	2. – 22. Februar 2009
DKD-K-12331	Kalibrierzentrum der Bundeswehr, Mechernich	23. Februar – 15. März 2009
DKD-K-13301	Systems Engineering, Stolberg	16. März – 5. April 2009
DKD-K-16101	Rohde & Schwarz, Memmingen	6. – 26. April 2009
DKD-K-18201	ESZ Eichenau	27. April – 17. Mai 2009
PTB	Rückmessung	18. Mai - 7. Juni 2009

Tabelle 5.1: Kalibrierzeiträume der Teilnehmer



5.2. Umlauf der Normale

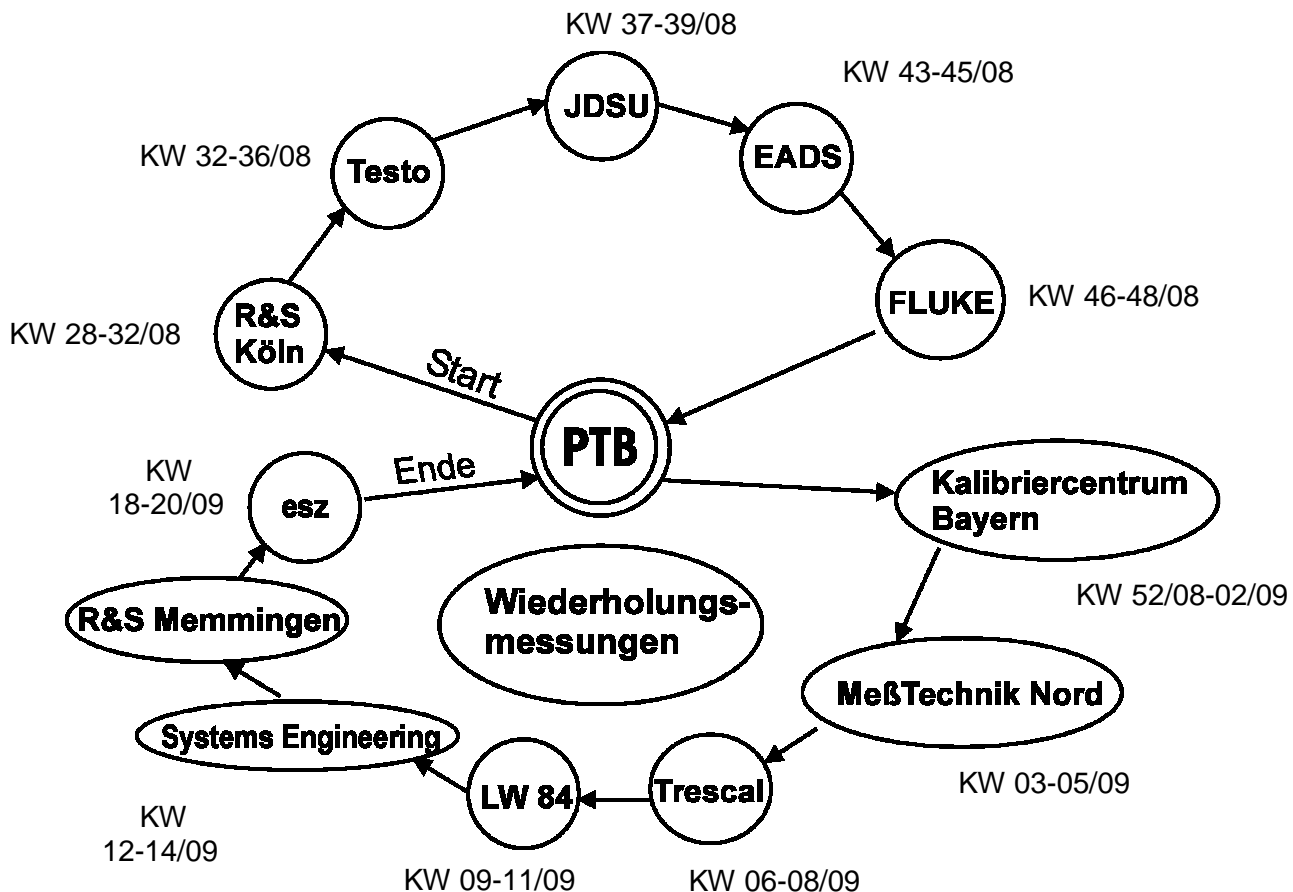
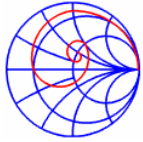


Abbildung 5.2: Umlaufschema der Normale



6. Methoden der Kalibrierung

Die nachstehenden Beschreibungen des Kalibrierverfahrens sind auszugsweise den von den Kalibrierlaboratorien angefertigten Kalibrierscheinen ent- und von den Autoren dieses Berichts sinngemäß übernommen worden.

6.1. Rohde & Schwarz, Köln (DKD-K-00201)

Das Kalibrierlaboratorium der Fa. Rohde & Schwarz, Köln, war zum Zeitpunkt der Messung für die Messgröße Wechelspannung bzw. Wechelspannung-/Gleichspannungstransfer bis 1 GHz akkreditiert.

Bei der Kalibrierung wurden der Prüfling und das kalibrierte Bezugsnormale über ein N-T-Stück parallel geschaltet und mit einer Wechelspannung von 1V bei den Messfrequenzen beaufschlagt. Der Referenzpunkt der Messung war die Mitte des T-Stücks. Die vom Prüfling abgegebene Thermospannung wurde mit einem Nanovoltmeter 34420A gemessen. Die Kalibrierung umfasst die relative Transferdifferenz bezogen auf die Frequenz 10 kHz. Ein positives Vorzeichen bedeutet, dass bei der Messfrequenz eine höhere Spannung als bei 10 kHz erforderlich ist, um die gleiche Thermospannung hervorzurufen.

Der Bezug auf 10 kHz anstelle von Gleichspannung ergibt keine signifikante Änderung des Messergebnisses.

Die Umgebungsbedingungen betragen $(22,8 \pm 0,2)$ °C und (50 ± 10) % rel. Feuchte.

Der DKD-Kalibrierschein wurde am 25.7.2008 ausgestellt.

Die im Kalibrierschein angegebenen Messunsicherheiten entsprechen den akkreditierten Messunsicherheiten.

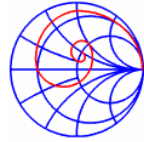
6.2. JDSU (DKD-K-00501)

Das Kalibrierlaboratorium der Fa. JDSU war zum Zeitpunkt der Messung für die Messgröße Wechelspannung bis 300 MHz akkreditiert, allerdings nur bei einem Effektivwert der Wechelspannung von maximal 0,273 V.

Zur Ermittlung der HF-Spannungstransferdifferenz des Prüflings wurde dessen Eingang mit dem Ausgang einer koaxialen T-Verzweigung verbunden, während an dem parallel geschalteten zweiten Ausgang der T-Verzweigung der Normal-Spannungsmesser des Kalibrierlaboratoriums angeschlossen war. Bei der Messfrequenz wurde die jeweilige in der Referenzebene anliegende Wechelspannung, die eine konstante Aussteuerung des Sensors bewirkte, mit der Normalmesseinrichtung für HF-Wechelspannung ermittelt. Die äquivalente Gleichspannung wurde aus der Mittelung zweier Gleichspannungsmessungen entgegengesetzter Polarität ermittelt.

Ein negatives Vorzeichen der HF-Spannungs-Transferdifferenz bedeutet, dass die HF-Spannung bei gleicher Aussteuerung des Sensors kleiner ist als die Bezugsgleichspannung.

Der Bezug auf 10 kHz anstelle von Gleichspannung ergibt keine signifikante Änderung des Messergebnisses.



Die Umgebungsbedingungen betragen 22,9 °C, über die relative Feuchte wurden keine Angaben gemacht.

Der DKD-Kalibrierschein wurde am 15.10.2008 ausgestellt.

Die im Kalibrierschein angegebenen Messunsicherheiten entsprechen den akkreditierten Messunsicherheiten.

6.3. Kalibrierzentrum Bayern (DKD-K-01101)

Das Kalibrierzentrum Bayern war zum Zeitpunkt der Messung für die Messgröße HF-Spannung bis 1 GHz akkreditiert.

Bei der Kalibrierung wurden das kalibrierte Bezugsnormale (thermischer Leistungsmesser NRS) und der Prüfling über ein T-Stück parallel geschaltet. Der Eingang des T-Stücks wurde über einen Schalter einerseits von einem Gleichspannungskalibrator, andererseits von einer HF-Spannungsquelle gespeist. Die in der Symmetrieebene des T-Stücks anliegende HF-Spannung wurde bestimmt, indem nacheinander HF-Wechselspannung und Gleichspannung angelegt wurden, und die HF-Spannung aus den dabei gemessenen NRS-Thermospannungen berechnet wurde.

Anschließend wurde nacheinander dieselbe HF-Spannung und eine Gleichspannung von 1V am Prüfling eingespeist und die sich ergebenden Thermospannungen gemessen. Aus diesen Thermospannungen wird die absolute Transferdifferenz bezogen auf 1V Gleichspannung berechnet.

Die Umgebungsbedingungen betragen xx °C und (50 ± 10) % rel. Feuchte.

Die ermittelten Messwerte sowie die zugehörigen Messunsicherheiten wurden dem Pilotlabor elektronisch übermittelt, ein DKD-Kalibrierschein wurde trotz wiederholter Nachfrage nicht ausgestellt.

6.4. MeßTechnikNord (DKD-K-01701)

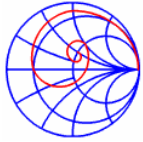
Das Kalibrierlaboratorium der Fa. MeßTechnikNord war zum Zeitpunkt der Messung für die Messgröße HF-Spannung bis 100 MHz akkreditiert.

Der Kalibriergegenstand wurde mit einem Messsystem für HF-Spannungen verglichen und seine relative Transferdifferenz bei einer Spannung von ca. 1V und den vorgegebenen Messfrequenzen ermittelt. Der Themokonverter und das Bezugsnormale wurden wahlweise mit Wechselspannung oder Gleichspannung verschiedener Polarität über den notwendigen Adapter (N auf BNC) beaufschlagt. Der jeweilige Gleichspannungswert ist der Mittelwert aus zwei Gleichspannungsmessungen entgegengesetzter Polarität.

Die Umgebungsbedingungen betragen $(23 \pm 0,5)$ °C und (55 ± 10) % rel. Feuchte.

Der DKD-Kalibrierschein wurde am 13.8.2009 ausgestellt.

Die im Kalibrierschein angegebenen Messunsicherheiten entsprechen den akkreditierten Messunsicherheiten.



6.5. Trescal (DKD-K-04201)

Das Kalibrierlaboratorium der Fa. Trescal war zum Zeitpunkt der Messung für die Messgröße HF-Spannung bzw. HF-Spannungsmessgeräte bis 1 GHz akkreditiert.

Die Kalibrierung erfolgte durch Vergleich der durch die rückführbar kalibrierten Kalibriergeräte/Normale dargestellten Werte (Messwert) mit der Anzeige des Messgerätes (Anzeigewert).

Die Umgebungsbedingungen betragen $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ und $(50 \pm 25) \%$ rel. Feuchte.

Der DKD-Kalibrierschein wurde am 17.2.2009 ausgestellt.

Die im Kalibrierschein angegebenen Messunsicherheiten entsprechen den akkreditierten Messunsicherheiten.

6.6. Kalibrierzentrum der Bundeswehr (DKD-K-12331)

Das Kalibrierzentrum der Bundeswehr war zum Zeitpunkt der Messung für die Messgröße HF-NF-Spannungs-Transfer bei einer HF-Spannung von 1V bis 50 MHz akkreditiert.

Die HF/NF-Spannungstransferdifferenzen wurden an einem automatischen Messplatz ermittelt. Der zu kalibrierende thermische Sensor und der Normalkonverter wurden über eine BNC-T-Verzweigung parallel geschaltet. Um den N-male Konnektor des PTB-Sensors auf BNC zu adaptieren, wurde ein BNC-N-Adapter auf der Prüflingsseite der T-Verzweigung eingefügt. Der auf der Normalkonverterseite entstandene Symmetriefehler wurde durch einen speziellen BNC-female-male-Adapter gleicher Länge näherungsweise kompensiert.

Der zu kalibrierende thermische Sensor und der auf die PTB rückführbar kalibrierte Normalkonverter wurden mit einer niederfrequenten Wechselspannung (1 kHz) und der Messfrequenz beaufschlagt. Die Referenzebene war der Mittelpunkt der T-Verzweigung.

Die Umgebungsbedingungen betragen $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ und $(50 \pm 10) \%$ rel. Feuchte.

Der Kalibrierschein (kein DKD-Kalibrierschein) wurde ohne Datumsangabe ausgestellt.

Die im Kalibrierschein angegebenen Messunsicherheiten sind größer als die akkreditierten Messunsicherheiten.

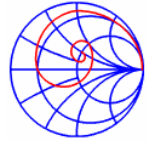
6.7. Systems Engineering (DKD-K-13301)

Das Kalibrierlabor der Fa. Systems Engineering war zum Zeitpunkt der Messung für die Messgröße HF-Spannung bis 1 GHz akkreditiert.

Die Kalibrierung erfolgte durch Vergleich des Kalibriergegenstandes mit den durch die Kalibriergeräte/Normale dargestellten Werten.

Als Normal wurde ein PTB-kalibrierter Messkopf, Typ R&S NRV-Z51, in Verbindung mit einem NRVD-Grundgerät eingesetzt. Die Ausgangsspannung des Kalibriergegenstandes wurde mit einem Digital-Multimeter 1281 gemessen.

Der Kalibriergegenstand und das Normalmessgerät wurden mit einem koaxialen T-Stück des Typs UG 28 A/U parallel geschaltet. Mit einem DC-Kalibrator wurden 2 Gleichspannungen entgegengesetzter Polarität, deren Mittelwert 1V betrug, in das T-Stück eingespeist. Die Anzeige



des NRV-Z51/NRVD wurde auf 1V normiert. Der Mittelwert des DMM 1281 (Ausgang Kalibriergegenstand) entspricht dem Referenzwert für 1V Gleichspannung.

Bei den Messfrequenzen wurde der Referenzwert am DMM 1281 eingestellt und die entsprechende HF-Spannung am NRV-Z51/NRVD abgelesen.

Die Umgebungsbedingungen betragen $(22,8 \pm 0,2)$ °C und (50 ± 20) % rel. Feuchte.

Der DKD-Kalibrierschein wurde am 17.04.2009 ausgestellt.

Die im Kalibrierschein angegebenen Messunsicherheiten entsprechen den akkreditierten Messunsicherheiten..

6.8. ESZ (DKD-K-18201)

Das Kalibrierlabor der Fa. ESZ war zum Zeitpunkt der Messung für die Messgröße HF-Spannung, Eingangsspannung an 50-Ω-Empfängern und Messgeräten, bis 18 GHz akkreditiert.

Der Kalibriergegenstand wurde an einer kalibrierten Leistungsreferenz NRVC der Fa. R&S vermessen, indem die einfallende HF-Spannung in der Messebene bei allen Frequenzen konstant gehalten wurde und die sich dabei ergebende Ausgangsspannung des Messobjektes mit einem Voltmeter Keithley 181 gemessen wurde. Ebenfalls gemessen wurde der komplexe Eingangsreflexionsfaktor des Messobjektes. Da die Transferdifferenz per Definition das Verhältnis der Eingangsspannung bei der Messfrequenz zur DC-Eingangsspannung ist, die die gleiche Ausgangsspannung hervorruft, hier jedoch umgekehrt die Eingangsspannung konstant gehalten wurde, erfolgte die Berechnung der Transferdifferenz aus dem quadratischen Zusammenhang zwischen HF-Leistung und HF-Spannung am Eingang unter Berücksichtigung des Eingangsreflexionsfaktors des Messobjektes.

Die Umgebungsbedingungen betragen (23 ± 1) °C und (40 ± 20) % rel. Feuchte.

Ein DKD-Kalibrierschein wurde am 11.12.2009 ausgestellt.

Die im Kalibrierschein angegebenen Messunsicherheiten entsprechen den akkreditierten Messunsicherheiten.

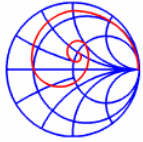
6.9. testo industrial services (DKD-K-05301)

Die Firma testo industrial services zog als freiwilliger Teilnehmer seine Teilnahme nach erfolgter Messung zurück.

6.10. EADS, Manching (DKD-K-00902)

Das Kalibrierlabor der Fa. EADS war zum Zeitpunkt der Messung für die Messgröße HF-Spannungs-Transferdifferenz nicht akkreditiert.

Zur Ermittlung der HF-Spannungstransferdifferenz bei verschiedenen Messfrequenzen und bei 1V HF-Spannung wurden der Prüfling und der Standardmesskopf, ein 50-Ω-Widerstandsmesskopf mit N-Stecker mit einer T-Verzweigung vom Typ UG 28 A/U parallel geschaltet. Die Referenzebene der Spannungsmessung war der Mittelpunkt des N-T-Stückes. Bei den Messfrequenzen wurden der Prüfling und der Standardmesskopf mit der HF-Wechselspannung beaufschlagt. Nach einer angemessenen Einlaufzeit und nachdem sich die



Anzeigen der beiden Nullindikatoren stabilisiert hatten ($< 1 \times 10^{-5}$), wurden die Anzeigen gleichzeitig auf Referenz-Null gesetzt. Dann wurden Prüfling und Normalmesskopf mit positiver bzw. negativer Gleichspannung beaufschlagt und diese jeweils solange verändert, bis die Anzeige der Nullindikatoren wieder auf Referenz-Null abgeglichen waren. Der jeweilige Gleichspannungswert war der Mittelwert aus den beiden Gleichspannungen entgegengesetzter Polarität. Die Berechnung der Transferdifferenz erfolgte gemäß Gl. (1).

Die Umgebungsbedingungen betragen $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ und $(50 \pm 10) \% \text{ rel. Feuchte}$.

Der Kalibrierschein (kein DKD-Kalibrierschein) wurde am 18.11.2008 ausgestellt.

6.11. Rohde & Schwarz, Memmingen (DKD-K-16101)

Das Kalibrierlabor der Fa. Rohde & Schwarz, Memmingen, war zum Zeitpunkt der Messung für die Messgröße HF-Spannungs-Transferdifferenz nicht akkreditiert.

Als Normal wurde ein PTB-kalibrierter Messkopf, Typ R&S NRV-Z51, in Verbindung mit einem NRVD-Grundgerät eingesetzt. Die Ausgangsspannung des Kalibriergegenstandes wurde mit einem Digital-Multimeter HP3458A gemessen.

Der Kalibriergegenstand und der Normalmesskopf wurden mit einem koaxialen N-50 Ω -T-Stück parallel geschaltet. Mit einem DC-Kalibrator wurden 2 Gleichspannungen entgegengesetzter Polarität, deren Mittelwert 1V betrug, in das T-Stück eingespeist. Die Anzeige des NRV-Z51/NRVD wurde auf 1V normiert. Der Mittelwert des DMM 1281 (Ausgang Kalibriergegenstand) entspricht dem Referenzwert für 1V Gleichspannung.

Bei den Messfrequenzen wurde der Referenzwert am DMM 1281 eingestellt und die entsprechende HF-Spannung am NRV-Z51/NRVD abgelesen.

Die Umgebungsbedingungen betragen $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ und $(40 \pm 20) \% \text{ rel. Feuchte}$.

Ein Kalibrierschein wurde am 21.09.2009 ausgestellt.

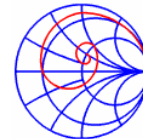
6.12. Fluke Deutschland GmbH (DKD-K-00902)

Die Firma Fluke Deutschland GmbH zog als freiwilliger Teilnehmer seine Teilnahme nach erfolgter Messung zurück.

6.13. PTB, Braunschweig

Der zu kalibrierende Thermokonverter wurde mit der PTB-Normalmeseinrichtung für Wechselspannungs-Gleichspannungs-Transfer verglichen und seine relativen Transferdifferenzen bei den in den Messergebnissen genannten Messfrequenzen und 1V Messspannung ermittelt. Der Konverter und das Normalmessgerät wurden über eine koaxiale T-Verzweigung parallelgeschaltet und wahlweise mit Wechselspannung oder Gleichspannung verschiedener Polarität beaufschlagt. Die Referenzebene der Spannungsmessung war der Mittelpunkt des T-Stückes.

Die Umgebungstemperaturen betragen zum Zeitpunkt der Kalibrierung $(23 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ und $(50 \pm 10) \% \text{ rel. Feuchte}$.



7. Übersicht über die Messergebnisse

In diesem Abschnitt sind die Messergebnisse als grafische Übersicht dargestellt. In Abschnitt 8 sind die Messergebnisse für jedes Kalibrierlaboratorium für jede Frequenz tabellarisch zusammengefasst.

Aus der Zwischen- und der Rückmessung am Ende des Vergleichs im Labor der PTB ergibt sich, dass sich die Transferdifferenz im Verlauf des Ringvergleichs nicht signifikant geändert hat (vgl. Abschnitt 8.10).

Wie bei Vergleichen üblich, wurde zur Auswertung der E_N -Wert bestimmt¹, wobei als Referenzwert der Mittelwert der drei im PTB-Laboratorium durchgeführten Messungen herangezogen wurde. Diese Vorgehensweise weicht von der Auswertung internationaler Vergleiche insofern ab, als dass nicht der Mittelwert der Ergebnisse **aller** teilnehmenden Labore als Referenzwert herangezogen wurde. Dies ist dadurch zu rechtfertigen, dass die Unsicherheiten der PTB als Pilotlabor erheblich kleiner als die der Teilnehmer sind.

Der E_N -Wert ist ein, in den Vergleichsmessungen der EA (European Cooperation for Accreditation), dem früheren EAL (European Co-operation for Accreditation of Laboratories), angegebenes Kriterium für die Abweichung des Laborwertes vom Referenzwert.

Dieser Wert wird wie folgt berechnet:

$$E_N = \frac{\delta_{DC,Lab} - \delta_{DC,Ref}}{\sqrt{U(\delta_{DC,Lab})^2 + U(\delta_{DC,Ref})^2}} \quad (2)$$

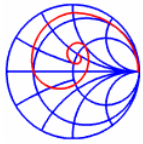
Darin sind:

- $\delta_{DC,Lab}$: Messwert des teilnehmenden Kalibrierlaboratoriums
- $\delta_{DC,Ref}$: Referenzmesswert der PTB
- $U(\delta_{DC,Lab})$: Erweiterte Messunsicherheit des Kalibrierungsfaktors des Kalibrierlaboratoriums
- $U(\delta_{DC,Ref})$: Erweiterte Messunsicherheit des Referenzmesswertes der PTB

Werte, die die Bedingung $|E_N| \leq 1$ erfüllen, sind ein akzeptables, jedoch kein gutes Ergebnis. Ist der Faktor größer, so müssen Korrektur- und Überwachungsmaßnahmen erfolgen.

Auf den folgenden Seiten erfolgt zunächst eine Zusammenfassung der Messergebnisse des Vergleiches und nachfolgend der E_N -Werte.

¹ EAL-P7 bzw. EA-2/03, EA Interlaboratory Comparison, (1996)



7.1. Vergleich der Ergebnisse

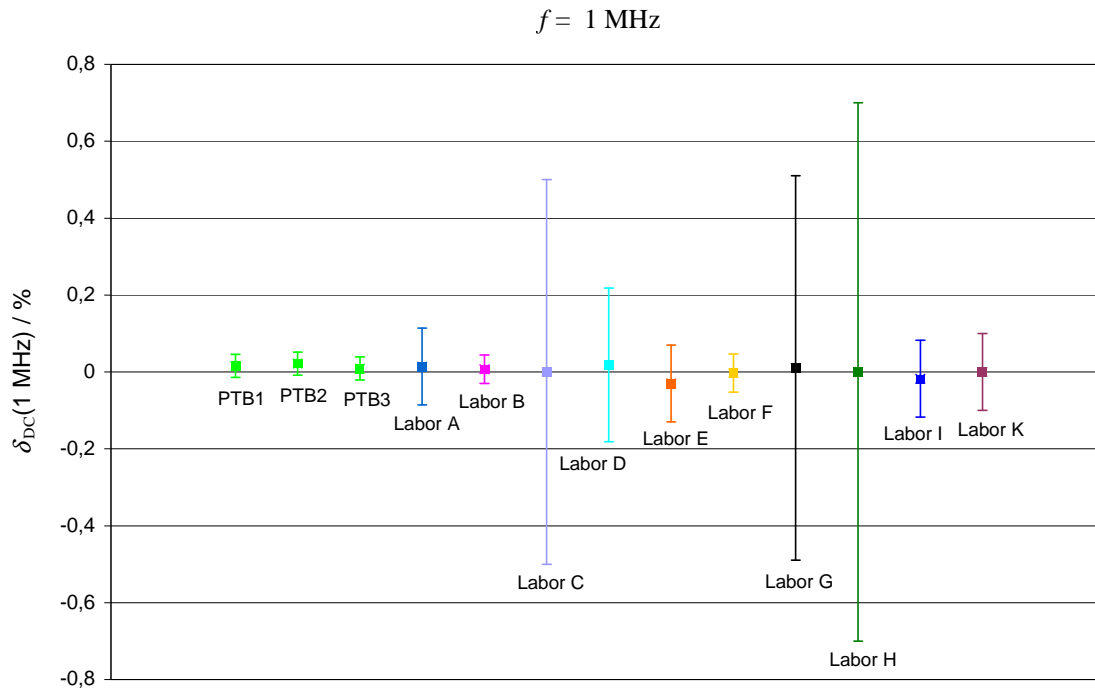


Abbildung 7.1: Vergleich der HF-Spannungstransferdifferenz bei 1 MHz.

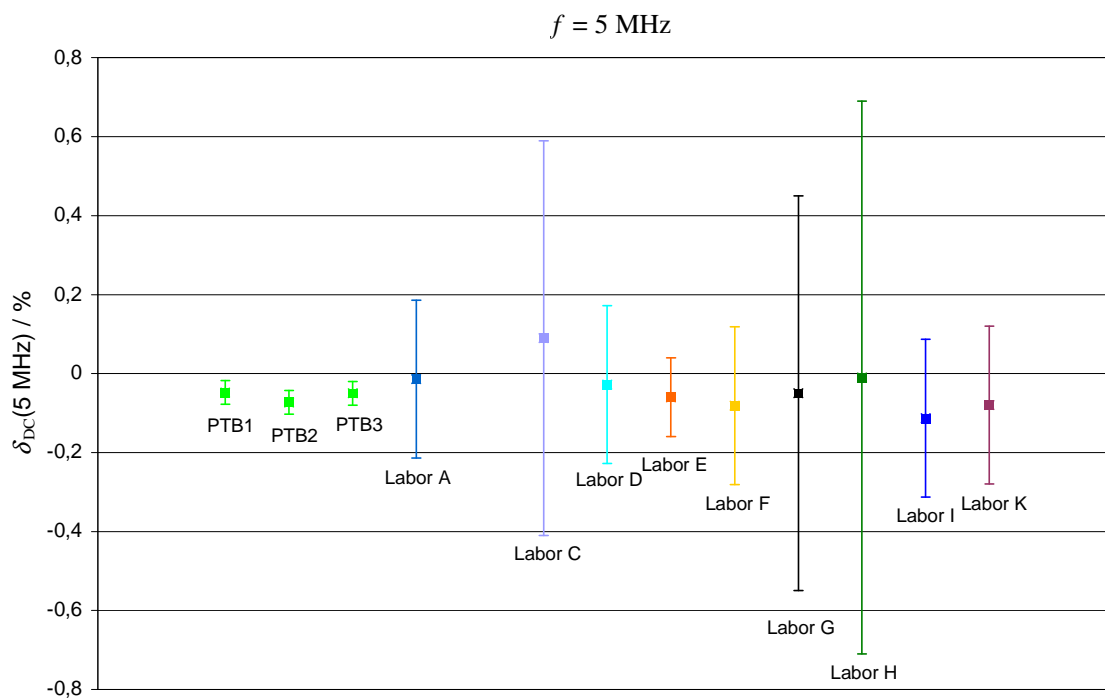


Abbildung 7.2: Vergleich der HF-Spannungstransferdifferenz bei 5 MHz.

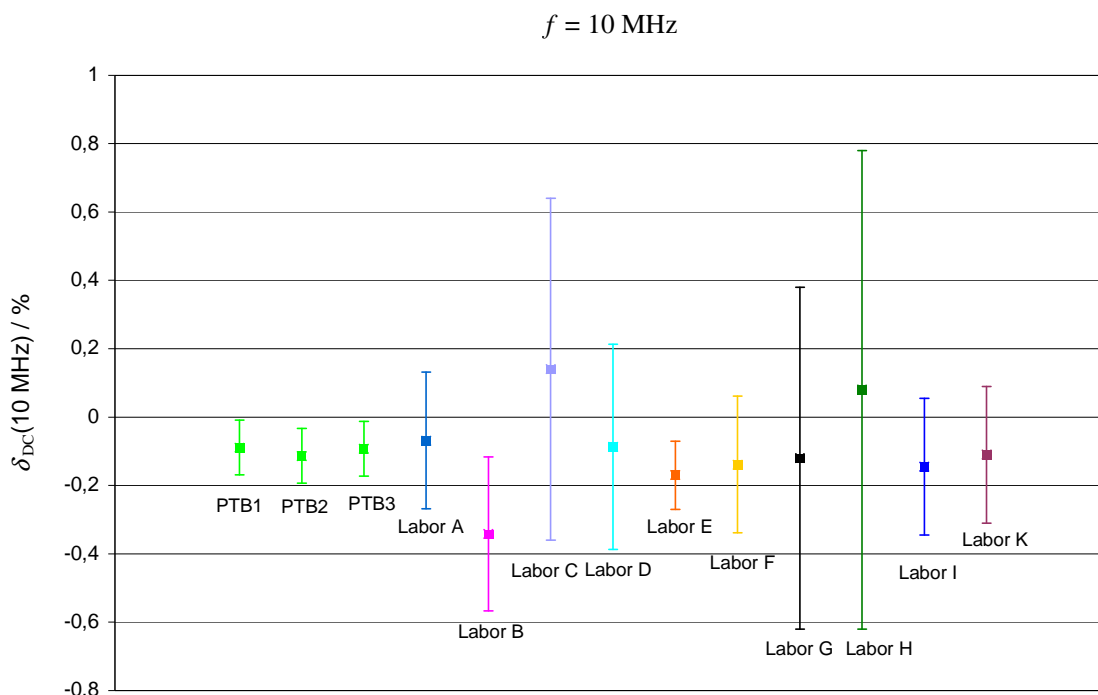
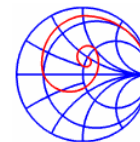


Abbildung 7.3: Vergleich der HF-Spannungstransferdifferenz bei 10 MHz.

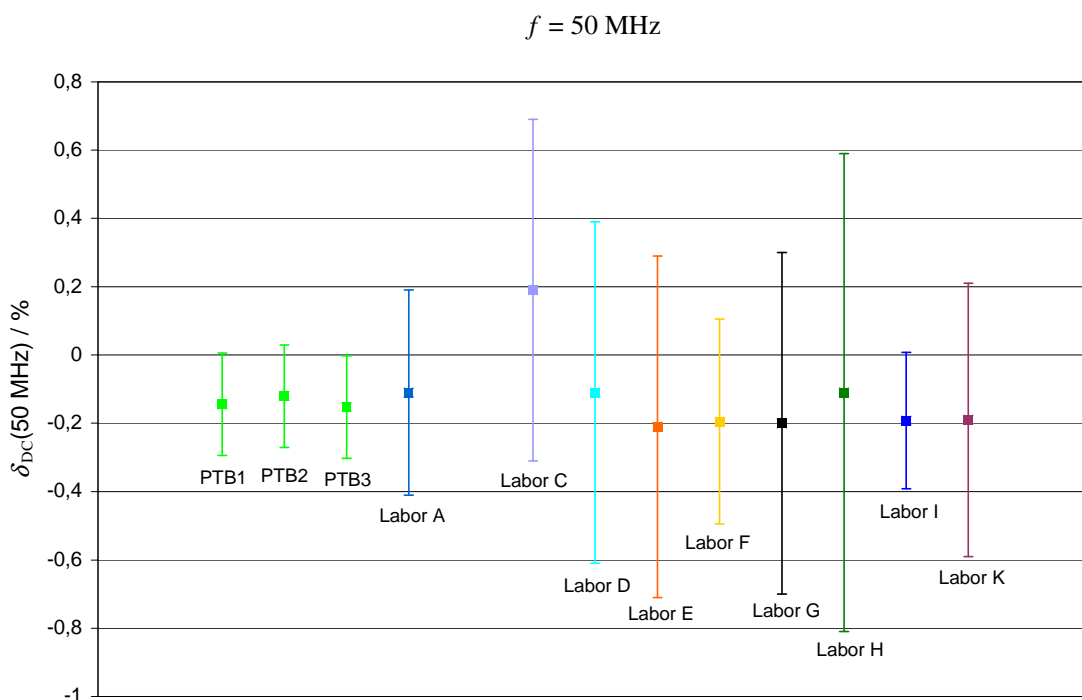
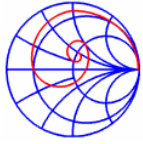


Abbildung 7.4: Vergleich der HF-Spannungstransferdifferenz bei 50 MHz.



Nationaler Ringvergleich HF-Spannung

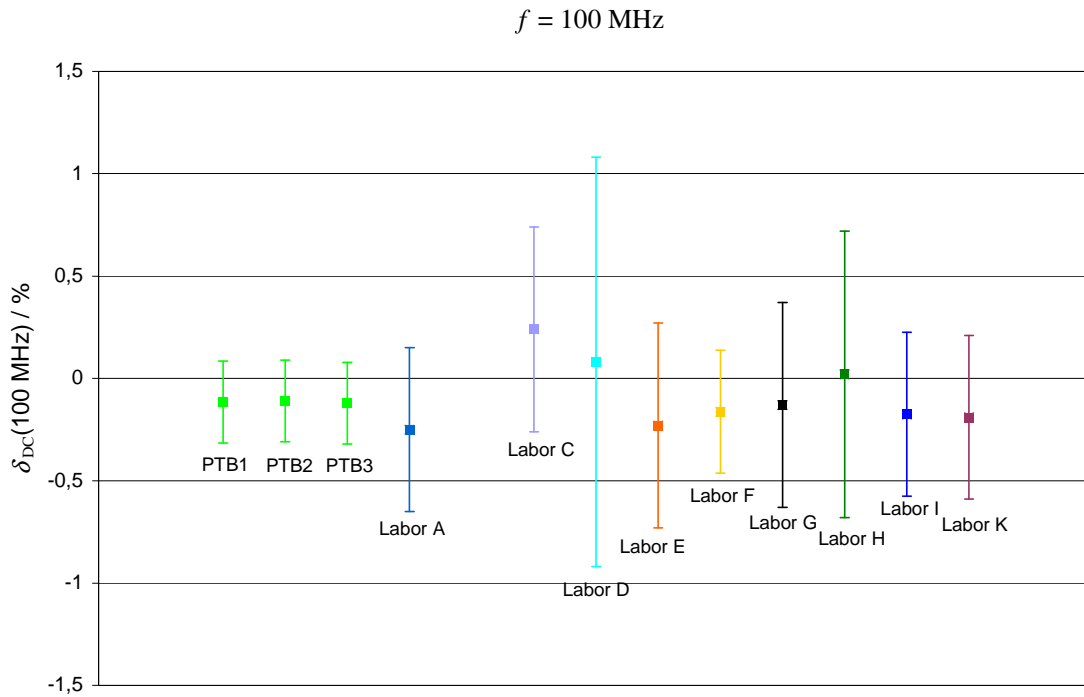


Abbildung 7.5: Vergleich der HF-Spannungstransferdifferenz bei 100 MHz.

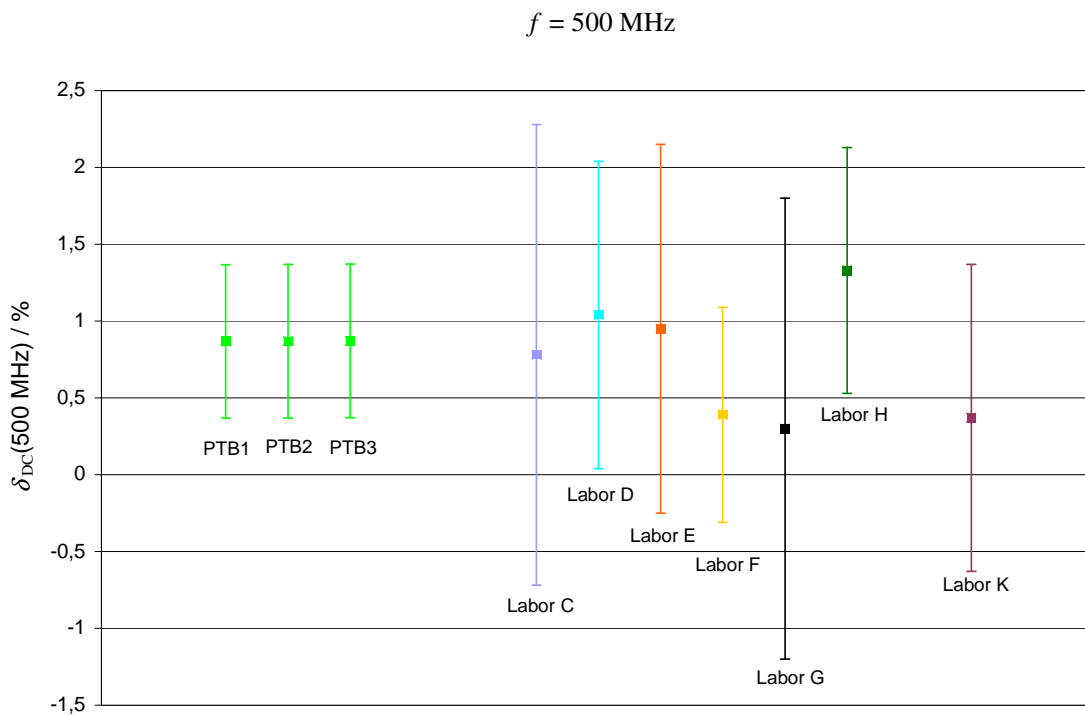


Abbildung 7.6: Vergleich der HF-Spannungstransferdifferenz bei 500 MHz.

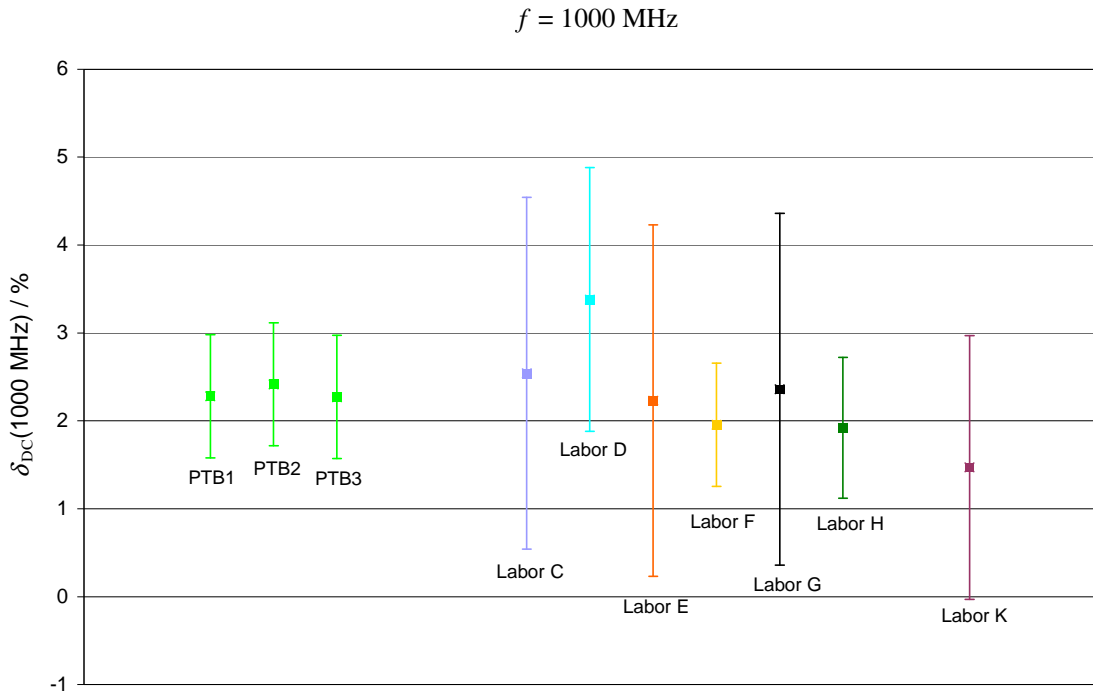
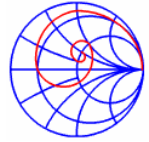


Abbildung 7.7: Vergleich der HF-Spannungstransferdifferenz bei 1000 MHz.

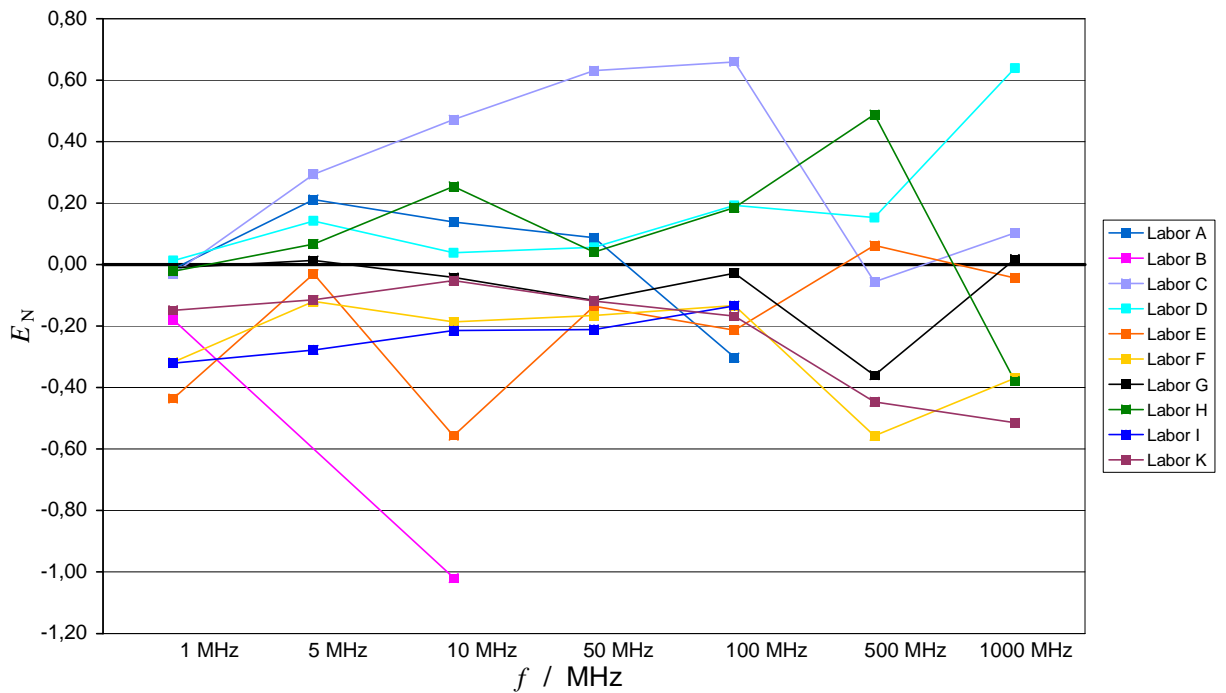
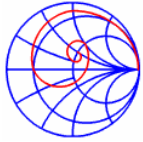


Abbildung 7.8: Vergleich der E_N -Werte



8. Die Messergebnisse der einzelnen Kalibrierlaboratorien

8.1. MeßtechnikNord (DKD-K-01701)

Von MeßtechnikNord (Kalibrierlaboratorium A) wurde nur ein eingeschränkter Frequenzbereich vermessen. Dabei zeigten sich sehr gute Übereinstimmungen bei E_N -Werten von $0,21 \geq E_N(\delta_{DC}) \geq -0,30$.

	HF-Spannungstransferdifferenz		
	$\delta_{DC} / \%$	$U(\delta_{DC}) / \%$	$E_N(\delta_{DC})$
1 MHz	0,014	0,1	-0,01
5 MHz	-0,014	0,2	0,21
10 MHz	-0,069	0,2	0,14
50 MHz	-0,11	0,3	0,09
100 MHz	-0,25	0,4	-0,3

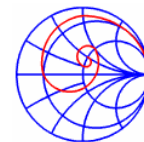
Tabelle 8.1: Ergebnisse MeßtechnikNord (Kalibrierlaboratorium A)

8.2. Kalibrierzentrum der Bundeswehr (DKD-K-12331)

Vom Kalibrierzentrum der Bundeswehr (Kalibrierlaboratorium B) wurden trotz größeren Akkreditierungsumfangs nur zwei Frequenzpunkte vermessen. Dabei wurde im Kalibrierschein die Transferdifferenz bezogen auf NF-Substitution bei 1 kHz angegeben. Während bei 1 MHz eine gute Übereinstimmung vorlag, war die Abweichung bei 10 MHz unzulässig groß ($E_N = -1,02$).

	HF-Spannungstransferdifferenz		
	$\delta_{1kHz} / \%$	$U(\delta_{1kHz}) / \%$	$E_N(\delta_{1kHz})$
1 MHz	0,007	0,037	-0,18
10 MHz	-0,342	0,225	-1,02

Tabelle 8.2: Ergebnisse Kalibrierzentrum der Bundeswehr (Kalibrierlaboratorium B)



8.3. Rohde & Schwarz, Memmingen (DKD-K-16101)

Es wurde im Kalibrierschein die Transferdifferenz bezogen auf 1 MHz angegeben, was nur zu geringen Abweichungen führt. Mit E_N -Werten im Bereich $0,66 \geq E_N(\delta_{1\text{MHz}}) \geq -0,06$ zeigte sich eine zufriedenstellende Übereinstimmung.

	HF-Spannungstransferdifferenz		
	$\delta_{1\text{MHz}} / \%$	$U(\delta_{1\text{MHz}}) / \%$	$E_N(\delta_{1\text{MHz}})$
1 MHz	0,00	0,5	-0,03
5 MHz	0,09	0,5	0,29
10 MHz	0,14	0,5	0,47
50 MHz	0,19	0,5	0,63
100 MHz	0,24	0,5	0,66
500 MHz	0,78	1,5	-0,06
1000 MHz	2,54	2,0	0,1

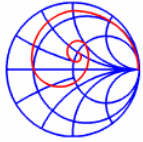
Tabelle 8.3: Ergebnisse Rohde & Schwarz, Memmingen (Kalibrierlaboratorium C)

8.4. Trescal (DKD-K-04201)

Vom Kalibrierlaboratorium D wurde im gesamten Frequenzbereich gemessen. Es zeigte sich mit Ausnahme des Frequenzpunktes 1000 MHz sehr gute Übereinstimmungen bei E_N -Werten von $0,19 \geq E_N(\delta_{\text{DC}}) \geq 0,01$.

	HF-Spannungstransferdifferenz		
	$\delta_{\text{DC}} / \%$	$U(\delta_{\text{DC}}) / \%$	$E_N(\delta_{\text{DC}})$
1 MHz	0,018	0,2	0,01
5 MHz	-0,028	0,2	0,14
10 MHz	-0,087	0,3	0,04
50 MHz	-0,11	0,5	0,06
100 MHz	0,081	1,0	0,19
500 MHz	1,04	1,0	0,15
1000 MHz	3,38	1,5	0,64

Tabelle 8.4: Ergebnisse Trescal (Kalibrierlaboratorium D)

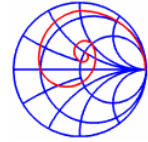


8.5. Kalibrierzentrum Bayern (DKD-K-01101)

Es wurde im gesamten Frequenzbereich gemessen. Dabei zeigten sich gute Übereinstimmungen bei E_N -Werten im Bereich $0,06 \geq E_N(\delta_{DC}) \geq -0,56$.

	HF-Spannungstransferdifferenz		
	$\delta_{DC} / \%$	$U(\delta_{DC}) / \%$	$E_N(\delta_{DC})$
1 MHz	-0,03	0,1	-0,44
5 MHz	-0,06	0,1	-0,12
10 MHz	-0,17	0,1	-0,63
50 MHz	-0,21	0,5	-0,13
100 MHz	-0,23	0,5	-0,21
500 MHz	0,95	1,2	0,06
1000 MHz	2,23	2,0	-0,04

Tabelle 8.5: Ergebnisse Kalibrierzentrum Bayern (Kalibrierlaboratorium E)



8.6. EADS, Manching (DKD-K-00902)

Es wurde im gesamten Frequenzbereich gemessen, wobei sich gute Übereinstimmungen bei E_N -Werten im Bereich $-0,12 \geq E_N(\delta_{DC}) \geq -0,56$ ergaben.

	HF-Spannungstransferdifferenz		
	$\delta_{DC} / \%$	$U(\delta_{DC}) / \%$	$E_N(\delta_{DC})$
1 MHz	-0,003	0,05	-0,32
5 MHz	-0,081	0,2	-0,12
10 MHz	-0,139	0,2	-0,19
50 MHz	-0,195	0,3	-0,17
100 MHz	-0,163	0,3	-0,13
500 MHz	0,39	0,7	-0,56
1000 MHz	1,956	0,7	-0,37

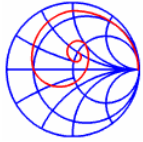
Tabelle 8.6: Ergebnisse EADS Manching (Kalibrierlaboratorium F)

8.7. Systems Engineering (DKD-K-13301)

Von Systems Engineering (Kalibrierlaboratorium G) wurde im gesamten Frequenzbereich gemessen. Es zeigten sich sehr gute Übereinstimmungen bei E_N -Werten von $0,02 \geq E_N(\delta_{DC}) \geq -0,36$.

	HF-Spannungstransferdifferenz		
	$\delta_{DC} / \%$	$U(\delta_{DC}) / \%$	$E_N(\delta_{DC})$
1 MHz	0,01	0,5	-0,01
5 MHz	-0,05	0,5	0,01
10 MHz	-0,12	0,5	-0,04
50 MHz	-0,2	0,5	-0,12
100 MHz	-0,13	0,5	-0,03
500 MHz	0,3	1,5	-0,36
1000 MHz	2,36	2,0	0,02

Tabelle 8.7: Ergebnisse Systems Engineering (Kalibrierlaboratorium G)



8.8. ESZ (DKD-K-18201)

ESZ (Kalibrierlaboratorium H) hat die Kalibrierung bei allen spezifizierten Frequenzen durchgeführt und gute Übereinstimmungen bei E_N -Werten von $0,49 \geq E_N(\delta_{1\text{MHz}}) \geq -0,38$ erreicht. Es wurde im Kalibrierschein die Transferdifferenz bezogen auf 1 MHz angegeben, was nur zu geringen Abweichungen von den entsprechenden, gleichspannungsbezogenen Transferdifferenzen führt.

	HF-Spannungstransferdifferenz		
	$\delta_{1\text{MHz}} / \%$	$U(\delta_{1\text{MHz}}) / \%$	$E_N(\delta_{1\text{MHz}})$
1 MHz	0,0	0,7	-0,02
5 MHz	-0,01	0,7	0,07
10 MHz	0,08	0,7	0,25
50 MHz	-0,11	0,7	0,04
100 MHz	0,02	0,7	0,19
500 MHz	1,33	0,8	0,49
1000 MHz	1,92	0,8	-0,38

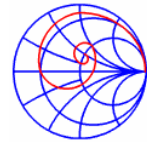
Tabelle 8.8: Ergebnisse ESZ (Kalibrierlaboratorium H)

8.9. JDSU (DKD-K-00501)

Von JDSU (Kalibrierlaboratorium I) wurde nur ein eingeschränkter Frequenzbereich vermessen. Dabei zeigten sich gute Übereinstimmungen bei E_N -Werten von $0,21 \geq E_N(\delta_{\text{DC}}) \geq -0,30$.

	HF-Spannungstransferdifferenz		
	$\delta_{\text{DC}} / \%$	$U(\delta_{\text{DC}}) / \%$	$E_N(\delta_{\text{DC}})$
1 MHz	-0,018	0,1	-0,32
5 MHz	-0,113	0,2	-0,28
10 MHz	-0,145	0,2	-0,21
50 MHz	-0,192	0,2	-0,21
100 MHz	-0,175	0,4	-0,13

Tabelle 8.9: Ergebnisse JDSU (Kalibrierlaboratorium I)

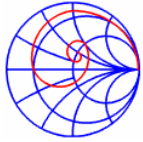


8.10. Rohde & Schwarz, Köln (DKD-K-00201)

R&S, Köln (Kalibrierlaboratorium K), hat die Kalibrierung bei allen spezifizierten Frequenzen durchgeführt und gute Übereinstimmungen bei E_N -Werten von $-0,05 \geq E_N(\delta_{1\text{MHz}}) \geq -0,51$ erreicht.

	HF-Spannungstransferdifferenz		
	$\delta_{1\text{MHz}} / \%$	$U(\delta_{1\text{MHz}}) / \%$	$E_N(\delta_{1\text{MHz}})$
1 MHz	0,0	0,1	-0,15
5 MHz	-0,08	0,2	-0,11
10 MHz	-0,11	0,2	-0,05
50 MHz	-0,19	0,4	-0,12
100 MHz	-0,19	0,4	-0,17
500 MHz	0,37	1,0	-0,45
1000 MHz	1,47	1,5	-0,51

Tabelle 8.10: Ergebnisse Rohde & Schwarz, Köln (Kalibrierlaboratorium K)



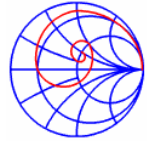
8.11. PTB, Braunschweig

Während des Ringvergleiches würden insgesamt drei Messungen am Thermokonverter durchgeführt. Die dabei aufgetretenen Veränderungen sind als nicht signifikant einzustufen

In Tabelle 8.20 sind die Ergebnisse der Einzelmessungen, die erweiterten Messunsicherheiten und der Mittelwert zusammengefasst.

Frequenz	Vormessung 16. 06 08	Messung 16.12.08	Endmessung 27.07.08	Mittelwert	Erweiterte Unsicherheit	maximale Abweichung
	$\delta_{DC} / \%$	$\delta_{DC} / \%$	$\delta_{DC} / \%$	$\delta_{DC} / \%$	$U(\delta_{DC}) / \%$	$\Delta\delta_{DC} / \%$
1 MHz	0,0157	0,0216	0,0092	0,0155	0,03	0,0061
5 MHz	-0,0476	-0,0729	-0,0498	-0,0568	0,03	0,0161
10 MHz	-0,0894	-0,1139	-0,0929	-0,0987	0,08	0,0152
50 MHz	-0,1444	-0,1208	-0,1524	-0,1392	0,15	0,0132
100 MHz	-0,1150	-0,1096	-0,1205	-0,1150	0,2	0,0055
500 MHz	0,8679	0,8699	0,8712	0,870	0,5	0,0021
1 GHz	2,2806	2,4153	2,2713	2,322	0,7	0,0933

Tabelle 8.20: PTB-Messung



9. Auswertung des Ringvergleiches

9.1. Resümee zur Angabe der HF-Spannungstransferdifferenz

Einige Laboratorien haben die HF-Spannungstransferdifferenz nicht auf DC, sondern auf eine niederfrequente Wechselspannung bezogen. Im vorliegenden Bericht wurden diese Werte ohne weitere Korrektur übernommen, da die Abweichung zu den DC-bezogenen Transferdifferenzen sehr klein ist.

Für zukünftige Ringvergleiche sollten aber die Vorgaben gemäß dem Protokoll des Vergleichs eingehalten werden, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen.

Einige Laboratorien haben nicht bei allen Frequenzen gemessen, bei denen eine Akkreditierung bezogen auf die Frequenzliste des Ringvergleiches vorliegt.

Zwei Laboratorien haben die HF-Spannungstransferdifferenz mittels einer Leistungsmessung ermittelt und damit gute Ergebnisse erzielt.

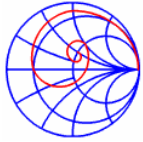
9.2. Resümee bzgl. des Messverfahrens

Der Ringvergleich hat deutlich gemacht, dass es immer dann Probleme gab, wenn der Konnektor des Normals nicht dem Steckertyp des eigenen Messsystem entsprach. Dabei wurde oftmals der dann verwendete Adapter falsch oder gar nicht berücksichtigt.

Leider haben auch einige Teilnehmer ihre Werte ohne eine kritische Prüfung des Messergebnisses herausgegeben, so dass, hätte man sie ungesehen übernommen, En-Werte >1000 berechnet worden wären. Auch gab es in einem Fall Probleme mit der Auswertesoftware des Kalibrierlaboratoriums.

9.3. Resümee zum Ablauf des Vergleiches

Die Teilnehmer haben die Kalibrierzeiten gut eingehalten, und auch die Versendung des Normals funktionierte reibungslos. Ebenso war die Kommunikation zwischen den Teilnehmern des Vergleichs und dem Pilotlabor problemlos und konstruktiv, wofür sich die Verfasser dieses Berichts ausdrücklich bedanken.



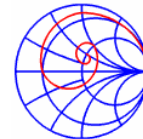
9.4. Schlussbemerkung

Der vorliegende Ringvergleich für die HF-Spannung bis 1 GHz hat insgesamt **gute Ergebnisse** gezeigt. Für die Messgröße „HF-Spannungstransferdifferenz“ blieben alle Teilnehmer bei allen Frequenzen (mit einer Ausnahme) unter $|E_N(\delta_{DC})| \leq 1,0$. Es ist damit bestätigt worden, dass die von den Teilnehmern **angegebenen Messunsicherheiten bis 1 GHz realistisch sind**. Insbesondere für freiwillige Teilnehmer, die bisher nicht für die Messgröße HF-Spannungstransferdifferenz akkreditiert waren, ist der Ringvergleich damit sehr wertvoll in Hinblick auf eine Akkreditierungserweiterung.

Es ist anzumerken, dass zwei (freiwillige) Teilnehmer sich nach erfolgter Messung vom Ringvergleich zurück gezogen haben.

Leider wurden nicht von den Teilnehmern Angaben über die Rückführung der eingesetzten Bezugsnormale gemacht, so dass eine Bewertung in Hinblick auf die Rückführungskette nicht vorgenommen werden kann.

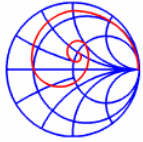
Es ist anzumerken, dass die Messgröße HF-Spannung trotz der - bezogen auf den gesamten HF-Frequenzbereich – niedrigen Frequenzen nicht unproblematisch ist. Dies liegt an dem bei höheren Frequenzen zu berücksichtigenden Einfluss von Adaptionern, aber auch an den verwendeten T-Stücken.



Technisches Protokoll

Nationaler DKD-Ringvergleich HF-Spannung 2008/2009

Pilotlabor:	Physikalisch-Technische Bundesanstalt AG Hochfrequenzmesstechnik 2.22 Bundesallee 100 D-38116 Braunschweig rolf.judaschke@ptb.de, sonja.brandes@ptb.de Tel.: 0531/592-2229 oder -2226 Fax.: 0531/592-2228
Messobjekt:	Thermischer Sensor (PTB-Eigenbau) mit R&S Messzelle, N-male-Konnektor
Messgröße:	Absolute HF-Spannungstransferdifferenz bei 1V HF-Spannung (U Ausgang ca. 4 mV)
Messfrequenzen:	1 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 50 MHz, 100 MHz, 500 MHz, 1 GHz (je nach Messmöglichkeit)
Dokumentation:	Akkreditierte DKD Laboratorien müssen die Messergebnisse in einem DKD Kalibrierschein angegeben. Andere Laboratorien sollten einen Kalibrierschein ähnlicher Form wählen. Das verwendete Messverfahren sollte kurz beschrieben werden. Die Ergebnisse sind dem Pilotlabor innerhalb von 2 Wochen nach erfolgter Messung zuzusenden. Außerdem bitten wir um ein Foto (elektronisch) des Messaufbaus. Ferner sollte etwas über die Rückführung (auf PTB, anderes Staatsinstitut oder DKD o. a. akkreditiertes Kalibrierlaboratorium) gesagt werden.



Nationaler Ringvergleich HF-Spannung

Zeitplan:	siehe Anhang
Transport:	<p>Die Kosten für den Versand zum nächsten Kalibrierlaboratorium oder zurück zur PTB hat das jeweilige Kalibrierlaboratorium zu tragen.</p> <p>Der Ein- und Ausgang des Normales muss dem Pilotlabor per E-Mail (sonja.brandes@ptb.de) oder Fax bestätigt werden.</p>
Umgebungsbedingungen:	Die Raumtemperatur während der Messung soll $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ betragen, die aktuellen Werte sollen im Kalibrierschein genannt werden.
Defekte am Normal:	Falls an dem Normal Störungen oder Beschädigungen festgestellt werden, muss das Pilotlaboratorium sofort unterrichtet werden, damit eventuell ein Ersatzmesskopf beschafft werden kann.

