

Messunsicherheitsanforderungen nach ISO 17025 - Implementierung in eine Software

Applikationsbericht

Die Norm DIN EN ISO 17025 „Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien“ fordert die Angabe von Messunsicherheiten in Kalibrierzertifikaten.

Was bedeutet das? Ist die Messunsicherheit einfach das Verhältnis zwischen Normal und Kalibriergegenstand (TUR-Test Uncertainty Ratio) oder müssen weitere Faktoren berücksichtigt werden? Benutzt man den Leitfaden „Guide to the Expression of Uncertainty of Measurement“, so ist es sicher mehr als eine einfache Berechnung des Messunsicherheitsverhältnisses.

Dieser Applikationsbericht beschreibt die Implementierung der Messunsicherheitsberechnung in die Fluke Kalibriersoftware MET/CAL. Die Übereinstimmung mit DIN EN ISO 17025 wird diskutiert.

Einleitung

Zunehmend wird von Kalibrierlaboratorien die Ermittlung von Messunsicherheiten und Angabe in Kalibrierzertifikaten gefordert.

Der Grund dafür liegt in der Forderung, mit bestimmten Normen, wie ISO 17025 übereinzustimmen. Es ist nicht mehr ausreichend, nur das Messunsicherheitsverhältnis (TUR) nach MIL STD 45662A anzugeben.

Das Verhältnis wurde gewöhnlich als **TUR= (Test Toleranz) / (Genauigkeit des Standards)** ermittelt.

Die TUR Berechnung bezieht sich auf die angegebene Genauigkeit des verwendeten Normals, repräsentiert aber nicht die komplette Messunsicherheit, da sie keine empirischen Informationen, die aus einer Sequenz von mehreren Messwerten gewonnen werden, enthält. Ebenso finden Messunsicherheiten durch die Auflösung des Kalibriergegenstandes oder anderer Systemkomponenten sowie Einflüsse durch Umgebungsbedingungen keine Berücksichtigung.

MET/CAL ist ein Softwareprodukt und Teil des Fluke Kalibrier und Messmittelmanagement-Paketes MET/CAL Plus. Die erste MET/CAL-Version wurde 1989 als MS-DOS-Programm veröffentlicht. Zeitgleich mit der MET/CAL Veröffentlichung wurde der Multifunktions-Kalibrator 5700A vorgestellt.

Später wurde MET/CAL auf Microsoft Windows umgestellt (V4) und mit der Fluke Messmittelmanagement-Software MET/TRACK zu einem Paket integriert (V5). Die derzeitige MET/CAL (V6) ist eine 32 Bit Applikation mit über 50 Gerätetreibern zur Unterstützung von Kalibriernormalen von Fluke, Hewlett-Packard, Keithley und anderer Hersteller. Zusätzlich beinhaltet MET/CAL ca. 2000 kompilierte Kalibrierprozeduren für die gängigsten Messgeräte.

Es ist von entscheidender Bedeutung zu wissen, dass bei jeder Weiterentwicklung von MET/CAL die aufwärtskompatibilität der Kalibrierprozeduren angestrebt wird.

Für die Implementierung der Ermittlung von Messunsicherheiten hat das folgende Konsequenz: Bereits vorhandene Prozeduren müssen unverändert weiterarbeiten und ausserdem, ohne zusätzliche Informationen aus der Prozedur, automatisch die Messunsicherheit berechnen können.

Die Ermittlung von Messunsicherheiten in einem Software gestützten Kalibriersystem ergibt einige spezielle Anforderungen und Probleme:

- **Automatisierung.** Der Anwender möchte so viel wie möglich automatisieren. Idealerweise sollte es bei der Erstellung einer Kalibrierprozedur nicht erforderlich sein, einzelne Testschritte zu analysieren oder Messunsicherheitsinformationen manuell einzufügen.
- **Flexibilität.** Der Autor einer Kalibrierprozedur sollte die Möglichkeit haben, vorgegebene Werte in allen Ebenen der Messunsicherheitsberechnung zu überschreiben. Das Überschreiben von vorgegebenen Werten sollte auf Prozedurebene, und, wenn erforderlich am Kalibrierplatz oder vor Ort möglich sein.
- **Kompatibilität.** Die weitere Verwendung bereits vorhandener Prozeduren muss sichergestellt sein und ebenso die Einbeziehung der Messunsicherheitsberechnung ohne Modifikation der Prozeduren. Dies ist von besonderer Bedeutung durch die hohe Anzahl von MET/CAL Anwendern, die ihre Software schon seit vielen Jahren benutzen und über eine entsprechend große Prozedurenbibliothek verfügen.

Berechnung der Messunsicherheit

Basisberechnung

Auf der obersten Ebene ist die Berechnung der Messunsicherheit sehr einfach:

Erweiterte Messunsicherheit = (Standard-Messunsicherheit) * k

wobei k der Erweiterungsfaktor und die Standard-Messunsicherheit die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate der einzelnen Messunsicherheitskomponenten ist:

$$\text{Standard-Messunsicherheit} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_{10}^2}$$

MET/CAL versucht u_1 und u_2 automatisch zu berechnen.

Die Komponente u_1 ist die einfache Messunsicherheit des Kalibriernormals (Systems), in der Regel bestehend aus der Messunsicherheit der Kalibrierung und einem Langzeitanteil. Die Komponente u_2 basiert auf zwei Parametern:

- (1) Eine Sequenz von wirklichen Messwerten.
- (2) Die Auflösung des Kalibriergegenstandes (UUT).

Die Komponenten $u_3 \dots u_{10}$ sind optionale Messunsicherheitskomponenten, die direkt durch den Autor der Prozedur spezifiziert werden können. Im Falle einer Zuweisung werden sie bei der quadratischen Addition berücksichtigt. Sind keine weiteren Angaben gemacht, werden sie zu Null gesetzt und beeinflussen die quadratische Addition nicht. Die Werte bleiben in einer Prozedur solange bestehen, bis sie überschrieben oder zurückgesetzt werden.

Ermittlung von u_1 , der Standard-Messunsicherheit des Kalibriernormals (Systems)

In jedem Testschritt einer MET/CAL-Kalibrierprozedur gibt es ein Kalibriernormal und einen Kalibriergegenstand.

Als Beispiel kann das Kalibriernormal ein Fluke 5700A und der Kalibriergegenstand ein Fluke 77 sein. In den meisten Fällen beinhaltet die Testspezifikation in einer Kalibrierprozedur Informationen über die Testanforderungen für MET/CAL, um das Kalibriernormal automatisch zu programmieren. Die Informationen werden ausserdem dazu benutzt, die Messunsicherheit des Kalibriernormals aus einer externen Spezifikationsdatei (Accuracy Datei) herauszulesen. MET/CAL hat schon immer externe „Accuracy Dateien“ unterstützt. In den Versionen vor MET/CAL 6 wurde diese Information zur Berechnung des Messunsicherheitsverhältnisses benutzt. Jetzt wird sie für beides, das Messunsicherheitsverhältnis und die Messunsicherheit benutzt.

Die Standard-Messunsicherheit des Kalibriersystems wird berechnet als:

$$\text{Standard-Messunsicherheit} = \text{Systemunsicherheit} / \text{Vertrauensfaktor}$$

wobei:

1. Die Systemunsicherheit ist typischerweise in einer MET/CAL „Accuracy Datei“ abgelegt.
2. Der Vertrauensbereich ist eine statistische Angabe, die den kalibrierten Normalen beigelegt wird.
3. In den normalen Betriebsarten ist der Vertrauensfaktor am Anfang der „ACC“ Datei eingetragen.
4. Typische Vertrauensfaktoren sind 2 Sigma, 2.58 Sigma und 3 Sigma.

Achtung: Der Parameter der in diesem Dokument als Vertrauensfaktor bezeichnet wird, ist in verschiedenen technischen Schriften als „Überdeckungsfaktor“ bezeichnet. Es ist nicht der gleiche Überdeckungsfaktor, obwohl er dazu benutzt wird, die Standard-Messunsicherheit aus der erweiterten Messunsicherheit zu berechnen.

Ermittlung von u_2

Die zweite Messunsicherheitskomponente u_2 besteht typischerweise aus einer Sequenz von wirklichen Messungen und der Auflösung des Kalibriergegenstandes.

Die Ermittlung erfolgt nach der Gleichung: $u_2 = \sqrt{s_1^2 + s_2^2}$ wobei s_1 aus der Mess-Sequenz und s_2 aus der Auflösung des Kalibriergegenstandes besteht.

Ermittlung von s_1

Der Parameter s_1 basiert auf einer Sequenz von Messungen an einem bestimmten Testpunkt und wird berechnet nach: $s_1 = (S_{DEV} / (\sqrt{N})) * F$ wobei:

N ist die Anzahl der Messungen

S_{DEV} ist die Standardabweichung der Messungen

F ist der Faktor basierend auf der Student- oder t-Verteilung und dem Freiheitsgrad.

Solange nicht überschrieben oder deaktiviert, wird der Wert F nach Tabelle G2 -Anhang G des ANSI/NCSL Z540-2-1997 Dokumentes ermittelt. Ungefähre Werte für F gibt die nachfolgende Tabelle:

N	F
10 oder mehr	1
9	1.2
8	1.2
7	1.3
6	1.3
4	1.7
3	2.3
2	7.0

Ermittlung von s_2

Der Parameter s_2 basiert auf der Auflösung des Kalibriergegenstandes. Es ist notwendig den Parameter s_2 in die Messunsicherheitskomponente u_2 einzufügen, da in dem Fall, wo die Messunsicherheit des Kalibriersystems wesentlich kleiner ist wie die Messunsicherheit des Kalibriergegenstandes, die Wahrscheinlichkeit sehr hoch ist, dass alle Messungen einer Sequenz den gleichen Wert ergeben. In diesem Fall wird die berechnete Standardabweichung zu Null und s_1 wird ebenso Null. Eine Standardabweichung von Null bedeutet jedoch nicht, dass alle Messwerte absolut gleich sind; es zeigt nur, dass die Messwerte innerhalb der Auflösung des Kalibriergegenstandes gleich sind.

Wenn z.B. der wahre Wert eines angelegten Signals schwankt, aber immer innerhalb ± 0.5 Digit der Auflösung eines DMM's bleibt, wird eine Sequenz von immer gleichen Werten aufgezeichnet, ohne das dabei die Schwankungen des Eingangssignals bemerkt werden.

Das Einfügen von s_2 verhindert in diesen Fällen, dass u_2 als Null abgeschätzt wird. Die Berechnung von s_2 erfolgt nach der Gleichung:

$$s_2 = \left(\frac{1}{2} \text{Auflösung}_{\text{ UUT}} \right) / (\sqrt{3})$$

d.h. s_2 ist die halbe Weite der Auflösung, dividiert durch Wurzel aus 3. Der „Wurzel 3- Term“ ergibt sich aus der Annahme einer rechteckförmigen Verteilung der Werte, innerhalb der halben Weite der Anzeige des Kalibriergegenstandes.

Die Auflösung des Kalibriergegenstandes wird durch Vorgabe, indirekt aus den Informationen in der Kalibrierprozedur ermittelt. Typischerweise basiert sie auf dem spezifizierten „NOMINAL Wert“, obgleich es andere Informationsquellen gibt, wenn der Verfasser einer Prozedur den „NOMINAL Wert“ nicht direkt spezifiziert.

Beispiel: Angenommen ein Gleichspannungstest soll bei 1 Volt DC durchgeführt werden und der Autor der Prozedur spezifiziert einen „NOMINAL Wert“ von „1.00V“, so leitet MET/CAL von der NOMINAL Spezifikation eine Auflösung des Kalibriergegenstandes von 0.01V ab.

Ermittlung von u_3, u_4, \dots, u_{10}

Wie vorher beschrieben, errechnet sich die Standard-Messunsicherheit aus:

$$\text{Standard-Messunsicherheit} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_{10}^2}$$

wobei u_3, u_4, \dots, u_{10} optionale Unsicherheitskomponenten sind, die direkt spezifiziert werden können um damit die Berechnung der Messunsicherheit zu verbessern.

Die Parameter u_3, u_4, \dots, u_{10} können direkt in einer MET/CAL Kalibrierprozedur spezifiziert werden. Die Werte können einer Einzelmessung, oder Sequenz von Messungen oder einer gesamten Prozedur zugefügt werden. Der vordefinierte Wert für diese Komponenten ist Null. Folglich beeinflussen fehlende bzw. nicht spezifizierte Komponenten die quadratische Addition nicht, und haben damit auch keinen Einfluss auf die Standard-Messunsicherheit.

Zurückkommend auf die erweiterte Messunsicherheit, die berechnet wird aus:

$$\text{Erweiterte Messunsicherheit} = (\text{Standard-Messunsicherheit}) * k$$

wobei k der Vertrauensfaktor ist.

Jedoch beeinflusst eine Spezifikation von u_3, u_4, \dots, u_{10} die Standard- und die erweiterte Messunsicherheit.

Es liegt am Metrologen bzw. Autor der Prozedur, wann es erforderlich ist, optionale Spezifikationen für u_3 bis u_{10} hinzuzufügen. Generell sind diese Spezifikationen „Type B Komponenten“. Sie basieren nicht auf mehrfach gemessenen Werten, auf der Messunsicherheit eines Kalibriernormals, oder der Auflösung eines Kalibriergegenstandes, denn diese Komponenten sind bereits in u_1 und u_2 eingeschlossen und werden typischerweise in MET/CAL berechnet.

Nach ANSI/NCSL Z540-2-1997 beinhalten die Informationen zur Ermittlung von Typ B Komponenten:

- vorhergegangene Messergebnisse
- Kenntnisse über Verhalten und Eigenschaften von Materialien und Instrumenten
- Herstellerspezifikationen
- Kalibrierzertifikate
- Unsicherheiten aus Referenzdaten in Handbüchern

In der Praxis können folgende optionalen Unsicherheiten hinzugefügt werden:

- Prüfleitungen
- Abschlusswiderstände
- Teiler
- Powersplitter
- Thermolemente

- Andere Signalaufbereiter
- Umgebungseinflüsse (Temperatur, Feuchte).

In einigen Fällen ist es sinnvoll, alle zusätzlichen Faktoren zu vernachlässigen (auf Null zu setzen).

Wird z.B. ein Kalibrator Fluke 5720A zur Kalibrierung eines Digitalmultimeters Fluke 10 verwendet, so ist die Auflösung des Kalibriergegenstandes eine so dominierende Komponente, dass alle anderen Einflüsse wie Prüfleitungen etc. vernachlässigt werden können. Wird auf der anderen Seite ein Präzisionswiderstand mit einem Digitalmultimeter HP 3458A vermessen, dann spielen Messunsicherheiten, die durch die Prüfleitungen und Temperatureinflüsse im Kalibrierlabor hervorgerufen werden, eine große Rolle.

Kontrolle der Parameter

Die von MET/CAL durchgeführte Messunsicherheitsberechnung ist im vorherigem Text ausführlich beschrieben worden. Die meisten Parameter können auf der Prozedurebene überschrieben werden. Wird ein Parameter auf Prozedurebene spezifiziert, so gilt er für die gesamte Prozedur, solange er nicht geändert oder auf den voreingestellten Wert gesetzt wird. In einigen Fällen können die Parameter auch auf der Arbeitsebene (in der MET/CAL Inizialisierungsdatei) oder auf der Systemebene (in der Tabelle der Datenbank) gesetzt werden. Wenn ein Messunsicherheitsparameter in einer Prozedur überschrieben wird, kann der Wert auf verschiedene Weise beschafft werden:

- Der Wert kann direkt spezifiziert werden
- Der Wert kann über die MATH Funktion in der MET/CAL-Prozedur berechnet werden
- Der Benutzer kann aufgefordert werden, den Wert oder Informationen die zur Berechnung des Wertes nötig sind, einzugeben.
- Der Wert kann in einem separaten Programm berechnet werden, das automatisch von MET/CAL aufgerufen wird

Dieser Abschnitt gibt zusätzliche Informationen über die Messunsicherheitsparameter.

Zusammenfassung der Parameter

Folgende Messunsicherheitsparameter können direkt auf der Prozedurebene spezifiziert werden:

- Anzahl der Messungen
- Vertrauensbereich
- Vertrauensfaktor
- Erweiterte Messunsicherheit
- F (normalerweise basierend auf dem Studentfaktor t)
- Flag zum aktivieren oder inaktivieren von Student t zur Ermittlung von F.
„Measure Only“ Flag
- $s_1 = (S_{DEV} / \sqrt{N}) * F$
- $s_2 = \left(\frac{1}{2} \text{Auflösung} - UUT \right) / (\sqrt{3})$
- Standardunsicherheit
- Systemgenauigkeit
- $u_1 = \text{Standard-Systemgenauigkeit}$
- $u_2 = \sqrt{s_1 + s_2}$
- $u_2 \dots u_{10}$ (optionale Messunsicherheitskomponenten)
- Auflösung des Kalibriergegenstandes

Zuweisung der Anzahl von Messungen

Die Anzahl der Messungen, N, kann je nach Vorrang auf der Systemebene, auf Arbeitsebene oder auf Prozedurebene spezifiziert werden. Eine Spezifikation auf Prozedurebene kann einem Test oder einer Testsequenz oder einer ganzen Prozedur zugeordnet werden. Der Wert von N zeigt an, wie oft jeder Testschritt wiederholt wird. Dieser Prozess ist zur Akkumulierung der Messwerte notwendig und bildet die Basis zur Berechnung der Standardabweichung. Gültige Werte für N reichen von 0 bis 1000. Wird N auf 0 gesetzt, so wird die Berechnung der Messunsicherheit deaktiviert. Jedoch ist es zulässig, N auf 1 zusetzen, das bedeutet aber, dass die Standardabweichung in diesem Fall Null ist. Daraus folgt, dass die zweite Messunsicherheitskomponente u_2 zu s_2 wird, und die gesamte Messunsicherheit basiert nur noch auf der Auflösung des Kalibriergegenstandes.

Deshalb ist es generell nicht empfehlenswert, die Anzahl der Messungen auf 1 zu setzen. Jedoch gibt es einige Fälle in denen es durchaus sinnvoll ist. Ein solcher Fall tritt ein, wenn s_1 oder u_2 bereits berechnet sind und direkt auf der Prozedurebene spezifiziert werden.

Ein zweiter Fall, in dem N auf 1 gesetzt wird ist akzeptabel, wenn die Messunsicherheit des Kalibriernormals viel besser ist, als die Auflösung des Kalibriergegenstandes, und die Standardabweichung jeder Mess-Sequenz nahezu Null ist (da alle Messwerte gleich sind).

Der Autor einer Prozedur oder Metrologe sollte bei der Auswahl der Anzahl von Messungen sehr sorgfältig die Folgen berücksichtigen. Eine große Anzahl von Messungen erhöht das Vertrauen in die Standardabweichung, verlangsamt aber den Ablauf der Kalibrierprozedur.

In vollautomatischen Kalibrierprozeduren (Kalibriersystem und Kalibriergegenstand sind rechnergesteuert) wird die normale Messzeit plus Einschwingzeit mit N multipliziert. Bei einer manuellen Kalibrierprozedur, wobei die Messwerte N mal manuell eingegeben werden müssen, wird der Prozess langsam und zeitraubend.

Zuweisung des Vertrauensbereichs

Der Vertrauensbereich ist eine statistische Angabe des Vertrauensbereichs, der mit den Spezifikationen des Kalibriernormals verbunden ist.

Der Vertrauensbereich muss als ein „Sigmawert“ angegeben werden, nicht als „Prozentwert“. So wird z.B. ein Kalibriernormal, das mit einem Vertrauensbereich von 99% spezifiziert ist, auf einen Sigmawert von 2.58 (der äquivalente Wert) gesetzt. In den Fällen, in denen kein Vertrauensbereich bei einem Kalibriernormal angegeben ist, sollte der Sigmawert auf 1.73, (das entspricht $\sqrt{3}$), gesetzt werden. Dieser konservative Wert entspricht der Annahme einer Rechteckverteilung.

Der Vertrauensbereich wird zur Berechnung der Standard-Systemmessunsicherheit benötigt. Der Vertrauensparameter wird oftmals als Überdeckungsfaktor bezeichnet. Wir erinnern uns, dass die

Standard-Messunsicherheit = $\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_{10}^2}$ wobei u die Standard-Systemmessunsicherheit,

berechnet als: **Standard-Systemmessunsicherheit** = (Systemmessunsicherheit/Vertrauensfaktor)

Die System-Messunsicherheit ist die Messunsicherheit des Kalibriernormals(Systems) und wird normalerweise der MET/CAL „Accuracy Datei“ entnommen. Wenn der Wert aus der Accuracy Datei für einen bestimmten Test nicht verwendbar ist oder keine Accuracy Datei zur Verfügung steht, kann der Vertrauensfaktor direkt auf Prozedur- oder Systemebene spezifiziert werden.

MET/CAL beinhaltet ungefähr 50 unterschiedliche Kalibriernormale. Für jedes Normal ist eine Accuracy Datei in der Software enthalten. Es ist nicht unüblich, dass Messgerätehersteller keinen Vertrauensbereich mit den Spezifikationen angeben. In diesen Fällen sollte versucht werden, mit dem Hersteller (z.B. Hewlett Packard) Kontakt aufzunehmen um den Vertrauensbereich herauszufinden. In den Fällen, wo keine Angabe über den Vertrauensfaktor zu bekommen ist, wird als Voreinstellung der Faktor 2 Sigma gewählt. Dieser Wert kann jederzeit auf einfache Weise durch den Anwender abgeändert werden. MET/CAL erlaubt es, alternative „Accuracy Dateien“ zu erstellen und zu verwenden. In diesen Fällen sollte der Vertrauensfaktor am Anfang der „Accuracy Datei“ spezifiziert werden. MET/CAL erlaubt ausserdem die direkte Zuweisung der Messunsicherheit eines Standards für jeden Testschritt in einer Prozedur. Wird dies getan, so ist die direkte Zuweisung des Vertrauensfaktors auf Prozedurebene notwendig, es sei denn, der voreingestellte Faktor 2 wird akzeptiert.

Zuweisung des Erweiterungsfaktors

Der Erweiterungsfaktor wird zur Berechnung der erweiterten Messunsicherheit benötigt:

Erweiterte Messunsicherheit = (Erweiterungsfaktor) x (Standard-Messunsicherheit)

Nach den gültigen Übereinkommen ist der typische Wert des Erweiterungsfaktors auf 2 Sigma festgelegt und MET/CAL V 6.0 wird mit dem eingestellten Faktor 2 ausgeliefert.

Der Erweiterungsfaktor kann mit erhöhtem Vorrang auf der Systemebene, der Arbeitsebene oder der Prozedurebene spezifiziert werden. Eine Zuweisung auf Prozedurebene kann einem Testschritt, einer Testsequenz oder einer gesamten Prozedur zugeordnet werden. Der Erweiterungsfaktor ist in V 6.0 eine der drei Größen, die dem Ergebnis zugeordnet werden können. Es gibt keine Vorkehrung in V 6.0, dass der Erweiterungsfaktor automatisch als Funktion der Anzahl von Freiheitsgraden berechnet wird.

Zuweisung der erweiterten Messunsicherheit

Wird die Messunsicherheitsberechnung aktiviert, berechnet MET/CAL die erweiterte Messunsicherheit nach der Formel:

Erweiterte Messunsicherheit = (Standard-Messunsicherheit) x k

wobei k der Erweiterungsfaktor ist.

Es ist jedoch ebenso möglich, die erweiterte Messunsicherheit direkt auf der Prozedurebene zu spezifizieren. Solch eine Spezifikation überschreibt die eingebaute Berechnung für die erweiterte Messunsicherheit. Eine direkte Eingabe der erweiterten Messunsicherheit ist dann angebracht, wenn MET/CAL keine brauchbaren Ergebnisse liefert und wenn der Autor einer Prozedur die Messunsicherheit extern berechnet hat. Wird die erweiterte Messunsicherheit auf diese Weise spezifiziert, so werden alle Abhängigkeiten von den gemessenen Werten, Auflösung des Kalibriergegenstandes, Vertrauensfaktor und Studentfaktor für den betroffenen Testschritt unterbrochen. Die Abhängigkeit wird aber nur für die erweiterte Messunsicherheit unterbrochen,

jedoch nicht für die für die Standard-Messunsicherheit. Diese wird weiterhin auf dem normalen Weg ermittelt, ausser diese Berechnung wird ebenso überschrieben.

In den Fällen, wo die Messunsicherheit extern berechnet wurde, ist es aber sinnvoller, die Standard-Messunsicherheit und, nach Möglichkeit, den Erweiterungsfaktor zu überschreiben und die erweiterte Messunsicherheit, als das Produkt der zwei Werte, von MET/CAL berechnen zu lassen.

Zuweisung des F-Faktors

F ist ein Faktor, der auf der Student T-Verteilung und der Zahl der Freiheitsgrade basiert. Zurückkommend auf die grundsätzliche Berechnung der Messunsicherheit nach der Formel:

$$\text{Standard-Messunsicherheit} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_{10}^2}$$

wobei

$$u_2 = \sqrt{s_1 + s_2}$$

und

$$s_1 = (S_{DEV} / \sqrt{N}) * F$$

S_{DEV} ist die Standardabweichung der Messungen, N ist die Anzahl der Messungen und s_1 basiert auf der Auflösung des Kalibriergegenstandes. Wie vorher erwähnt, wird der Faktor F, sofern nicht überschrieben oder deaktiviert, nach der Tabelle G.2 des Anhangs G ANSI/NCCL Dokument Z540-2-1997 ermittelt.

Beachten Sie bitte, MET/CAL benutzt die vereinfachte Annahme, dass die Zahl der Freiheitsgrade eins weniger ist als die Anzahl der Messungen. Sollte diese Annahme nicht akzeptabel sein, hat der Metrologe die Möglichkeit, den Faktor F direkt zu berechnen und die eingebaute Berechnung zu überschreiben.

Der Wert von F kann direkt im Initalisierungsfile oder auf Prozedurebene spezifiziert werden. Diese Art der Zuweisung überschreibt die eingebaute Berechnung. Eine Zuweisung im Initalisierungsfile wird allen Testschritten zugeordnet, ausser sie wird auf Prozedurebene überschrieben.

Deaktivierung von F

Einige Metrologen möchten die Berechnung von s_1 vereinfachen und berechnen:

$$s_1 = (S_{DEV} / \sqrt{N})$$

Um diese Methode zu unterstützen, wird ein spezielles Flag angeboten, dass F in allen Fällen auf 1 setzt. Um F in der Berechnung von s_1 zu deaktivieren muss das spezielle Flag („USE_ST“) genannt, auf „no“ gesetzt werden. Das kann in der Datenbank, auf der Arbeitsplatzebene oder auf Prozedurebene geschehen.

Voreingestellt (bei Auslieferung) wird in MET/CAL V6.0 die Benutzung von F deaktiviert. In anderen Worten, der Faktor F ist auf 1 gesetzt und es wird angenommen, dass der Erweiterungsfaktor - typisch auf 2 gesetzt und zur Berechnung der erweiterten Messunsicherheit aus der Standard-Messunsicherheit verwendet- ausreichend ist, das Vertrauen in die Standardabweichung der Messwerte als eine Funktion der Anzahl der gemessenen Werte zu vereinigen. Wenn die Anzahl der Messungen 10 oder größer ist, liegt F in jedem Fall sehr nahe bei 1 und damit scheint die vorherige Annahme als gerechtfertigt.

Auf der anderen Seite kann der Student T-Faktor bei einer kleinen Anzahl von Messungen sehr gewichtig werden (z.B. ist $F=6.985$ bei zwei Messungen) und die Entscheidung, F auf 1 zu setzen, hängt bedingungslos vom Urteilsvermögen des Metrologen ab.

Basierend auf Kommentaren von verschiedenen europäischen und amerikanischen Quellen wurde ermittelt, dass das beste Verfahren für MET/CAL die Bereitstellung einer Option ist, nach der jede Seite selbst entscheiden kann, wie dieser Aspekt in die Berechnung der Messunsicherheit implementiert wird.

Zuweisung des „Measure Only“ Flags

„Measure Only“ ist ein Flag, das auf „Yes“ oder „No“ gesetzt werden kann. Ist das Flag auf „Yes“ gesetzt, wird in den Multimeter-Treibern von MET/CAL eine Funktion deaktiviert, die das Multimeter während einer Mess-Sequenz bei jeder Messung neu einstellt. Dadurch kann der Messvorgang beschleunigt werden, wenn die Anzahl der Messungen größer als 1 ist.

Es liegt in der Entscheidung des Metrologen oder Autors einer Prozedur einen Kompromiss zwischen Messunsicherheit und Beschleunigung des Messprozesses einzugehen. Wird das Messgerät vor jeder Messung neu eingestellt, so ergibt sich die Chance, signifikante Abweichungen zwischen den einzelnen Messungen festzustellen.

Das „Measure Only“ Flag kann in der Initalisierungsdatei und auf der Prozedurebene spezifiziert werden. Voreingestellt ist „Measure Only“ auf „no“ eingestellt, d.h. bei einer Sequenz von Messungen wird in dem Falle, wo das Kalibriernormal ein Multimeter ist, das Messgerät vor jeder Messung neu eingestellt.

Zuweisung des s_1 Parameters

Zurückkommend auf die grundsätzliche Berechnung der Messunsicherheit nach der Formel:

$$\text{Standard-Messunsicherheit} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_{10}^2}$$

wobei

$$u_2 = \sqrt{s_1 + s_2}$$

und

$$s_1 = (S_{DEV} / \sqrt{N}) * F$$

Mit anderen Worten, s_1 basiert normalerweise auf der Standardabweichung aus einer Serie von Messungen mit einer Anzahl größer 1. Es ist jedoch möglich die normale Berechnung von s_1 auf Prozedurebene zu überschreiben und direkt einen Wert zuzuweisen. Wird die Berechnung von s_1 für einen oder mehrere Testschritte überschrieben, so ist jede Verbindung zu der Anzahl der Messungen in der Messunsicherheitsberechnung für diese Tests unterbrochen. In diesem Fall sollte der Autor einer Prozedur die Anzahl der Messungen auf 1 setzen. Eine Ausnahme wird dann gemacht, wenn das Messergebnis als ein Mittelwert von einer Anzahl von mehreren Messungen dargestellt werden soll.

Zuweisung des s_2 Parameters

Zurückkommend auf die grundsätzliche Berechnung der Messunsicherheit nach der Formel:

$$\text{Standard-Messunsicherheit} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_{10}^2}$$

wobei

$$u_2 = \sqrt{s_1 + s_2}$$

und s_2 normalerweise nach der Formel

$$s_2 = \left(\frac{1}{2} \text{Auflösung} - UUT \right) / (\sqrt{3})$$

berechnet wird.

Mit anderen Worten, s_2 ist normalerweise eine Funktion der Auflösung des Kalibriergegenstandes. Es ist jedoch möglich die normale Berechnung von s_2 auf Prozedurebene zu überschreiben und direkt einen Wert zuzuweisen. Wird die Berechnung von s_2 für einen oder mehrere Testschritte überschrieben, so ist jede Verbindung zu der Auflösung des Kalibriergegenstandes in der Messunsicherheitsberechnung für diese Tests unterbrochen.

Zuweisung der Standard-Messunsicherheit

Normalerweise ist die

$$\text{Standard-Messunsicherheit} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_{10}^2}$$

Es ist jedoch möglich die normale Berechnung der Standard-Messunsicherheit auf Prozedurebene zu überschreiben und direkt einen Wert zuzuweisen. Das Überschreiben der normalen Berechnung der Standard-Messunsicherheit ist nur dann empfehlenswert, wenn der Autor der Prozedur die Standard-Messunsicherheit, in Verbindung mit einem Test, extern ermittelt hat. Die direkte Zuweisung der Standard-Messunsicherheit auf diese Art, unterbricht jede Verbindung zu den gemessenen Werten, Anzahl der Messungen, Auflösung des Kalibriergegenstandes, Vertrauensfaktoren und Student T-Verteilung für diese Tests.

Die einzige spätere Berechnung unter Verwendung einer zugewiesenen Standard-Messunsicherheit ist die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit:

$$\text{Erweiterte Messunsicherheit} = (\text{Standard-Messunsicherheit}) \times k$$

wobei k der Erweiterungsfaktor ist.

Zuweisung der Systemunsicherheit

Die Basiskalkulation der Messunsicherheit ist:

$$\text{Standard-Messunsicherheit} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_{10}^2}$$

wobei u_1 die normalisierte Systemunsicherheit, berechnet nach:

$$u_1 = \text{Systemunsicherheit} / \text{Vertrauensfaktor}$$

Die Systemunsicherheit wird in absoluten Werten (z.B. 0.1V) und der Vertrauensfaktor als ein Sigma-Wert (z.B. 2.58 Sigma) angegeben.

Normalerweise ist die Systemunsicherheit in der MET/CAL-Accuracy Datei abgelegt. Die Accuracy Datei wird typischerweise automatisch ausgewählt, basierend auf dem verwendeten Instrument (Kalibriernormal) und dem dafür in der Datenbank spezifizierten Kalibrierintervall. Der Autor einer Prozedur kann die normalerweise verwendete Auswahl der Accuracy Datei überschreiben und direkt eine alternative Accuracy Datei zuweisen. Ebenso ist es möglich, die Systemunsicherheit zur Messunsicherheitsberechnung, direkt auf Prozedurebene zuzuweisen. Es ist wichtig zu verstehen, dass diese Art der Zuweisung der Systemunsicherheit, keinen Einfluss auf die Berechnung des TUR (Messunsicherheitsverhältnis) hat. Diese basiert weiterhin auf der in der Accuracy Datei abgelegten Systemunsicherheit. Ein alternatives Verfahren, das in „closed loop Prozeduren“ verwendet werden kann, ist die Benutzung des ACC-Befehls, zur direkten Zuweisung der Systemunsicherheit. Dabei werden sowohl die Messunsicherheit und die TUR-Berechnung beeinflusst.

Direkte Zuweisung der Systemunsicherheit ist teilweise dort sinnvoll, wo die in der Accuracy Datei abgelegten Werte nicht anwendbar sind. So können z.B. Unsicherheiten von Frequenzzählern nicht als **(Prozent vom Wert)+Rauschen** angegeben werden. Deshalb funktionieren die Standardeinträge in den Accuracy Dateien hierbei nicht. Der Autor einer Prozedur kann dann die Systemunsicherheit direkt zuweisen, damit die Berechnung der Messunsicherheit fortgesetzt werden kann.

Zuweisung des u_1 Parameters

Die Basiskalkulation der Messunsicherheit ist:

$$\text{Standard-Messunsicherheit} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_{10}^2}$$

wobei u_1 die normalisierte Systemunsicherheit, berechnet nach:

$$u_1 = \text{Systemunsicherheit} / \text{Vertrauensfaktor}$$

Jedoch ist es möglich, die normale Berechnung von u_1 zu überschreiben und direkt einen Wert zuzuweisen. Wenn u_1 direkt spezifiziert wird, ist die berechnete Messunsicherheit nicht mehr abhängig von der Systemunsicherheit oder dem zugehörigen Vertrauensfaktor. Beide Werte sind in der Accuracy Datei abgelegt.

Zuweisung des u_2 Parameters

Die Basiskalkulation der Messunsicherheit ist:

$$\text{Standard-Messunsicherheit} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_{10}^2}$$

wobei:

$$u_2 = \sqrt{s_1 + s_2}$$

und s_1 normalerweise nach der Formel:

$$s_1 = (S_{DEV} / \sqrt{N}) * F$$

und s_2 normalerweise nach der Formel:

$$s_2 = \left(\frac{1}{2} \text{Auflösung} _ UUT \right) / (\sqrt{3})$$

berechnet wird.

Jedoch ist es möglich, die normale Berechnung von u_2 zu überschreiben und direkt einen Wert zuzuweisen.

Wenn u_2 direkt spezifiziert wird, ist die berechnete Messunsicherheit nicht mehr abhängig von der Anzahl der gemessenen Werte, der Student T-Verteilung oder der Auflösung des Kalibriergegenstandes.

Direkte Zuweisung von u_2 ist in den Fällen angebracht, wo MET/CAL die Berechnung der Messunsicherheit nach der üblichen Methode der quadratischen Addition, inklusive der Standard-Systemunsicherheit, und möglicherweise weiteren Unsicherheitskomponenten u_3, u_4, \dots, u_{10} , durchführen soll. Sie ist aber falsch bzw. nicht geeignet, wenn die übliche (empirische) Ermittlung von u_2 auf der Standardabweichung und der Auflösung des Kalibriergegenstandes basiert.

Zuweisung der zusätzlichen Unsicherheitskomponenten (u_3, u_4, \dots, u_{10})

Die zusätzlichen Unsicherheitskomponenten u_3, u_4, \dots, u_{10} sind auf Null gesetzt, so weit sie nicht direkt auf Prozedurebene spezifiziert werden. Null oder mehrere zusätzliche Komponenten können pro Test zugewiesen werden. Die Werte bleiben solange in einer Prozedur bestehen, bis sie überschrieben oder zurückgesetzt werden. Zusätzliche Informationen finden Sie im Abschnitt „Ermittlung von u_3, u_4, \dots, u_{10} “.

Zuweisung der Auflösung des Kalibriergegenstandes

Die Basiskalkulation der Messunsicherheit ist:

$$\text{Standard-Messunsicherheit} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_{10}^2}$$

wobei:

$$u_2 = \sqrt{s_1 + s_2}$$

und s_1 normalerweise nach der Formel:

$$s_1 = (S_{DEV} / \sqrt{N}) * F$$

und s_2 normalerweise nach der Formel:

$$s_2 = \left(\frac{1}{2} \text{Auflösung} - UUT \right) / (\sqrt{3})$$

berechnet wird.

Sofern nicht überschrieben, versucht MET/CAL die Auflösung des Kalibriergegenstandes aus den Informationen in der Prozedur zu übernehmen. (Eigentlich hat MET/CAL dies schon immer getan aber vor der Version 6.0 wurden die Informationen nur zur Steuerung der Ergebnisformatierung benötigt). In V 6.0 ist die Auflösung des Kalibriergegenstandes zur Messunsicherheitsberechnung erforderlich.

Wenn die automatische Ermittlung der Auflösung falsch oder ungeeignet ist, kann sie auch direkt zugewiesen werden. Die Auflösung des Kalibriergegenstandes wird in absoluten Einheiten (Volt, Ampere, etc.) ausgedrückt. Die Einzelheiten wie MET/CAL die Informationen über die Auflösung aus der Prozedur entnimmt, werden hier nicht beschrieben. Der Autor einer Prozedur muss jedoch darüber Kenntnis haben, dass MET/CAL nicht in allen Fällen verlässliche Informationen über die Auflösung ermitteln kann. Das gilt besonders in den Fällen wo die nominalen Werte oder die Testtoleranz nicht gleich bleibend bekannt sind aber benötigt werden.

In diesen Fällen sollte die Auflösung direkt auf Prozedurebene zugewiesen werden. Die Zuweisung kann für einen einzelnen Test, eine Gruppe von zusammenhängenden Tests oder eine komplette Prozedur erfolgen.

Steuerung des Kalibrierprozesses

In der Prozedurensprache von MET/CAL besteht ein Test aus einer Sequenz von einem oder mehreren Prozedurbefehlen, die ein einzelnes Ergebnis an einem speziellen Testpunkt ermitteln.

In „closed-loop“ Prozeduren, wobei der Kalibriergegenstand ferngesteuert wird, erfordert eine vollständige Automatisierung die Aufspaltung eines Tests in mehrere diskrete Schritte:

- a) Einstellung des Kalibriergegenstandes
- b) Einstellung des Kalibriernormals
- c) Ablesung des Messwertes
- d) Vergleich des gemessenen Wertes mit dem Sollwert

Abhängig vom jeweiligem Test und den dazugehörigen Instrumenten kann es möglich sein, dass der Anwender aufgefordert wird, verschiedene Anschlussverbindungen während der Tests durchzuführen. Die Berechnung der Messunsicherheit erfordert, dass einige oder alle Teile eines solchen Tests automatisch wiederholt werden, einmal für jede Messung in einer Mess-Sequenz.

Es kommt dann die Frage auf, wie viel dieser Schritte in der Prozedur bei der zweiten und den nachfolgenden Messungen wiederholt werden müssen? In einigen Fällen, z.B. beim Umstecken von Messkabeln ist es klar, dass diese Anweisung den Messprozess unterbricht und damit ärgerlich und sinnlos ist. In anderen Fällen aber z.B. bei der Frage ob für jede Messung das Kalibriernormal und der Kalibriergegenstand neu eingestellt werden sollen, ist eine Beurteilung des Prozesses notwendig.

Es gibt einige Argumente aus Sicht der Messunsicherheit, die dafür sprechen, den Kalibriergegenstand und das Kalibriernormal vor jedem Test neu einzustellen. Auf der anderen Seite aber wird dadurch der Kalibriervorgang erheblich verlangsamt.

Um volle Flexibilität zu gewährleisten, wurde der neue Funktionsbefehl „TARGET“ in die MET/CAL Programmiersprache implementiert. Der TARGET-Befehl kann an jeder beliebigen Stelle in die Prozedur eingefügt werden. Damit wird bewirkt, dass die Ausführung der zweiten und weiteren Messungen nach diesem Befehl beginnt.

Zur Kompatibilität mit vorhandenen, ausführbaren Prozeduren wendet MET/CAL ebenso bestimmte eingebaute Regeln an, mit denen die Ermittlung von wiederholbaren Testschritten auch ohne Verwendung des TARGET-Befehles möglich ist.

Einige Befehle, wie z.B. eine Aufforderung zum Verbinden der Instrumente, werden durch Voreinstellung nicht wiederholt.

Andere Befehle, z.B. IEEE-488 oder serielle Schnittstellenbefehle zur Einstellung und Abfrage der Instrumente, werden bei jeder Messung wiederholt.

Zusammenfassung

Die Implementierung der Messunsicherheitsberechnung in MET/CAL V6.0 hat zwei Hauptziele:

1. Definition von eingebauten Rechenoperationen, die für die meisten Fälle eine korrekte Messunsicherheitsberechnung garantieren. Die Berechnung der Messunsicherheit kann in den meisten Prozeduren ohne Modifikation durchgeführt werden.
2. Sicherstellen einer flexiblen Implementation, die es dem Anwender erlaubt, einige oder alle Berechnungen zu überschreiben und bei Bedarf zusätzliche Parameter zu berücksichtigen.

Unser Plan für zukünftige MET/CAL Versionen sieht eine intensive Berücksichtigung von Kundenfeedback und die Implementation zusätzlicher Funktionen, wenn benötigt, sowie die Automatisierung weiterer Berechnungsschritte, wenn möglich, die z.Zt. manuell durchgeführt werden.

Referenzen

- (1) DIS 17025 „General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories“.
- (2) ANSI/NCSL Z540-2-1997 „U.S. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“.
- (3) EAL-R2 „Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration“.
Note: The most recent version of this document is designated „EA-4/02“.
- (4) EAL-R2-S1 „Supplement 1 to EAL-R2 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration“.
- (5) „Guidelines on the Evaluation and Expression of the Measurement Uncertainty“, Singapore Institute of Standards and Industrial Research, First Published July 1995.
- (6) Calibration: Philosophy in Practice, 2nd Edition, Fluke
- (7) Mr. Ray Kletke, Fluke Standards Lab.
- (8) Mr. David Deaver, Fluke Standards Lab.
- (9) „Software and Hardware Considerations for Automated Calibration Systems“, Peter Dack, Wavetek Calibration Division.