	<b>Kalibrieranweisung Stromquelle,</b> mit Betrachtung der Messunsicherheit	<b>WI B-7-0068</b> <b>Ä-Index -01-</b>
---	--	---

## 1. Inhalt und Geltungsbereich

### 1.1. Zweck und Ziel

Diese Work Instruction beschreibt die Vorgehensweise zur Kalibrierung von Stromquellen. Die Kalibrierung erfolgt, aufgrund fehlender VDI/VDE/DGQ/DKD Richtlinie, auf Basis der Herstellerangaben.

Die erweiterte Messunsicherheit  $U$  für den Kalibrierprozess, berechnet sich nach Richtlinie DKD-3-E2, Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen, in ihrer jeweils gültigen Revision.

### 1.2 Geltungsbereich

<input checked="" type="checkbox"/>	Phoenix Contact	<input type="checkbox"/>	Phoenix Contact Indien
<input type="checkbox"/>	Phoenix Contact Deutschland	<input type="checkbox"/>	Phoenix Contact USA
<input type="checkbox"/>	Phoenix Contact Electronics	<input type="checkbox"/>	Phoenix Testlab
<input type="checkbox"/>	Phoenix Feinbau	<input type="checkbox"/>	Coninvers
<input type="checkbox"/>	Phoenix Contact Wielkopolska	<input type="checkbox"/>	KW-Software
<input type="checkbox"/>	Phoenix Contact China	<input type="checkbox"/>	Sütron
<input type="checkbox"/>	Phoenix Contact Brasilien	<input type="checkbox"/>	Innominate Security Technologies

## 2. Vorbereiten von Kalibriereinrichtung und Kalibriergegenstand

Beschaffenheits-, Sicherheit- und Funktionsprüfung

- 2.1 Vor Beginn der Kalibrierung ist der Kalibrierstatus aller zur Durchführung der Kalibrierung benötigten Normale und Normalmesseinrichtungen zu prüfen. Gegebenenfalls sind sie zu kalibrieren und zu justieren.

Eine Sicherheitsüberprüfung nach BGV-A3 wird durchgeführt. Diese umfasst eine Sichtprüfung auf Beschädigung des Gehäuses und der Anschlussleitungen. Gemessen werden der Schutzleiter-, Isolationswiderstand und der Ableitstrom. Die Funktionsfähigkeit der Stromquelle wird geprüft.

Folgende vorbereitende Maßnahmen, Prüfungen und Tätigkeiten sind durchzuführen:

- Durch eine Sichtprüfung ist der allgemeine Zustand zu begutachten
- Alle relevanten Funktionen die zur Kalibrierung benötigt werden sind zu überprüfen
- Eine grobe Überprüfung des Ausgangsstroms und der Ausgangsspannung ist durchzuführen

- 2.2 Einstellung der Referenz- und Einsatzbedingungen

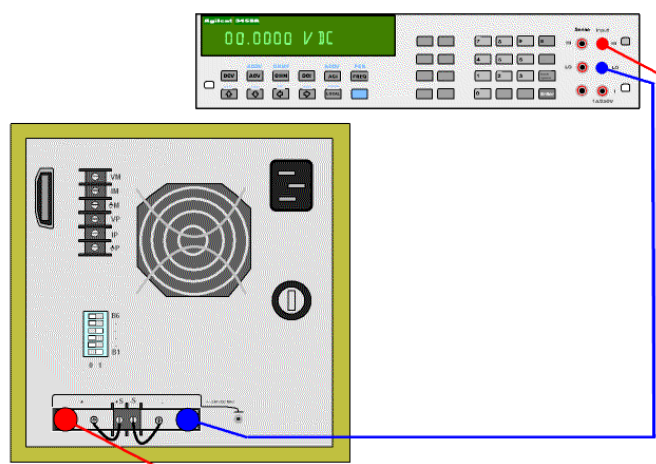
Die Kalibrierung erfolgt bei dem vom Hersteller vorgegebenen Referenzbedingungen.

In der Regel beträgt die Aufwärmzeit für Stromquellen mindestens 30 Minuten.

## 3. Kalibrierverfahren

- 3.1 Spannung

Die Spannung der Stromquelle wird direkt mit einen Agilent 3458A oder Keithley 2002 kalibriert. Als Messleitungen dienen Fluke 5520A-525A/LEADS. Bei vorhandenen Guard Anschluss an der Stromquelle wird dieser mit dem Guard Anschluss am Multimeter verbunden. Die Verbindung zur Erde erfolgt am Multimeter.



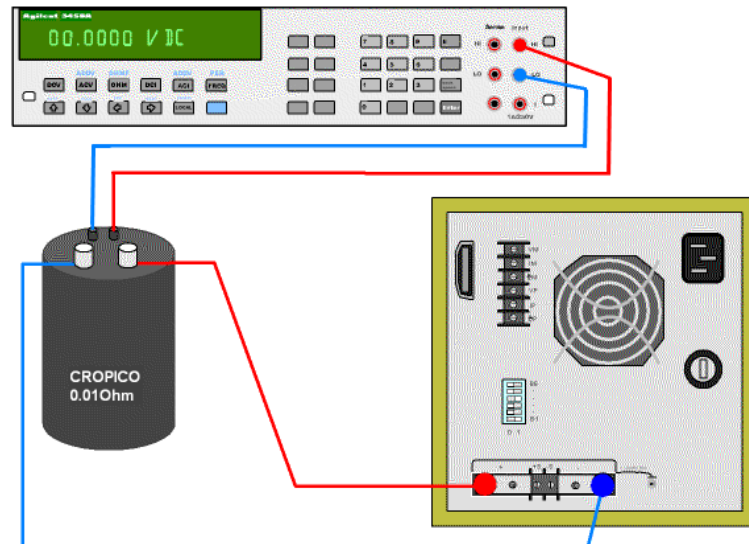
- 3.1.2 Strom

Die Stromquelle wird bei Strömen  $>1$  A über den Spannungsabfall an einen rückgeführten Widerstand oder Shunt, unter Verwendung eines Multimeters (Agilent 3458A oder Keithley 2002) kalibriert. Als Normale werden Festwiderstände, z.B. Burster 100kOhm, 0,01 Ohm, 0,001 Ohm, 0,0001 Ohm, verwendet.

Bei Strömen  $< 1A$  wird direkt am Stromeingang des Multimeters gemessen.

Als Messleitungen werden Fluke 5520A-525A/LEADS (High Current 30 A test lead) verwendet.

Bei vorhandenen Guard Anschluss an der Stromquelle wird dieser mit dem Guard Anschluss am Multimeter verbunden. Die Verbindung zur Erde erfolgt am Multimeter.



#### 4 Bewertung der Kalibrierung

##### 4.1 Auswertung der Messung

Aus den ermittelten Messwerten wird von der Auswertesoftware *Fluke Metcal* ein Kalibrierschein erstellt. Betriebsbedingungen und Messaufbau werden ebenfalls dokumentiert.

#### 5. Kennzeichnung des Prüfstatus

Nach erfolgreicher Kalibrierung wird der Prüfling mit einer Prüfplakette gekennzeichnet. Sie trägt den nächsten Prüfzeitpunkt.

#### 6. Messunsicherheitsbudget

Die erweiterte Messunsicherheit  $U$  für den Kalibrierprozess errechnet sich nach Richtlinie DKD-3 in ihrer jeweils gültigen Revision. Zur Ermittlung der Messunsicherheit bei der Kalibrierung einer Stromquelle, wurde beispielhaft an einem Agilent 6033A durchgeführt und erklärt sich wie folgt.

##### 6.1 Angaben zum Kalibriergegenstand

Stromquelle zur Erzeugung von DCV und DCI.

##### 6.2 Angaben zur Normalmesseinrichtung / Kalibriereinrichtung

Multimeter Agilent 3458A, für Messung von DCV, ACV, DCI, ACI und DC-Widerstand. Cropico Normalwiderstände, Typ 1220, für Strommessungen als feste Referenz.

##### 6.3 Messaufbau

Die Kalibrierung erfolgt bis 1A direkt am Stromeingang des Multimeters Agilent 3458A. Ströme  $> 1A$  werden über einen Normalwiderstand mittels Spannungsabfall mit einem Agilent 3458A gemessen (Bild 1). Spannungen werden direkt am Eingang des Agilent 3458A gemessen. (Bild 2)

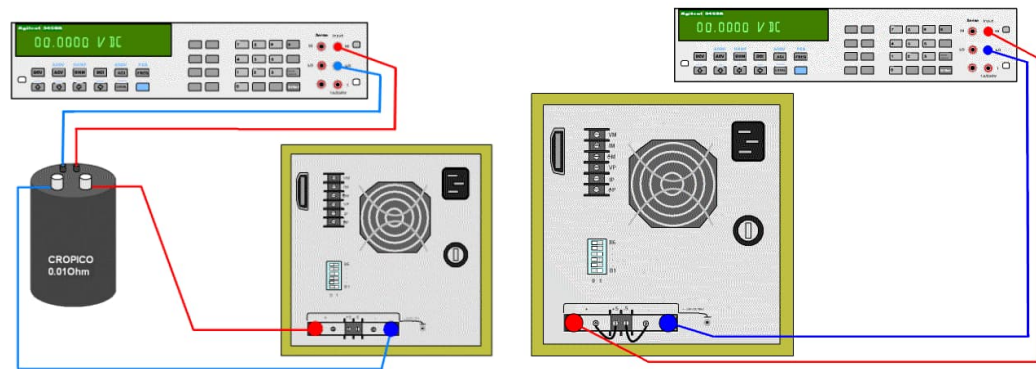


Bild 1

Bild 2

#### 6.4 Einflussgrößen DCI

##### 1. Einfluss des Normals

a) Unsicherheitsbeitrag des Normals

##### 2. Einfluss des Verfahrens

b) Ungeeignete Messleitungen

c) Kontaktwiderstand / Übergangswiderstand

d) Korrosion

e) Kabelbruch

##### 3. Einfluss des Kalibriergegenstandes

f) Leckstrom

g) Genauigkeit / Auflösung / Präzision

#### 6.5 Mathematisches Modell der Einflussgrößen

Mit den Einflussgrößen wird das mathematische Modell der Messunsicherheit aufgestellt.

$$u_{\text{gesamt}}(A) = \sqrt{u^2(A_{\text{CAL}}) + u^2(\delta A_{\text{Verfahren}}) + u^2(\delta A_{\text{ind}}) + u^2(A_{\text{ix}})}$$

#### Beispielrechnung für 10-A DC Current

#### 6.6 Beitrag für das Normal $U(V_{\text{CAL}})$

Der Messunsicherheitsbeitrag des Multimeters wird aus dem gültigen Kalibrierschein entnommen.

Bereich: 0-120mV

Measured Value:  $U(V_{\text{Soll}}) = 100000,04 \mu V$

$U(V_{\text{CAL1}}) = 0,25 \mu V$  mit  $k=2$

$U(V_{\text{CAL1}}) = 0,125 \mu V$

Für die Drift des Multimeters seit seiner letzten Kalibrierung werden die Angaben aus den Herstellerspezifikationen eingesetzt.

Einhrespezifikation, 99%Confidence Interval

Absolute Uncertainty,  $t_{\text{cal}} \pm 5^\circ C$

Bereich: -120 bis 120mV DC /  $\pm (5\text{ppm of Reading} + 3\text{ppm of Range})$

Bei 100mV DC ergibt sich hieraus:  $U(V_{CAL2}) = 0,86\mu V$

Der Messunsicherheitsbeitrag des Normalwiderstands wird aus dem gültigen Kalibrierschein entnommen.

Festwert:  $U(\Omega_{Festwert}) = 9999,57\mu\Omega$

$U(\Omega_{CAL1}) = 200n\Omega$  mit  $k=2$

$U(\Omega_{CAL1}) = 0,1\mu\Omega$

Für die Drift des Normalwiderstands seit seiner letzten Kalibrierung werden die Angaben aus den Herstellerspezifikationen eingesetzt.

Einjahrespezifikation,

Absolute Uncertainty,  $t_{cal} (23 \pm 0,5)^\circ C$  / Kalibrierung in Luft,  $\pm 50ppm$

Bei 0,01  $\Omega$  ergibt sich hieraus:  $U(\Omega_{CAL2}) = 0,5\mu\Omega$

Der maximal mögliche Unsicherheitsbeitrag, bestehend aus Multimeter und Normalwiderstand, ergibt sich wie folgt:

$$U(A_{CAL}) = \frac{U(V_{Soll}) + U(V_{CAL1}) + U(V_{CAL2})}{U(\Omega_{Festwert}) - (U(\Omega_{CAL1}) + U(\Omega_{CAL2}))} - \text{Kalibrierwert}$$

$$U(A_{CAL}) = \frac{100000,04\mu V + 0,125\mu V + 0,86\mu V}{9999,57\mu\Omega - (0,1\mu\Omega + 0,5\mu\Omega)} - 10A$$

$$U(A_{CAL}) = 1130\mu A$$

## 6.7 Beiträge für das Verfahren $U(\delta V_{Verfahren})$

Thermospannungen: Der Seebeck Effekt wird durch einheitliches Material der Messleitungen verhindert. Der Thomson Effekt wird durch gleichbleibende Temperaturen möglichst klein gehalten. Die Messleitungen werden im Labor gelagert.

Der sich aus der Thermospannung ergebende Strom wirkt sich nur bei kleinen Strömen

$< 1\mu A$  aus. Die Schwankungen des Ausgangstroms des Kalibrators sind größer als die Beeinflussung durch Thermospannungen. Generell werden die Messgeräte vor der Kalibrierung mindestens 12 Std. im Labor eingeschaltet gelagert um gleiche Temperaturen an den Kontaktstellen zu erreichen.

Für Messströme  $< 2A$  werden Messleitungen der Firma Pomona verwendet (Model: 2BC). Für Messströme  $> 2A$  werden Messleitungen der Firma Fluke verwendet (High Current 30 A test lead).

Wartung und Pflege der Messkabel:

Um Fehler durch Kontaktwiderstand / Übergangswiderstand, Korrosion oder Kabelbruch zu verhindern, werden die Kabel regelmäßig visuell und messtechnisch überprüft. Zur Ermittlung des Messunsicherheitsbeitrags der verschiedenen Typen von Messleitungen wurden Messreihen durchgeführt um die Standardabweichung aus diesen Werten zu ermitteln. Diese beinhalten eventuelle Ströme durch Thermospannungen.

Für den Bereich 10 A DC wurde die Standardabweichung aus einer Messreihe von 15 Messwerten ermittelt.

$$U(\delta A_{Verfahren}) = 0,67\mu A$$

### 6.9 Beitrag für den Kalibriergegenstand $U(\delta A_{ind})$

Die Auflösung der Stromquelle beträgt im 10A DC Bereich 10mA. Als Unsicherheitsbeitrag wird die Hälfte der Auflösung eingesetzt.

$$U(\delta A_{ind}) = 5000 \mu A$$

Die Stromquelle zeigt bei 10,00A im Display keine Schwankungen und liefert aufgrund dessen keinen Beitrag.

$$U(A_{ix}) = 0 \mu A$$

### 6.10 Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge

Folgende Beiträge werden in das Messunsicherheitsbudget übernommen:

$$U(A_{CAL}) = 11 \mu A$$

$$U(\delta A_{Verfahren}) = 0,67 \mu A$$

$$U(\delta A_{ind}) = 5000 \mu A$$

$$U(A_{ix}) = 0 \mu A$$

### 6.11 Messunsicherheitsanalyse

Jede identifizierte Einflussgröße liefert einen Beitrag zum Messunsicherheitsbudget.

Der Einzelbeitrag jeder Einflussgröße ist mit seinem Sensitivitätskoeffizienten  $c_i$  zu multiplizieren. Der Sensitivitätskoeffizient beträgt bei allen Unsicherheitsbeiträgen  $c = 1$  da zur Berechnung die Grenzwerte der Veränderung des Einflusses angenommen werden.

Der Unsicherheitsbeitrag ergibt sich somit aus:  $u_i(y) = U_i \cdot c_i$

### 6.12 Unsicherheitsbeitrag des Normals $u(A_{CAL})$

Der maximale Messunsicherheitsbeitrag, bestehend aus Multimeter und Normalwiderstand, ergibt sich aus deren Kalibrierung und Drift. Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$ .

Bei 10 A ergibt sich hieraus:

$$u(A_{CAL}) = \left[ \frac{U(V_{Soll}) + U(V_{CAL1}) + U(V_{CAL2})}{U(\Omega_{Festwert}) - (U(\Omega_{CAL1}) + U(\Omega_{CAL2}))} - \text{Kalibrierwert} \right] \cdot b_i \cdot c(A_{CAL})$$

$$u(A_{CAL}) = \left[ \frac{100000,04 \mu V + 0,125 \mu V + 0,86 \mu V}{9999,57 \mu \Omega - (0,1 \mu \Omega + 0,5 \mu \Omega)} - 10 A \right] \cdot \sqrt{3} \cdot 1$$

$$u(A_{CAL}) = 657 \mu A$$

### 6.13 Unsicherheitsbeitrag des Verfahrens $u(\delta A_{Verfahren})$

Aus entsprechenden Untersuchungen der Messleitungen wurde folgender Wert ermittelt:

$$u(\delta A_{Verfahren}) = U(\delta A_{Verfahren}) \cdot b_i \cdot c(\delta A_{Verfahren})$$

$$u(\delta A_{Verfahren}) = 0,67 \mu A / \sqrt{3} \cdot 1$$

$$u(\delta A_{Verfahren}) = 0,39 \mu A$$

Angenommen wird eine Rechteckverteilung.

- 6.14 Unsicherheitsbeitrag für die endliche Auflösung des Kalibriergegenstandes  $u(\delta A_{ind})$

Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$ .

$$u(\delta A_{ind}) = U(\delta A_{ind}) \cdot b_i \cdot c(\delta A_{ind})$$

$$u(\delta A_{ind}) = 5000 \mu A / \sqrt{3} \cdot 1$$

$$u(\delta A_{ind}) = 2887 \mu A$$

- 6.15 Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge

Folgende Beiträge werden in das Messunsicherheitsbudget übernommen:

$$u(A_{CAL}) = 657 \mu A$$

$$u(\delta A_{Verfahren}) = 0,39 \mu A$$

$$u(\delta A_{ind}) = 2900 \mu A$$

$$u(A_{ix}) = 0 \mu A$$

- 6.16 Erweiterte Messunsicherheit  $U$

$$U = k \cdot u(Ex) = 5442 \mu A$$

- 6.17 Einflussgrößen DCV

**1. Einfluss des Normals**

- a) Unsicherheitsbeitrag des Normals

**2. Einfluss des Verfahrens**

- b) Ungeeignete Messleitungen  
c) Temperatureinflüsse / Thermospannungen bei kleinen DC-Spannungen  
d) Kontaktwiderstand / Übergangswiderstand  
e) Korrosion  
f) Kabelbruch

**3. Einfluss des Kalibriergegenstandes**

- g) Leckstrom  
h) Genauigkeit / Auflösung / Präzision

- 6.18 Mathematisches Modell der Einflussgrößen

Mit den Einflussgrößen wird das mathematische Modell der Messunsicherheit aufgestellt.

$$u_{\text{gesamt}}(V) = \sqrt{u^2(V_{CAL}) + u^2(\delta V_{Verfahren}) + u^2(\delta V_{ind}) + u^2(V_{ix})}$$

**Beispielrechnung für 10VDC**

- 6.19 Beitrag für das Normal  $U(V_{CAL})$

Der Messunsicherheitsbeitrag des Multimeters wird aus dem gültigen Kalibrierschein entnommen.

Bereich: 10VDC

Kalibrierwert: 10VDC



$$U(V_{CAL1}) = 10\mu V \text{ mit } k=2$$

$$U(V_{CAL1}) = 5\mu V$$

Für die Drift des Multimeters seit der letzten Kalibrierung werden die Angaben aus den Herstellerspezifikationen eingesetzt.

Ein Jahres Spezifikation, 99%Confidence Intervall

Absolute Uncertainty,  $t_{cal} \pm 5^\circ C$ .

Bereich: -12,0000000 bis 12,0000000VDC /  $\pm(4ppm \text{ of output } +2\mu V)$

Bei 10 VDC ergibt sich hieraus:

$$U(V_{CAL2}) = 42\mu V$$

$$U(V_{CAL}) = U(V_{CAL1}) + U(V_{CAL2})$$

$$U(V_{CAL}) = 5\mu V + 42\mu V$$

$$U(V_{CAL}) = 47\mu V$$

## 6.20 Beiträge für das Verfahren $U(\delta V_{Verfahren})$

Thermospannungen: Der Seebeck Effekt wird durch einheitliches Material der Messleitungen verhindert, der Thomson Effekt durch gleichbleibende Temperaturen möglichst klein gehalten. Messleitungen werden im Labor gelagert.

Die Thermospannungen wirken sich nur bei kleinen Spannungen  $< 1mV$  aus. Generell werden die Messgeräte vor der Kalibrierung mindestens 12 Std. im Labor eingeschaltet gelagert um gleiche Temperaturen an den Kontaktstellen zu erreichen.

Wartung und Pflege der Messkabel: Um Fehler durch Kontaktwiderstand / Übergangswiderstand, Korrosion oder Kabelbruch zu verhindern, werden die Kabel regelmäßig visuell und messtechnisch überprüft.

Zur Ermittlung des Messunsicherheitsbeitrags der verschiedenen Typen von Messleitungen wurden Messreihen durchgeführt um die Standardabweichung aus diesen Werten zu ermitteln. Diese beinhalten eventuelle Thermospannungen.

Für den Bereich 10VDC wurde die Standardabweichung aus einer Messreihe von 15 Messwerten ermittelt.

$$U(\delta V_{Verfahren}) = 2,1647\mu V$$

## 6.21 Beitrag für den Kalibriergegenstand $U(\delta V_{ind})$

Die Auflösung der Stromquelle beträgt bei 10 Volt, 10mV. Als Unsicherheitsbeitrag wird die Hälfte der Auflösung eingesetzt.

$$U(\delta V_{ind}) = 5000\mu V$$

Die Stromquelle zeigt bei 10,00V im Display keine Schwankungen und liefert aufgrund dessen keinen Beitrag.

$$U(V_{ix}) = 0\mu V$$

## 6.22 Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge

$$U(V_{CAL}) = 47\mu V$$

$$U(\delta V_{Verfahren}) = 2,2\mu V$$



$$U(\delta V_{ind}) = 5000 \mu V$$

$$U(V_{ix}) = 0 \mu V$$

### 6.23 Messunsicherheitsanalyse

Jede identifizierte Einflussgröße liefert einen Beitrag zum Messunsicherheitsbudget. Der Einzelbeitrag jeder Einflussgröße ist mit seinem Sensitivitätskoeffizienten  $c_i$  zu multiplizieren. Der Sensitivitätskoeffizient beträgt bei allen Unsicherheitsbeiträgen  $c = 1$  da zur Berechnung die Grenzwerte der Veränderung des Einflusses angenommen werden.

Der Unsicherheitsbeitrag ergibt sich somit aus:  $u_i(y) = U_i \cdot c_i$

### 6.24 Unsicherheitsbeitrag des Normals $u(V_{CAL})$

Der Messunsicherheitsbeitrag des Multimeters ergibt sich aus dessen Kalibrierung und der Drift aus den Herstellerspezifikationen. Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$ .

$$u(V_{CAL}) = U(V_{CAL}) \cdot b_i \cdot c(V_{CAL})$$

$$u(V_{CAL}) = 47 \mu V / \sqrt{3} \cdot 1$$

$$u(V_{CAL}) = 27 \mu V$$

### 6.25 Unsicherheitsbeitrag des Verfahrens $u(\delta V_{Verfahren})$

Angenommen wird eine Rechteckverteilung.

Aus entsprechenden Untersuchungen der Messleitungen wurde folgender Wert ermittelt:

$$u(\delta V_{Verfahren}) = U(\delta V_{Verfahren}) \cdot b_i \cdot c(\delta V_{Verfahren})$$

$$u(\delta V_{Verfahren}) = 2,1647 \mu V / \sqrt{3} \cdot 1$$

$$u(\delta V_{Verfahren}) = 1,26 \mu V$$

### 6.26 Unsicherheitsbeitrag für die endliche Auflösung des Kalibriergegenstandes $u(\delta V_{ind})$

Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$ .

$$u(\delta V_{ind}) = \delta V_{ind} \cdot b_i \cdot c(\delta V_{ind})$$

$$u(\delta V_{ind}) = 5000 \mu V / \sqrt{3} \cdot 1$$

$$u(\delta V_{ind}) = 2900 \mu V$$

### 6.27 Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge

Folgende Beiträge werden in das Messunsicherheitsbudget übernommen:

$$u(V_{CAL}) = 27 \mu V$$

$$u(\delta V_{Verfahren}) = 1,25 \mu V$$

$$u(\delta V_{ind}) = 2900 \mu V$$

$$u(V_{ix}) = 0 \mu V$$

## 6.28      Erweiterte Messunsicherheit $U$

$$U = k \cdot u(Ex) = 5309 \mu V$$

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind in Formsheets **FSB70111\_PS.xlsx** - Abschätzung der Messunsicherheit Labor FME - abgelegt.

## 7. Bezugsdokumente

- 7.1 Mitgeltende Unterlagen  
DKD-3-E2 - Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen  
FS B-7-0111  
Herstellerspezifikationen

## 7.2 Normen

<input checked="" type="checkbox"/>	DIN EN ISO 9001**	<input checked="" type="checkbox"/>	DIN EN ISO 17025**
<input type="checkbox"/>	DIN EN ISO 14001**	<input type="checkbox"/>	KTA 1401**
<input type="checkbox"/>	BS OHSAS 18001**	<input type="checkbox"/>	PAS 1037**
<input type="checkbox"/>	DIN EN 13980**	<input type="checkbox"/>	DIN 14675**
<input type="checkbox"/>	IRIS**	<input type="checkbox"/>	10 CFR 50 Appendix B**
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

\*\*Ausgabe lt. aktuellem IMS-Handbuch

## 8. Änderungsdienst

### 8.1 Änderungsdurchführung

Für den Änderungsdienst dieses Dokumentes ist der Verfasser verantwortlich.

Folgende Tätigkeiten sind durchzuführen:

- Die zuständige Abteilung für das Integrierte Managementsystem über inhaltliche Änderungen informieren.
- Geändertes und freigegebenes Dokument wird über die zuständige Abteilung verteilt.

### 8.2 Archivierung

- Die Originaldatei dieses Dokumentes ist in der IMS-Datenbank abgespeichert.
- Ausgedruckte Dokumente unterliegen nicht dem Änderungsdienst und sind ausschließlich für den internen Gebrauch bestimmt.
- Aufbewahrungsfristen sind im Handbuch MA A-7-0001 hinterlegt.

**Datum:**  
**Name:**

**Verfasser**  
2014-09-03  
Volker Schreiber

**Datum:**  
**Name:**

**Prüfung und Freigabe**  
2014-09-03  
Ralf Wittbrock

**Datum:**  
**Name:**

**IMS-Registrierung**  
2014-09-03  
Frank Beinker