

VI Strommessung mit einem Shunt-Widerstand

Vla) Stromstärkemessung ≤ 20 A

Vla.1 Messung des Spannungsabfalls

Ströme können über den Spannungsabfall am Widerstandsnormal Burster 1282-0,1 gemessen werden. Zu diesem Zweck sind Widerstand und Multimeter für Ströme bis 10A gemeinsam kalibriert. Der zu kalibrierende Strom wird vom Kalibriergegenstand abgegeben.

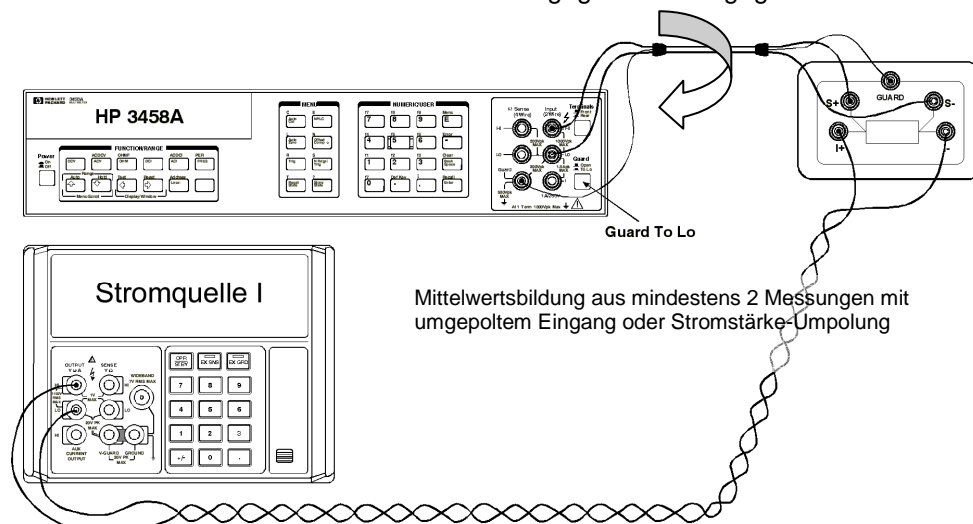


Bild VI.1 Kalibrierung von Stromquellen durch Spannungsmessung an Messshunt Burster 1282-0,1

Um die Messunsicherheiten möglichst niedrig zu halten werden für den Anschluss des Kalibriergegenstandes Spezialleitungen von Fluke verwendet (geschirmte Leitung, Spezialstecker mit geringer Thermospannung). Wenn vorhanden werden die Guard- bzw. Shield-Anschlüsse mit dem Multimeter verbunden, die Verbindung von Guard zur Erde erfolgt nur am Multimeter. Mögliche Offset-Effekte werden durch ein **Umpolen des Spannungseingangs** am Multimeter oder Umpolen der Messstromstärke und Mittelwertbildung aus **mindestens zwei Messungen** verringert. Im AC Bereich muss an von der Kalibrierung des Shunts abweichenden Frequenzpunkten der interpolierte Frequenzgang durch Messung des Spannungsabfalls bei 1 A, 1kHz (Fluke 5700A), verifiziert und ggf. weiter korrigiert werden.

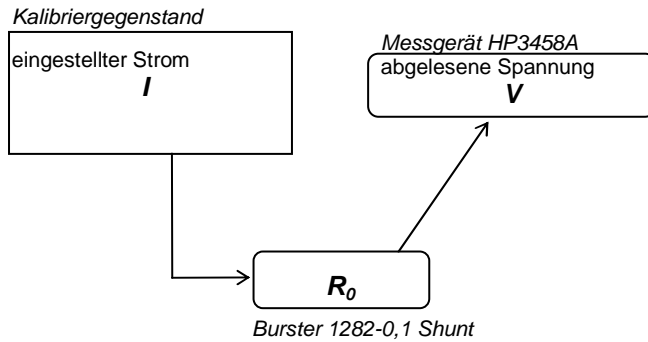
Abweichungen von diesem Anschluss sind nur dann zulässig, wenn der Hersteller des Kalibriergegenstandes andere Messaufbauten vorschlägt. In jedem Fall wird im Kalibrierschein notiert, wie der Kalibriergegenstand am Normal angeschlossen wurde.

Auf die gleiche Weise können Messströme mit dem Kalibrator Fluke 5500 (bis 11A), Fluke 6100A (bis 80 A) bzw. dem Stromverstärker Fluke 5220A erzeugt einkalibriert werden. Letzterer erzeugt proportional zur Eingangsspannung Strom bis 20 A

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: PF am: 08.01.2009	von: PF am: 08.01.2009	VI - Strommessung mit Shunt	1 von 5

Vla.2 Messunsicherheitsbudget

Skizze des Messverfahrens:



Vorgegebene bzw. abgelesene Größen:

- V abgelesener Messwert bei Spannungsmessung
- I eingestellte Stromstärke am Kalibriergegenstand
- R_0 bekannter Wert des Shunt-Widerstands (aufgrund seiner Kalibrierung)

Gesuchte Größe:

- ΔI Abweichung des am Kalibriergegenstandes eingestellten vom richtigen Stromstärke-Wert

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind der Tabelle

- „Messunsicherheiten Tabelle VI Strom über Shunt.XLS“ zu entnehmen, die Ergebnisse sind im Leistungsnachweis aufgeführt.

Ausgabe: 5.5.11	erstellt von: PF am: 08.01.2009	geprüft/genehmigt von: PF am: 08.01.2009	Kapitel VI - Strommessung mit Shunt	Seite 2 von 5
---------------------------	--	---	---	-------------------------

Vlb Gleichstrommessung > 20A

Vlb.1 Messung des Spannungsabfalls

Große Ströme über 10A können über den Spannungsabfall am Hochlastwiderstand Schwille 200A/200mV gemessen werden. Um zeitliche Drifts des Kalibrierwiderstandes auszuschließen muss der Stromshunt direkt vor der Messung bei 10A einkalibriert werden (siehe Kapitel VII Widerstandsmessung).

Der zu kalibrierende Strom wird vom Kalibriergegenstand abgegeben.

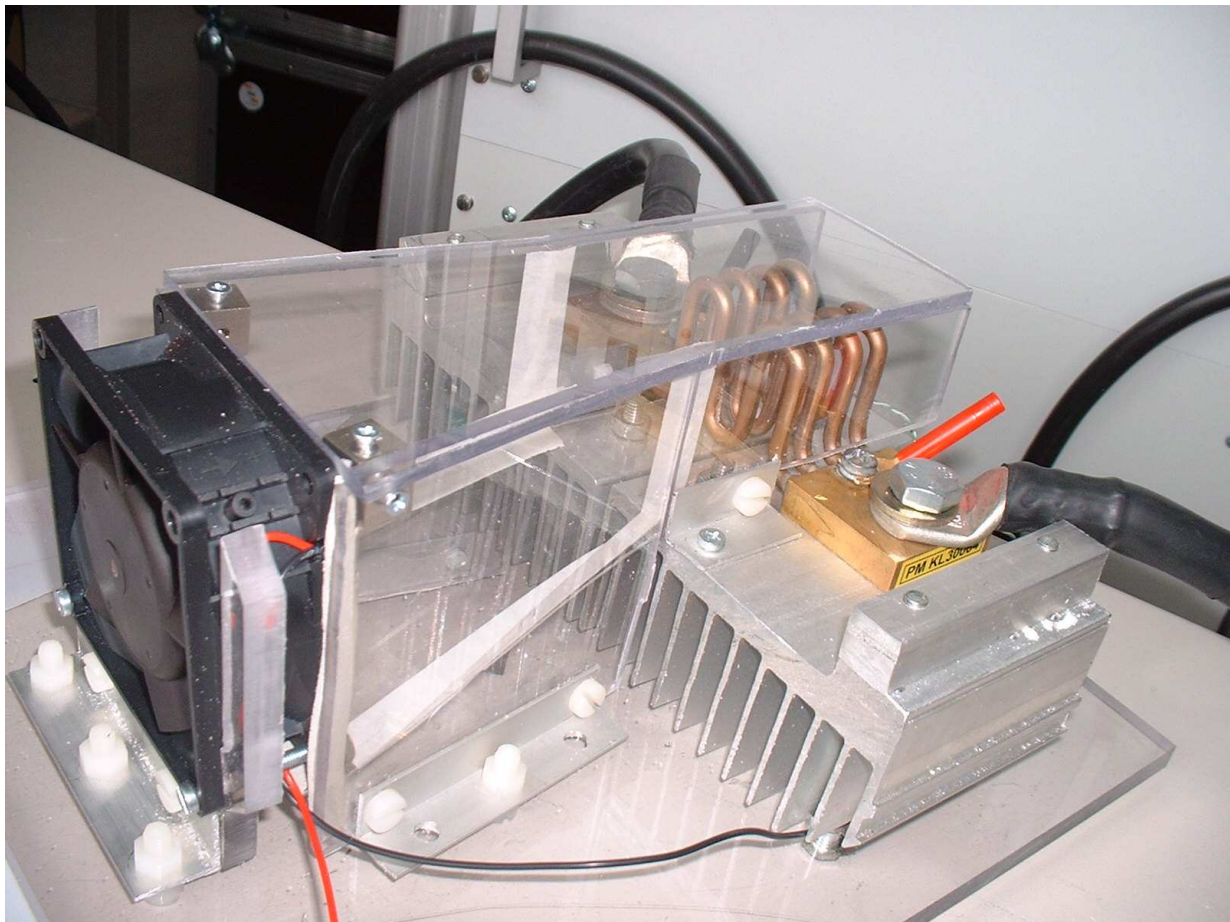


Bild VI.2 Kalibrierung von Stromquellen durch Spannungsmessung an Messshunt Schwille 200A/200mV

Um die Messunsicherheiten möglichst niedrig zu halten werden für den Abgriff des Spannungsabfalls Spezialleitungen von Fluke verwendet („Low EMF“-geschirmte Leitung oder Kabel mit vergoldeten Anschlüssen, Spezialstecker mit geringer Thermospannung).

Die Luftkühlung, die eigens zur Starkstrommessung entwickelt wurde, muss benutzt werden um die Erwärmung des Shunts und dadurch resultierende Messunsicherheiten gering zu halten (siehe Bild VI.2).

Vlb.2 Voruntersuchungen zur Starkstrommessung

Im Blickpunkt der Untersuchung stand die Widerstandsabhängigkeit bei Erwärmung, der Bau einer Kühlung, sowie die Bestimmung der Messunsicherheitsanteile bei Strommessung.

Vlb.2.1 Bestimmung des Temperaturkoeffizienten

Um die Temperaturabhängigkeit festzustellen, wurde der Shunt im Thermostatsbad des Temperaturlabors untersucht. Dadurch konnte eine (gleichmäßige) Erwärmung des Shunts simuliert werden. Bei unterschiedlichen Temperaturen wurde dann Spannungsabfall bei konstantem Strom gemessen und der theoretische Widerstand bestimmt. Aus der Widerstandsdifferenz konnten dann

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: PF am: 08.01.2009	von: PF am: 08.01.2009	VI - Strommessung mit Shunt	3 von 5

unter der Annahme dass die Widerstandsänderung eine affine Funktion darstellt, der Temperaturkoeffizient ermittelt werden.

Hierbei gilt in guter Näherung folgende Formel:

$$R_{(T)} = R_{(T_0)} (1 + \alpha(T - T_0)) \text{ mit}$$

$R_{(T)}$ Widerstand bei Temperatur T
 $R_{(T_0)}$ Anfangswiderstand bei Temperatur T_0
 T, T_0 Anfangstemperatur und Messtemperatur im Wasserbad

Daraus folgt für den Temperaturkoeffizienten α :

$$\alpha = \frac{\Delta R}{\Delta T \cdot R_{(T_0)}}$$

Die Messung erfolgte unter konstanten Umgebungsbedingungen an Stromquelle Fluke 5500A und Voltmeter Hewlett Packard 3458A (Tabelle Vlb.1)

Messstrom (A)	Temperatur (°C)	Spannungsabfall (mV)
10	25	10,0045
10	70	10,0015
Abweichung %		0,03 %
Temperaturkoeffizient		ca. 9 ppm / °C

Tabelle Vlb.1 Temperatureinfluss bei konstantem Stromfluss im Wasserbad

Aus diesen Ergebnissen und den Werten von Vergleichsmessungen wird der Temperaturkoeffizient zu maximal 9 ppm / °C als Grenze einer Rechteckverteilung um abgeschätzt.

Vlb.2.2 Lösung zur Kühlung des Shunts

Der Shunt ist auf zwei Kühlkörpern befestigt. Zusätzlich wird der Widerstand von einem Ventilator luftgekühlt. Ein Luftkanal aus Plexiglas mit einem Papst Kühler (80 cm · 80 cm / 24 V / 6 W / 80 cbm) sorgt für den nötigen Volumenstrom.

Bestimmung der Kühlleistung und Endtemperatur

Um die Messunsicherheiten zu verringern, wurde eine Luftkühlung gewählt, um die Erwärmung des Shunts einzuschränken. Für die Bestimmung der maximal möglichen Widerstandsänderung bei konstantem Stromfluss wurde die maximal erreichbare Temperatur ermittelt, die sich bei permanenter Belastung einstellt (ungepulster Betrieb, s. Tabelle Vlb.2). Die Temperaturbestimmung ermöglicht ein Typ K Temperaturfühler, der wärmeleitend an der vorraussichtlich wärmsten Stelle des Shunts angebracht wurde.

Anfangstemperatur 21,8 °C
 Temperaturkoeffizient 9 ppm / °C
 Spannung Lüfter 24 V

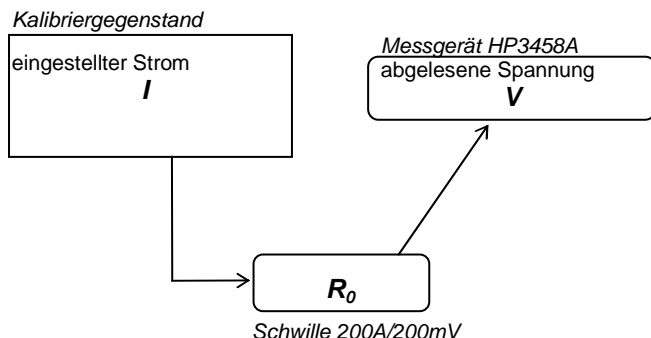
Stromstärke [A]	Endtemperatur [°C]	Temperaturdifferenz [°C]	thermischer Einfluss [%]	Stromabweichung [A]
20	22,3	0,5	0,000%	0,00009
30	22,7	0,8	0,001%	0,00022
50	24,0	2,2	0,002%	0,00099
80	27,0	5,2	0,005%	0,00374
100	30,1	8,3	0,007%	0,00747
150	40,2	18,4	0,017%	0,02484
180	48,2	26,4	0,024%	0,04277
200	54,2	32,4	0,029%	0,05832

Tabelle Vlb.2 Temperaturentwicklung in Shuntmitte bei Belastung bis 200A

Die maximale Temperaturdifferenz beträgt etwa 35°C. Bei sich ändernder Umgebungstemperatur (im Laborbetrieb nicht zu erwarten) ist mit Verringerung der Kühlleistung zu rechnen. In den Messunsicherheitsbetrachtungen werden deswegen die gemessenen Werte als Maximalgrenze einer U-Verteilung abgeschätzt.

Vlb.3 Messunsicherheitsbudget

Skizze des Messverfahrens:



Vorgegebene bzw. abgelesene Größen:

- V abgelesener Messwert bei Spannungsmessung
- I eingestellte Stromstärke am Kalibriergegenstand (Stromquelle)
- R₀ bekannter Wert des Shunt-Widerstands (aufgrund seiner Kalibrierung)

Gesuchte Größe:

- ΔI Abweichung der am Kalibriergegenstand eingestellten (Anzeige) von der richtigen Stromstärke

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind der Tabelle

- „Messunsicherheiten Tabelle Vlb Starkstrom.xls“

zu entnehmen, die Ergebnisse sind im Leistungsnachweis aufgeführt.

Vlb.4 Kalibrieren von Strommessgeräten

Für die Kalibrierung von Strommessgeräten kann bei Verwendung einer konstanten Gleichstromquelle (z.B. Heinzinger TNSUs 4-350 bis 350 A oder Fluke 6100 A bis 80 A) am gekühlten Starkstromshunt das Messunsicherheitsbudget aus Vlb.3 angewendet werden. Dabei wird angenommen, dass die Stromquelle hinreichend stabil ist und keinen signifikanten Einfluss auf die Messunsicherheit hat. Das Budget muss dann lediglich um einen Anteil der Auflösepräzision δ_{I_{ind}} des Kalibriergegenstandes erweitert werden. Für die gemessene Stromstärke an einem direkt ablesbaren Stromstärkemessgerät ergibt sich also

$$u^2(\Delta I_{Anz}) = u^2(\Delta I) + \frac{U^2(\delta I_{ind})}{\sqrt{3}} \quad \text{und} \quad U(\Delta I_{Anz}) = \frac{2u(\Delta I_{Anz})}{I_{Anz}}$$

mit U(δI_{ind}) = 1 Digit der Auflösung der Anzeige. Da dieser Anteil vom jeweiligen Messobjekt abhängt bleiben die kleinsten angebbaren Messunsicherheiten gegenüber der Kalibrierung von Stromquellen zunächst unverändert.

Vlb.5 Ergebnisse

Aus den Messunsicherheitstabellen ergeben sich für die verschiedenen Bereiche jeweils folgende maximale Messunsicherheiten:

Messgröße	Bereich	Bedingung	Messunsicherheit	Bemerkung
Gleichstromstärke Kalibrieren von Quellen und Messgeräten	20 A bis 100 A	über Shunt	1,8 · 10 ⁻⁴	
	>100 A bis 150 A		3,0 · 10 ⁻⁴	
	>150 A bis 200 A		4,5 · 10 ⁻⁴	