

Rückführungskette für Gleichspannung

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Kryo-Spannungsnormal (Josephsoneffekt) Nationales Normal	PTB Braunschweig	Komparatorbrücke	$1 \cdot 10^{-10}$ 1nV	Darstellung der Einheit 10V / DC
Kryo-Spannungsnormal zu DVM	PTB Braunschweig	Substitutionsmessung	$1 \cdot 10^{-9}$ 10nV	Weitergabe auf elektronisches Normal
Fluke 732 B	DAkkS Labor extern	Voltmeter Substitution	$2 \cdot 10^{-8}$	Bereithaltung und Weitergabe
Fluke 732B BEZUGSNORMAL	DAkkS Labor	Bereithaltung	$2 \cdot 10^{-7}$ plus Alterung $2 \cdot 10^{-6}$	Bereithaltung im Labor (4 Jahre)
Fluke 8508A DVM GEBRAUCHSNORMAL (1)	DAkkS Labor	Voltmeter Substitution Transfermessung	$2,2 \cdot 10^{-6}$ plus Transfermessung $3 \cdot 10^{-7}$	Vergleich mit 10V für Kalibrator Fluke 5720A

Hier mit 10V

Rückführung elektrische Messgrößen

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Fluke 5720A Kalibrator GEBRAUCHSNORMAL (2)	Kalibrierraum	Direkte Spannungs- erzeugung	$4 \cdot 10^{-6}$ plus $2,5 \cdot 10^{-6}$	Kalibrator Spezifikation 1 Jahr
HP 34401A DVM Prüfling GEBRAUCHSNORMAL (3)	Kalibrierraum	Direkte Spannungs- messung	$4 \cdot 10^{-5}$ plus $6,5 \cdot 10^{-6}$	DVM Spezifikation 1 Jahr
Messung an Prüfling z.B. Netzteil mit DVM HP 34401A	Prüffeld	Direkte Spannungs- messung	$4,7 \cdot 10^{-5}$	Messverfahren vor Ort Messunsicherheit gilt für ein Jahr

Die Messunsicherheiten sind an einem fiktiven Beispiel abgeschätzt, entsprechen aber etwa der Realität.

$$0,1\text{ppm} = 1 \cdot 10^{-7} = 1\mu\text{V bei } 10\text{V}$$

Rückführungskette für Gleichstrom

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Kryo-Spannungsnormale (Josephson-Effekt) und Normalwiderstand Nationales Normal	PTB Braunschweig	$I=U/R$ Spannungswiderstands-Normale	$1 \cdot 10^{-6}$	Darstellung praktisch nicht mehr über die Kraft des Stromleiters
DC-Standard und Bezugswiderstand	PTB Braunschweig			Direkte Weitergabe von Strom nicht sinnvoll bzw. möglich
DC-Standard und Normalwiderstand	DAkkS Labor		Von R und DCV	Bereithaltung und Weitergabe
Fluke 8508A DVM und Stromwiderstand NORMALE	DAkkS Labor	Bereithaltung $I=U/R$	$1,2 \cdot 10^{-6}$ plus Alterung $2 \cdot 10^{-6}$	Bereithaltung im Labor und Kalibrierung Fluke 5700A

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Fluke 5720A Kalibrator GEBRAUCHSNORMAL (1)	Kalibrierraum	Direkte Stromerzeugung	$4 \cdot 10^{-6}$ plus $2,5 \cdot 10^{-6}$	Kalibrator Spezifikation 1 Jahr
HP 34401A DVM Prüfling GEBRAUCHSNORMAL (2)	Kalibrierraum	Direkte Strommessung	$4 \cdot 10^{-5}$ plus $6,5 \cdot 10^{-6}$	DVM Spezifikation 1 Jahr
Messung an Prüfling (Stromgeber) mit DVM HP 34401A	Prüffeld	Direkte Strommessung	$4,7 \cdot 10^{-5}$	Messverfahren vor Ort Messunsicherheit gilt für ein Jahr

Die Messunsicherheiten sind an einem fiktiven Beispiel abgeschätzt, entsprechen aber etwa der Realität.

$$1\text{ppm} = 1 \cdot 10^{-6}$$

Rückführungskette Wechselspannung

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Thermalkonverter Eigenbau Nationales Normal	PTB Braunschweig	AC/DC Vergleich über Erwärmung	$1 \cdot 10^{-6}$ frequenzabhängig	Rückführung über DCV und berechnete Thermalkonverter
Thermalkonverter, Fluke 540B, Fluke 792	PTB Braunschweig	AC/DC Vergleich über Erwärmung	$2 \cdot 10^{-6}$	Weitergabe auf elektronisches Normal
Fluke 792 B	DAkKS Labor	AC/DC Vergleich über Erwärmung	$3 \cdot 10^{-6}$	Bereithaltung und Weitergabe
Fluke 5790A AC Standard DVM BEZUGSNORMAL	DAkKS Labor	Bereithaltung	$4 \cdot 10^{-6}$ plus Alterung $22 \cdot 10^{-6}$	Bereithaltung im Labor (1 Jahr)

Thermalkonverter als Vakuumglaspille (Fluke 540B) oder in Halbleiterchipform (Fluke 792) , Unsicherheiten frequenzabhängig

Beispiel : 10V ; 1kHz

Rückführung elektrische Messgrößen

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Fluke 5720A Kalibrator GEBRAUCHSNORMAL (1)	Kalibrierraum	Direkte Spannungs- erzeugung	$22 \cdot 10^{-6}$ plus $40 \cdot 10^{-6}$	Kalibrator Spezifikation 1 Jahr
HP 34401A DVM Prüfling GEBRAUCHSNORMAL (2)	Kalibrierraum	Direkte Spannungs- messung	$62 \cdot 10^{-6}$ plus $9,62 \cdot 10^{-4}$	DVM Spezifikation 1 Jahr
Messung an Prüfling z.B. NF Generator mit DVM HP 34401A	Prüffeld	Direkte Spannungs- messung	$1 \cdot 10^{-3}$ (0,1%)	Messverfahren vor Ort Messunsicherheit gilt für ein Jahr

Die Messunsicherheiten sind an einem fiktiven Beispiel abgeschätzt, entsprechen aber etwa der Realität.

$$1 \text{ ppm} = 1 \cdot 10^{-6} = 10 \mu\text{V bei } 10\text{V}$$

Rückführungskette für Wechselstrom

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Thermalkonverter mit berechnetem Wechselstromwiderstand Nationales Normal	PTB Braunschweig	AC/DC-Vergleich $I=U/R$	$3 \cdot 10^{-6}$	Frequenzgang des Wechselstromwiderstands ist berechnet
AC/DC-Standard und AC-Widerstand	PTB Braunschweig	Substitution in Reihenschaltung zu AC-Normalwiderstand	$6 \cdot 10^{-6}$	Nur Weitergabe des Frequenzgangs (AC/DC) des Wechselstromwiderstands möglich
Wechselstrom-Normalwiderstand	DAkkS Labor		$17 \cdot 10^{-6}$	Bereithaltung und Weitergabe
Fluke 5790A Standard und (Shunt) Stromwiderstand NORMALE	DAkkS Labor	Bereithaltung $I=U/R$	$17 \cdot 10^{-6}$ plus $10 \cdot 10^{-6}$	Bereithaltung im Labor und Kalibrierung Fluke 5700A

Für 1A bei 1kHz

Rückführung elektrische Messgrößen

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Fluke 5720A Kalibrator GEBRAUCHSNORMAL (1)	Kalibrierraum	Direkte Stromerzeugung	$27 \cdot 10^{-6}$ plus $100 \cdot 10^{-6}$	Kalibrator Spezifikation 1 Jahr
HP 34401A DVM Prüfling GEBRAUCHSNORMAL (2)	Kalibrierraum	Direkte Strommessung	$1,27 \cdot 10^{-4}$ plus $1,4 \cdot 10^{-3}$	DVM Spezifikation 1 Jahr
Messung an Prüfling (Stromgeber) mit DVM HP 34401A	Prüffeld	Direkte Strommessung	$1,5 \cdot 10^{-3}$ (0,15%)	Messverfahren vor Ort Messunsicherheit gilt für ein Jahr

Siehe auch Wechselspannung mit speziell im Frequenzgang berechneten Wechselstromwiderständen

Die Messunsicherheiten sind an einem fiktiven Beispiel abgeschätzt, entsprechen aber etwa der Realität.

$$1\text{ppm} = 1 \cdot 10^{-6}$$

Rückführungskette Gleichstromwiderstand

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Quantisierter Hallwiderstand Nationales Normal	PTB Braunschweig	Kryo-Strom- komparator (-brücke)	$5 \cdot 10^{-9}$	Darstellung der Einheit Ohm
1 Ohm Widerstandsnormale	PTB Braunschweig	Kompensations- schaltung	$3 \cdot 10^{-8}$	PTB Normal Verhältnis 1:1
100 Ohm Widerstandsnormale	PTB Braunschweig	Substitutions- messung mit Gleichstrom- komparator	$5 \cdot 10^{-8}$ plus Transfermessung $1 \cdot 10^{-7}$	Weitergabe Normal Standardwiderstand
Normal 100 Ohm Standardwiderstand BEZUGSNORMAL	DAkKS Labor	Bereithaltung	$3 \cdot 10^{-7}$ plus Alterung $1,2 \cdot 10^{-6}$	Bereithaltung im Labor (6 Jahre)
Normalwiderstand Prüfling 100 Ohm GEBRAUCHSNORMAL (1)	DAkKS Labor	Voltmeter / Komparator Substitutions- messung	$1,2 \cdot 10^{-6}$ plus Messung $1,5 \cdot 10^{-6}$	Vergleich mit Bezugsnormale Substitutions- messung

Bei 100 Ohm

Rückführung elektrische Messgrößen

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Fluke 5720A Kalibrator GEBRAUCHSNORMAL (1)	Kalibrierraum	Direkte Widerstands- erzeugung	$3 \cdot 10^{-6}$ plus $10 \cdot 10^{-6}$	Kalibrator Spezifikation 1 Jahr
DVM HP34401 100 Ohm Widerstandsbereich GEBRAUCHSNORMAL (2)	Kalibrierraum	Direkte Messung	$13 \cdot 10^{-6}$ plus $1,1 \cdot 10^{-3}$	DVM Spezifikation 1 Jahr
Messung von einem 100 Ohm Widerstand	Prüffeld	Direkte Messung	$1,2 \cdot 10^{-3}$ (0,12%)	Messverfahren vor Ort

Die Messunsicherheiten sind an einem fiktiven Beispiel abgeschätzt, entsprechen aber etwa der Realität.

$$1 \text{ ppm} = 1 \cdot 10^{-6} = 0,0001\%$$

Rückführungskette Kapazität

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Thompson-Lampard Kreuzkondensator Nationales Normal	PTB Braunschweig	Komparatorbrücke	$1 \cdot 10^{-8}$	Berechneter Kondensator (Länge)
Genrad 1404A Kapazitätsnormal	PTB Braunschweig	Substitutions- messung	$1 \cdot 10^{-6}$	Weitergabe
Genrad 1404A BEZUGSNORMAL	DAkkS Labor	Bereithaltung	$1 \cdot 10^{-6}$ plus Alterung $5 \cdot 10^{-6}$	Bereithaltung im Labor (5 Jahre)
Genrad 1404A BEZUGSNORMAL	DAkkS Labor	Substitutions- messung eines GR1404A	$6 \cdot 10^{-6}$ plus Messung $2 \cdot 10^{-6}$	Messung mit C-Brücke Genrad 1620
LCR Messbrücke GEBRAUCHSNORMAL	DAkkS Labor	Direktmessung	$8 \cdot 10^{-6}$ plus Messung $2 \cdot 10^{-5}$	Kalibrieren einer LCR Messbrücke

1000 pF = 1 nF , bei 1kHz

Rückführung elektrische Messgrößen

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Kapazität einfach	Kalibrierraum	Direktmessung	$3 \cdot 10^{-5}$ plus $2 \cdot 10^{-4}$ plus Alterung Normal $1 \cdot 10^{-3}$	LCR Messbrücke Spezifikation 1 Jahr
Kalibrierung an einfachem LCR Handmeter	Prüffeld	Direktmessung	$1,23 \cdot 10^{-3}$ (0,123%)	Messverfahren vor Ort Messunsicherheit Meter 0,5%

Die Messunsicherheiten sind an einem fiktiven Beispiel abgeschätzt, entsprechen aber etwa der Realität.

$$1\text{ppm} = 1 \cdot 10^{-6}$$

Rückführungskette Induktivität

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Kapazität und Widerstand Nationales Normal	PTB Braunschweig	Maxwell-Wien-Brücke	$3 \cdot 10^{-5}$	Darstellung der Induktivität über Brückenberechnung
Genrad – 1482 Induktivitätsnormal	PTB Braunschweig	Messung mit Maxwell-Wien-Brücke	$5 \cdot 10^{-5}$	Weitergabe
Genrad – 1482 BEZUGSNORMAL	DAkkS Labor	Bereithaltung	$6 \cdot 10^{-5}$ plus Alterung $1 \cdot 10^{-4}$	Bereithaltung im Labor (5 Jahre)
Genrad – 1482 BEZUGSNORMAL	DAkkS Labor	Substitutionsmessung eines GR1482	$1 \cdot 10^{-4}$ plus Messung $2 \cdot 10^{-4}$	Messung mit LCR Messbrücke
LCR Messbrücke GEBRAUCHSNORMAL	DAkkS Labor	Direktmessung	$2 \cdot 10^{-4}$ plus Messung $2,5 \cdot 10^{-4}$	Kalibrieren einer LCR Messbrücke

Bsp: 1mH , 1kHz

Rückführung elektrische Messgrößen

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Induktivität (Spule)	Kalibrierraum	Direktmessung	$2,5 \cdot 10^{-4}$ plus $1 \cdot 10^{-3}$ plus Alterung Spule $5 \cdot 10^{-4}$	LCR Messbrücke Spezifikation 1 Jahr
Kalibrierung von einfachem LCR Handmeter	Prüffeld	Direktmessung	$1,2 \cdot 10^{-3}$ (0,12%)	Messverfahren vor Ort Messunsicherheit Meter 0,5%

Die Messunsicherheiten sind an einem fiktiven Beispiel abgeschätzt, entsprechen aber etwa der Realität.

Rückführungskette Frequenz (Zeit)

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Atomuhr Nationales Normal	PTB Braunschweig	Physikalische Erzeugung	$1 \cdot 10^{-16}$	Darstellung der Zeit im Labor
DCF 77,5 kHz Sender	PTB Braunschweig	Vergleichsmessung Phase Nulldurchgang	$1 \cdot 10^{-13}$	Weitergabe Referenzsignal 77,5 kHz per Funk
Cäsiumnormal oder Rubidiumnormal mit GPS Anbindung	DAkKS Labor	Erzeugung der Frequenz und Vergleich mit DCF77	$1 \cdot 10^{-12}$ keine Alterung	Bereithaltung im Labor
Frequenzzähler BEZUGSNORMAL	DAkKS Labor	Vergleich mit Cäsiumnormal	$2 \cdot 10^{-12}$ plus Alterung $2 \cdot 10^{-8}$	Bereithaltung im Labor (1 Jahr) Auflösung Zähler $1 \cdot 10^{-12}$
Frequenznormal z.B. Rubidium oder Generator GEBRAUCHSNORMAL (1)	DAkKS Labor	Frequenzmessung mit Frequenzzähler am Cäsium synchronisiert	$1 \cdot 10^{-12}$ plus Messung $1 \cdot 10^{-12}$	Hier Unsicherheit ohne Alterung, da synchron zu Cäsium (Auflösung Zähler)

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Frequenzzähler GEBRAUCHSNORMAL (2)	Kalibrierraum	Direkte Messung	$2 \cdot 10^{-8}$ plus $1 \cdot 10^{-7}$	Generator Spezifikation 1 Jahr
Oszillator	Prüffeld	Direkte Messung mit Zähler	$1,2 \cdot 10^{-7}$	Messverfahren vor Ort Messunsicherheit gilt für ein Jahr

H-Atomuhr = Wasserstoffatomuhr ; CS-Atomuhr = Cäsiumatomuhr ; ST-Atomuhr = Strontium-Gitteruhr

Das über Funk empfangbare GPS-Signal kann wie auch das DCF 77,5 kHz-Signal zur Synchronisierung eines Oszillators angewendet werden.

GPS-Signal wird von Cäsiumuhren mit $5 \cdot 10^{-13}$ erzeugt..

Die Messunsicherheiten sind an einem fiktiven Beispiel abgeschätzt, entsprechen aber etwa der Realität.

Rückführungskette HF Leistung

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Mikrokalorimeter Nationales Normal	PTB Braunschweig	Komparatorbrücke	0,0025	Erzeugung und Rückführung auf Temperatur
Mikrokalorimeter	PTB Braunschweig	Substitutionsmessung	für Wirkungsgrad 0,003	Weitergabe auf Thermistormount
Thermistor Mount BEZUGSNORMAL	DAkKS Labor	Bereithaltung	0,003 plus Alterung 0,001	Bereithaltung im Labor (3Jahre)
Thermistor-Splitter-Einheit TransfERNormal	DAkKS Labor	Leistungsmessung mit Bezugsnormal	0,004 plus Transfermessung + Alterung 0,001	Kalibrierung des TransfERNormals und Bereithaltung (1 Jahr)
Sensor GEBRAUCHSNORMAL	DAkKS Labor	Leistungsmessung mit Thermistor-Splitter-Einheit	0,005 plus Messung 0,008	Kalibrierung des Sensors
Messung am Generator	Prüffeld	Direkte Leistungsmessung	0,009 (0,9%)	Unsicherheit durch Reflexion beachten

Gilt für ca. 1GHz , Messwert des Kalibrierungsfaktor 1=100% ; Thermistor

Rückführung elektrische Messgrößen

Die Messunsicherheiten sind an einem fiktiven Beispiel abgeschätzt, entsprechen aber etwa der Realität.

0,005 = 0,5% entspricht ; $0,5\% = 0,025\text{dB}$; kleine Messunsicherheiten sind nur bei niedrigen Reflexionsfaktoren oder mit deren Korrektur möglich

Rückführungskette HF-Dämpfung

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Dämpfungsmessplatz Dämpfungsnormal Nationales Normal	PTB Braunschweig	Leistungs- oder Spannungs- Verhältnismethode	0,003 dB	Detektion mit Thermistor bzw. Wechselspannungs- messung
Netzwerkanalysator	PTB Braunschweig	Substitutions- messung	0,005 dB	Dämpfungsnormal
Dämpfungsnormal	DAkKS Labor	Substitution mit Netzwerkanalysator	0,02 dB	Bereithaltung und Weitergabe
Dämpfungsnormal BEZUGSNORMAL	DAkKS Labor		0,02 dB plus Alterung 0,005 dB	Bereithaltung im Labor
Dämpfungsglied GEBRAUCHSNORMAL (1)	DAkKS Labor	Substitution mit Netzwerkanalysator oder Messung mit Dämpfungsmessplatz	0,025 dB plus Messung 0,005 dB	Anschlüsse beachten

Hier 10 dB bis 10 GHz

Rückführung elektrische Messgrößen

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Netzwerkanalysator GEBRAUCHSNORMAL (2)	Kalibrierraum	Direkte Dämpfungs- kalibrierung	0,03 dB plus 0,01 dB	Netzwerkanalysator Spezifikation 1 Jahr
Messung an Dämpfungsglied	Prüffeld	Direkte Dämpfungsmessung	0,04 dB	Messverfahren vor Ort Messunsicherheit gilt für ein Jahr

Bei den Messunsicherheiten bei Dämpfungsmessungen sind die Reflexionswerte der Dämpfungsnormale zu beachten

Die Messunsicherheiten sind an einem fiktiven Beispiel abgeschätzt, entsprechen aber etwa der Realität.

Rückführungskette HF-Reflexion

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Reflexionsmessplatz Reflexionsnormal Nationales Normal	PTB Braunschweig	VNA plus Luftleitung	0,001	Reflektometer bzw. VSWR-Brücke auch möglich
Netzwerkanalysator	PTB Braunschweig	Substitutions- messung	0,002	Reflexionsnormal
Reflexionsnormal	DAkKS Labor	Substitution mit Netzwerkanalysator	0,003	Bereithaltung und Weitergabe
Reflexionsnormal BEZUGSNORMAL	DAkKS Labor		0,003 plus Alterung 0,001	Bereithaltung im Labor (4 Jahre)
Reflexionsnormal GEBRAUCHSNORMAL (1)	DAkKS Labor	Substitution mit Netzwerkanalysator oder Messung mit Reflektometerplatz	0,004 plus Messung 0,001	Anschlüsse beachten

Reflexionsfaktorbetrag $r=1,000$ = volle Reflexion

Coax ; < 10 GHz

Rückführung elektrische Messgrößen

Prüfling / Normal	Ort	Messverfahren	Messunsicherheit	Bemerkung
Netzwerkanalysator GEBRAUCHSNORMAL (2)	Kalibrierraum	Direkte Reflexions- kalibrierung	0,005 plus 0,004	Netzwerkanalysator Spezifikation 1 Jahr
Messung an Reflexionsnormal	Prüffeld	Direkte Reflexionsmessung	0,009	Messverfahren vor Ort Messunsicherheit gilt für ein Jahr

VNA = Vektorieller Netzwerkanalysator

Die Messunsicherheiten sind an einem fiktiven Beispiel abgeschätzt, entsprechen aber etwa der Realität.