

Berechnung von Unsicherheiten in einem Thermoelement- Kalibriersystem

Anwendungsbericht

Anwendungsberichte zu Thermoelementen

Dies ist der dritte von vier verfügbaren Anwendungsberichten zu Thermoelementen:

1. Grundlagen zu Thermoelementen
2. Auswahl von Geräten zur Kalibrierung von Thermoelementen
3. Berechnung von Unsicherheiten in einem Thermoelement-Kalibriersystem
4. Kalibrieren eines Thermoelements

Beispiel eines Unsicherheitsbudgets

Zur Ermittlung der Gesamtunsicherheit des Thermoelement-Kalibriersystems müssen verschiedene Kalibrierunsicherheiten bewertet werden. Dieser Abschnitt beschreibt anhand eines Beispiels die Erstellung eines Unsicherheitsbudgets. Das Beispiel bezieht sich auf ein System mit folgender Ausrüstung und die Kalibrierung eines Thermoelements bei 1000 °C.

- Referenzmessfühler: Thermoelement 5650 Typ S mit Vergleichsstelle
- Messgerät: Hochgenauer Temperaturscanner Super-DAQ 1586A mit DAQ-STAQ Multiplexer
- Temperaturquelle: Thermoelement-Kalibrierofen 9118A
- Kalibriergegenstand („Prüfling“): Thermoelement Typ S ohne Vergleichsstelle

Abbildung 1 zeigt ein Beispiel eines Unsicherheitsbudgets. Ein Unsicherheitsbudget ist ein Verfahren, um die Hauptfaktoren der Systemunsicherheit zusammenzufassen. Jeder Unsicherheit wurde ein Code zugewiesen und es wird eine entsprechende Diskussion bereitgestellt. Diese Unsicherheitsanalyse ist sehr umfassend, wird hier jedoch vereinfacht, damit sie auch für „Nicht-Spezialisten“ verständlich ist. Wenden Sie sich daher an das nationale Metrologie-Institut Ihres Landes oder an eine Akkreditierungsstelle Kalibrierlaboratorien, um weitere Details zu erhalten.



Hochgenauer
Temperaturscanner
Super-DAQ 1586A
mit DAQ-STAQ
Multiplexer

Die folgende Unsicherheitsanalyse führt jede Unsicherheit in der Standardform und in der erweiterten Form auf. Die Standardunsicherheit wird mit einem Erweiterungsfaktor (meist als k angegeben) multipliziert, um die erweiterte Unsicherheit zu erhalten. Alternativ kann eine Unsicherheit durch einen Divisor geteilt werden, um einen geschätzten Wert für die Standardunsicherheit ($k=1$) zu erhalten. Der Wert k entspricht einem Vertrauensbereich. In den meisten Fällen wird ein Wert von $k=2$ verwendet,



Thermoelement-
Kalibrierofen 9118A

Abbildung 1. Unsicherheitsermittlung des Thermoelement-Kalibriersystems bei 1000 °C

Standardunsicherheiten Typ B	Code	Standardunsicherheit (°C)	Erweiterungsfaktor	Erweiterte Unsicherheit (°C)
Messrauschen/Stabilität der Referenz (n≥30)	A1	0,01	2	0,02
Messrauschen/Stabilität des Kalibriergegenstands (n≥30)	A2	0,01	2	0,02
Statistik des Check Standards	A3	0,01	2	0,02
Messgenauigkeit des 1586A (für Referenzmessfühler)	B1	0,19	2	0,38
Genauigkeit der Vergleichsstelle (für Referenzmessfühler)	B2	0,01	√3	0,01
Messgenauigkeit des 1586A (für Kalibriergegenstand Typ S)	B3	0,28	2	0,56
Genauigkeit der Vergleichsstelle (für Kalibriergegenstand Typ S)	B4	0,07	2	0,13
Kalibrierunsicherheit des Referenzmessfühlers	B5	0,13	2	0,26
Grenzwert für langfristige Drift des Referenzmessfühlers	B6	0,06	√3	0,10
Axiale Gleichförmigkeit des Kalibrierofens 9118A	B7	0,10	2	0,20
Radiale Gleichförmigkeit des Kalibrierofens 9118A	B8	0,12	2	0,23
Gesamte Standardunsicherheit (k=1)				0,52
Gesamte erweiterte Unsicherheit (k=2)				1,04

Hinweis: Jede Unsicherheit wird nach den Berechnungen auf zwei Dezimalstellen gerundet.

der 2σ oder einem Vertrauensbereich von 95 % entspricht. Weitere Erläuterungen finden Sie im Abschnitt „Kombinieren der Unsicherheiten“ dieses Dokuments.

A1 und A2: Messrauschen

Das Messrauschen ist die Unsicherheit, die durch das Rauschen bzw. die Instabilität der Messwerte verursacht wird. Jeder Messpunkt basiert auf dem Durchschnitt bzw. Mittelwert von mindestens 30 Messwerten oder Messwertaufnahmen. Die Unsicherheit des Rauschens oder der Instabilität der 30 Messwerte wird berechnet, indem die Standardabweichung der 30 Messwertaufnahmen durch die Quadratwurzel von n (n=30) geteilt wird. Diese Berechnung wird oft als Berechnung des Standardfehlers bezeichnet.

Üblicherweise schließt das Rauschen bei der Messung das Rauschen des Messgeräts und die Instabilität der Temperaturquelle ab. Die Herstellerangabe der Wärmequellenstabilität kann einen ähnlichen Wert liefern, es empfiehlt sich jedoch, Messungen vorzunehmen und die tatsächliche Standardabweichung zu beobachten, um sicherzustellen, dass die Anforderungen in Bezug auf die Unsicherheitsanalyse erfüllt sind.

Entweder können die tatsächliche Standardabweichung der Messung oder der entsprechende Standardfehler des Mittelwerts in die Unsicherheitsanalyse eingegeben werden oder es kann jedem Messpunkt ein Grenzwert für das Messrauschen zugewiesen werden. Wird ein Grenzwert zugewiesen, werden die Messungen überwacht, um zu überprüfen, ob die Stabilität (Standardabweichung) die in der Unsicherheitsanalyse

festgelegte Grenze einhält. In diesem Beispiel wird ein Grenzwert für die Standardabweichung festgelegt.

Die folgende Gleichung zeigt, wie diese Berechnung ausgeführt wird:

$$U_{A1} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{\pm 0,050 \text{ °C}}{\sqrt{30}} = \pm 0,009 \text{ °C}$$

- U_{A1} : Unsicherheit aufgrund von Messrauschen (°C)
- s : Standardabweichung der Messung (°C)
- n : Anzahl der Messwertaufnahmen (mindestens 30)

Tipp: Wenn die Messwerte in Spannungseinheiten angegeben werden (mV), dann U_{A1} durch die Empfindlichkeit des Thermoelements teilen, um die Angabe in einen Temperaturwert umzuwandeln (°C).

A3: Statistik für den Check Standard

Die Statistik für den Check Standard gibt Auskunft über die Stabilität des Kalibriervorgangs. Es ist sinnvoll, zusammen mit den Kalibriergegenständen einen Check Standard zu messen. Die Messergebnisse des Check Standards werden in einem Prüfdiagramm angezeigt und analysiert, um sicherzustellen, dass keine unerwarteten Fehler auftreten.

Ein Check Standard sollte dem Kalibriergegenstand ähnlich sein, um zu gewährleisten, dass Änderungen im Prozess sich auf die gleiche Weise auf den Check Standard und auf den Kalibriergegenstand auswirken. Ein Check Standard aus unedlem Metall ist unter Umständen nicht

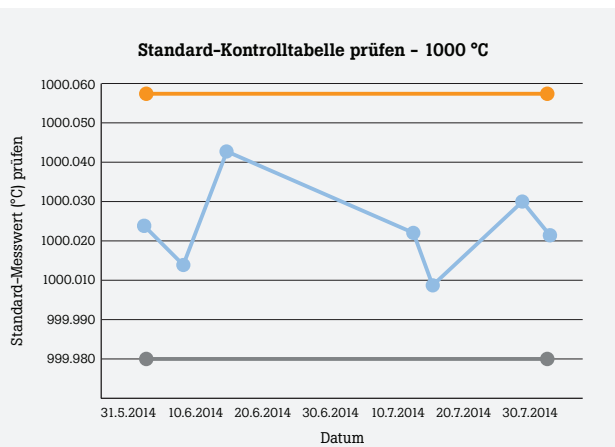
ausreichend stabil, um die Langzeitstabilität des Kalibriervorgangs anzugeben. Es empfiehlt sich, als Check Standard ein hochwertiges Thermoelement vom Typ S oder Typ R zu verwenden.

Der Wert, der in die Unsicherheitsanalyse eingegeben wird, entspricht der Standardabweichung der Messwerte des Check Standards im Zeitverlauf. Beispiel: Die Tabelle in Abbildung 2 zeigt Messwerte aus mehreren Durchläufen eines Kalibrierprozesses. Die berechnete Standardabweichung der sieben Messwerte des Check Standards beträgt 0,011 °C. Dieser Wert kann in die Unsicherheitsanalyse eingegeben werden. Es empfiehlt sich jedoch, weitere Messungen hinzuzufügen und die Komponente Check Standard Statistik zu aktualisieren, bis mindestens 30 Messwerte vorhanden sind. Die berechnete Standardabweichung wird auch zum Erstellen von Kontrolllinien im Prüfdiagramm für den Check Standard verwendet. Der Wert der Standardabweichung (σ) wird mit 2 oder 3 multipliziert, um (je nach Ihren Anforderungen) die 2- σ - bzw. 3- σ -Kontrolllinien zu erstellen. Das Beispiel eines Prüfdiagramms in Abbildung 3 enthält 3- σ -Kontrolllinien.

Abbildung 2: Messwertaufnahmen am Check Standard

	Messwerte des Check Standards (°C)
Durchlauf 1	1000,025
Durchlauf 2	1000,014
Durchlauf 3	1000,042
Durchlauf 4	1000,022
Durchlauf 5	1000,008
Durchlauf 6	1000,031
Durchlauf 7	1000,021
	Standardabweichung = $\pm 0,011$ °C

Abbildung 3: Beispiel eines Prüfdiagramms



B1 und B3: Berechnung der Messgenauigkeit für 1586A (für Referenzmessfühler und Kalibriergegenstand)

Die Messgenauigkeit muss sowohl für den Referenzmessfühler als auch für den Kalibriergegenstand ermittelt werden. Die folgenden Berechnungen zeigen, wie die üblichen Thermoelement-Spezifikationen in Werte für die Unsicherheitsanalyse konvertiert werden können.

Die meisten Thermoelement-Messwerte sind als Spannungsgenauigkeit spezifiziert. Mit der folgenden Gleichung kann die Spannungsunsicherheit in einen Temperaturwert umgewandelt werden:

$$U_{T(^{\circ}\text{C})} = \frac{U_V}{S_{MJ}}$$

- $U_{T(^{\circ}\text{C})}$: äquivalente Temperaturunsicherheit
- U_V : Spannungsunsicherheit des Messwerts
- S_{MJ} : Thermoelement-Empfindlichkeit bei Temperatur der Messstelle

Tipp: Ermitteln Sie S_{MJ} über eine Thermoelement-Spannungstabelle. Der Wert entspricht der Spannungsänderung (mV) je Änderung um 1 °C ($\Delta V/\Delta T$).

Berechnung der Messgenauigkeit des 1586A für den Referenzmessfühler:

- Die spezifizierte Spannungsgenauigkeit des 1586A beträgt 0,004 % vom Messwert + 4 μV ($k=2$). Hinweis: Weitere 2 μV hinzufügen, wenn der Kalibriergegenstand an einem Kanal des DAQ-STAQ-Scanners gemessen wird.
- Das Thermoelement ist vom Typ S.
- Die Temperatur ist 1000 °C.
- Die Spannung des Thermoelements vom Typ S bei 1000 °C ist 9,6 mV.
- Die spezifizierte Spannungsgenauigkeit in diesem Bereich ist $\pm 0,0022$ mV ($k=1$). Siehe folgende Gleichung:

$$U_{V(k=1)} = \frac{0,004 \times \frac{9,6 \text{ mV}}{100} + 0,004 \text{ mV}}{2} = \pm 0,0022 \text{ mV}$$

- Das Thermoelement vom Typ S hat eine Empfindlichkeit von $\pm 0,0115$ mV/°C bei 1000 °C.
- Mit folgender Formel wird die Messgenauigkeit in einen Temperaturwert umgewandelt:

$$U_{T(^{\circ}\text{C})} = \frac{\pm 0,0022 \text{ mV}}{\pm 0,0115 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}} = \pm 0,191$$

B2: Genauigkeit der Vergleichsstelle (für Referenzmessfühler)

Es kann eine externe oder interne Vergleichsstelle verwendet werden. In diesem Beispiel wird eine externe Vergleichsstelle genutzt. Die Unsicherheit

der externen Vergleichsstelle hängt von der Art der verwendeten Geräte ab. In den meisten Laboren wird eine Temperaturquelle von 0 °C verwendet, beispielsweise ein Eisbad oder ein Blockkalibrator wie der Nullpunkt-Blockkalibrator Fluke 9101. Unsicherheiten bei Verwendung eines Eisbads betragen unter Umständen nur wenige mK. Dies zu erreichen ist jedoch kompliziert, und es ist eine sorgfältige Vorgehensweise erforderlich. Das primäre Temperaturkalibrierlabor von Fluke setzt eine vereinfachte Methode ein, bei der ein Eisbad mit Eissplittern und Leitungswasser erstellt wird, die Temperatur jedoch mit einem Thermistor und einem Messgerät überwacht wird. Die Unsicherheit bei dieser Methode basiert auf dem annehmbaren Temperaturbereich des Eisbads (0 °C ± 0,025 °C). Informationen zum Erstellen eines Eisbads mit einer geringeren Unsicherheit finden Sie im ASTM-Dokument E563-11 „Standard Practice for Preparation and Use of an Ice-Point Bath as a Reference Temperature“ (Vorgehensweise zum Vorbereiten und Verwenden eines Eisbads als Referenztemperatur).

Mit der folgenden Formel wird die effektive Temperaturunsicherheit der Vergleichsstelle berechnet. Beim Messen eines Thermoelements tragen beide Stellen zur Messung bei. Daher wird die Unsicherheit der Vergleichsstelle mit dem Verhältnis der Empfindlichkeitswerte (Seebeck-Effekt) der Thermoelemente bei der Temperatur der Vergleichsstelle und der Messstelle multipliziert, um die effektive Unsicherheit der Vergleichsstelle zu berechnen.

$$U_{RJ_Effektiv} = \frac{U_{RJ} \times S_{RJ}}{S_{MJ}}$$

- $U_{RJ_Effektiv}$: effektive Temperaturunsicherheit der Vergleichsstelle
- U_{RJ} : Unsicherheit der Vergleichsstelle
- S_{MJ} : Thermoelement-Empfindlichkeit bei Temperatur der Messstelle
- S_{RJ} : Thermoelement-Empfindlichkeit bei Temperatur der Vergleichsstelle

Die Temperaturunsicherheit der Vergleichsstelle in diesem Beispiel wird folgendermaßen ermittelt:

- Das Thermoelement ist vom Typ S.
- Die Temperatur ist 1000 °C.
- Die Genauigkeit der Vergleichsstelle ist 0,025 °C.
- Das Thermoelement hat eine Empfindlichkeit von 0,0115 mV/°C bei 1000 °C.
- Das Thermoelement hat eine Empfindlichkeit von 0,006 mV/°C bei 25 °C.
- Die äquivalente Temperaturunsicherheit ist 0,013 °C.

$$U_{RJ_Effektiv} = \frac{0,025 \text{ °C} \times 0,006 \text{ mV/°C}}{0,0115 \text{ mV/°C}} = 0,013 \text{ °C}$$

- Mit der folgenden Formel wird die Unsicherheit in eine Standardunsicherheit konvertiert:

$$U_{B2 \text{ (k=1)}} = \frac{0,013 \text{ °C}}{\sqrt{3}} = 0,007 \text{ °C}$$

B4: Genauigkeit der Vergleichsstelle (für den Kalibriergegenstand)

In diesem Beispiel wird die entsprechende Unsicherheit der internen Vergleichsstelle mit folgender Formel berechnet:

$$U_{RJ_Effektiv} = \frac{U_{RJ} \times S_{RJ}}{S_{MJ}}$$

- $U_{RJ_Effektiv}$: effektive Temperaturunsicherheit der Vergleichsstelle
- U_{RJ} : Unsicherheit der Vergleichsstelle
- S_{MJ} : Thermoelement-Empfindlichkeit bei Temperatur der Messstelle
- S_{RJ} : Thermoelement-Empfindlichkeit bei Temperatur der Vergleichsstelle

Die Temperaturunsicherheit der internen Vergleichsstelle in diesem Beispiel wird folgendermaßen ermittelt:

- Das Thermoelement ist vom Typ S.
- Die Temperatur ist 1000 °C.
- Die Genauigkeit der internen Vergleichsstelle des 1586A ist 0,25 °C (k=2) bzw. 0,13 °C (k=1).
- Das Thermoelement hat eine Empfindlichkeit von 0,0115 mV/°C bei 1000 °C.
- Das Thermoelement hat eine Empfindlichkeit von 0,006 mV/°C bei 25 °C.
- Die äquivalente Temperaturunsicherheit wird folgendermaßen berechnet:

$$U_{RJ_Effektiv} = \frac{0,25 \text{ °C} \times 0,006 \text{ mV/°C}}{0,0115 \text{ mV/°C}} = 0,13 \text{ °C}$$

- Mit der folgenden Formel wird die Unsicherheit in eine Standardunsicherheit konvertiert:

$$U_{B4 \text{ (k=1)}} = \frac{0,13 \text{ °C}}{2} = 0,07 \text{ °C}$$

B5: Kalibrierunsicherheit des Referenzmessfühlers

Diese Unsicherheit wird direkt aus dem Kalibrierschein des Referenzmessfühlers übernommen. Wenn die Unsicherheit bei einer bestimmten Temperatur nicht angegeben ist, muss sie berechnet werden. Wenden Sie sich an das Labor, das die Kalibrierung durchgeführt hat oder an den Hersteller, um die erforderlichen Informationen zum Ausführen dieser Berechnung zu erhalten. Eine sichere, jedoch meist überschätzte Annäherung besteht darin, die höhere Unsicherheit der beiden gemeldeten Temperaturpunkte zu wählen.

Wenn der Referenzmessfühler ein Thermoelement ist, achten Sie darauf, die Inhomogenität zu berücksichtigen. Ist die Inhomogenität nicht in der Kalibrierunsicherheit berücksichtigt, ist es wichtig, dies durch eine zusätzliche Unsicherheitskomponente zu berücksichtigen. Wenden Sie sich an ein namhaftes Kalibrierlabor oder ein nationales Metrologie-Institut, um weitere Informationen zu diesem Thema zu erhalten.

B6: Langfristige Drift des Referenzmessfühlers

Die langfristige Drift des Referenzmessfühlers kann schwer zu ermitteln sein. Vom Hersteller kann die langfristige Drift als ein Wert angegeben werden, der auf einer bestimmten Anzahl Betriebsstunden bei maximaler Temperatur beruht. Dieser Ansatz berücksichtigt lediglich die Materialalterung, jedoch keine anderen Ursachen für Drift, beispielsweise die Handhabung, mechanische Stöße und Temperaturschwankungen. Es empfiehlt sich, mit der vom Hersteller angegebenen langfristigen Drift zu beginnen, dann jedoch den Messfühler auf seine Drift hin zu überwachen.

- Die zugelassene langfristige Drift ist $\pm 0,10\text{ °C}$ (durch die Quadratwurzel von 3 teilen, um $\pm 0,06\text{ °C}$ bei $k=1$ zu erhalten).

B7 und B8: Axiale und radiale Gleichförmigkeit des Kalibrierofens

Unter den Eigenschaften des Kalibrierofens wirken sich hauptsächlich die Stabilität und die Gleichförmigkeit auf die Unsicherheitsanalyse aus. Die Stabilität wird in A1 und A2 mit dem Messrauschen berücksichtigt, da diese Unsicherheit sich auf das allgemeine Rauschen des Kalibriersystems bezieht, einschließlich der Stabilität des Kalibrierofens. Die Gleichförmigkeit wird in zwei Teilen spezifiziert: die radiale Gleichförmigkeit (Bohrung zu Bohrung) und die axiale Gleichförmigkeit (Gradient über verschiedene Tiefen des Blocks). Diese Werte werden vom Hersteller angegeben und sind in Abbildung 4 aufgeführt. Sie können diese Werte für ein vorläufiges Unsicherheitsbudget verwenden, sollten sie jedoch überprüfen. In manchen Fällen kann die Unsicherheit reduziert werden, weil das Gerät ein besseres Betriebsverhalten bietet als vom Hersteller spezifiziert. Um eine Schätzung der Gleichförmigkeit bei 1000 °C zu erhalten, gehen Sie von den Werten aus, die für 700 °C und 1200 °C angegeben sind, und führen Sie eine lineare Interpolation aus.

- Vom Hersteller wird folgende Gleichförmigkeit bei 1000 °C spezifiziert: axial $\pm 0,20\text{ °C}$ ($k=2$) bzw. $\pm 0,10\text{ °C}$ ($k=1$); radial $0,23\text{ °C}$ ($k=2$) bzw. $\pm 0,12\text{ °C}$ ($k=1$)

Abbildung 4: Herstellerspezifikationen für 9118A

Radiale Gleichförmigkeit		
Temperatur	9118A (14 mm vom geometrischen Mittelpunkt)	9118A-ITB, Bohrung zu Bohrung
300 °C	$\pm 0,5\text{ °C}$	$\pm 0,1\text{ °C}$
700 °C	$\pm 0,5\text{ °C}$	$\pm 0,20\text{ °C}$
1200 °C	$\pm 0,5\text{ °C}$	$\pm 0,25\text{ °C}$

Axiale Gleichförmigkeit		
Temperatur	9118A ($\pm 30\text{ mm}$ in axialer Länge vom geometrischen Mittelpunkt)	9118A-ITB (bei 60 mm ab voller Eintauchtiefe)
Gesamter Bereich	$\pm 0,25\text{ °C}$	$\pm 0,2\text{ °C}$

Temperaturstabilität		
Spezifikation	9118A	9118A-ITB
Stabilität	$\pm 0,2\text{ °C}$	$\pm 0,1\text{ °C}$
Stabilisierungszeit	2 Stunden, gesamter Bereich	3 Stunden bei maximal 700 °C , 2 Stunden über 700 °C

Hinweis: Die Temperaturstabilität wurde als 2-Sigma-Wert über 30 Minuten gemessen.

Kombinieren der Unsicherheiten

Bevor die verschiedenen Komponenten der Unsicherheit kombiniert werden können, müssen Sie in Standardunsicherheiten konvertiert werden. Hierzu ist es wichtig, die Art (Verteilung) jeder Unsicherheit zu verstehen, damit die richtige Konvertierungsberechnung angewendet wird. In dieser Unsicherheitsanalyse enthält die Tabelle zwei Arten von Unsicherheiten: Normalverteilung und Rechteckverteilung.

Bei einer Unsicherheit mit Normalverteilung sind die meisten Ergebnisse in der Mitte. Die Verteilung weist eine Glockenform auf. Bei einer Rechteckverteilung ist das Ergebnis mit gleicher Wahrscheinlichkeit an einer beliebigen Stelle innerhalb der Grenzen. Die Verteilung weist die Form eines Rechtecks auf. Oft werden Prozessgrenzen, beispielsweise der zulässigen langfristigen Drift, Rechteckverteilungen zugewiesen. Wenn die Verteilung unbekannt ist, ist man bei Annahme der Rechteckverteilung auf der sicheren Seite.

Um eine erweiterte ($k=2$ oder $k=3$) Normalverteilung in eine Normalverteilung mit Standardunsicherheit ($k=1$) zu konvertieren, teilen Sie den Wert einfach durch k . Um eine Unsicherheit mit Rechteckverteilung in die Unsicherheit mit Normalverteilung zu konvertieren, teilen Sie den Wert durch die Quadratwurzel von 3. Informationen zur Berechnung der Unsicherheiten beim Konvertieren anderer Verteilungen finden Sie im „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements (GUM)“ (Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen) oder anderen verlässlichen Informationsquellen.

Für das Kombinieren der Standardunsicherheiten zur Berechnung der Gesamtunsicherheit muss bekannt sein, ob eine Unsicherheit unabhängig oder korreliert ist. Eine unabhängige Unsicherheit wird von den anderen Unsicherheiten nicht beeinflusst. Alle unabhängigen Unsicherheiten können mit der Quadratwurzel der Summe der Quadrate (RSS-Methode, Root Sum Squares) kombiniert bzw. addiert werden. Nachstehend finden Sie ein Beispiel einer Berechnung mit der Quadratwurzel der Summe der Quadrate. Eine korrelierte Unsicherheit weist eine Korrelation oder Beziehung zu einer oder mehreren anderen Unsicherheiten auf. Korrelierte Unsicherheiten können meist einfach addiert werden. Die Summe wird dann mit der RSS-Methode zu den anderen Unsicherheiten hinzugefügt. Manchmal werden auch komplizierte Verfahren zur Berechnung der Korrelationen angewendet. Dies ist jedoch in dieser Unsicherheitsanalyse nicht erforderlich.

In dieser Unsicherheitsanalyse sind die Unsicherheiten der Messgenauigkeit des 1586A korreliert, da der Referenzmessfühler und der Kalibriergegenstand mit dem gleichen Gerät gemessen werden. Die Unsicherheiten werden daher zuerst einfach addiert und dann mit der RSS-Methode mit den anderen Unsicherheiten kombiniert. Nachdem die gesamte Standardunsicherheit berechnet wurde, wird Sie mit dem gewünschten Erweiterungsfaktor multipliziert (in diesem Fall $k=2$ für einen Vertrauensbereich von 95 %), um die gesamte erweiterte Unsicherheit zu ermitteln.

Quadratwurzel der Summe der Quadrate (RSS)

$$U = \sqrt{B1^2 + B2^2 + B3^2 + B4^2 + B5^2 + B6^2 \dots}$$

Fluke Calibration. *Precision, performance, confidence.™*

Elektrisch	HF	Temperatur	Druck	Fluss	Software
------------	----	------------	-------	-------	----------

Fluke Calibration
PO Box 9090,
Everett, WA 98206, USA

Fluke Europe B.V.
PO Box 1186, 5602 BD
Eindhoven, Niederlande

Weitere Informationen erhalten Sie telefonisch unter den folgenden Nummern:

U.S.A. (877) 355-3225 oder Fax (425) 446-5116
Europa/Naher Osten/Afrika: +31 (0) 40 2675 200 oder Fax +31 (0) 40 2675 222
Kanada (800)-36-FLUKE oder Fax (905) 890-6866
Andere Länder +1 (425) 446-5500 oder Fax +1 (425) 446-5116
Internetadresse: <http://www.flukecal.de>

©2015 Fluke Calibration. Änderungen der technischen Daten vorbehalten.
Gedruckt in den USA 7/2015 6004551E_DE
Pub-ID 13348-ger

Änderungen an diesem Dokument sind nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung von Fluke Calibration zulässig.