

»Achtung! Jetzt gibt es nur zwei Möglichkeiten: Entweder es funktioniert, oder es funktioniert nicht.«

Lukas in „Jim Knopf und Lukas, der Lokomotivführer“

11.1 CHECKLISTE FÜR EINE STRUKTURIERTE SUCHE NACH MESSUNSICHERHEITSEINFLÜSSEN

Nachfolgende Checkliste stellt ein Gerüst für die Suche nach Messunsicherheitseinflüssen dar. Die Liste sollte für die eigenen Anwendungen angepasst werden.

DEFINITION DER MESSGRÖßE

- Ist die Messgröße eindeutig definiert?
- Sind die Rahmenbedingungen ebenfalls festgelegt?

Definitionslücken der Rahmenbedingungen sind am besten nach Rücksprache mit dem Auftraggeber zu schließen. Ist dies nicht möglich, sollten eigene Definitionen getroffen werden. Diese sind im Kalibrierschein oder bei der Weitergabe der Messergebnisse zu dokumentieren.

Sollte in der Definition der Messgröße dennoch Interpretationsspielraum bleiben, ergibt sich hieraus ein Messunsicherheitseinfluss.

Anmerkung

BESCHREIBUNG DER MESSAUFGABE

- Ist die Messaufgabe eindeutig?

Definitionslücken in der Beschreibung der Messaufgabe führen zu Messunsicherheitseinflüssen, wie zuvor bei der Definition der Messgröße beschrieben.

Anmerkung

NORMAL

Ein Normal kann auf zwei verschiedene Arten bewertet werden. Wenn wenige Informationen vorliegen oder Pauschalisierungen gewünscht sind, wie beispielsweise bei neuen Messmitteln, ist Variante A eine Möglichkeit.

Wir empfehlen die Variante B mit einer Beschreibung über Eigenschaften, die im Rahmen von Kalibrierungen belegt wurden.

Anmerkung

Variante A: Spezifikationsgrenzen und Drift

Spezifikationsgrenzen

Spezifikationsgrenzen sind „feste Grenzen“, die bei üblicher Anwendung zum Zeitpunkt der letzten Kalibrierung eingehalten werden. So lange keine weiteren Informationen vorliegen, sind diese Grenzen mit Rechteckverteilung anzunehmen.

Es gibt – herstellerspezifisch – verschiedene Ansätze, diesen Spezifikationsgrenzen Vertrauensniveaus zuzuordnen. Manchmal liest man, dass hier $k = 3$ oder ein 99% Niveau hinterlegt ist. Solche Angaben beziehen sich üblicherweise auf Produkteigenschaften zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens (Verkauf) des Messmittels und sollten für die Bewertung der Messunsicherheit außer Acht gelassen werden.

Anmerkung

Drift

Eine Messunsicherheitsbilanz ohne Berücksichtigung der Drift ist nicht vollständig. Sollten noch keine Erfahrungswerte vorliegen, ist zu empfehlen, bei passiven Messmitteln wie Widerstände, Kapazitäten, Maßverkörperungen für Massen und Längen, usw. etwa 25 % der Herstellerspezifikationen für ein typischen Kalibrierintervall anzunehmen. Die Annahme ist eine Schätzgröße, die mit Rechteckverteilung berücksichtigt werden sollte.

Für aktive und komplexere Messmittel bei denen es ein Zusammenspiel mehrerer Komponenten gibt, sollten eher 50 % der Herstellerspezifikationen angesetzt werden, bis dass belegbar kleinere Driften angenommen werden können.

Auch diese Schätzung ist mit Rechteckverteilung anzunehmen.

Anmerkung

□ Variante B: Bekannte Eigenschaften auf Basis von Kalibrierungen

□ Messabweichung

Die mittlere Messabweichungen an den benachbarten Stützpunkten der Rückführung sind zu berücksichtigen. Die Messabweichungen wurden im Rahmen von Messungen ermittelt.

Die Messabweichung ist eine singuläre Feststellung! Üblicherweise ist sie zu korrigieren. Nur falls dies nicht möglich oder gewollt sein sollte, kann sie in Messunsicherheitsbilanzen mit Gewichtungsfaktor 1 (!) eingebracht werden. Zu beachten ist, dass die Messabweichung nicht mit einem Erweiterungsfaktor zu berücksichtigen ist, wenn die erweiterte Messunsicherheit bestimmt wird.

Dieser Wert ist zudem mit einem effektiven Freiheitsgrad von (mindestens) $v_{\text{eff}} = 50$ zu bewerten.

Anmerkung

□ Unsicherheit der Kalibrierung

Dieser Messunsicherheitseinfluss ist mit Normalverteilung zu übernehmen. Hierbei ist zu beachten, dass dieser Wert um $1/k$ korrigiert übernommen werden kann. Dieser Wert ist zudem mit einem effektiven Freiheitsgrad von (mindestens) $v_{\text{eff}} = 50$ zu bewerten.

Anmerkung

□ Interpolation von Zwischenwerten // Linearität der Kennlinie

Die Bewertung der Messmittelkennlinie zwischen den Stützpunkten der Rückführung ist von der Schrittweite der Stützpunkte und von der physikalischen Bewertung der möglichen Linearität abhängig.

Anmerkung

□ Drift

siehe oben

□ Auflösung der Anzeige

Alle Ablesungen, die zur Bildung der Messgröße benutzt werden, sind mit ihren Messunsicherheiten zu berücksichtigen.

□ Schätzung des Anzeigewertes einer analogen Anzeige mit Darstellung der gesicherten optischen Ablesbarkeit. Berücksichtigung der Parallaxenabweichung, Zeigerbreite, Skalierung, usw.

Analoge Ablesungen können am besten durch schrittweises Halbieren von Intervallen ermittelt werden. Hierbei folgt man den Fragestellungen: „Kann ich die Hälfte eines vorher abgeschätzten Intervalls noch gesichert ablesen?“ Man

Anmerkung

beginnt mit der Skalenteilung. Dann halbiert man diese. Dieses Intervall wird wieder halbiert, usw.

Sobald man sich nicht mehr sicher ist, ob der aktuelle Halbierungsschritt noch ablesbar ist, stoppt man dieses Vorgehen. Als Messunsicherheitseinfluss wird die Halbbreit des letzten gesicherten Intervalls übernommen. Hierbei kann die Dreieckverteilung angenommen werden, da es eine Differenzbildung zwischen Festlegung der letzten fiktiven Orientierungsmarke im Intervall und der Ableseposition eines Zeiger gibt. Wenn dies zu vage ist, nimmt stattdessen die Rechteckverteilung an.

- Festlegung der Wertigkeit des kleinsten Digitalstrungs einer Anzeige.

Bei einfachen Ablesungen: Die Halbbreite dieser Größe wird mit Rechteckverteilung übernommen.

Bei mehrfachen Ablesungen von schwankenden digitalen Anzeigen verbessert sich die Unsicherheit der Ablesbarkeit, weil man statistisch gesichert „in das letzte Digit hineinschauen“ kann. Die Auflösung der Anzeige reduziert sich um $\frac{1}{\sqrt{n}}$, wobei n die Anzahl der Ablesungen ist. Dieser Ansatz gilt nicht, falls die Anzeige stabil ist und nicht schwankt; also „kein Zufall berücksichtigt werden kann“.

Anmerkung

- Einstellwerte

Diese Größe gilt als messunsicherheitsfrei, da es eine Sollwertvorgabe ist. Erst wenn diese Einstellung auf Grund einer analogen Skalierung unsicher ist, ist sie zu behandeln, wie eine analoge Ablesung. Dann wird der Einstellwert abgelesen.

KALIBRIERGEGENSTAND

- Auflösung der Anzeige

Es gelten die gleichen Regeln für Anzeigen des Normalis.

- Gibt es eine Rückwirkung des Kalibriergegenstandes auf die Messanordnung?

Die Eigenschaften des Kalibriergegenstandes sind Gegenstand der Messung. Daher sind Rückwirkungen nur dann als Messunsicherheitseinfluss zu berücksichtigen, wenn sie nicht als zu messende Eigenschaft betrachtet werden.

Hingegen wird berücksichtigt, wenn durch Einbringen des Kalibriergegenstand in die Messanordnung sich beispielsweise Messsignale ändern, wie durch Belastung von Stromkreisen, oder Reflektionen auf Leitungen.

Anmerkung

TRANSFER UND SONSTIGE MESSANORDNUNG

- Wo liegt die Messebene und welche Einflüsse wirken dort?
- Berücksichtigung des Übertragungsweges der Messgröße vom Stimulus zum Indikator

Empfohlen wird, den Weg des zu messenden Signals Schritt für Schritt zu verfolgen. Hierbei sind alle Leitungssegmente und Übergänge einzelnen zu hinterfragen. Hierbei ist es zunächst unerheblich, ob elektrische oder sonstige physikalische Größen übertragen werden.

Anmerkung

Typische Leitungseigenschaften sind:

- Leitungsdämpfungen
- Durchgangswiderstände
- Reflektionen an Konnektoren
- Thermospannungen
- Leckagen auf Schlauchleitungen und Rohren
- Reibungsverluste
- Mechanische Spannungen
- Thermische Ausdehnung von Leitungen wie auch von geführten Medien, wie Gasen oder Flüssigkeiten

VERFAHREN

- Wiederholpräzision (Stabilität der Messanordnung)
- Treten systematische Abweichungen auf, die nicht numerisch korrigiert wurden und als Messunsicherheitseinflüsse zu bewerten sind?
→ Eigenschaften des Normals
- Müssen Zwischenwerte des Normals interpoliert werden?

BEOBSACHTER

Tätigkeiten, die als Fehler zu bewerten sind, werden nicht berücksichtigt. Fehlerhafte Messungen sind zu verwerfen. Nur messtechnische Beeinflussungen sind relevant:

- Wirkt der Beobachter als Thermostrahler?
- Kapazität des Beobachters

UMGEBUNGSBEDINGUNGEN

Üblicherweise werden nur Temperatur und relative Feuchte als Umgebungsbedingungen erfasst. Diese Festlegung ist zu pauschal. In vielen Fällen ist die relative Feuchte nicht relevant. Dafür können in anderen Fällen beispielsweise der Umgebungsluftdruck oder elektromagnetische Beeinflussungen wichtig sein.

Anmerkung

- Auswirkung der Umgebungstemperatur auf die Messanordnung

Das globale Laborklima ist nur bedingt von Interesse. Wesentlich wichtiger ist das Mikroklima im direkten Umfeld des Messmittels. Beispielsweise ist bei Rack-verbauten Messmitteln die Temperatur im Rack wichtig und nicht die Temperatur des Labors.

Anmerkung

- Wurden die Messmittel im vordefinierten Temperaturfenster betrieben, oder muss die Messunsicherheit erweitert werden?
- Ist die relative Feuchte für die Messung relevant?
- Muss der Umgebungsluftdruck berücksichtigt werden?
- Haben sonstige Umgebungsbedingungen Auswirkungen auf die Ergebnisse?
- Verunreinigung von Proben oder Oberflächen von Körpern

NUMERIK

- Liegt eine Einfach- oder Mehrfachmessung vor, die gegebenenfalls als Reihe auszuwerten ist (dann muss auch der effektive Freiheitsgrad mit betrachtet werden)
- Wo werden Rundungen angewendet?

Nach Möglichkeit sollen alle Zwischenergebnisse ohne Rundungen weitergegeben werden. Erst das Ergebnis der Messung ist entsprechend der Präzision, die durch die erweiterte Messunsicherheit vorgegeben wird, zu runden.

Anmerkung

- Welche Umrechnungsfaktoren werden angewendet und wie präzise sind sie bekannt.

Bei Umrechnungsfaktoren ist exakt die Präzision anzugeben, die auch intern genutzt wird. Die Unsicherheit der Umrechnungen sind zu berücksichtigen.

Anmerkung

