

XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen

Grundsätzlich wird die sog. elektrische Simulation von Messköpfen für HF-Leistungsanzeigergeräte (s. Kapitel III.2.1.1) und die HF-Direktmessung unterschieden. Ähnlich dem in XIII.1 beschriebenen Messverfahren können durch direkten Vergleich (engl. direct comparison method) mit den HF-Leistungsmessköpfen wie z. B. R&S NRV-Z1, NRV Z-15, NRV Z-55, NRV-Z51 etc. HF-Leistungsmessgeräte und Leistungsmessköpfe kalibriert werden. Dazu wird in mehreren Messungen an einem Power-Splitter (sym. Leistungsteiler) die von einem Generator erzeugte Leistung gemessen und mit den Anzeigewerten des Kalibriergegenstandes verglichen.

XIII.2.1 Messverfahren

XIII.2.1.1 Substitution des Messkopfsignalausgangs (elektrische Simulation) von HF-Leistungsanzeigergeräten

HF-Leistungsanzeigergeräte können auch ohne die dazugehörigen Messköpfe kalibriert werden. Dabei wird zum einen der Kalibratorausgang (50 MHz-Kalibrierquelle, siehe Kapitel XIII.1) vermessen, und zum anderen wird an den Eingängen des Leistungsanzeigergeräts mittels Gleichspannung das Ausgangssignal eines Leistungsmesskopf generiert und ein angeschlossener Messkopf somit „elektrisch simuliert“¹. Die Art und Eingangsempfindlichkeit der angezeigten Leistung P_{ind} in Abhängigkeit des anliegenden elektrischen Signals z.B. in mW/V, deren Funktion $P_{ind}(U_{in})$ oder die Wertetabelle und die Steckerbelegung des Gerätes müssen dazu bekannt sein. Für die 50 MHz-Quelle wird im Vergleich mit einer bekannten Referenzquelle mit einem Leistungsmesskopf die Ausgangsleistung aufgezeichnet (Substitutionsverfahren). Die Auswertung des Modells aus Kapitel XIII.1.3 liefert dann definitionsgemäß Ergebnisse ohne die Anteile des Leistungsmesskopfes.

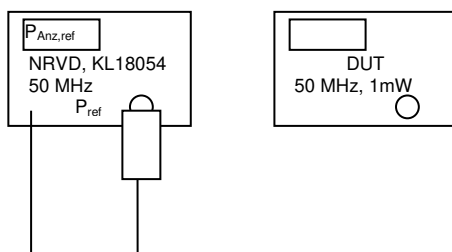


Bild XIII.2.1.1.1a – Messung der Referenzkalibrierquelle

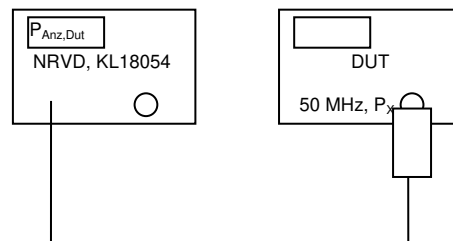


Bild XIII.2.1.1.1b – Messung der Kalibrierquelle des Kalibriergegenstandes: $P_x = P_{Anz,Dut} - (P_{Anz,ref} - P_{ref})$

Für Leistungsmesser von der Firma Rhode & Schwarz erfolgt die elektrische Simulation über einen der AC-/ DC-Kalibratoren wie Fluke 5700A.

Bei Leistungsmessern vom Hersteller Agilent wird die elektrische Simulation über einen Range Calibrator wie Hewlett Packard 11683A (s. Bild XIII.2.1.1.2) durchgeführt. Die Kalibrierung erfolgt in diesem Falle über die Frontplatte. Auf der Rückseite des Kalibrators kann über einen BNC Anschluss die äquivalente Gleichspannung an einem Digitalmultimeter (z.B.: Hewlett Packard 3485A, siehe Kapitel IV) verifiziert werden.

¹ genau genommen handelt es sich um eine Substitution des Messkopfsignalausganges, im Sprachgebrauch "elektrische Simulation"

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	1



Bild XIII.2.1.1.2, Range Calibrator HP 11683A

Zunächst wird in der Schalterstellung Standby des Range Calibrators das Leistungsanzeigegerät genullt. Der Kalibrator sollte sich dazu min. 1 Minute in der Standby Einstellung befinden. Nach der Nullung wird bei der 0dBm-Einstellung der Eingang des Leistungsmessers „kalibriert“, dazu muss der Schalter von „Standby“ auf „Function Calibrate“ gesetzt werden. Nach dem „Einmessen“ erfolgt nun die Kalibrierung nach Bild XIII.2.1.1.3 durch elektrische Simulation eines Messkopfes am Grundgeräte. Der Messwert P_{ind} wird errechnet aus:

$$P_{ind} = \frac{1mW \cdot U}{U_{ref} \cdot L} + \Delta P_{ind}$$

- mit
- U_{ref} abgelesener Messwert U am DMM bei 0 dBm Kalibrierstellung
- L Linearitätsfaktor gemäß Hersteller
- U abgelesener Messwert U am DMM beim Einstellwert

Elektrische Simulation

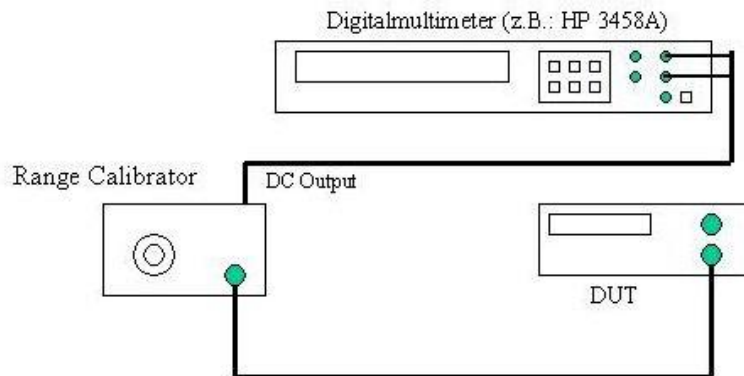


Bild XIII.2.1.1.3 elektrische Simulation eines Leistungsmesskopfes mit DC-Kalibrator

Die Linearitätsfaktoren sind aus der Tabelle 1 für die verschiedenen Bereiche zu entnehmen.

Bereich in mW	DC-Output in mV	Linearitätsfaktor L
≤ 1	≤ 145,0	1
3	458,0	1,0000
10	1,4641	1,0097
30	4,7121	1,0279
100	15,8	1,0897

Tabelle 1 Linearitätsfaktoren

Der Linearitätsfaktor errechnet sich aus:

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	2

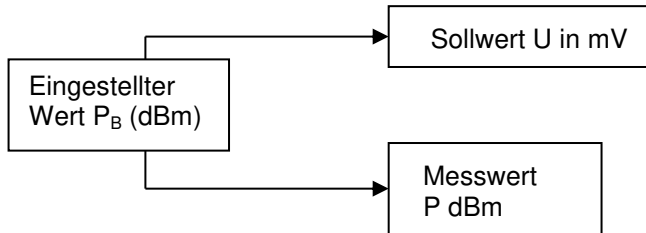
$$L = \frac{U_{nominal}}{U_{ref}} \cdot \frac{1mW}{P_{Dial,nom}}$$

mit

U_{ref} Angabe gemäß Hersteller bei Einstellwert 1 mW
 $U_{nominal}$ Angabe gemäß Hersteller bei nominellen Einstellwert
 $P_{Dial,nom}$ nomineller Einstellwert

Messunsicherheitsbilanz

Skizze:



Vorgegebene bzw. abgelesene Größen:

P_{ind} Anzeige des Leistungsanzeigerates

Gesuchte Größe:

ΔP_{ind} Abweichung der Anzeige des Leistungsanzeigerates

Einflussgrößen:

ΔK_{Uref} Korrektionsfaktor bedingt durch die Messunsicherheit des DMM's (s. Kapitel IV) bei Messungen von U_{ref}

δK_U Korrektionsfaktor bedingt durch die Messunsicherheit des DMM's (s. Kapitel IV) bei Messungen von U

δK_{res} Anzeigegenauigkeit des Kalibriergegenstandes $\pm 0,5$ Digit. Die Kalibrierstellungen resultieren in vierstelligen Anzeigen wie 300,0 μ W, 1,000 mW, 3,000 mW usw.

Modellgleichung:

$$P_{ind} - \Delta P_{ind} = \frac{1mW}{U_{ref}} \cdot \frac{U}{L} \cdot K_{Uref} \cdot K_U \cdot K_{res} = P_{Kal} \cdot K_{Uref} \cdot K_U \cdot K_{res}$$

Ausgabe: DMS.14	erstellt von: PF am: s.DMS	geprüft/genehmigt von: s. DMS am: s. DMS	Kapitel Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	Seite 3
---------------------------	---	---	--	-------------------

Tabellarische Darstellung der Messunsicherheitsbilanz:

Größe	Schätzwert	Standard-messunsicherheit	Verteilung	Sensitivitäts-koeffizient	rel. Unsicherheits-beitrag w_i
U_{ref}	$\overline{U_{ref}}$	$u(U_{ref})$	Normal A	1	$w(U_{ref})$
$K_{res.,1000}$	1	$\frac{\Delta(\delta K_{res.,1000})}{\sqrt{3}} = \frac{0,05\%}{\sqrt{3}}$	Rechteck	1	$w(K_{res.,1000})$
$K_{res.,3000}$	1	$\frac{\Delta(\delta K_{res.,3000})}{\sqrt{3}} = \frac{0,016\%}{\sqrt{3}}$	Rechteck	1	$w(K_{res.,3000})$
K_{Uref}	1	$\frac{U(K_{Uref})}{2}$	Normal	1	$w(K_{ref})$
K_U	1	$\frac{U(K_U)}{2}$	Normal	1	$w(K_U)$
ΔP_{ind}	$P_{ind} - P_{iKal}$	-			$w(P_{ind})$

Da mit der äq. Kalibrierspannung U_{kal} für die elektrische Simulation von HF- Leistungsanzeigeegeräten meist

$$w(K_{ref}) \ll w(K_{res}) \text{ und } w(K_U) \ll w(K_{res}) \text{ gilt}$$

kann die Gesamtmessunsicherheit bei der elektrischen Simulation von HF-Anzeigeegeräten genähert werden zu:

$$W(P_{ind}) = 2 \cdot w(p_{ind}) \approx 2 \cdot \frac{\Delta(K_{res})}{\sqrt{3} \cdot P_{ind}}$$

mit $\Delta(K_{res}) = \frac{1}{2}$ Ziffersschritt der Anzeige (0,5 Digit) also in den o.g. Fällen

$$W(P_{ind,1000}) = 2 \cdot w(p_{ind,1000}) = 0,58 \cdot 10^{-3} \text{ und}$$

$$W(P_{ind,3000}) = 0,19 \cdot 10^{-3}$$

XIII.2.1.2 Kalibrierquellen 1 mW – 50 MHz

Im Substitutionsverfahren mit einer Referenz-Kalibrierquelle (z.B. am Grundgerät Rohde & Schwarz NRVD) ergibt sich die Leistung der unbekanntenen Quelle z.B. bei Messung mit einem der thermischen Messköpfe NRV-Z51 am N-Konnektor zu

$$P_{DUT} = (P_{Z51} - \Delta P_{Z51}) \cdot K_{Drift} \cdot K_{Kal} \cdot K_{mismatch,DUT} \cdot K_{NRVD}$$

mit

P_{DUT} gesuchte Ausgangsleistung der unbekanntenen Kalibrierquelle

P_{Z51} gemessene Leistung Leistungsmessgerät wie NRV-Z51/ NRVD

ΔP_{Z51} an der Referenzquelle des NRVD ermittelte aktuelle Abweichung des Messkopfes bei 1 mW, 50 MHz

K_{Drift} Korrektur durch Drift der Kalibrierquelle seit der letzten Kalibrierung. Aus der Historienauswertung

K_{Kal} Korrektur durch die letzte Kalibrierung. Dieser Faktor ist dem Kalibrierschein der

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF- Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	4

Referenzquelle mit der darin angegebenen Unsicherheit (k=2), wie z.B. 0,5% entnehmbar

$K_{mismatch,DUT}$ Korrektur durch Fehlanpassung zwischen Messkopf und Kalibriergegenstand. Reflexionsfaktor des Messkopfes von einem „guten“ Messkopf liegt bei maximal $|\Gamma|=0,008$. Referenzquellen sind i.d.R. mit Reflexionsfaktoren $|\Gamma_{DUT}| \leq 0,025$ verfügbar. Damit ergeben sich maximale Intervallgrenzen von $\pm 0,04\%$ bei 50 MHz.

$K_{mismatch,NRVD}$ Korrektur durch Fehlanpassung zwischen Messkopf und Referenzleistungsquelle, die ebenfalls mit maximal $\pm 0,04\%$ angenommen werden.

Tabellarische Darstellung der Messunsicherheitsbilanz:

Größe	Schätzwert	Standard-messunsicherheit	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	rel. Unsicherheitsbeitrag w_i
K_{Drift}	1	0,0085%	Normal	1	0,0085 %
K_{Kal}	1	$\frac{0,5\%}{2}$	Normal	1	0,25 %
$K_{mismatch,DUT}$	1	$\frac{0,04\%}{\sqrt{2}}$	u-verteilt	1	0,028 %
$K_{mismatch,NRVD}$	1	$\frac{0,04\%}{\sqrt{2}}$	u-verteilt	1	0,028%
P_{DUT}	$P_{Z51}-\Delta P_{Z51}$	rel. Messunsicherheit			0,25 %
		rel. erweiterte Messunsicherheit			0,50 %

XIII.2.1.3 HF-Leistungsmessköpfe

Um den Frequenzgang und Linearität von Leistungsmessköpfen oder -Messgeräten aufzunehmen werden pro Frequenz insgesamt sechs Messungen durchgeführt. Zwischen jeweils 3 Messungen in mindestens drei axial rotierten Stellungen (um festzustellen ob ein Konnektor schadhaft ist, nämlich genau dann, wenn die Standardabweichung zwischen den Einzelmessungen sehr hoch ist) werden Referenzmesskopf und Kalibriergegenstand an den Ausgängen eines Power Splitters getauscht und die axiale Rotation wiederholt. Der Tausch kann dabei entfallen, wenn der Gleichlauf des Splitters (Tracking) genau charakterisiert wurde.

Der Anschluss erfolgt sinngemäß entsprechend Bild XIII.2. Am Eingang eines Powersplitters (wie z.B. KL18011, KL18411 oder KL18455) wird die Leistung aus einem HF-Generator eingespeist (BNC Ausgänge werden durch BNC-Typ N-Konnektor adaptiert) und an den „Test-Ports“ A und B werden mit dem Messkopf als Normal (N) und dem Kalibriergegenstand (Leistungsmesser, Leistungsmesskopf und Anzeigegerät etc.) als Messobjekt (DUT) die ausgekoppelten Leistungen gemessen. Mit kalibrierten oder ausgemessenen Dämpfungsgliedern lassen sich auch sehr empfindliche Leistungsmessköpfe, Spektrumanalysatoren oder Messempfänger bei kleinen Leistungen kalibrieren. Sowohl für Linearitäts- als auch Absolutleistungskalibrierung wird zunächst in der ersten Messung der Generatorpegel so eingestellt, dass am Normal der gewünschte Kalibrierwert abgelesen werden kann (z.B. 0 dBm in der Anzeige), da dieser Wert als Eingangssignal für den Kalibriergegenstand nach Umdrehen des Powersplitters verwendet wird. Die Kalibrierfrequenzen müssen sowohl am Generator als auch am Normal (wg. der Korrektur) eingestellt werden (s.a. XIII.1.1). Die korrekte Bedienung ist im Zweifelsfall den Benutzerhandbüchern [der verwendeten Geräte zu entnehmen. Danach dürfen die Ausgangsparameter des Generators nicht mehr verändert werden.

Die Absolut-Leistungsmessung erfolgt in der Regel bei 0 dBm bzw. 1 mW über den gesamten Frequenzbereich des Kalibriergegenstandes. Die Linearitätsvermessung entsprechend bei fest eingestellter Frequenz über den Leistungsmessbereich. Ausschlaggebend sind in beiden Fällen die Betriebsbereiche des Kalibriergegenstandes. In beiden Fällen werden eine ausreichende Anzahl von Messpunkten aufgenommen und ausgewertet.

Ausgabe: DMS.14	erstellt von: PF am: s.DMS	geprüft/genehmigt von: s. DMS am: s. DMS	Kapitel Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	Seite 5
---------------------------	---	---	--	-------------------

1. Messung

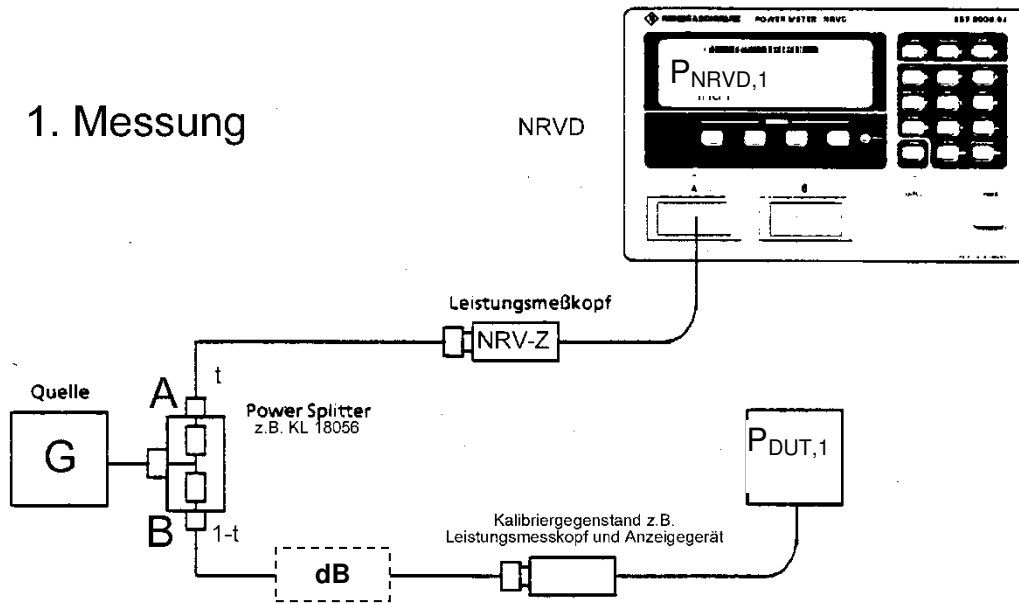


Bild XIII.2 Anschluss von Normal (hier: NRVD und Messkopf der Serie NRV-Z) und Powersplitter – Messung 1

Das Messverfahren geht davon aus, dass die Generatorleistung etwa symmetrisch auf die beiden Leistungs-Messgeräte, das Messobjekt (DUT) und den kalibrierten Messkopf (N), aufgeteilt wird. Damit eine mögliche Unsymmetrie der Leistungsteilung nicht zu Messabweichungen führt, werden zwei Messungen mit gedrehtem Splitter, d.h. getauschtem A-B, B-A Anschlüssen (s. Abbildung) durchgeführt und die beiden Messergebnisse gemittelt, wodurch eine mögliche Unsymmetrie eliminiert wird. Die zur Verfügung gestellte gemittelte Leistung an Port A ergibt sich beispielsweise dann mit dem Teilungsverhältnis t des Power Splitters als

$$\bar{P}_A = \frac{tP_G + (1-t)P_G}{2} = \frac{P_G}{2} = \bar{P}_B$$

2. Messung

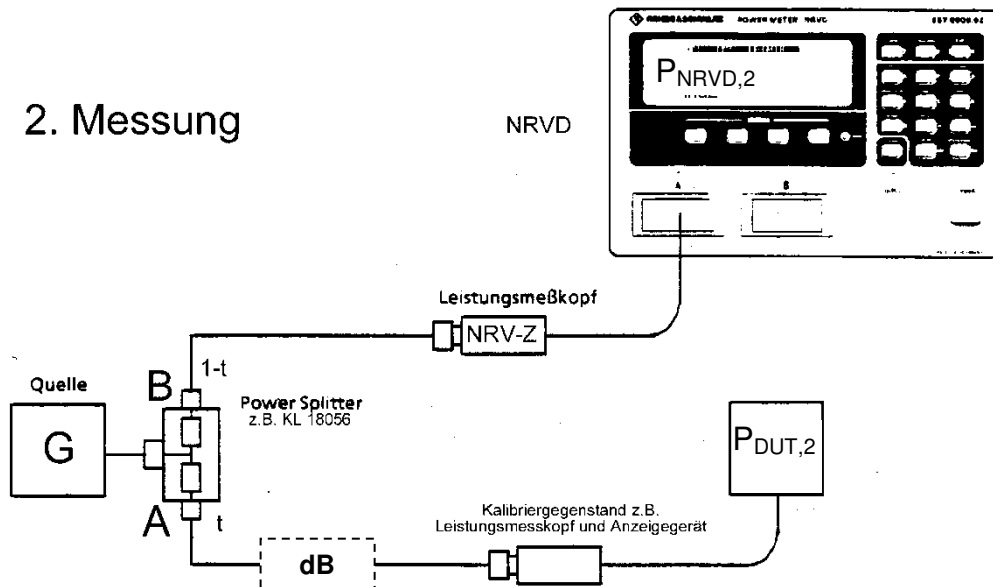


Bild XIII.3 Anschluss von Normal (hier: NRVD und Messkopf der Serie NRV-Z) und Powersplitter – Messung 2

Kalibriert und dokumentiert wird z. B. der Kalibrierungsfaktor η des Leistungsmessgerätes bzw. des Leistungsmesskopfes (DUT). Für absolut anzeigende Anzeigegeräte ist der Kalibrierungsfaktor definiert als

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	6

$$\eta_{cal,abs}(f) = \frac{P_{DUT}(f)}{P_{inc}(f)} \quad \text{mit} \quad P_{DUT}(f) = \frac{P_{DUT,1} + P_{DUT,2}}{2} \quad \text{bzw.} \quad P_{inc}(f) = \frac{P_{NRVD,1} + P_{NRVD,2}}{2}$$

mit $P_{DUT,n}(f)$: Leistungsanzeige am Messobjekt (DUT) in Messung 1 (Bild XIII.2) bzw. Messung 2 (Bild XIII.3)

und $P_{inc}(f)$: Auf den unbekanntem Messkopf (DUT) eingestrahlte Leistung bei der Frequenz f

Wenn Prüfling, Messanwendung oder Kalibrierauftrag es erfordern, kann er durch einfache Umrechnung bezogen auf die Anzeige bei 50 MHz oder beliebiger Referenzfrequenz angegeben werden, also für Leistungsmessköpfe und Sensoren unabhängig vom Anzeigegerät bezogen auf 50 MHz als

$$\eta_{cal,rel} = \frac{P_{inc}(f_{ref}) \cdot P_{DUT}(f)}{P_{inc}(f) \cdot P_{DUT}(f_{ref})} \quad \text{mit} \quad f_{ref} = 50 \text{ MHz}$$

Bei gleicher Anzeige P_{DUT} am Leistungsmesser gilt: $\eta_{cal,rel} = \frac{P_{inc}(f_{ref})}{P_{inc}(f)}$

P_{DUT} : angezeigte Leistung des Leistungsmesser-Grundgerät(DUT) bei der Frequenz f
 $P_{inc}(f)$: auf den Messkopf (DUT)einfallende Leistung bei Frequenz f
 $P_{inc}(f_{ref})$: einfallende Leistung bei Referenzfrequenz 50 MHz

Definitionsgemäß ist der Kalibrierungsfaktor bei Referenzfrequenz immer 1,000 und besitzt keine Messunsicherheit.

Sofern es nötig ist, aufgrund der beschränkten Einstellmöglichkeiten an Leistungsanzeigegeräten den Kalibrierungsfaktor zu 100,0% zu beschränken, erfolgt die Normierung als

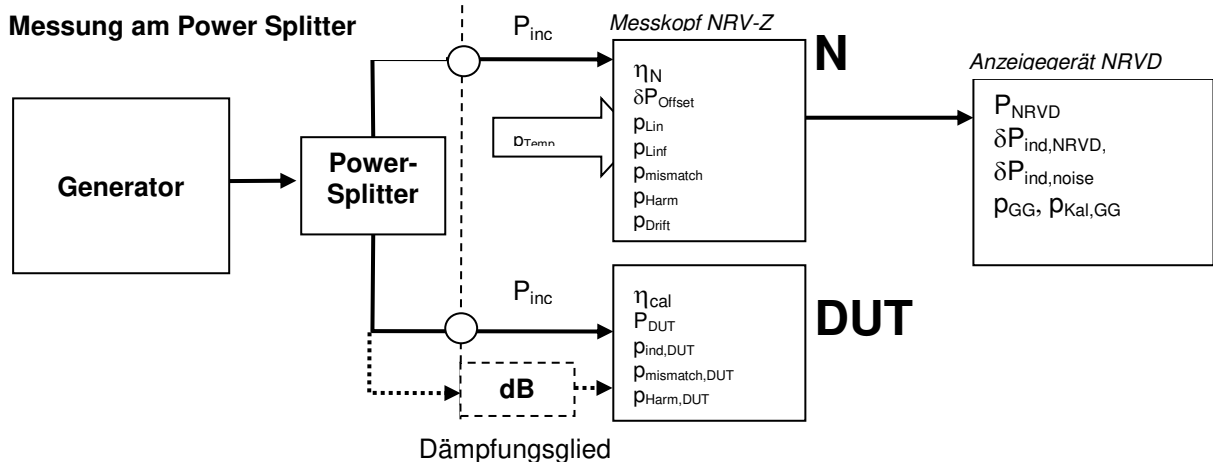
$$\eta_{cal,rel,norm} = \frac{\eta_{cal,rel}}{\eta_{cal,rel,max}} \quad \text{mit} \quad \eta_{cal,rel,max} \quad \text{als maximal ermittelten Kalibrierungsfaktor. Diese}$$

Normierung entspricht einer Verschiebung der Referenzfrequenz an diejenige Frequenz von $\eta_{cal,rel,max}$. In der Regel wird somit der Kalibrierungsfaktor bei 50 MHz durch eine Angabe wie CF_{ref} auf handelsüblichen Messköpfen angegeben und muss bei der Einkalibrierung auf 1 mW bei 50 MHz anhand dieser Angaben ($CF_{ref} \neq 100\%$) durch das Leistungsanzeigegerät berücksichtigt werden.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	7

XIII.2.2 Messunsicherheitsbilanz²

Skizze des Messverfahrens (Normal N und Messobjekt DUT):



Modellgleichung:

$$\eta_{cal} = \frac{P_{DUT} \cdot \eta_N}{P_{NRVD} - \delta P_{ind,NRVD} - \delta P_{noise} - \delta P_{offset}} \cdot \frac{P_{mismatch,DUT}}{P_{mismatch,N}} \cdot P_{Drift} \cdot P_{Lin} \cdot P_{Linf} \cdot P_{Harm} \cdot P_{Harm,DUT} \cdot P_{GG} \cdot P_{Kal,GG}$$

bzw. mit eingefügtem Dämpfungsglied $\geq 20\text{dB}$

$$\eta_{cal} \approx \frac{P_{DUT} \cdot \eta_N}{|S_{21}|^2 \cdot P_{NRVD} - \delta P_{ind,NRVD} - \delta P_{noise} - \delta P_{offset}} \cdot \frac{P_{mismatch,DUT} \cdot P_{mismatch,Att}}{P_{mismatch,N}} \cdot P_{Drift} \cdot P_{Lin} \cdot P_{Linf} \cdot P_{Harm} \cdot P_{Harm,DUT} \cdot P_{GG} \cdot P_{Kal,GG}$$

mit: $w^2(\eta_{cal}) \approx w^2(P_{Dut}) + w^2(\eta_N) + w^2(P_{NRVD}) + \sum_i \left(\frac{\delta P_i}{P_{NRVD}}\right)^2 w^2(\delta P_i) + \sum_j w^2(p_j)$

$$= w^2(\eta_{cal}) \approx w^2(P_{Dut}) + w^2(\eta_N) + w^2(P_{NRVD}) + \sum_i \frac{1}{P_{NRVD}^2} \cdot u^2(\delta P_i) + \sum_j w^2(p_j) \quad \text{da } P_{NRVD} \gg \delta P_i$$

Vorgegebene bzw. abgelesene Größen:

P_{NRVD} gemessene Leistung am HF-Leistungsmesser NRVD

η_N Kalibrierfaktor des Bezugsnormals. Bei eingeschalteter Frequenzgangkorrektur mit den Werten aus dem EEPROM der Leistungsköpfe gilt $\eta_N=1$. Die Unsicherheit des Kalibrierfaktors ist dabei dem Kalibrierschein entnehmbar.

P_{DUT} gemessene Leistung am Kalibriergegenstand

S_{21}, S_{22}, S_{11} Vierpolparameter des verwendeten Dämpfungsgliedes mit den Unsicherheiten aus dem Kalibrierschein. Werden Dämpfungsglieder desselben Satzes (identische Rückführinformationen) zur Generierung kleiner Leistungen kaskadiert, so ist die Wirkung der Korrelation bei der Bildung der Summe der Dämpfungswerte zu berücksichtigen. Bei vollständiger Korrelation sind deren Messunsicherheiten linear zu addieren (vgl. QMH Abs. XIII.5.1.1.1) ansonsten wird die gewurzelte Quadratesumme der jeweiligen Kalibrierunsicherheiten verwendet.

Gesuchte Größe:

η_{cal} Kalibrierungsfaktor des Kalibriergegenstandes (DUT) zum Zeitpunkt der Kalibrierung

Einflussgrößen, siehe auch XIII.1.3:

$\rho_{mismatch}$ Die oben genannte Bestimmungsgleichung gilt nur für ideale Anpassung zwischen

² am Beispiel mit R&S NRVD/ NRV-Z als Normal

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	8

dem Splitter-Ausgang und dem Leistungsmesser (N). Es lassen sich die Abweichungsgrenzen der Leistungsanzeigen durch die Fehlanpassungen aus den Maximalwerten der Beträge der Reflexionsfaktoren von Quelle $|\Gamma_G|$ und Verbraucher (Messkopf) $|\Gamma_L|$ bestimmen. Als Quelle wird der Ausgang des Powersplitters betrachtet und somit die Fehlanpassung zwischen Powersplitter und Normal errechnet:

$$p_{\text{mismatch,max}} = (1 \pm |\Gamma_G| \cdot |\Gamma_L|)^2 = 1 \pm \Delta p_{\text{mismatch,max}} \text{ mit}$$

$$\Delta p_{\text{mismatch,max}} = 20 \cdot \log(1 \pm |\Gamma_G| \cdot |\Gamma_L|) \text{ in dB oder}$$

$$\Delta p_{\text{mismatch,max}} \approx 200 \cdot |\Gamma_G| \cdot |\Gamma_L| \text{ in \%}$$

$|\Gamma_G|$: Betrag des Reflexionsfaktors der Quelle (Powersplitter)

$|\Gamma_L|$: Betrag des Reflexionsfaktors des Leistungsmessers

Der maximale Reflexionsfaktor $|\Gamma_G|$ des Splitters kann dazu am Netzwerkanalysator gemessen werden (vgl. [Arbeitsanweisung AA0080](#)) bzw. ist im Fall des NRVG/NRPC-Kalibriersystems dem Kalibrierschein des Normals entnehmbar und wird in die XL-Berechnungstabellen übertragen.

Der Reflexionsfaktor $|\Gamma_L|$ des verwendeten Normals ist dem Kalibrierschein der Leistungsmessköpfe, siehe XIII.1.3, zu entnehmen. Die tatsächliche Abweichung dieses Beitrags wird zu Null und U-verteilt zwischen den o. g. maximalen Grenzen angenommen

$p_{\text{mismatch,DUT}}$
 $p_{\text{mismatch,Att}}$

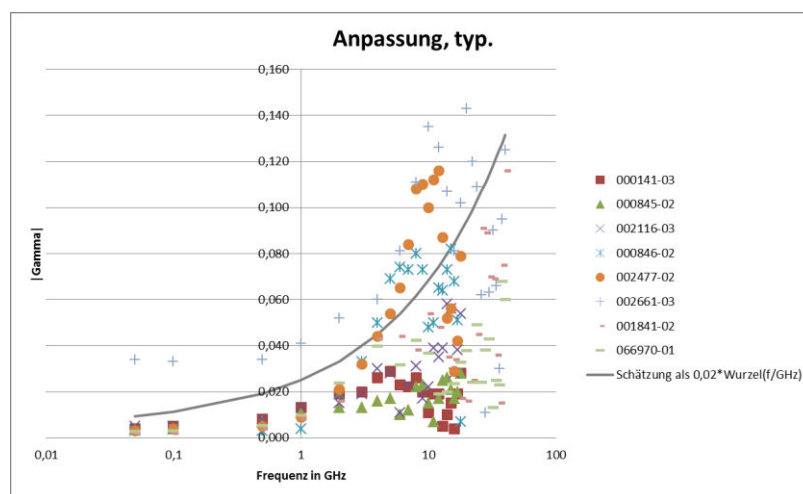
Korrektur durch Fehlanpassung des Kalibriergegenstandes (DUT), am Ausgang des Splitters bzw. des eingefügten Dämpfungsgliedes (Att) mit der Halbbreite

$$\Delta p_{\text{mismatch,DUT}} \approx 200 \cdot |\Gamma_G| \cdot |\Gamma_{L,DUT}| \% \text{ bzw. } \Delta p_{\text{mismatch,DUT}} \approx 200 \cdot |S_{22}| \cdot |\Gamma_{L,DUT}| \%$$

und splitterseitig $\Delta p_{\text{mismatch,Att}} \approx 200 \cdot |\Gamma_G| \cdot |S_{11}| \%$.

Der Betrag des Reflexionsfaktors des Messobjektes wird dazu am Netzwerkanalysator gemessen und muss bei der Kalibrierung jeweils eigens ggf. zusammen mit der Messunsicherheit aus XIII.3 berücksichtigt werden. Für die Berechnung einer kleinsten angebaren Unsicherheit wird von „typischer Anpassung“ ausgegangen mit abgeschätzten Reflexionsfaktoren von:

$$|\Gamma_{L,DUT}| = 0,02 \cdot \sqrt{f/\text{GHz}}$$



Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	9

Anpassung verschiedener Leistungsmessköpfe des Labors³

Die Vierpolparameter des Dämpfungsgliedes werden dazu dem Kalibrierschein entnommen oder vor der Messung gemäß XIII.3 bestimmt.

Die tatsächliche Abweichung dieses Beitrags wird zu Null und U-verteilt zwischen den o. g. maximalen Grenzen angenommen.

Bei Einsatz eines Dämpfungsgliedes am Referenzleistungsmesskopf ergibt sich das Werteintervall zusammen mit den S-Parametern des Dämpfungsgliedes zu

$$\Delta p_{mismatch,Att} = 20 \log \frac{1 + (|\Gamma_G S_{11}| + |\Gamma_L S_{22}| + |\Gamma_G \Gamma_L S_{11} S_{22}| + |\Gamma_G \Gamma_L S_{21} S_{12}|)}{1 - |\Gamma_G| |\Gamma_L|}$$

$p_{ind,DUT}$ In die Messunsicherheit der angezeigten Leistung P_{DUT} geht die Auflösung des Leistungsmessers ein. Die zufälligen Einflüsse von Rauschen, Kurzzeitdrift und Temperatur werden durch den Korrektionsfaktor $p_{ind,DUT}$ zunächst mit 0,1 % berücksichtigt. Die genaue zugehörige Standardunsicherheit ergibt sich erst im experimentellen Messaufbau aus einer Reihe von Einzelablesungen.

p_{Harm}
 $p_{Harm,DUT}$ Der Oberwelleneinfluss auf Normal und auf den Kalibriergegenstand hängt von der Messkopfkonstruktion und den Generatoreigenschaften ab. Für die Berechnung der kleinsten Unsicherheit kann dieser Anteil bei einem idealen Messobjekt (thermischer Leistungsmesskopf) entfallen. In anderen Fällen kann der Einfluss gemäß Abs. XIII.1.3.2 abgeschätzt werden.

Als Faustregel gilt, dass der Oberwelleneinfluss für Leistungen unter 1 μ W (-30 dBm) bei sehr empfindlichen Sensoren bzw. 100 μ W (-10 dBm) bei Standard-Diodensensoren vernachlässigbar ist. Üblicherweise erfolgt die Bestimmung des Kalibrierfaktors oder der Absolutabweichung von Diodenmessköpfen bei -30 dBm bzw. -20 dBm Aussteuerung, so dass der Einfluss als unkritisch angesehen werden kann.

³ <http://dmserver/technik/Messunsicherheiten/QMH-Tabellen/Messunsicherheiten-Tabelle-XIII.1-Kalibrieren-von-HF-Leistungsquellen.xlsx>

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	10

Tabellarische Darstellung der Messunsicherheitsbilanz:

Größe	Schätzwert	Standard-messunsicherheit	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	rel. Unsicherheitsbeitrag w_i
P_{NRVD}	$\overline{P_{NRVD}}$	$u(P_{NRVD})$	Normal A	$1/P_{NRVD}$	$w(P_{NRVD})$
P_{DUT}	$\overline{P_{DUT}}$	$u(P_{DUT})$	Normal A	$1/P_{NRVD}$	$w(P_{DUT})$
$ S_{21} ^2$	s_{21}	$W(s_{21})/2$	Normal		$w(s_{21})$
η_N	1	$W(\eta_N)/2$	Normal	1	$w(\eta_N)$
$p_{ind,DUT}$	1	$w(p_{ind,DUT})$	Normal	1	$w(p_{ind,DUT})$
$\delta P_{ind,NRVD}$	0	$\Delta(\delta P_{ind,NRVD})/\sqrt{3}$	Rechteck	$1/P_{NRVD}$	$w(\delta P_{ind,NRVD})$
$\delta P_{ind,noise}$	0	$U(\delta P_{ind,noise})/2$	Normal	$1/P_{NRVD}$	$w(\delta P_{ind,noise})$
p_{GG}	1	$\Delta(p_{GG})/\sqrt{3}$	Rechteck	1	$w(p_{GG})$
$p_{Kal,GG}$	1	$W(p_{Kal,GG})/2$	Normal	1	$w(p_{Kal,GG})$
δP_{Offset}	0	$U(\delta P_{Offset})/2$	Normal	$1/P_{NRVD}$	$w(\delta P_{Offset})$
p_{Drift}	1	$\Delta(p_{Drift})/\sqrt{3}$	Rechteck	1	$w(p_{Drift})$
p_{Lin}	1	$W(p_{Lin})/2$	Normal	1	$w(p_{Lin})$
p_{Linf}	1	$W(p_{Linf})/2$	Normal	1	$w(p_{Linf})$
$p_{mismatch}$	1	$\Delta(p_{mismatch})/\sqrt{2}$	U-verteilt	1	$w(p_{mismatch})$
$p_{mismatch,DUT}$	1	$\Delta(p_{mismatch,DUT})/\sqrt{2}$	U-verteilt	1	$w(p_{mismatch,DUT})$
$p_{mismatch,Att}$	1	$\Delta(p_{mismatch,Att})/\sqrt{2}$	U-verteilt	1	$w(p_{mismatch,Att})$
p_{Harm}	1	$\Delta(p_{Harm})/\sqrt{2}$	U-verteilt	1	$w(p_{Harm})$
p_{Temp}	1	$W(p_{Temp})$	Normal	1	$w(p_{Temp})$
p_{conn}	1	$\Delta(p_{conn})/\sqrt{2}$	U-verteilt	1	$w(p_{conn})$
η_{cal}	$\frac{\overline{P_{DUT}}}{P_{NRVD}}$	-			$w(\eta_{cal})$

Gemäß DKD-3:2002 Abschnitt4 ergibt sich aus der Modellgleichung für die dem Ergebnis η beizuordnende erweiterte Messunsicherheit (k=2):

$$W(\eta_{cal}) = 2w(\eta_{cal})$$

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind der Tabelle

- <http://dmserver/technik/Messunsicherheiten/QMH-Tabellen/Messunsicherheiten-Tabelle-XIII.2-Kalibrieren-von-HF-Messgeraeten.xlsx>

zu entnehmen, die Ergebnisse sind im Leistungsnachweis aufgeführt.

XIII.2.3 Erweiterung auf HF- Absolutleistungsanzeige

Die Erweiterung auf HF-Absolutleistungskalibrierung (Kalibrieren von Messgeräten) kann ohne weitere Einschränkung erfolgen. Bei der Kalibrierung der absoluten Leistungsanzeige des Messobjektes $P_{DUT,abs}$ bei Einstrahlung der Leistung $P_{inc,abs}$ gilt (analog zu XIII.1.5):

$$P_{inc,abs} = \frac{P_{DUT,abs}}{\eta_{cal}}$$

$$w(P_{inc,abs}) = w(P_{DUT,abs}) = w(\eta_{cal})$$

XIII.2.4 Relativer Kalibrierungsfaktor $\eta_{cal,rel}$

Mit dem bei konstanter Leistung P_{inc} relativen Kalibrierungsfaktor

$$\eta_{cal,rel} = \frac{P_{DUT}(f)}{P_{DUT}(f_{ref})}$$
 ergibt sich dessen relative Unsicherheit

$$w^2(\eta_{cal,rel}) = w^2(P_{DUT}(f)) + w^2(P_{DUT}(f_{ref}))$$

als quadratische Summe der relativen Unsicherheiten von Test- und Referenzfrequenz bei ausschließlicher Berücksichtigung der statistischen, frequenzabhängigen Unsicherheiten in $W^2(P_{DUT})$ und entspricht gleichzeitig der Unsicherheit der relativ zur Bezugsfrequenz angezeigten Leistung (Frequenzgang der Leistungsanzeige). Üblicherweise wird die Unsicherheit des relativen Frequenzgangs aufgrund der Korrelationen die Unsicherheit der absoluten Werte nicht überschreiten.

XIII.2.5 Empfänger mit HF-Spannungsanzeige bezüglich 50Ω

Analog zu Kapitel XIII.1.6 kann die am Eingang eines Empfängers an idealem $Z_0=50\Omega$ anliegende Spannung U_{inc} über die eingestrahlte Leistung $U_{inc} = \sqrt{P_{inc} \cdot Z_0}$ dargestellt werden. Dies ist dann sinnvoll wenn Geräte (z.B. Messempfänger, Oszilloskope) eine Kalibrierung auf U_{Z_0} erfordern. In diesem Fall gilt mit der Modellgleichung für die Abweichung ΔU_{ind} der HF-Spannungsanzeige U_{ind} eines Empfängers

$$U_{ind,DUT} - \Delta U_{ind,DUT} = U_{inc} = \sqrt{P_{inc} \cdot Z_0} \text{ und}$$

$$w(\Delta U_{ind,DUT}) = \frac{1}{2} \cdot w(P_{DUT}) \text{ (siehe auch Kapitel XIII.1.6)}$$

Genauso erlaubt das Verfahren dann die Frequenzgangmessung $F_{U,DUT}$ mit Bezug auf Referenzfrequenz f_{ref} . Wenn

$$F_{U,DUT} = \frac{U_{inc}(f_{ref}) \cdot U_{ind,DUT}(f)}{U_{inc}(f) \cdot U_{ind,DUT}(f_{ref})} \text{ mit der Unsicherheit } w(F_{U,DUT}) = \frac{1}{2} w(\eta_{cal,rel})$$

XIII.2.6 2,92 mm Konnektor

Analog XIII.1.7 können mit geeigneten Leistungsnormalen wie R&S NRV-Z15 und NRV-Z55 an einem 2,92 mm Powersplitter oder an einem Kalibriersystem wie R&S NRPC40 Leistungsmessköpfe dieser Konnektorfamilie kalibriert werden.

XIII.2.7 Kalibriersystem R&S NRVC / NRPC

XIII.2.7.1 Kalibrierung der Absolutabweichung

Speziell für die Kalibrierung von Leistungsmessköpfen von Rohde & Schwarz sind die Kalibriersysteme NRVC bzw. NRPC konzipiert und können alternativ zur beschriebenen Methode in XIII.2.1 verwendet werden. Prinzipiell sind diese Geräte aus thermischem Leistungsmesskopf und integrierten Powersplitter aufgebaut, deren Korrekionsdaten für Reflexion und Kalibrierfaktor sehr präzise bestimmt sind und bei Bedienung über die mitgelieferte Software automatisch ausgewertet und berücksichtigt werden. Die genaue Bedienung und Anschluss des Systems ist dem

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	12

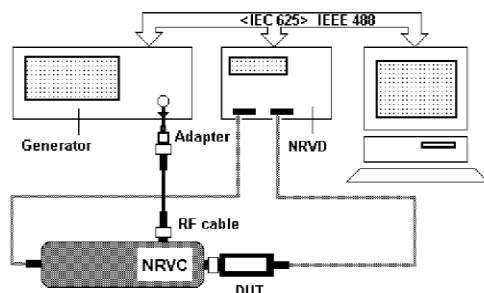
Benutzerhandbuch zu entnehmen, Tabelle XIII.2.6.1 zeigt unterschiedliche Messkonfigurationen für die Anwendung (Kalibrierfaktor).

Da die Hersteller-Software alle Messungen mit eingeschalteter Frequenzgangkorrektur am Messobjekt durchführt und im Ergebnisprotokoll die Abweichung ΔP (in dB) bei Anwendung des im EEPROM abgelegten Faktors $\eta_{cal,EEPROM}$ (in %) ausgibt wird der Kalibrierungsfaktor aus diesen Daten zu

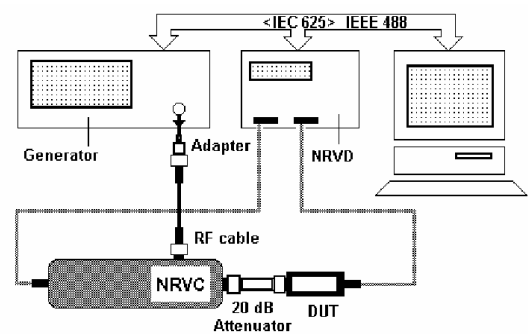
$$\eta_{cal,abs} = 10^{\frac{\Delta P}{10dB}} \cdot \frac{\eta_{cal,EEPROM}}{100\%} \text{ bzw.}$$

$$\eta_{cal,rel} = 10^{\frac{\Delta P(f) - \Delta P(f_{ref})}{10dB}} \cdot \frac{\eta_{cal,EEPROM}}{100\%}$$

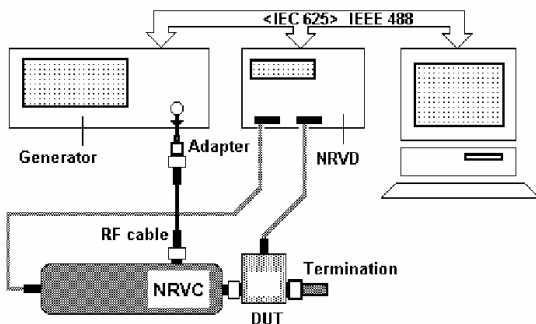
berechnet. Alternativ können die Geräte über hauseigene Softwareroutinen betrieben werden.



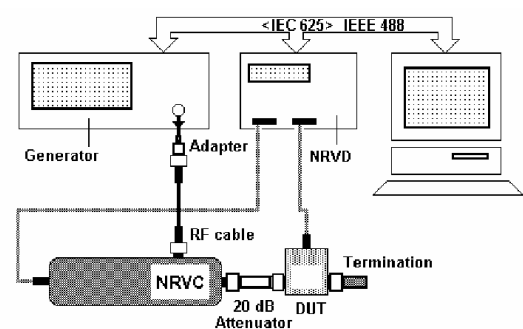
NRV-Z2, -Z5, -Z8, -Z51, -Z32, -Z33, -Z53, -Z54



URV-Z2



URV5-Z4



NRV-Z1, Z4, Z7, Z31

Tabelle XIII.2.7.1 Beispielhafte Konfigurationen des NRVC für die Messkopfkalibrierung, Kalibrierungsfaktor

Für die Einflussgrößen der Messunsicherheit gelten analog die Aufstellungen aus XIII.1.3 und XIII.2.2.

XIII.2.7.2 (Nicht-) Linearität

Zur Kalibrierung der (Nicht-) Linearität von HF-Leistungsmessgeräten im durchgehenden Leistungsbereich -30 dBm bis +30 dBm (bzw. -60 dBm bis 0 dBm mit passendem Dämpfungsglied am Messobjekt) steht u.a. der dafür optimierte der Durchgangleistungsmesskopf NRVC-B2 bzw. NRPC-B2 zur Verfügung:

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	13

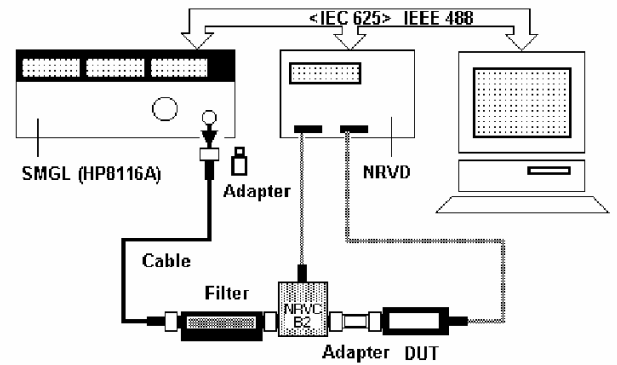
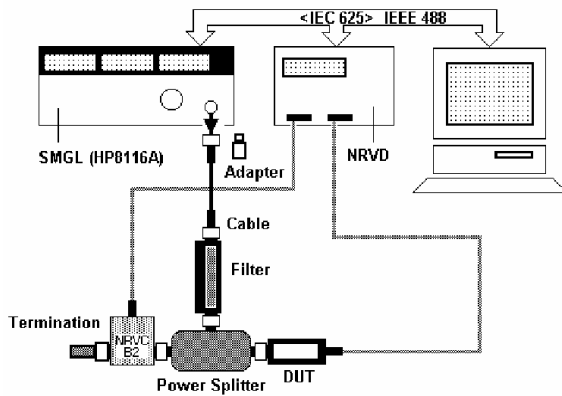


Tabelle XIII.2.7.2 Konfigurationen für die Messkopfkalibrierung, (Nicht-)Linearität [27]

Dazu wird ähnlich Kapitel XIII.2.1 und XVIII.3.2a die am Powersplitter geteilte Leistung der HF-Quelle gleichzeitig am Referenzleistungsmesser und Kalibriergegenstand gemessen. Bei idealer Linearität muss sich die Anzeige des Normalleistungsmessers mit zunehmender bzw. abnehmender Leistung im selben Maße verändern wie die des Kalibriergegenstandes. Die Nichtlinearität (in dB) lässt sich dann sofort als Differenz der Änderungen bezogen auf den Referenzwert angeben.

$$L = (P_{DUT} - P_{ref,DUT}) - (P_{NRVD} - P_{ref,NRVD} + \delta P_L) + \delta P_{Temp} + \delta P_{Noise} + \delta P_{GG}$$

mit

L Nichtlinearität des HF-Leistungsmessgerätes

$P_{ref,DUT}$ Angezeigte Leistung des Messobjektes beim Referenzpegel (im ersten Schritt) und bei abnehmender bzw. zunehmender Kalibrierleistung
 P_{DUT}

$P_{ref,NRVD}$ Angezeigte Leistung des Referenzleistungsmessers beim Referenzpegel und bei abnehmender bzw. zunehmender Kalibrierleistung
 P_{NRVD}

δP_L Korrektur durch die Linearitätsunsicherheit des Normal. Diese Grenzen werden dem Kalibrierschein entnommen (Normalverteilung $k=2$)

δP_{Temp} Die Standardunsicherheit aufgrund des Temperatureinflusses am Normal und am Messobjekt bei von 23 °C abweichenden Temperaturen (± 2 K im Labor) lässt sich formulieren zu

$$\frac{u(\delta P_{Temp})}{dB} = 2K \cdot \sqrt{(\alpha_{DUT}^2 + \alpha_{Normal}^2)}$$

am Beispiel der Temperaturkoeffizienten $\alpha_{DUT} = \alpha_{Normal} = 0,0015$ dB/K, ergibt sich

$$u(\delta P_{Temp}) = 0,002 \text{ dB}$$

Der Einfluss ist üblicherweise vernachlässigbar klein. Darüber hinaus sind die Temperaturkoeffizienten von Prüfling und Normal stark korreliert.

δP_{Noise} Nullpunktabweichung und Anzeigerausachen. Bei ausreichender Aussteuerung, Mittelung der Abesung am Normal und Nullung des Systems unmittelbar vor dem Einsatz ist der Einfluss üblicherweise vernachlässigbar klein, bzw. kann durch die empirische Standardunsicherheit des Mittelwertes (Mehrfachmesswert) im konkreten Anwendungsfall berücksichtigt werden.

δP_{GG} Einfluss des Grundgeräts, sofern die Messwertausgabe nicht digital erfolgt.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	14

Tabellarische Darstellung der Messunsicherheitsbilanz:

Größe	Schätzwert	Standard-messunsicherheit	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag
P_{DUT}	p_{DUT}				
$P_{ref,DUT}$	$p_{ref,DUT}$				
P_{NRVD}	p_{NRVD}				
$P_{ref,NRVD}$	$p_{ref,NRVD}$				
δP_L	0	$U(\delta P_L) / 2$	Normal	1	$u(\delta P_{ind,NRVD})$
δP_{Temp}	0	$u(\delta P_{Temp})$	Normal	1	$u(\delta P_{Temp})$
δP_{Noise}	0	$u(\delta P_{Noise})$	Normal	1	$u(\delta P_{Noise})$
δP_{GG}	0	$u(\delta P_{GG})$	Normal	1	$u(\delta P_{GG})$
L	$(p_{DUT} - p_{ref,DUT}) - (p_{NRVD} - p_{ref,NRVD})$				$u(L)$
	rel. erweiterte Messunsicherheit(k=2)			$U(L) = k \cdot u(L)$	$U(L)$

am Beispiel NRVC-B2 ergibt sich

Größe	Schätzwert	Standard-messunsicherheit	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag
P_{DUT}	-30,005 dBm				
$P_{ref,DUT}$	0,005 dBm				
P_{NRVD}	-30,000 dBm				
$P_{ref,NRVD}$	0,000 dBm				
δP_L	0	0,020 dB / 2	Normal	1	0,010 dB
δP_{Temp}	0	vernachlässigbar	Normal	1	-
δP_{Noise}	0	vernachlässigbar	Normal	1	-
δP_{GG}	0	vernachlässigbar	Normal	1	-
L	-0,010 dB			$u(L)$	0,010 dB
	rel. erweiterte Messunsicherheit(k=2)			$U(L) = 2 \cdot u(L)$	0,020 dB

XIII.2.8 Verifikation

Zur Verifizierung und zur regelmäßigen Plausibilitätskontrolle werden Zwischenprüfungen auf Einhaltung der berechneten Messunsicherheiten durchgeführt. Daneben erfolgt regelmäßig die DC-Korrektur über Gleichspannungsprüfungen oder „NF-Korrektur“ gegen eine bekannte 1 mW Referenz.

XIII.2.8.1 Verifikation an NRVC oder zweiten Messkopf

Die Konfigurationsparameter (Verifikationsmesspunkte) sind den Anleitungsdateien entnehmbar und im Dateisystem abgelegt.

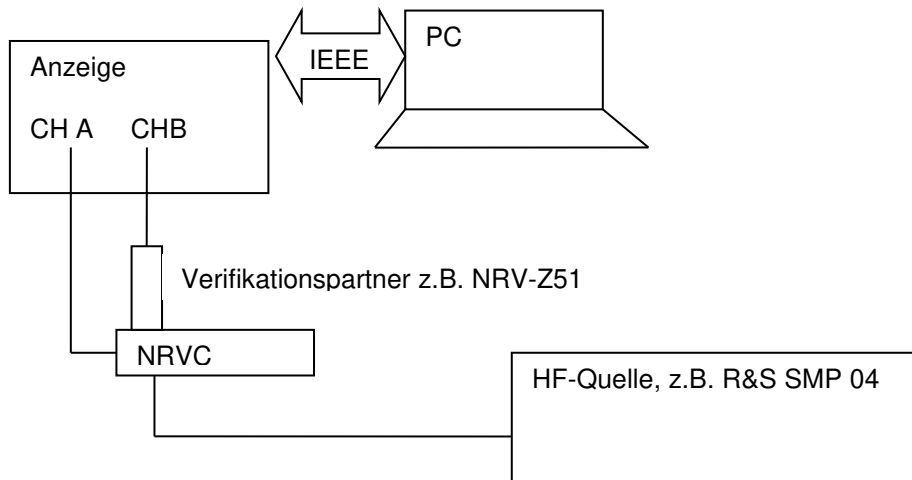


Bild 2.8.1.1 Verifikation am NRVC

Die Verifikation ist sowohl gegen einen zweiten (beliebigen) Messkopf als auch gegen die Leistungsreferenz NRVC möglich und gibt Auskunft ob die „Verifikationspartner“ mit den zu erwartenden Messunsicherheiten betrieben werden können. Zur Messwertkorrektion können die Systemdaten aus

- EEPROM = nur EEPROM sonst keine Korrektion
- PC = nur Korrekstionsdatei im Installationspfad
- EEPROM und PC = EEPROM und Korrekstionsdatei im Installationspfad (**empfohlen**, nach durchgeführter Niederfrequenzkorrektur) und zusätzlich
- USER = Zuschaltung der gewonnenen Daten der Verifikation (Abgleich gegen zweiten Messkopf)

genutzt werden.

„Niederfrequenzkorrektur“

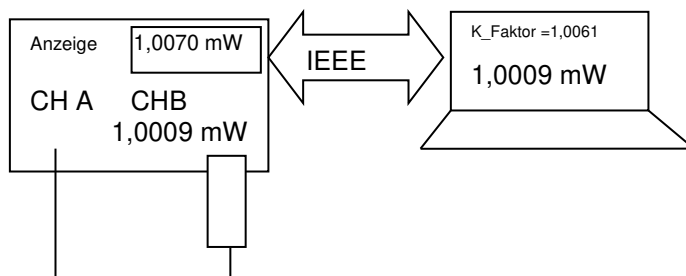


Bild 2.8.1.2 Einkalibrierung und PC-Korrektion

Die 50 MHz-Korrektur wird durch „Einkalibrierung“ gegen eine kalibrierte 1 mW-Referenz und dessen Korrekturwert (im Bild 1,0009 mW), der K-Faktor (entspricht Kalibrierungsfaktor $\eta_{cal}(f_{ref})$ bei Referenzfrequenz f_{ref}) ergibt sich dann aus der unkorrigierten Leistung am Anzeigegerät $P_{ChA,1mW}$ und dem Wert der 1 mW-Referenz P_{1mW} zu

$$K_Faktor = \frac{P_{ChA,1mW}}{P_{1mW}}$$

also im Bild 2.8.1.2 oben zu

$$K_Faktor = \frac{1,0070\ mW}{1,0009\ mW} = 1,0061$$

berechnet und korrigiert die „Lage“ der Frequenzgangkurve über den gesamten Frequenzbereich.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	16

Genauso kann der K_Faktor_{NRVC} des NRVC mit einer einfachen Vergleichsmessung bestimmt werden.

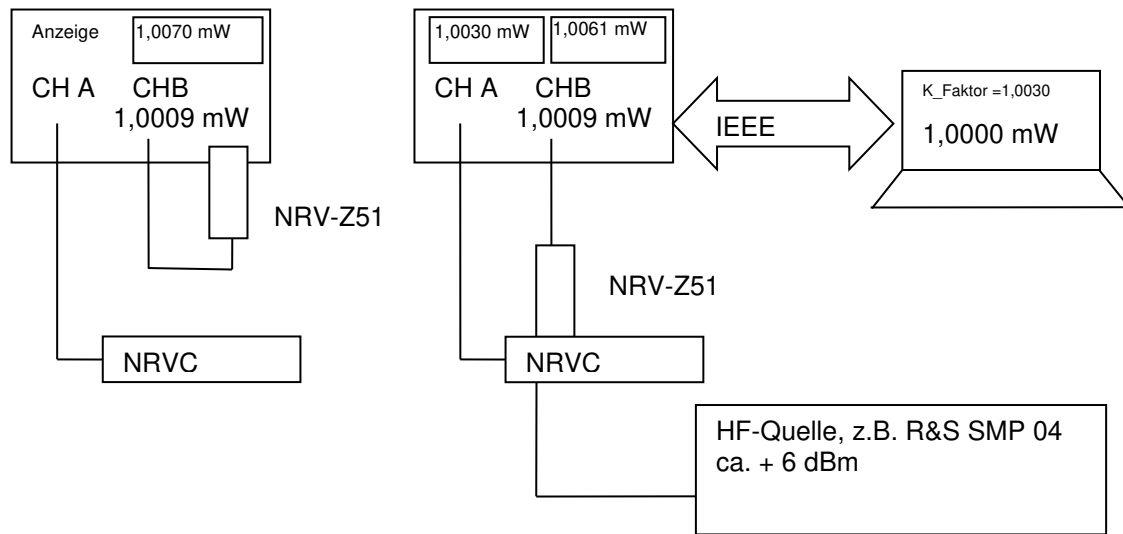


Bild 2.8.1.3 Einkalibrierung des NRVC und PC-Korrektion

$$K_Faktor_{NRVC} = \frac{P_{ChA}}{P_{ChB}} \cdot \frac{P_{ChA,1mW}}{P_{1mW}}$$

also im Bild 2.8.1.3

$$K_Faktor_{NRVC} = \frac{1,0030\ mW}{1,0061\ mW} \cdot \frac{1,0070\ mW}{1,0009\ mW} = 1,0030$$

XIII.2.8.2 DC Rückführung und Verifikation

Ziel der Gleichspannungsmessungen ist es, das Verhalten der Leistungsmessköpfe, Leistungskalibriersystem NRVC, NRPC oder von Referenz-Dämpfungsgliedern bei Gleichspannung zu überprüfen, rückzuführen und durch Korrekturfaktoren die Einflüsse von alterungs- oder umgebungsbedingter Drift zu eliminieren. Die Gleichleistung wird dabei über die Zusammenhänge des ohmschen Gesetzes auf die Grundgrößen Gleichspannung und Gleichstromwiderstand rückgeführt. Die Berechnung der im Gleichstromabschluss umgesetzten Leistung auf der Basis von Spannungsmessungen setzt eine Gleichstromwiderstandsmessung oder einen präzisen 50 Ω-Widerstand im Abschluss voraus, der z.B. als Zubehör beim Kalibriersystem enthalten ist. Der Abschlusswiderstand R_{DC} wird dazu mit einem Multimeter im 4-Draht-Verfahren bestimmt (vgl. Abs. IV.1).

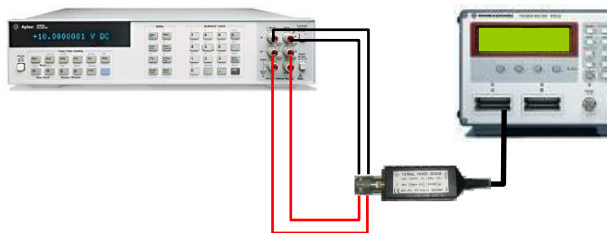


Bild XIII.2.8.2.1 – Bestimmung des DC-Widerstands des Leistungsmesskopfes am DMM

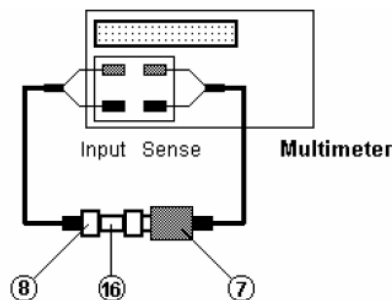


Bild XIII.2.8.2.2 – Bestimmung des DC-Präzisionswiderstands (7) am DMM mit Typ-N-Adapter f-f (16) und Verbindungskabel Typ-N auf 4mm-Banane (8)

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	17

Zusammen mit einem Gleichspannungsmultimeter das die Kalibrierspannung U_{DMM} misst wird im Anschluss die Gleichleistung P_{DC} errechnet und der Korrekturfaktor K_{DC} bei der angezeigten Leistung P_{ind} von Messkopf oder des NRVC-Systems bestimmt. Notwendig dazu ist eine hinreichend stabile Quelle oder ein Gleichspannungskalibrator

$$P_{DC} = \frac{(U_{DMM})^2}{R_{DC}}$$

$$P_{ind} \cdot K_{DC} = \frac{(U_{DMM})^2}{R_{DC}}$$

Um den Einfluss von Offset-Spannungen und thermoelektrischen Effekten zu minimieren wird die Messung mit jeweils vertauschter Polarität wiederholt:



Bild XIII.2.8.2.3 – Bestimmung des DC-Korrekturfaktors des Leistungsmesskopfes am DMM

- Nullabgleich am Anzeigegerät durchführen, bei Kurzschluss am Eingang des Messkopfes oder wenn $U_{Kalibrator} = 0$ mV
- Ebenfalls Nullabgleich am DMM durchführen
- 0,45 V am Kalibrator einstellen und zugehörige Spannung bzw. Leistung an DMM und Anzeigegerät NRVD ablesen ($U_{DMM1} \approx 225$ mV)
- Negative Spannung -0,45 V am Kalibrator einstellen und zugehörige Messwerte an DMM und NRVD ablesen ($U_{DMM1} \approx -225$ mV)
- Mittelwerte P_{ind} und U_{DMM} der beiden Messungen vertauschter Polarität berechnen
- DC-Korrekturwert des Messkopfes berechnen

$$K_{DC} = \frac{(U_{DMM})^2}{R_{DC} \cdot P_{ind}}$$

Die erweiterte Unsicherheit $W(K_{DC})$ dieser Korrektur lässt sich aus den relativen Unsicherheiten der Spannungs- und Widerstandsmessung $W(U)$ und $W(R)$ berechnen.

$$W(K_{DC}) = \sqrt{(2 \cdot W(U))^2 + W(R)^2}$$

Sie beträgt z.B. bei Einsatz eines typischen HP/ Agilint 3458A zur Spannungs- und Widerstandsmessung nie mehr als

$$W(K_{DC}) = \sqrt{(2 \cdot 11 \cdot 10^{-6})^2 + (26 \cdot 10^{-6})^2} = 34 \cdot 10^{-6}$$

und liegt damit deutlich unterhalb des Ziffernschrittes des Anzeigegeräts NRVD, der die Gesamtunsicherheit damit dominiert, so dass gezeigt werden kann, dass die DC-Korrektur auf die letzte angezeigte Stelle verlässlich ist.

Daran anlehnend kann ebenso die DC-Korrektur des Kalibriersystems NRVC/ NRPC z.B. mit und ohne Referenzdämpfungsglied bestimmt werden

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	18

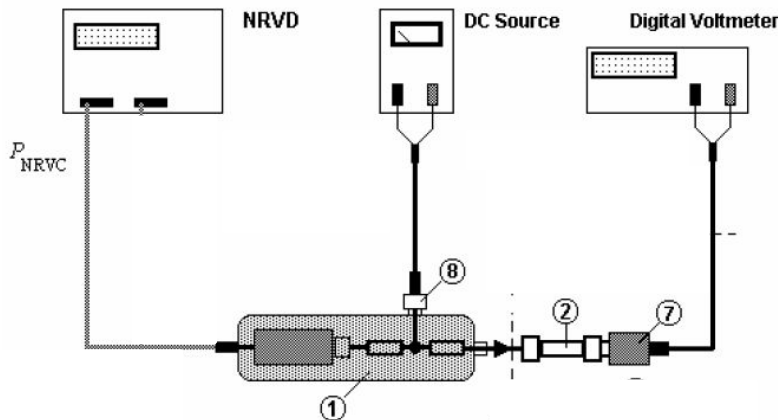


Bild XIII.2.8.2.4 – Messaufbau zur Bestimmung der DC-Korrektur des Kalibriersystems NRVC (1) mit DC-Präzisionswiderstand (7) am DMM, Dämpfungsglied (2) und Verbindungskabel Typ-N auf 4mm-Banane (8)

XIII.2.9 Berechnung des Kalibrierungsfaktors nach Leistungsvergleich und kombinierter Dämpfungsmessung

Zur Messung „hoher“ Leistungen werden oft Kombinationen bestehend aus einem Leistungsmesskopf und einem Dämpfungsglied (z.B. 30 dB, 30 W) eingesetzt. Da sich aufgrund der nötigen Eingangsleistung eine kombinierte Kalibrierung i.d.R. als schwierig erweist, kann über eine getrennte Messung des Kalibrierungsfaktors des Leistungsmesskopfes alleine ($\eta_{cal,abs}$ bzw. $\eta_{cal,rel}$) und der Transmission in Vorwärtsrichtung (S_{21} , linear) am vektoriellen Netzwerkanalysator der Kalibrierungsfaktor des Verbundes errechnet werden.

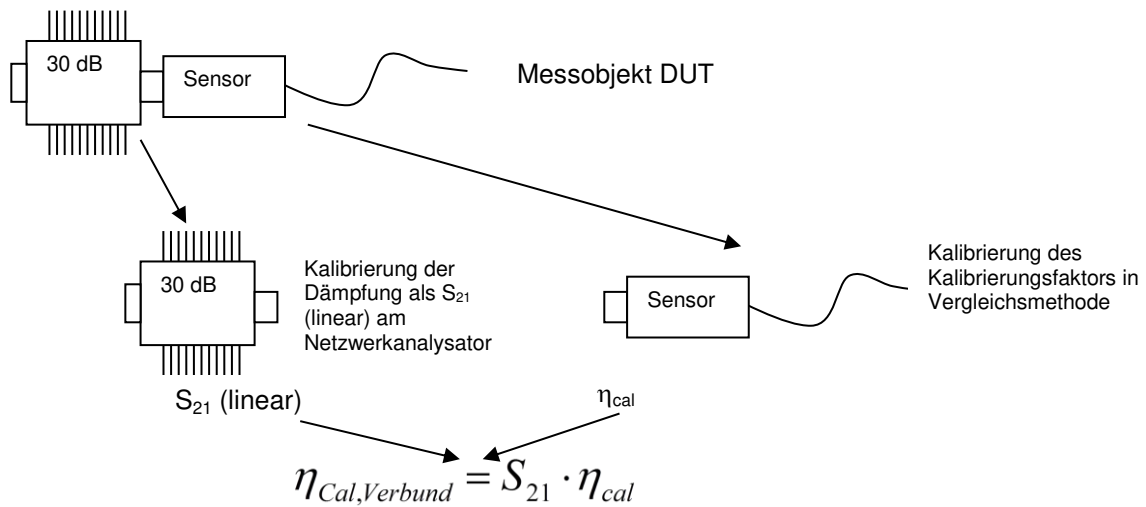
$$\eta_{cal,abs,Verbund}(f) = S_{21} \cdot \eta_{cal,abs} \text{ mit } S_{21} = 10^{\frac{-L}{20}} \text{ und } L \text{ der gemessenen Dämpfung}$$

$$\eta_{cal,rel,Verbund}(f) = \frac{S_{21}}{S_{21}(f_{ref})} \cdot \eta_{cal,rel}$$

Gemäß Fehlerfortpflanzungsgesetz ergibt sich die Unsicherheit dieser Messung als Wurzel aus der Summe der voneinander unabhängigen Messungen von Dämpfung (siehe Kapitel XIII.5) und Kalibrierungsfaktor.

$$W(\eta_{cal,Verbund}) = \sqrt{W(S_{21})^2 + W(\eta_{cal,rel})^2}$$

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	19



Ist eine zusätzliche Normierung des Kalibrierungsfaktors nötig so erfolgt diese wie in XIII.2.1.3 angegeben gegen Maximum oder z.B. den Nominalwert des Dämpfungsglieds $S_{21,nom,lin}$, sofern der Abgleich gegen die 1m W-Kalibrierquelle nur ohne Dämpfungsglied möglich ist

$$\eta_{cal,rel,norm} = CF_{ref} = S_{21}(f_{ref}) / S_{nom,lin} = S_{21}(f_{ref}) / 10^{\frac{-L_{nom}}{20}}$$

XIII.2.10 Leistungen > 10 mW

Zur Kalibrierung mit „hohen“ Leistungen können die Signale eines HF-Generators z.B. durch Einsatz geeigneter Breitbandverstärker verstärkt werden. Prüflinge sind dabei üblicherweise sog. Durchgangsmessköpfe, so dass zum Leistungsvergleich das Verfahren aus Abs. XIII.1.9 verwendet werden kann.

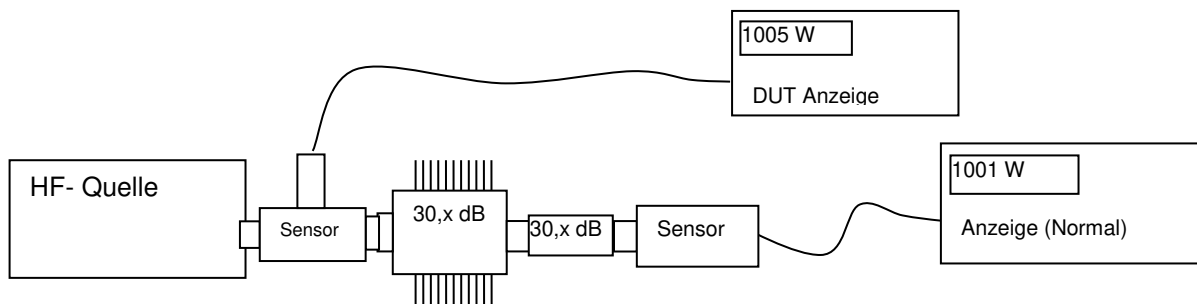


Bild XIII.2.10.1 Kalibrierung von Durchgangsmessköpfen mit hohen Leistungen, Dämpfungsgliedern und Abschlussmesskopf

Bei Verwendung eines Durchgangsleistungsmesskopf als Normal muss dessen Position relativ zum Kalibriergegenstand in mindestens einer Wiederholungsmessung vertauscht werden. Die Anzeigewerte dieses Verfahrens werden danach gemittelt.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	20

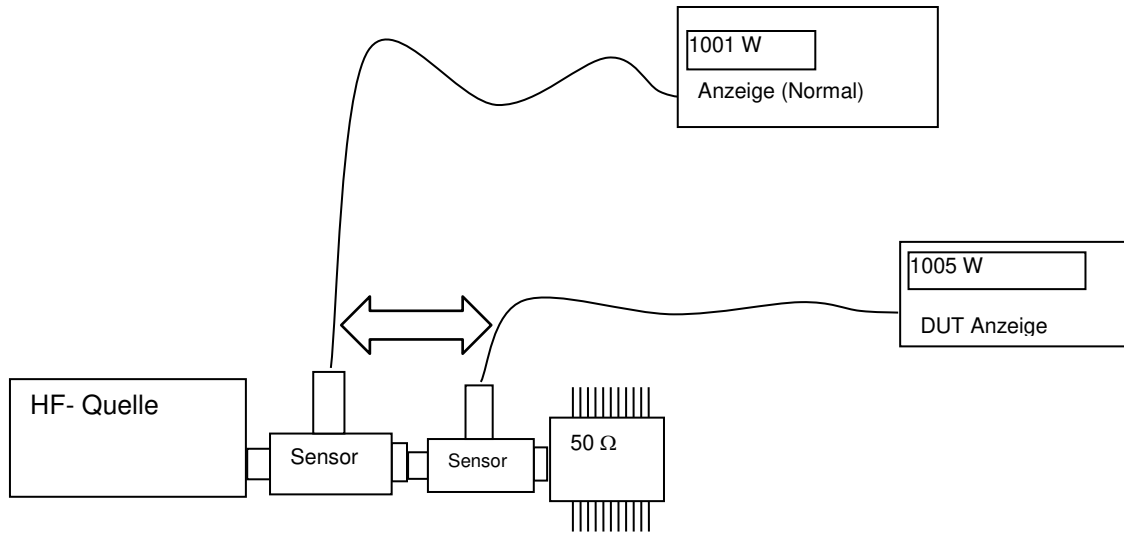


Bild XIII.2.10.2 Kalibrierung hoher Leistungen mit Durchgangsleistungsmesskopf und Last

Die Unsicherheit der Kalibrierleistung in diesen Verfahren ist durch die Messunsicherheitsbilanz aus Abs. XIII.1.9.2 darstellbar.

XIII.2.11 Zusammenfassung der Einflussgrößen und Ergebnisse

Die Zahlenwerte und vollständigen Matrizen für die Einflussgrößen und die frequenzgenauen Ergebnisse an den Berechnungstützpunkten für die einzelnen Messgrößen, Bezugs- und Gebrauchsnormale, Adapter oder Dämpfungsgliedkombinationen sind den mitgeltenden Excel-Tabellen

<http://dmsserver/technik/Messunsicherheiten/QMH-Tabellen/Messunsicherheiten-Tabelle-XIII.2-Kalibrieren-von-HF-Messgeraeten.xlsx>

zu entnehmen. Zusammengefasste Ergebnisse werden im Leistungsnachweis bzw. der Anlage zur Akkreditierung aufgeführt.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	21



© esz AG, 2018

Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International zugänglich. Um eine Kopie dieser Lizenz einzusehen, konsultieren Sie <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> oder wenden Sie sich brieflich an Creative Commons, Postfach 1866, Mountain View, California, 94042, USA.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.14	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	22