

Messunsicherheit bei der Kalibrierung von Kalibratoren

Multifunktionskalibratoren
(VDI/VDE/DGQ/DKD 2622 Blatt 22.1)

Der Kalibrierschein

- „zu verkaufendes Produkt“
- Dokumentation der durchgeführten Messung
 - korrekte Interpretation der Messergebnisse

Der Kalibrierschein

Messbereich <i>Range</i>	Eingestellter Wert <i>Nom. value</i>	Messbedingung <i>Modifier</i>	Messwert <i>Measured value</i>	Messunsicherheit <i>Meas. uncertainty</i>
2,2 A	2 A	20 Hz	2,000251 A	$25 \cdot 10^{-6}$
2,2 A	2 A	40 Hz	2,000129 A	$25 \cdot 10^{-6}$
2,2 A	2 A	500 Hz	2,000071 A	$18 \cdot 10^{-6}$
2,2 A	2 A	1 kHz	2,000058 A	$18 \cdot 10^{-6}$
2,2 A	2 A	5 kHz	1,999255 A	$30 \cdot 10^{-6}$
2,2 A	2 A	10 kHz	1,997678 A	$30 \cdot 10^{-6}$

- **Messunsicherheit / *Measurement uncertainty***

Angegeben ist die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ ergibt. Sie wurde gemäß DAkkS-DKD-3 ermittelt. Der Wert der Messgröße liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% im zugeordneten Werteintervall.

The uncertainties shown are the expanded uncertainties, which are calculated from the standard uncertainties multiplied by a coverage factor of $k = 2$. They were calculated in accordance to DAkkS-DKD-3 and EA 4/02. The results of the calibration are within a confidence level of 95%.

Der Kalibrierschein

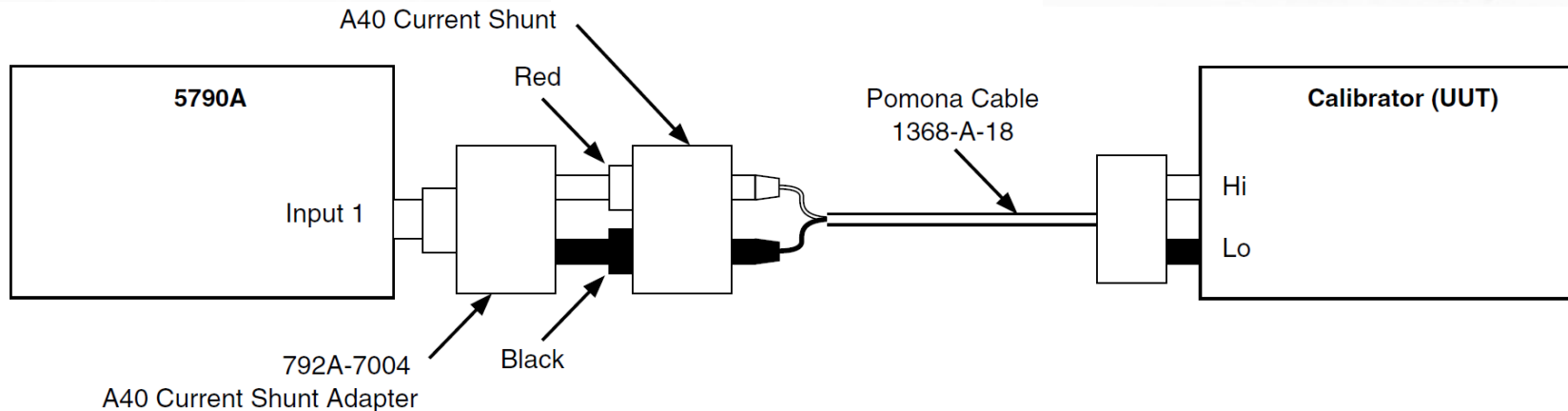
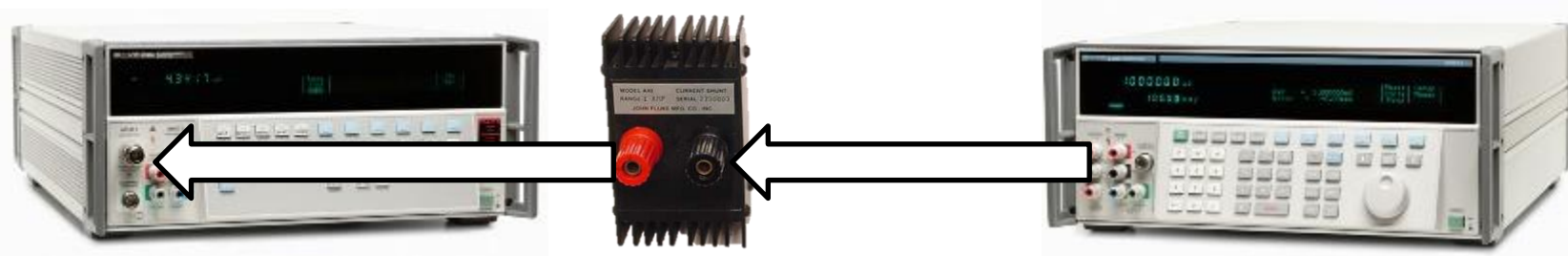
- „zu verkaufendes Produkt“
- Dokumentation der durchgeführten Messung
 - korrekte Interpretation der Messergebnisse
- Statistische Aussage
 - Grundgesamtheit der Messung
 - Grundgesamtheit im Kalibrierschein benennen
 - „Gute Laborpraxis“

2622 Blatt 22.1: Wechselstromstärke

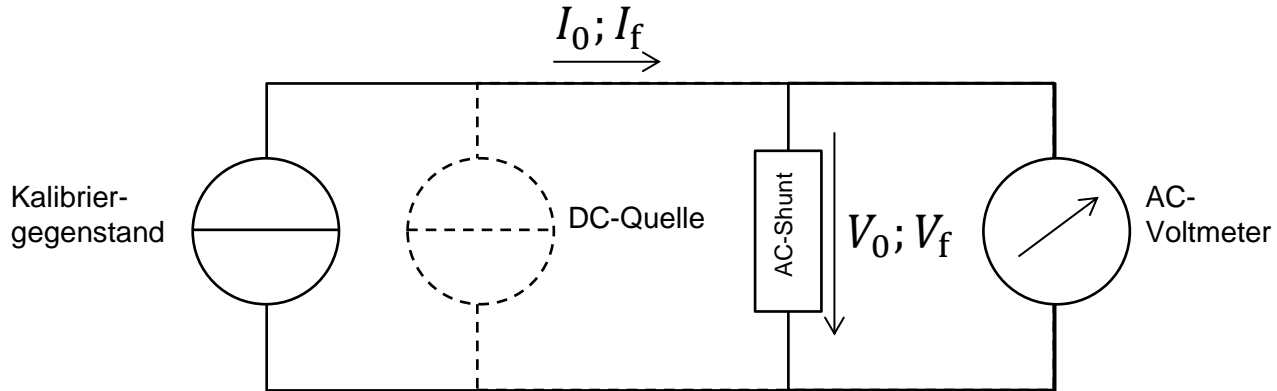
Angebotene Verfahren

- Direktmessung
 - schnell
 - relativ hohe Messunsicherheiten
- AC-DC-Stromstärketransfer
 - Differenzen genauer messbar als Absolutwerte
 - Verfahren aufwendiger

Fluke 5700A, 2,2 A Bereich



AC-DC-Stromstärketransfer



$$\Delta I_f = \frac{V_f - V_0}{V_0}$$

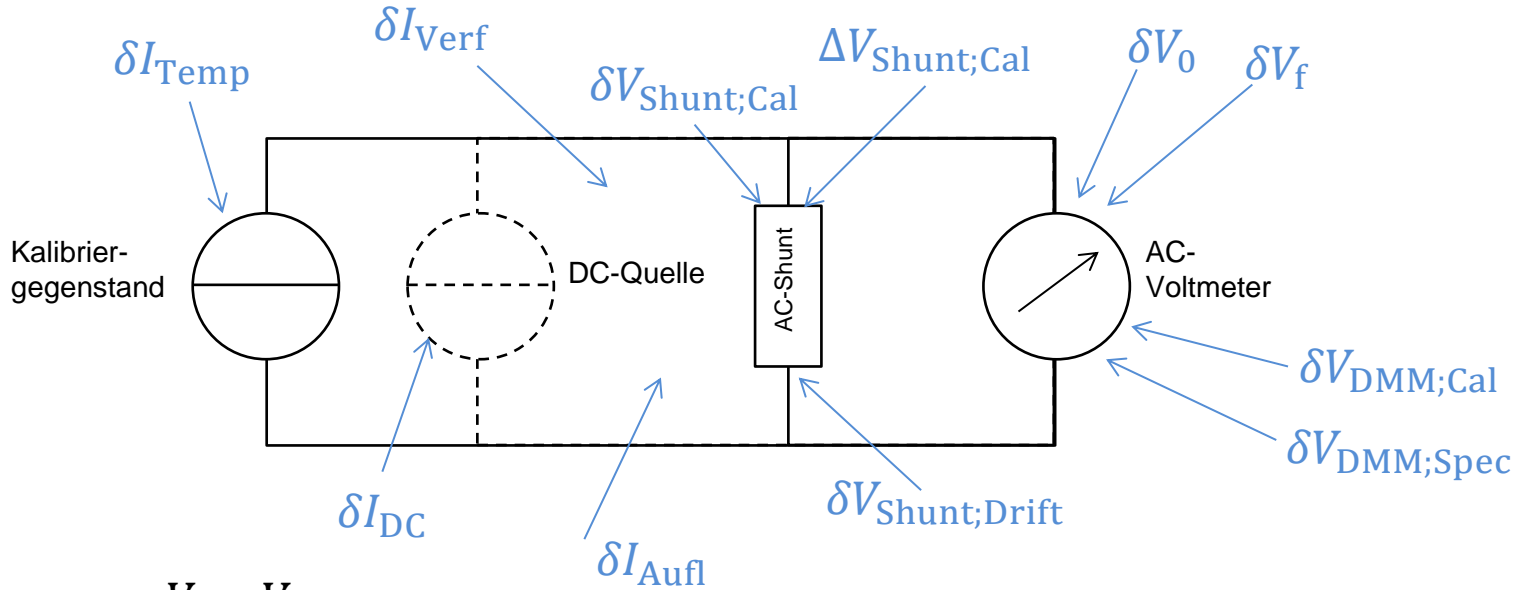
$$I_{AC} = I_{DC} \cdot (1 + \Delta I_f)$$

Unsicherheitsbeiträge

δV_0	Kurzzeitstabilität und Streuung der gemessenen Gleichspannung
δV_f	Kurzzeitstabilität und Streuung der Wechsellspannung bei der Frequenz f
δI_{DC}	Unsicherheitsbeitrag der bekannten Gleichstromstärke I_{DC}
$\delta V_{DMM;Cal}$	Unsicherheitsbeitrag aufgrund der Kalibrierung der Transferdifferenz des verwendeten AC-Spannungsmessgerätes
$\delta V_{DMM;Spec}$	Unsicherheitsbeitrag aufgrund der spezifizierten der Transferdifferenz des AC-Spannungsmessgerätes
$\Delta V_{Shunt;Cal}$	Korrekturwert aufgrund der durch Kalibrierung bekannten Transferdifferenz des verwendeten AC-Shunts
$\delta V_{Shunt;Cal}$	Unsicherheitsbeitrag aufgrund der Kalibrierung des verwendeten AC-Shunts
$\delta V_{Shunt;Drift}$	Unsicherheitsbeitrag aufgrund der unbekannt Drift seit der letzten Kalibrierung des AC-Shunts
δI_{Aufl}	Unsicherheit aufgrund der begrenzten Auflösung der Messung
δI_{Temp}	Unsicherheit aufgrund von Temperatureinflüssen bzw. Einflussfaktoren durch Umgebungsbedingungen
δI_{Verf}	Unsicherheit aufgrund Verfahrensbedingter Einflussfaktoren

AC-DC-Stromstärketransfer

www.1ACal.de



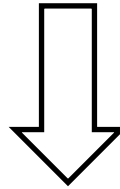
$$\Delta I_f = \frac{V_f - V_0}{V_0}$$

$$I_{AC} = I_{DC} \cdot (1 + \Delta I_f)$$

www.1ACal.de

Modellgleichung

$$I_{AC} = I_{DC} \cdot (1 + \Delta I_f)$$



$$I_{AC} = (I_{DC} + \delta I_{DC}) \cdot \left(1 + \frac{V_f + \delta V_f - (V_0 + \delta V_0)}{(V_0 + \delta V_0)} + \delta V_{DMM;Cal} + \delta V_{DMM;Spec} + \Delta V_{Shunt;Cal} + \delta V_{Shunt;Cal} + \delta V_{Shunt;Drift} \right) + \delta I_{Auf1} + \delta I_{Temp} + \delta I_{Verf}$$

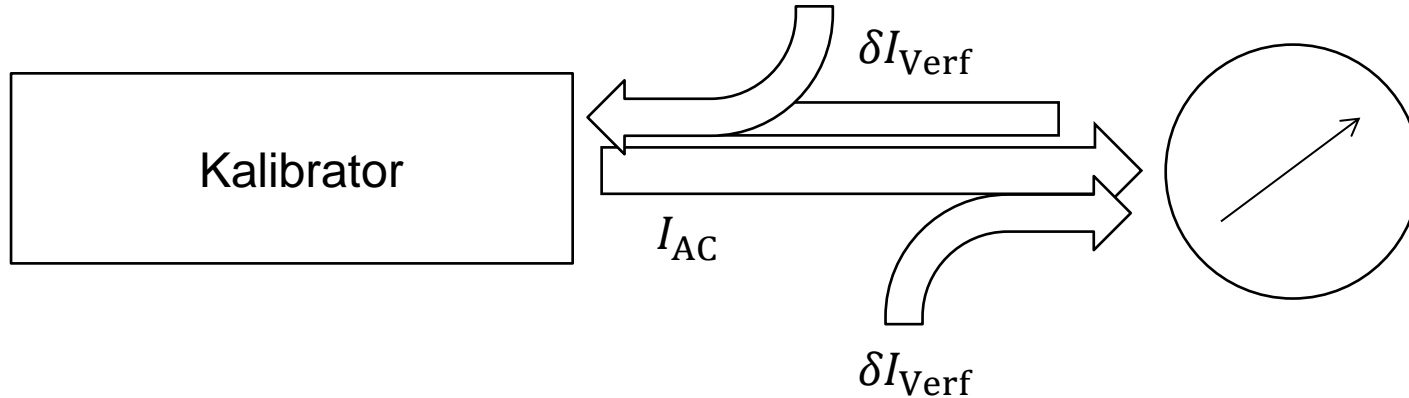
Unsicherheitsbeiträge

Größe X_i	Schätzwert x_i	Standard- Messunsicherheit $u(x_i)$	Verteilung	Sensitivitäts- Koeffizient c_i	Unsicherheitsbeitrag $u_i(y)$
I_{AC}	I_{AC}				
V_0	V_0	$U(\delta V_0) / \sqrt{n}$	Normal	$-I_{DC} \cdot (V_f / V_0^2)$	$u(\delta V_0) \cdot c_{V,0}$
V_f	V_f	$U(\delta V_f) / \sqrt{n}$	Normal	I_{DC} / V_0	$u(\delta V_f) \cdot c_{V,f}$
I_{DC}	I_{DC}	$U(\delta I_{DC}) / 2$	Normal	V_f / V_0	$u(\delta I_{DC}) \cdot c_{I,DC}$
$\delta V_{DMM;Cal}$	0	$U(\delta V_{DMM;Cal}) / 2$	Normal	I_{DC}	$u(\delta V_{DMM;Cal}) \cdot c_{DMM;Cal}$
$\delta V_{DMM;Spec}$	0	$U(\delta V_{DMM;Spec}) / 2,58$	Normal	I_{DC}	$u(\delta V_{DMM;Spec}) \cdot c_{DMM;Spec}$
$\Delta I_{Shunt;Cal}$	$\Delta I_{Shunt;Cal}$	$U(\delta I_{Shunt;Cal}) / 2$	Normal	I_{DC}	$u(\delta I_{Shunt;Cal}) \cdot c_{Shunt;Cal}$
$\delta I_{Shunt;Drift}$	0	$U(\delta I_{Shunt;Drift}) / \sqrt{3}$	Rechteck	I_{DC}	$u(\delta I_{Shunt;Drift}) \cdot c_{Shunt;Drift}$
δI_{Aufl}	0	$U(\delta I_{Aufl}) / \sqrt{3}$	Rechteck	1	$u(\delta I_{Aufl}) \cdot c_{Aufl}$
δI_{Temp}	0	$U(\delta I_{Temp}) / \sqrt{3}$	Rechteck	1	$u(\delta I_{Temp}) \cdot c_{Temp}$
δI_{Verf}	0	$U(\delta I_{Verf}) / \sqrt{3}$	Rechteck	1	$u(\delta I_{Verf}) \cdot c_{Verf}$
I_{AC}	y				$u(y)$

Vergleich: Direktverfahren

δ	Kurzzeitstabilität und Streuung der gemessenen Gleichspannung
δV_f	Kurzzeitstabilität und Streuung der Wechsellspannung bei der Frequenz f
δI_{DC}	Unsicherheitsbeitrag der bekannten Gleichstromstärke I_{DC}
$\delta V_{DMM;Cal}$	Unsicherheitsbeitrag aufgrund der Kalibrierung der Transferdifferenz des verwendeten AC-Spannungsmessgerätes
$\delta V_{DMM;Spec}$	Unsicherheitsbeitrag aufgrund der spezifizierten der Transferdifferenz des AC-Spannungsmessgerätes
$\Delta V_{Shunt;Cal}$	Korrekturwert aufgrund der durch Kalibrierung bekannten Transferdifferenz des verwendeten AC-Shunts
$\delta V_{Shunt;Cal}$	Unsicherheitsbeitrag aufgrund der Kalibrierung des verwendeten AC-Shunts
$\delta V_{Shunt;Drift}$	Unsicherheitsbeitrag aufgrund der unbekannt Drift seit der letzten Kalibrierung des AC-Shunts
δI_{Aufl}	Unsicherheit aufgrund der begrenzten Auflösung der Messung
δI_{Temp}	Unsicherheit aufgrund von Temperatureinflüssen bzw. Einflussfaktoren durch Umgebungsbedingungen
δI_{Verf}	Unsicherheit aufgrund Verfahrensbedingter Einflussfaktoren

Der Beitrag δI_{Verf}



Fluke 5700A: Secondary Specifications

Range	Frequency (Hz)	Stability ± 1 °C [1] 24 Hours	Temperature Coefficient [2]		Compliance Limits (V rms)	Maximum Resistive Load For Full Accuracy [3] (Ω)	Noise and Distortion (Bandwidth 10 Hz - 50 kHz <0.5V Burden) ± (% output + μA)
			10 - 40 °C	0 - 10 °C and 40 - 50 °C			
			± (ppm output + nA)/°C				
220 mA	10 - 20	150 + 1		50 + 0.05	7	15	0.05 + 10
	20 - 40	80 + 0.5		20 + 0.05			0.05 + 10
	40 - 1 k	30 + 0.3		10 + 0.1			0.05 + 10
	1 k - 5 k	50 + 3		20 + 2			0.25 + 50
	5 k - 10 k	400 + 5		50 + 5			0.5 + 100
2.2 A	20 - 1 k	50 + 5		10 + 1	1.4 [4]	0.5	0.5 + 100
	1 k - 5 k	80 + 20		20 + 5			0.3 + 500
	5 k - 10 k	800 + 50		50 + 10			0.1 + 1 mA

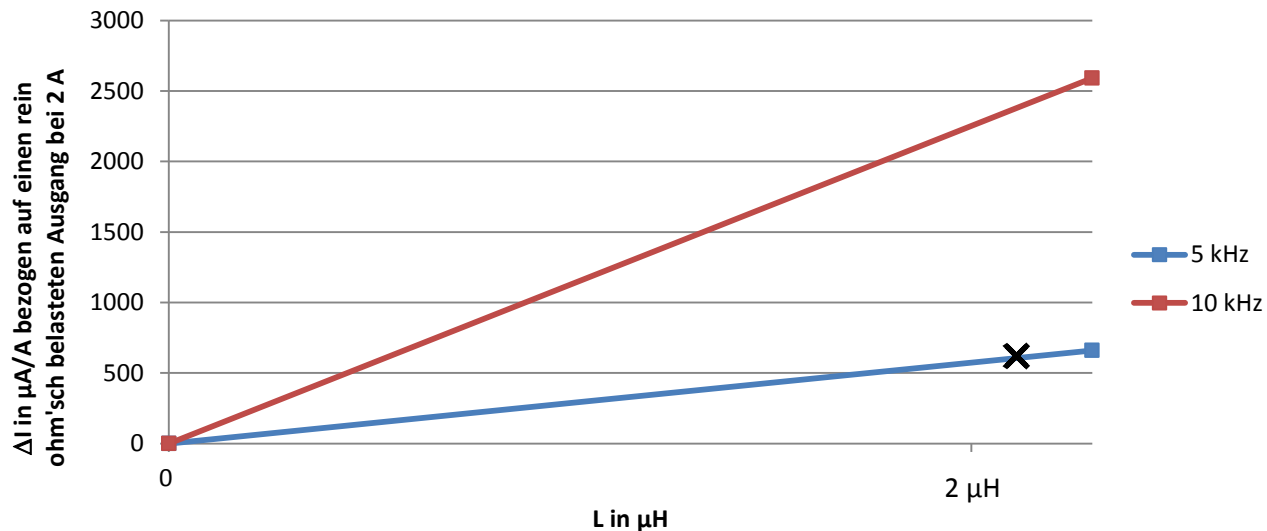
$$Tol_{act} = Tol_{1A,5kHz} \cdot \left(\frac{0,8 \Omega}{0,5 \Omega} \right)^2 = 830 \mu A \cdot 2,56 = 2,125 \text{ mA}$$

Fluke 5700A: Secondary Specifications

Range	Frequency (Hz)	Stability ± 1 °C ^[1] 24 Hours	Temperature Coefficient ^[2]		Compliance Limits (V rms)	Maximum Resistive Load For Full Accuracy ^[3] (Ω)	Noise and Distortion (Bandwidth 10 Hz - 50 kHz <0.5V Burden)
			10 - 40 °C	0 - 10 °C and 40 - 50 °C			
			\pm (ppm output + nA)/°C				\pm (% output + μ A)
220 mA	10 - 20	150 + 0.5	50 + 0.05	50 + 0.05	7	15	0.05 + 10
	20 - 40	80 + 0.5	20 + 0.05	20 + 0.05			0.05 + 10
	40 - 1 k	30 + 0.3	4 + 0.1	10 + 0.1			0.05 + 10
	1 k - 5 k	50 + 3	10 + 2	20 + 2			0.25 + 50
	5 k - 10 k	400 + 5	50 + 5	50 + 5			00.5 + 100
2.2 A	20 - 1 k	50 + 5	4 + 1	10 + 1	1.4 ^[4]	0.5	0.5 + 100
	1 k - 5 k	80 + 20	10 + 5	20 + 5			0.3 + 500
	5 k - 10 k	800 + 50	50 + 10	50 + 10			0.1 + 1 mA

Inductive Load Limits.....400 μ H (5700A/5720A, or 5725A). 20 μ H for 5700A/5720A output >1 A.

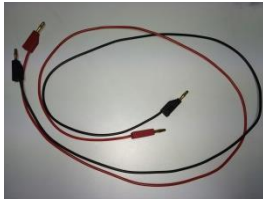
Sensitivität der induktiven Belastung



Größe der induktiven Belastung



ca. 350 nH bis 500 nH

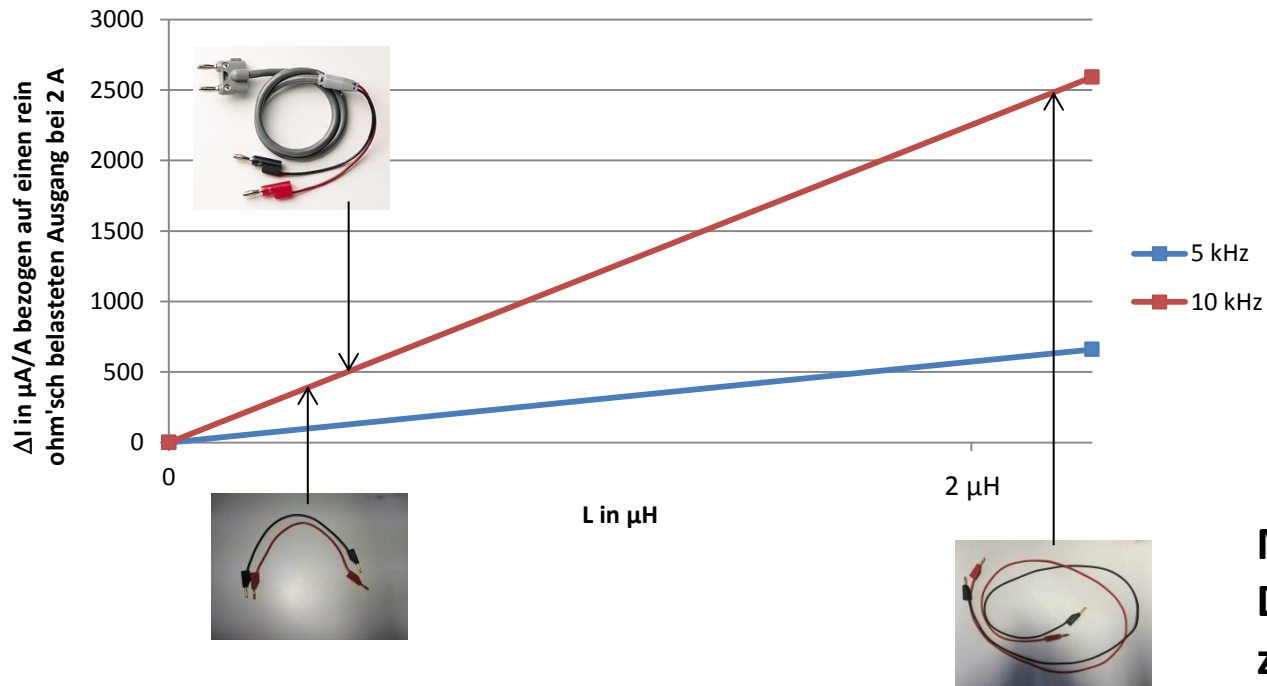


ca. 1,1 μ H bis 2,2 μ H



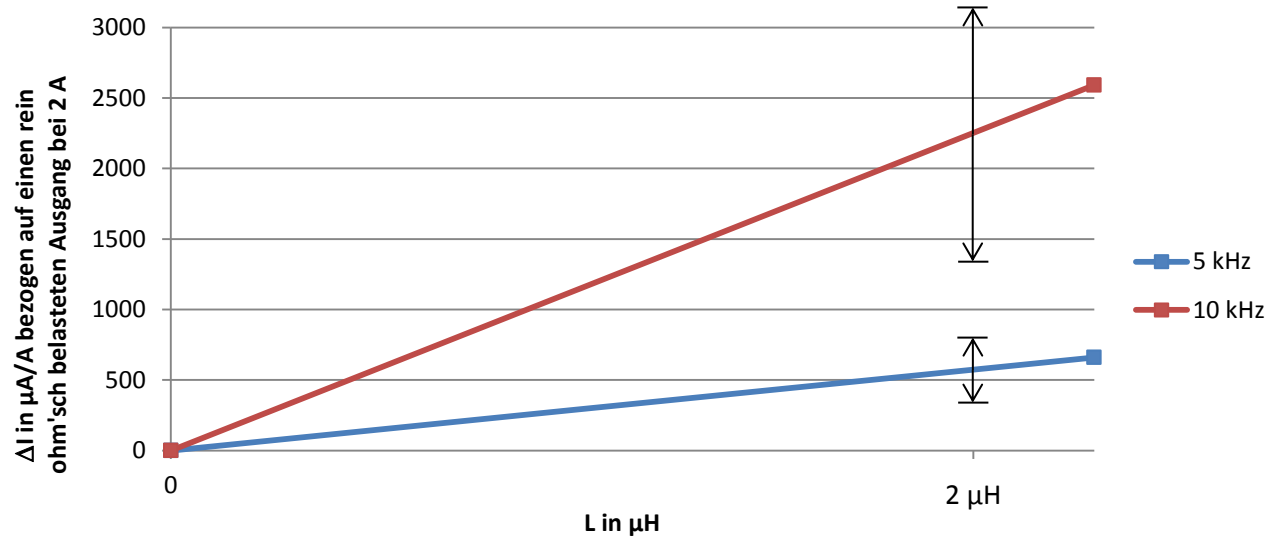
ca. 450 nH (Empfohlene Messleitung lt. Servicemanual)

Sensitivität der induktiven Belastung

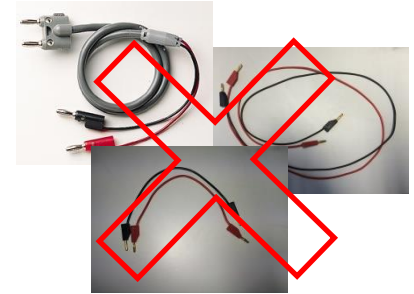
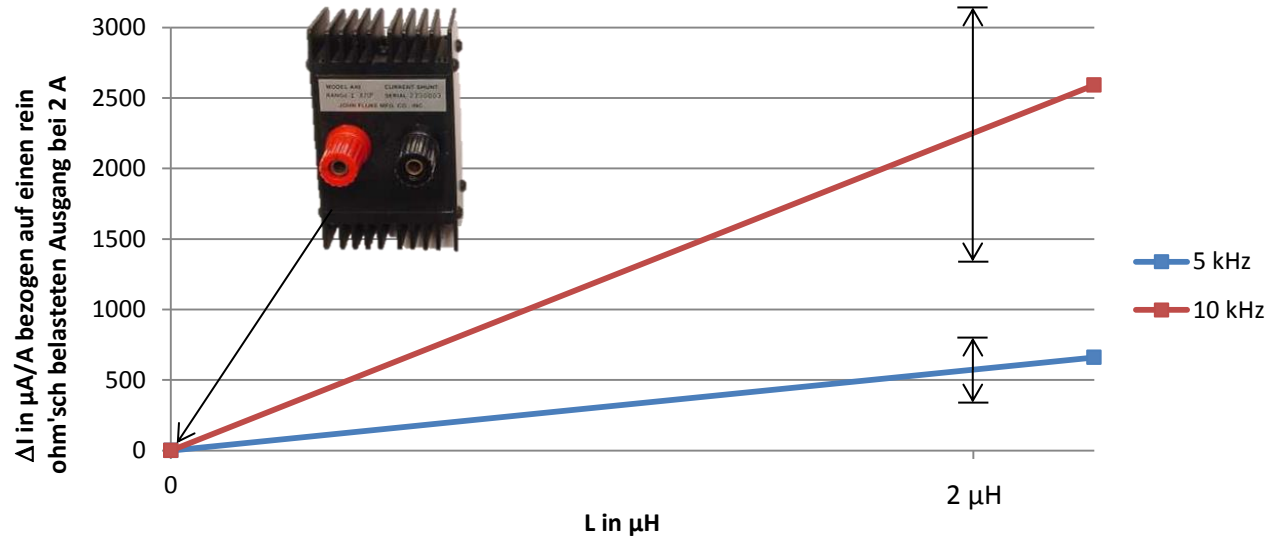


**Messwertaufnehmer:
Direktverfahren
zzgl. 500 nH bis 5 μH**

Effekt beim Substitutionsverfahren



Beim AC-DC Verfahren?



Einschränkung der Grundgesamtheit

- **Messbedingungen / *Measurement conditions***

Wechselstromstärke:

Die Kalibrierung der Messgröße Wechselstromstärke wurde bei einer Ausgangsspannung von $< 0,5 \text{ V}$ bei rein ohmscher Last durchgeführt. Die Ausgangsstromstärke des Kalibrators kann bei höherer Ausgangsspannung und bei induktiver Last erheblich von der kalibrierten abweichen. Der Anwender sollte den Eingangswiderstand und die Eingangsinduktivität des zu kalibrierenden Messgerätes kennen.

AC current:

The calibration of AC current was done with a compliance voltage of $< 0,5 \text{ V}$ using a resistive load. The AC current at higher compliance voltages and/or an inductive load may extremely differ from the calibrated values. The user should know the compliance or inductance applied to the calibrator.

Beispielrechnung: 2 A, 5 kHz

Größe X_i	Schätzwert x_i	Standard- Messunsicherheit $u(x_i)$	Verteilung	Sensitivitäts- Koeffizient c_i	Unsicherheitsbeitrag $u_i(y)$
I_{AC}	I_{AC}				
V_0	0,45 V	900 nV	Normal	-4,44 A/V	-40 nA
V_f	0,44999 V	900 nV	Normal	4,44 A/V	40 nA
I_{DC}	2 A	5 μ A	Normal	1	5 μ A
$\delta V_{DMM;Cal}$	0	$2 \cdot 10^{-6}$	Normal	2 A	4 μ A
$\delta V_{DMM;Spec}$	0	$10 \cdot 10^{-6}$	Normal	2 A	20 μ A
$\Delta I_{Shunt;Cal}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$	Normal	2 A	18 μ A
$\delta I_{Shunt;Drift}$	0	$12 \cdot 10^{-6}$	Rechteck	2 A	24 μ A
δI_{AufI}	0	290 nA	Rechteck	1	290 nA
δI_{Temp}	0	1,7 μ A	Rechteck	1	1,7 μ A
δI_{Verf}	0	11,5 μ A	Rechteck	1	11,5 μ A
I_{AC}	1,999966 A				38 μ A

Damit ist das Messergebnis mit $k = 2$: $I_{AC} = 1,999966 \text{ A} \pm 76 \mu\text{A}$