

Beispiel 0

Autor: Michael Matus, BEV, (michael.matus@bev.gv.at)

Allgemeines Beispiel einer Kalibrierung.

Ein Voltmeter (Prüfling, z.B. F-FEM) wird mit einer elektrischen Spannung beaufschlagt welche mit einem Normalgerät (z.B. Agilent 3458A) bestimmt wird.

Die beiden eigentlichen Messungen sind lediglich die Lesungen am Prüfling bzw. am Normal. Alle weiteren Eingangsgrößen werden nicht gemessen sondern beschreiben die Kenntnis über den Messprozess.

Die Unsicherheiten der Einflussgrößen für das Normalgerät Agilent 3458A sind aus dem Handbuch entnommen. Aus den angeführten Spezifikationen sind die Unsicherheiten abzuleiten. Üblicherweise sind darunter Toleranzen zu verstehen, was einem gleichverteilten Vertrauensbereich entspräche (Rechteckverteilung). Heute wird mehr und mehr eine erweiterte Messunsicherheit mit $k=2$ darunter verstanden, speziell bei älteren, US amerikanischen Produkten auch für $k=3$. Im gegenständlichen Handbuch (5. Ausgabe, Erstausgabe 1988) findet sich leider kein Hinweis wie die Werte zu verstehen sind, es ist daher gute messtechnische Praxis von den drei Möglichkeiten die konservativste zu wählen - die Rechteckverteilung.

Modellgleichung:

$$A = U_P - U_N + (\delta_d + \delta_{thP} - \delta_{noise} - \delta_{cal} - \delta_{temp} - \delta_{thN});$$

Liste der Größen:

Größe	Einheit	Definition
A	V	Anzeigenabweichung des Prüflings
U_P	V	Anzeige des Prüflings
U_N	V	Anzeige des Normals
δ_d	V	Quantisierungseinfluss, Prüfling
δ_{cal}	V	Kalibriereinfluss des Normals (Rückführung)
δ_{temp}	V	Einfluss der Umgebungstemperatur auf das Normal
δ_{noise}	V	Rauschen des Normals
δ_{thP}	V	Thermospannung Prüfling
δ_{thN}	V	Thermospannung Normal

U_P:

Typ A

Methode der Beobachtung: Direkt

Anzahl der Beobachtungen: 20

Nr.	Beobachtung
1	9.999705 V
2	9.999722 V
3	9.999736 V
4	9.999734 V
5	9.999733 V
6	9.999738 V
7	9.999770 V
8	9.999791 V
9	9.999789 V
10	9.999773 V
11	9.999782 V
12	9.999776 V
13	9.999761 V
14	9.999755 V
15	9.999757 V
16	9.999761 V
17	9.999757 V
18	9.999775 V
19	9.999773 V
20	9.999765 V

Arithmetischer Mittelwert: 9.99975765 V

Standardabweichung der Einzelbeobachtung: $23 \cdot 10^{-6}$ VStandardabweichung des Mittelwerts: $5.16 \cdot 10^{-6}$ V

Hier ein Beispiel für tatsächlich abgelesene Anzeigewerte des Prüflings. 20 Messwerte werden automatisch alle 0,1 s ausgelesen. Es wird angenommen, dass der Mittelwert und nicht ein Einzelwert die Anzeige des Prüflings repräsentiert.

Für generelle Aussagen zur Messunsicherheit wird man einen empirischen Schätzwert verwenden (pooled estimate) welcher in speziellen Untersuchungen für verschiedene Betriebsbedingungen zu eruieren ist.

U_N:


Typ B Rechteckverteilung


Wert: 10 V

Halbbreite der Grenzen: $40.5 \cdot 10^{-6}$ V

Der Wert für diese Komponente ist aus dem Datenblatt des Normalgerätes entnommen (beachte die Anmerkung im allgemeinen Teil über die Interpretation der Spezifikationen).

Dieser Wert beschreibt im Datenblatt die Genauigkeit (Accuracy) des Normalgerätes unter festgelegten Bedingungen (PRESET, NPLC=100). Beim Standard-Kalibrierverfahren wird allerdings NPLC=30 verwendet. Diese Größe inkludiert zugleich die Drift des Gerätes insofern sie für verschiedene Zeiten nach einer Kalibrierung angegeben ist. Der hier gewählte Wert gilt bis zu einem Jahr nach der Kalibrierung. Angabe ist 4 ppm vom Messwert + 0,05 ppm vom Messbereichsendwert, also $40,5 \mu\text{V}$.

MU 02	Beispiel 0	 Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
<p>Diese Einflussgröße ist offensichtlich der dominante Beitrag zum Budget!</p> <p>d_d: Typ B Rechteckverteilung Wert: 0 V Halbbreite der Grenzen: 0.000000804 V</p> <p>Der Analog-Digital Konverter (ADC) des Prüflings hat einen Umfang von 23 bit bei einem Messbereichsendwert von 13,5 V. Das entspricht einer Quantisierungsspannung von 1,61 μV. Die Hälfte davon ist die sogenannte Halbbreite welches dieses Programm als Eingabe erfordert.</p> <p>d_{cal}: Typ B Normalverteilung Wert: 0 V Erweiterte Messunsicherheit: $30 \cdot 10^{-6}$ V Erweiterungsfaktor: 2</p> <p>Unsicherheit der Kalibrierung des Normalgerätes, auch "Rückführungsunsicherheit" genannt. Das Normalgerät wurde von einer akkreditierten Kalibrierstelle (ISOCAL) kalibriert (oder geprüft?). Im Kalibrierschein ist eine relative (bezogen auf den Messwert) erweiterte Messunsicherheit von 3 ppm angegeben.</p> <p>Ein Kalibrierschein beinhaltet im Allgemeinen Abweichungen des Prüflings bei verschiedenen Prüfpunkten. Die Lesungen am Gerät müssten um diese Abweichungen korrigiert werden damit die Rückführungsunsicherheit korrekt angewendet wurde. Dies könnte hier durch Einsetzen der negativen Abweichung im Feld "Wert" durchgeführt werden. Alternativ kann man, will man die Werte nicht korrigieren, die Abweichung als zusätzliche Standardunsicherheit berücksichtigen.</p> <p>Es könnte sich hier aber auch um einen Prüfungsschein handeln welcher bestätigt, dass innerhalb der angegebenen Unsicherheit das Gerät den Spezifikationen entspricht. Dann ist die hier gewählte Vorgangsweise korrekt.</p> <p>d_{temp}: Typ B Rechteckverteilung Wert: 0 V Halbbreite der Grenzen: $8 \cdot 10^{-6}$ V</p> <p>Der Wert für diese Komponente ist aus dem Datenblatt des Normalgerätes entnommen (beachte die Anmerkung im allgemeinen Teil über die Interpretation der Spezifikationen).</p> <p>Der Temperaturkoeffizient ist mit 0,15 ppm/°C des Messwertes + 0,01 ppm/°C des Messbereichendwertes angegeben. Im Beispiel somit 1,6 μV/°C. Unter der Annahme, dass die Umgebungstemperatur nicht mehr als 5 °C von der Referenztemperatur abweicht, gibt dies einen maximal zu erwarteten Einfluss von 8 μV.</p> <p>d_{noise}: Typ B Rechteckverteilung Wert: 0 V Halbbreite der Grenzen: $0.2 \cdot 10^{-6}$ V</p> <p>Der Wert für diese Komponente ist aus dem Datenblatt des Normalgerätes entnommen (beachte die Anmerkung im allgemeinen Teil über die Interpretation der Spezifikationen).</p> <p>Dieser Wert ist abhängig von verschiedenen Betriebsparametern. Beim Standard-Kalibrierverfahren wird NPLC=30 verwendet. Für den 10 V Bereich findet man $\pm 0,02$ ppm des Messbereichendwertes, also $\pm 0,2$ μV.</p> <p>d_{thP}: Typ B Rechteckverteilung Wert: 0 V Halbbreite der Grenzen: $250 \cdot 10^{-9}$ V</p> <p>Die Spannung an den Eingangsklemmen des Prüflings ist von unvermeidlichen Thermospannungen überlagert. Mit einiger Sorgfalt im Kalibrier Aufbau und geeigneter Konstruktion des Gerätes wird diese Spannung vom Betrag kleiner als 250 nV sein. Solange spezielle Untersuchungen nichts anderes ergeben wird dieser Wert für die Unsicherheit herangezogen.</p>		
Datum: 16.03.2017 Ver.: 1	Datei: GUM_Beiispiel0.smu	Seite 3 von 4

MU 02	Beispiel 0	 Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
-------	------------	--

d_{thN} :
 Typ B Rechteckverteilung
 Wert: 0 V
 Halbbreite der Grenzen: $100 \cdot 10^{-9}$ V

Die Spannung an den Eingangsklemmen des Normals ist von unvermeidlichen Thermospannungen überlagert. Mit einiger Sorgfalt im Kalibriereraufbau wird diese Spannung vom Betrag kleiner als 100 nV sein. Die Klemmen sind aus vergoldetem, tellurdotiertem Kupfer hergestellt welches mit Kupferleitungen kleine Thermospannungen ergibt.

Messunsicherheits-Budgets:
A: Anzeigenabweichung des Prüflings

Größe	Wert	Std.-Mess-unsicherheit	Verteilung	Sensitivitäts-koeffizient	Unsicher-heitsbeitrag	Index
U_P	9.99975765 V	$5.16 \cdot 10^{-6}$ V	Normal	1.0	$5.2 \cdot 10^{-6}$ V	3.2 %
U_N	10.0000000 V	$23.4 \cdot 10^{-6}$ V	Rechteck	-1.0	$-23 \cdot 10^{-6}$ V	66.7 %
δ_d	0.0 V	$464 \cdot 10^{-9}$ V	Rechteck	1.0	$460 \cdot 10^{-9}$ V	0.0 %
δ_{cal}	0.0 V	$15.0 \cdot 10^{-6}$ V	Normal	-1.0	$-15 \cdot 10^{-6}$ V	27.4 %
δ_{temp}	0.0 V	$4.62 \cdot 10^{-6}$ V	Rechteck	-1.0	$-4.6 \cdot 10^{-6}$ V	2.6 %
δ_{noise}	0.0 V	$115 \cdot 10^{-9}$ V	Rechteck	-1.0	$-120 \cdot 10^{-9}$ V	0.0 %
δ_{thP}	0.0 V	$144 \cdot 10^{-9}$ V	Rechteck	1.0	$140 \cdot 10^{-9}$ V	0.0 %
δ_{thN}	0.0 V	$57.7 \cdot 10^{-9}$ V	Rechteck	-1.0	$-58 \cdot 10^{-9}$ V	0.0 %
A	$-242.4 \cdot 10^{-6}$ V	$28.6 \cdot 10^{-6}$ V				

Das ist das eigentliche Ergebnis der Kalibrierung, die Anzeigenabweichung des Prüflings bei der gewählten Prüfspannung. Und zum Zeitpunkt der Kalibrierung!

ACHTUNG: die Angabe einer relativen Messunsicherheit bezogen auf (dieses) Ergebnis ist zu vermeiden, weil sinnlos. Die Anzeigenabweichung könnte beliebig klein und auch 0 sein.

Ergebnisse:

Größe	Wert	Erw.-Mess-unsicherheit	Erweiter-ungsfaktor	Überdeckungs-wahrscheinlichkeit
A	$-242 \cdot 10^{-6}$ V	$57 \cdot 10^{-6}$ V	2.00	95% (Normal)

Datum: 16.03.2017 Ver.: 1	Datei: GUM_Beispiel0.smu	Seite 4 von 4
------------------------------	--------------------------	---------------