

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Messunsicherheit nach GUM

Michael Matus
Wien, 2022

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Überblick

- Messen – Messunsicherheit – GUM
Kurze Einführung. Wozu messen wir? Was ist Messunsicherheit?
- GUM
Eine (die) Technik um Messunsicherheiten abzuschätzen;
Grundlagen und Gültigkeit und Anwendbarkeit
- GUM am Computer
Hinweis auf verschiedene Produkte
Konzept der GUM-Workbench

2


Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Überblick

- Beispiel –1
Verwendung eines anzeigenden Messgerätes
- Beispiel 0
Prototyp einer Kalibrierung, Herleitung der Ausgangsgröße und Modellfunktion
- Beispiel 1
Eine Messung mit zahlreichen Eingangsgrößen, Aufteilen des Problems in
Untermodule

3



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Überblick

- Messunsicherheit – Was nun?
Wozu und wie wird die Messunsicherheit gebraucht?
- Konformitätsfeststellung / Prüfung / Eichung
Entscheidungsfindung aufgrund eines Messergebnisses;
Die zwei Vorgangsweisen
- Verwendung von Ergebnisberichten
Wofür kann man einen Kalibrier-/ Eich-/ Prüfungsschein verwenden?

4




Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Abgrenzung – nicht behandelt werden:

- Mehrere Ausgangsgrößen
ist eine einfache Verallgemeinerung
- Korrelationen und Kovarianzen
sind fast immer vermeidbar
- Signifikante Nichtlinearitäten
GUM Supplement 1
- Bedeutung des Freiheitsgrades
künftig ohnehin zu vermeiden

5




Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Messen?

- Messungen können unterschiedlich ressourcen- und zeitintensiv (=teuer) sein. Ziel ist es Informationen zu einer bestimmten Größe – der Messgröße – zu erhalten.
- Eine Messung ist selten Selbstzweck vielmehr ein Mittel zum Zweck!

6



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Messen?

- Preisermittlung
- Schlussfolgerungen
- Einhaltung gewisser Grenzen (Toleranzen, Höchstexpositionen, Mindestdosen, ...) im Gesundheits-, Sicherheits-, Rechtswesen
 - **Konformitätsentscheidungen, Prüfungen**

Prüfen, ob ein Produkte innerhalb der Spezifikationsgrenzen liegt und damit auch Entscheidungen über die Annahme oder Ablehnung von Produkten zu ermöglichen

7




Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Messen?

- Sicherheit, Vertrauenswürdigkeit und Kosten solcher Entscheidungen sind von der „Güte“ der Messungen abhängig.
- Die Güte beeinflusst die Kosten der Messungen.
- Ein Maß für die Güte kann die **Messunsicherheit** sein.

8



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Messunsicherheit im VIM

VIM (internationales Wörterbuch der Metrologie)

- Messunsicherheit (Unsicherheit):
Nicht-negativer, dem Messergebnis beigeordneter Parameter, der die Streuung der **Werte** kennzeichnet, die der **Messgröße** auf der Grundlage der benutzten Informationen zugewiesen wird.

9



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Messunsicherheit

Dieser Parameter kann sein:

- Standardabweichung
- Standardmessunsicherheit
- Ein Vielfaches davon (z.B. Erweiterte Messunsicherheit)
- (Halbe) Intervallweite bei angegebener Überdeckungswahrscheinlichkeit
- etwas ganz anderes

10



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Messunsicherheit

Messergebnis = Messwert & Messunsicherheit

- Die Messunsicherheit ist ein Maß für die gesamte (aber unvollständige) Kenntnis über ein Messverfahren mit dem der Messwert ermittelt wurde (oder werden wird).
- Als solches ist sie subjektiv. (Weil Kenntnis nur ein Subjekt haben kann)

11



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Messunsicherheit

Messergebnis = Messwert & Messunsicherheit

- Die Messunsicherheit ist keine objektive Eigenschaft des Messwerts oder gar des Messobjekts oder Messgerätes!
- Die unterschiedlichen Verfahren zur Ermittlung der Messunsicherheit liefern eine numerische Beschreibung des aktuellen Standes der unvollständigen Kenntnis.

12

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Messunsicherheit nach GUM

Der GUM ist eine Methode um Unsicherheiten von Messergebnissen zu bestimmen.
(Eine von vielen, aber genormt und von mehreren Stellen gefordert)

Gauß'sche Fehleranalyse
Statistik
Intervall-Arithmetik
Fuzzy-Mengen Kalkül
Beigeordnete Rundvergleichs-Unsicherheit

13

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Messunsicherheit nach GUM

- Einführung des GUM wurde notwendig um systematische Messabweichungen zu behandeln. Zufällige und systematische Messabweichungen werden nicht unterschieden. (aus Tradition im GUM weiterhin Typ A / Typ B)
- Statistische Behandlung nicht notwendig (aber möglich)
- GUM ist vollständig – man kann Teilprobleme separat behandeln und zum Gesamtproblem zusammensetzen

14

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

GUM – mehr als nur ein Dokument

- Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100:2008

Seit 1995!
- Evaluation of measurement data – An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents, JCGM 104:2009
- Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" – Propagation of distributions using a Monte Carlo method, JCGM 101:2008
- + viele weitere Dokumente, teilweise in Arbeit oder Begutachtung

15

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

GUM – Wer steckt dahinter?

BIPM

- Bureau International des Poids et Mesures

IEC

- International Electrotechnical Commission

IFCC

- International Federation of Clinical Chemistry

ISO

- International Organization for Standardization

IUPAC

- International Union of Pure and Applied Chemistry

IUPAP

- International Union of Pure and Applied Physics


OIML

- International Organization of Legal Metrology

ILAC

- International Laboratory Accreditation Cooperation (since 2005)

Quelle: <http://www.bipm.org/m/publications/guides/gum.html>



JCGM: Joint Committee for Guides in Metrology (am BIPM)

16

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

GUM – Einer für Alles?

- Anwendbarkeit ziemlich restriktiv
- Praktisch ist lediglich eine einzige Klasse von Problemen behandelbar
- Noch dazu wurde ursprünglich ein enger Spezialfall publiziert der heute als „Mainstream-GUM“ firmiert. Unter „GUM“ ist fast immer diese Vereinfachung gemeint.

17

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Messunsicherheit nach GUM

Grundidee:

- Der Messvorgang wird durch ein mathematisches Modell beschrieben (Modellfunktion). Dabei wird streng zwischen Ergebnis (Ausgangsgröße) und (unvollständiger) Kenntnis (Eingangsgrößen) unterschieden.
- Das gesamte Wissen über die Eingangsgrößen wird in Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen (PDF) zusammengefasst.
- Der GUM-Formalismus liefert eindeutig eine PDF für die Ausgangsgröße.

18

1_GUM_OhneNu_v3.pptx

6



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at


Messunsicherheit nach GUM

Bedingungen:

- Der GUM behandelt ausschließlich Situationen bei denen die Messgröße (Ergebnis), deren Unsicherheit bestimmt werden soll von, meist mehreren, Eingangsgrößen beeinflusst wird.
- Die Art dieser Beeinflussung muss eindeutig bekannt sein.
- Die Eingangsgrößen (PDF oder Werte + Unsicherheiten) müssen ebenfalls bekannt sein.

Näherung: statt Fortpflanzung der PDF → Fortpflanzung der Unsicherheiten

19

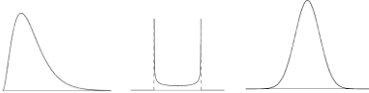


Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

PDF – Alles Wissen über eine Größe

- Der GUM beschreiben die Kenntnis über eine Größe mittels Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen (PDF).
- Eine PDF ist eine Funktion – ein Element aus einem unendlichdimensionalen Raum! (Man braucht unendlich viele Werte um sie zu beschreiben)



20

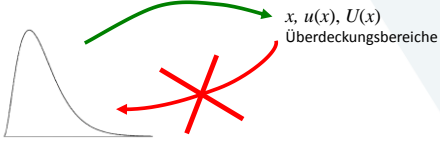


Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

PDF – oneway ticket

- Eine PDF ist eine reelle Funktion – aus ihr kann man die interessanten Parameter berechnen.



21



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Messunsicherheit nach GUM

Grundidee des GUM:

- man wackelt an den Eingangsgrößen und beobachtet (beschreibt) das Wackeln der Ausgangsgröße.

22



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Messunsicherheit nach GUM

Der GUM Hintergrund:

- Kenntnisse über Eingangsgrößen → PDF (Hilfestellung, Beispiele)
- PDF von Eingangsgrößen → PDF der Ausgangsgrößen (eigentliche Substanz, mit Vereinfachungen und Verallgemeinerungen)

23



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Messunsicherheit nach GUM

Allgemeine Voraussetzungen

- Alle Größen müssen physikalische Größen sein
- Ein Messmodell / Messfunktion muss gegeben sein (eindeutige Beziehung zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen)
- Die Eingangsgrößen müssen bekannt sein (Dokument gibt Hilfestellung)

24

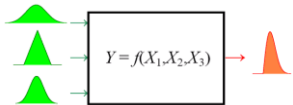


Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at


Allgemeiner Fall

Das Ergebnis ist eine Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung



Voraussetzung: f stetig

25

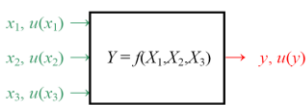


Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at


Standard – GUM

Das Ergebnis wird durch Wert und Standardunsicherheit charakterisiert



Voraussetzung: f (genügend) linear, x -PDF symmetrisch

26



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Eingangsgrößen ↔ Ausgangsgröße


Diese Begriffe sind grundlegend für die Messunsicherheitsbetrachtung nach GUM!

Die Bezeichnung (entnommen aus der Systemtheorie) gibt aber oft Anlass zu Missverständnissen.


Die **Ausgangsgröße** ist jedenfalls das Messergebnis.

Eingangsgrößen werden je nach Anwendung auch als **Einflussgrößen**, **Störgrößen**, **Parameter**, **Korrekturen**, **Verbesserungen** bezeichnet.

27



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

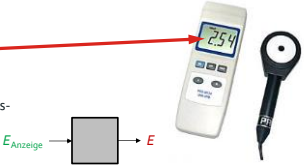


Eingangsgrößen ↔ Ausgangsgröße


Bestimmung der UV-A Bestrahlungsstärke in einem Solarium mittels Breitband-Radiometer.

Der Wert der Anzeige ist die einzige **Eingangsgröße**.


Die **Ausgangsgröße** ist hier gleich der Eingangsgröße. (Die gewichtete Bestrahlungsstärke in W/m^2)



28



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen



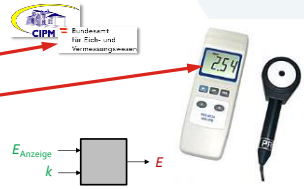
Eingangsgrößen ↔ Ausgangsgröße

Bestimmung der UV-A Bestrahlungsstärke in einem Solarium mittels kalibriertem Breitband-Radiometer.


Der Korrekturfaktor aus dem Kalibrierschein ist eine **Eingangsgröße**.

Der Wert der Anzeige ist eine **Eingangsgröße**.


Die **Ausgangsgröße** ist hier das Produkt der beiden Eingangsgrößen.



29



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen



GUM: Notwendige Informationen

- Die Modellgleichung
- Beste Schätzwerte der Eingangsgrößen
- Schätzwert der Ausgangsgröße (der Messwert)
- Standardunsicherheiten der Eingangsgrößen
- Standardunsicherheit der Ausgangsgröße
- Die erweiterte Messunsicherheit des Ergebnisses

30

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

GUM: Notwendige Informationen

► Die Modellgleichung

► Beste Schätzwerte der Eingangsgrößen

◄ Schätzwert der Ausgangsgröße (der Messwert)

► Standardunsicherheiten der Eingangsgrößen

◄ Standardunsicherheit der Ausgangsgröße

◄ Die erweiterte Messunsicherheit des Ergebnisses

31

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Eingangsgrößen – Schätzwerte x_i

• Anzeige von Messgeräten

• Mittelwerte aus Messreihen

• Werte aus Kalibrierscheinen

• Nennwerte (z.B. bei geeichten Messgeräten und Normalen)

• Aus Literatur/Tabellenwerten

• Aus Toleranzen/Spezifikationen

• sonstige Erfahrungswerte

32

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

GUM: Notwendige Informationen

Die Modellgleichung

► Beste Schätzwerte der Eingangsgrößen


◄ Schätzwert der Ausgangsgröße (der Messwert)

► Standardunsicherheiten der Eingangsgrößen

◄ Standardunsicherheit der Ausgangsgröße

◄ Die erweiterte Messunsicherheit des Ergebnisses

33




Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Eingangsgrößen – Unsicherheiten $u(x_i)$

- aus der Standardabweichung einer Messreihe (Typ A)
- aus der Angabe von Kalibrierscheinen
- aus der Verkehrsfehlergrenze bei geeichten Messgeräten/Normalen
- aus Literatur/Tabellenwerten
- aus (vorgegebenen/garantierten) Toleranzen/Spezifikationen
- sonstige Erfahrungswerte (z.B. *pooled estimate*)
- aus der letzten signifikanten Stelle des Schätzwertes (geht immer!)

34

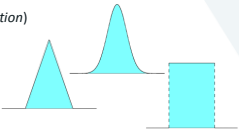


Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Eingangsgrößen – PDF

- Die unvollständigen Kenntnisse über die Eingangsgrößen werden mittels **Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen** (PDF) beschrieben und zusammengefasst. Speziell x und $u(x)$ sind durch die PDF eindeutig festgelegt.
- PDF (*probability density function*)



35



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

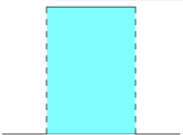
Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen

Die Rechteckverteilung – die praktisch wichtigste

Verfügbare Information: Die Eingangsgröße liegt sicher zwischen zwei Werten a und b . (mehr weiß man nicht!)

$$x = (a+b)/2$$

$$u(x) = (b-a)/\sqrt{12}$$

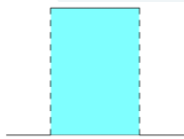


36

Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen

Die Rechteckverteilung – Beispiel

- Anzeige x eines digitalen Messgerätes mit Ziffernschrittweite d
→ $a = x - d/2$ $b = x + d/2$
- Anzeige eines geeichten Messgerätes
richtig innerhalb der Verkehrsfehlergrenze
- Einflussgröße hält vorgegebene
Toleranzen ein



37

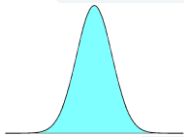
Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen

Die Normalverteilung (Gaußverteilung) – die mathematisch wichtigste

Verfügbare Information: Schätzwert x und Standardunsicherheit $u(x)$ (mehr weiß man nicht!)

$$x = \bar{x}$$

$$u(x) = u(\bar{x})$$

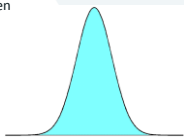


38

Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen

Die Normalverteilung (Gaußverteilung) – Beispiel

- Grundlage der Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung.
Durch ein lineares Modell werden Normalverteilungen
zu einer Normalverteilung fortgepflanzt.
- Daher ist die Charakterisierung durch
Standardunsicherheiten $u(x)$ (der
Eingangs- und Ausgangsgrößen)
hinreichend.



39

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen

Die Student-Verteilung (t-Verteilung) – Bindeglied zur Statistik

Verfügbare Information: Serie von n unabhängigen Messwerten $x_1 \dots x_i \dots x_n$

$$x = x_m \text{ (Mittelwert)}$$

$$u(x) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$

$$u(x) = \left(\frac{n-1}{n-3} \right)^{1/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

GUM Revision

Definition und Entscheidung nicht trivial!

40

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen

Die Trapez- und Dreieckverteilung

Verfügbare Information: Die Größe ist die Summe zweier rechteckverteilter Größen. Bei gleicher Breite dreieckverteilt, sonst trapezverteilt

$$x = x$$

$$u(x) \text{ immer berechenbar}$$

41

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen

Verfügbare Information:


Die Größe

- ist positiv
- liegt zwischen zwei Werten und x ist bekannt
- liegt zwischen zwei Werten und $u(x)$ ist bekannt
- liegt zwischen zwei Werten und x , $u(x)$ ist bekannt
- liegt zwischen zwei Werten, diese sind selbst unsicher

Prinzip der maximalen Informations-Entropie (PME)

dann gibt es je genau eine PDF die jene Kenntnis formal beschreibt. Für uns nicht notwendig

42



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

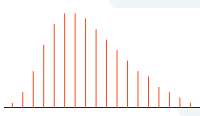
Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen

Die Poisson-Verteilung


Verfügbare Information: Zählergebnisse, z.B. Aktivitäts- oder Dosis-Messungen mit Zählrohren.

$x = n$

$u(x) = \sqrt{n}$



43



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at


Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen

!!! ACHTUNG !!!

Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen sind keine Häufigkeitsverteilungen!

- Die PDF beinhalten die gesamte Kenntnis über eine Größe.
- Die Häufigkeitsverteilung dieser Größe, so man sie überhaupt bestimmen kann, sieht im Allgemeinen anders aus.

44



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

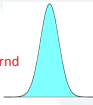
bev.gv.at

Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen

Wahrscheinlichkeitsverteilungen \neq Häufigkeitsverteilungen

- Beispiel Kalibrierschein über ein Gewichtsstück. Es habe die Masse 1 kg + 0,2 mg, die Erweiterte Messunsicherheit ist mit 0,6 mg angegeben.
- Die der Information entsprechende PDF ist eine Normalverteilung mit Halbwertsbreite 0,3 mg und Zentralwert 1,0000002 kg

Häufigkeitsverteilung:
Das Gewichtsstück müsste seine Masse um den Erwartungswert dauernd zufällig ändern! Tatsächlich hat es eine bestimmte, feste, Masse.



45

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

GUM: Notwendige Informationen

Die Modellgleichung

- ▶ Beste Schätzwerte der Eingangsgrößen
- ◄ **Schätzwert der Ausgangsgröße (der Messwert)**
- ▶ Standardunsicherheiten der Eingangsgrößen
- ◄ Standardunsicherheit der Ausgangsgröße
- ◄ Die erweiterte Messunsicherheit des Ergebnisses

46

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Der Messwert

Einsetzen der besten Schätzwerte x_i in die Modellgleichung f liefert den besten Schätzwert für die Messgröße y .

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

Meist handelt es sich dabei um so genannte Korrekturen oder Verbesserungen eines Rohwertes. Eine explizite Unterscheidung nach Art und Herkunft ist aber beim GUM nicht notwendig.

47

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

GUM: Notwendige Informationen

Die Modellgleichung

- ▶ Beste Schätzwerte der Eingangsgrößen
- ◄ Schätzwert der Ausgangsgröße (der Messwert)
- ▶ Standardunsicherheiten der Eingangsgrößen
- ◄ **Standardunsicherheit der Ausgangsgröße**
- ◄ Die erweiterte Messunsicherheit des Ergebnisses

48

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Messergebnis, Standardunsicherheit

Bestimmung der Empfindlichkeitskoeffizienten c_i und
Anwendung des „Fehler“-Fortpflanzungsgesetzes.

$$c_i = \left. \frac{\partial f}{\partial X_i} \right|_{x_i}$$
$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i \cdot u(x_i))^2}$$

49

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

GUM: Notwendige Informationen

Die Modellgleichung

- ▶ Beste Schätzwerte der Eingangsgrößen
- ◀ Schätzwert der Ausgangsgröße (der Messwert)
- ▶ Standardunsicherheiten der Eingangsgrößen
- ◀ Standardunsicherheit der Ausgangsgröße
- ◀ Die erweiterte Messunsicherheit des Ergebnisses

50

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Erweiterungsfaktor k

Für die (üblicherweise gewählte) Überdeckungs-Wahrscheinlichkeit von 95 %
entnimmt man den Erweiterungsfaktor k aus der Tabelle.

→ $U(y) = k \cdot u(y)$

Bei uns immer $k = 2$!

... Die angegebene erweiterte Messunsicherheit U
entspricht der zweifachen Standardunsicherheit ($k = 2$),
welche für eine Normalverteilung einen Grad des
Vertrauens von etwa 95 % bedeutet. ...

V_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.43	2.37	2.28	2.13	2.05	2.00

51

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Standardunsicherheit – Erweiterte Messunsicherheit

- Die Standardunsicherheit ist ein **Parameter** mit das GUM-Verfahren funktioniert. Er hat nichts mit einem Grad des Vertrauens zu tun.
- Die Erweiterte Messunsicherheit soll einen **Vertrauensbereich*** beschreiben. Ein Vertrauensbereich ist für den GUM überhaupt nicht notwendig, wohl aber für manche Anwender von Messergebnissen.
- Das Multiplizieren der Standardunsicherheit mit einer Konstante (*k*) liefert keinerlei neue Information! Es ist eine andere Darstellung des selben Sachverhaltes.

* auch: Konfidenzintervall, Vertrauensintervall, Erwartungsbereich

52

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Dokumentation

- Im GUM nicht explizit geregelt.
- Prinzipielle Forderung: Alles was zu einer Rechnung notwendig war, so niederzuschreiben, dass eine andere Person das Ergebnis reproduzieren kann.
- In Sekundärrichtlinien (z.B. EA-4/02) genauer geregelt: so genanntes Messunsicherheitsbudget (in Form eines „Kochrezeptes“)

53

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at


Dokumentation

Beispiel aus EA-4/02

SS.17 Uncertainty budget (temperature t_F of the furnace):

quantity	estimate x_i	standard uncertainty $u(x_i)$	probability distribution	sensitivity coefficient c_i	uncertainty contribution $u(y)$
t_F	1000.5 °C	0.10 °C	normal	1.0	0.10 °C
δE_{A1}	0 µV	1.00 µV	normal	0.077 °C/µV	0.077 °C
δE_{A2}	0 µV	0.29 µV	rectangular	0.077 °C/µV	0.022 °C
δE_{A3}	0 µV	1.15 µV	rectangular	0.077 °C/µV	0.089 °C
$\delta \theta_0$	0 °C	0.058 °C	rectangular	-0.407	-0.024 °C
$\delta \theta_1$	0 °C	0.15 °C	normal	1.0	0.15 °C
$\delta \theta_2$	0 °C	0.173 °C	rectangular	1.0	0.173 °C
$\delta \theta_3$	0 °C	0.577 °C	rectangular	1.0	0.577 °C
t_F	1000.5 °C		rectangular		0.641 °C

54



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at


Dokumentation

Unbedingt dokumentiert werden muss jedenfalls:

- die Modellgleichung (wird in EA-02 nicht erwähnt!);
- die Werte aller Eingangsgrößen;
- die Standardunsicherheiten aller Eingangsgrößen;
- ggf. die Freiheitsgrade der Standardunsicherheiten;
- Oft ist es auch noch vorteilhaft die Quellen der obigen Werte zu beschreiben.

Alles weitere kann mit dieser Information eindeutig abgeleitet werden.

55




Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Wie viel Mathematik ist für die Anwendung notwendig?

56



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Mathematische Notwendigkeiten

Brauchen wir die mathematische Beschreibung der PDFs?

~~$$g_X(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi u(x)}} \exp\left(-\frac{(\xi - x)^2}{2u^2(x)}\right)$$
Gauß-Verteilung~~

~~$$g_X(\xi) = \frac{\Gamma(n/2)}{\Gamma(n/2)\sqrt{(n-1)\pi}} \times \frac{1}{s/\sqrt{n}} \times \left(1 + \frac{1}{n-1} \left(\frac{\xi - x}{s/\sqrt{n}}\right)^2\right)^{-n/2}$$
Student-Verteilung~~

~~Überhaupt nicht!~~
~~Weder für Berechnung noch für das Verständnis~~

57

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Mathematische Notwendigkeiten

Brauchen wir die Mathematik hinter dem GUM?

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)}$$

Fehlerfortpflanzung

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j)$$

Welch-Satterthwaite $\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N u_i^4(y)}$

Eher nicht! Für manuelle Rechnungen und Verständnis, sonst besser Computer

58

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Mathematische Notwendigkeiten

Brauchen wir die Mathematik für die Modellgleichung?

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

Unbedingt! Allerdings reichen für beinahe alle praktischen Probleme die Grundrechnungsarten.

Der Anwender muss jedoch in der Lage sein, sein Wissen über den Messprozess in eine Formel zu kleiden. Dies ist für die Anwendung des GUM unverzichtbar.

→ Siehe Beispiele

59

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Manuelle oder computerunterstützte Anwendung des GUM

Was ist möglich?

Was ist sinnvoll?

60

Auswahl von Computerprogrammen

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_uncertainty_propagation_software

Task ID	Task Name	Start Date	End Date	Progress (%)	Status	Assignee	Comments
1001	Task 1: Initial Setup	2023-01-01	2023-01-05	100	Completed	John Doe	Task 1: Initial Setup completed successfully.
1002	Task 2: Data Collection	2023-01-06	2023-01-10	50	In Progress	Jane Smith	Task 2: Data Collection in progress.
1003	Task 3: Analysis	2023-01-11	2023-01-15	0	Pending	John Doe	Task 3: Analysis pending.
1004	Task 4: Reporting	2023-01-16	2023-01-20	0	Pending	Jane Smith	Task 4: Reporting pending.
1005	Task 5: Final Review	2023-01-21	2023-01-25	0	Pending	John Doe	Task 5: Final Review pending.
1006	Task 6: Deployment	2023-01-26	2023-01-30	0	Pending	Jane Smith	Task 6: Deployment pending.
1007	Task 7: Post-Deployment	2023-01-31	2023-02-05	0	Pending	John Doe	Task 7: Post-Deployment pending.
1008	Task 8: Documentation	2023-02-06	2023-02-10	0	Pending	Jane Smith	Task 8: Documentation pending.
1009	Task 9: Archiving	2023-02-11	2023-02-15	0	Pending	John Doe	Task 9: Archiving pending.
1010	Task 10: Final Report	2023-02-16	2023-02-20	0	Pending	Jane Smith	Task 10: Final Report pending.

61

[illegible]

GUM-WB – Bedienungskonzept

- Windows-Programm mit \pm vertrautem (=veraltetem) Benutzer-Konzept
- Projekte sind ASCII-Dateien mit der Dateinamenserweiterung *.smu
- Eingabe und Bedienung ist dem Schema des GUM angepasst
- Umfangreicher Probleme können in kleinere Untereinheiten behandelt werden
- Sauber formatierte Ausgaben
- Übersichtliches Budget (auch exportierbar)

Praktische Bedienung wird in den Beispielen demonstriert

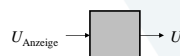
62

[illegible]

Beispiel –1: einfachste Messung

- Ablesen eines Messgerätes (Batteriespannung mit Digital-Multimeter)
- Der gesuchte Messwert U wird dem abgelesenen Wert U_{Anzeige} gleichgesetzt. Die Modellgleichung ist die einfachste überhaupt: $U = U_{\text{Anzeige}}$
- Zur „Berechnung“ benötigt man den besten Schätzwert sowie die Standardsicherheit von U_{Anzeige}

>>> Berechnung in den Unterlagen GUM_Beispiel-1a/b.smu



63

Beispiel 0: Kalibrierung

- Als Prototyp einer Messung soll eine einfache Kalibrierung betrachtet werden.
- Dabei wird der angezeigte Wert eines Messgerätes (Prüfling) mit dem tatsächlichen Wert verglichen und angegeben.
- An diesem Beispiel soll hauptsächlich die Modellbildung behandelt werden. Kalibrierung eines Digital-Voltmeters bei einer vorgegebenen Spannung unter festgelegten Bedingungen (Messbereich, Umgebungstemperatur, ...).
- Die Wahl des Messgerätes ist willkürlich, die Ergebnisse können auf die verschiedensten Aufgaben leicht verallgemeinert werden (Masse, Windgeschwindigkeit, Druck, Temperatur, Beleuchtungsstärke, ...)

64

Beispiel 0: Kalibrierung

- Die Schwierigkeiten beginnen schon mit der Festlegung der Messgröße y . Soll der angezeigte Wert oder der tatsächliche Wert als solche betrachtet werden? Offensichtlich sind beide unsicher.
- Der GUM behandelt jedoch nur Probleme bei denen genau eine Größe das Ergebnis mit der gesuchten Messunsicherheit darstellt, alle anderen Größen sind die Einfluss- oder Eingangsgrößen.

65

Beispiel 0: Kalibrierung


„Trick“ bei Kalibrierungen:

Man behandelt die Messabweichung als gesuchte Größe!

$$\text{Messabweichung} = \text{angezeigter Wert} - \text{wahrer Wert}$$

Sowohl Anzeige wie wahrer Wert werden dadurch zu Einflussgrößen

66



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at


Beispiel 0: Kalibrierung – Herleitung der Modellfunktion

$$A = U_p - U_w$$

U_p – Anzeige des Prüflings
 U_w – wahre Spannung an den Eingangs-Klemmen
 A – Anzeigenabweichung des Prüflings bei U_w

Die „wahre“ Spannung wird mit einem kalibrierten Normal-Multimeter (z.B. Agilent 3458A) bestimmt, welches parallel zum Prüfling geschaltet wird. Somit sollte an beiden Geräten die selbe Spannung anliegen.

67



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Beispiel 0: Kalibrierung – Herleitung der Modellfunktion


$$A = (U_p + \delta_{thP}) - (U_N + \delta_{thN})$$

U_N – Anzeige des Normal-Multimeters
 δ_{thN} – Thermospannungen an den Eingangsklemmen

Konventionell werden mit δ_x Einflussgrößen mit Erwartungswert 0 (aber mit endlicher Unsicherheit) bezeichnet.

Die Modellfunktion formalisiert die „Verunreinigung“ der beiden gemessenen Spannungen durch unvermeidliche Thermospannungen.

68



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Beispiel 0: Kalibrierung – Herleitung der Modellfunktion

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

δ_d – Einfluss des Ziffernschrittwert (Auflösung) des Prüflings
 δ_{cal} – Einfluss der Kalibrierunsicherheit des Normals (Rückführung)
 δ_{noise} – Rauschen des Normals
 δ_{temp} – Temperatureinfluss auf Normal

Andere Einflussgrößen werden Aufgrund der Erfahrung des Messtechnikers vernachlässigt (z.B. Eingangsimpedanz, parasitäre Ströme, Beharrungszustand, etc.)

69

1_GUM_OhneNu_v3.pptx

23

Beispiel 0: Kalibrierung – Herleitung der Modellfunktion

$$A = U_p - U_N + (\delta_{\text{hdp}} + \delta_d - \delta_{\text{hN}} - \delta_{\text{noise}} - \delta_{\text{cal}} - \delta_{\text{temp}})$$

Klammerausdruck
ist gleich 0!

Typische Struktur der Modellgleichung einer Kalibrierung: zwei Eingangsgrößen als tatsächliche Messwerte, jedoch mehrere die gar keinen Einfluss auf den Zahlenwert haben und auch gar nicht gemessen werden (können)!

Diese Eingangsgrößen beschreiben die Kenntnis über den Messprozess — und sind für die Messunsicherheitsberechnung notwendig.

>>> Berechnung in den Unterlagen GUM_Beiispiel0.smu

70

Beispiel 0: Kalibrierung – Befunde

- Wie meist bei Kalibrierungen ist die Modellfunktion sehr einfach. Die Empfindlichkeitskoeffizienten (partielle Ableitungen) sind alle vom Betrag 1. Für konkrete Messunsicherheits-Berechnungen reichen daher einfachste Hilfsmittel (z.B. Excel).
- Die Struktur der Modelgleichung erlaubt offensichtliche Erweiterungen. Mehr Erfahrung → mehr Störgrößen → größere Unsicherheit
- Die 20 Einzelmessungen würden einen effektiven Freiheitsgrad von 19 erwarten lassen. Tatsächlich ist er aber viel größer und kann mit ∞ angenähert werden.

71

Beispiel 0: Kalibrierung – Ergebnis

Der Prüfling weist bei einer Eingangsspannung von 10 V (nominell) eine Anzeigenabweichung von $-242 \mu\text{V}$ auf. Die erweiterte Messunsicherheit für diesen Wert beträgt $57 \mu\text{V}$.

$$A = -242 \mu\text{V} \quad U(A) = 57 \mu\text{V}$$

$$A = -242 \mu\text{V} \pm 57 \mu\text{V}$$

$$A = (-242 \pm 57) \mu\text{V}$$

$$A = -242 (57) \mu\text{V}$$

72

Beispiel 0: Kalibrierung – Ergebnis, relative Angabe

Der Prüfling weist bei einer Eingangsspannung von 10 V (nominell) eine relative Anzeigenabweichung von $-0,000\,024\,2$ auf. Die relative erweiterte Messunsicherheit für diesen Wert beträgt $0,000\,005\,7$.

$$A = -0,002\,42\,\% \quad U^*(A) = 0,000\,57\,\%$$

$$A = -24,2\,\text{ppm} \quad U^*(A) = 5,7\,\text{ppm}$$

$$A = -24,2\,\text{ppm} \pm 5,7\,\text{ppm}$$

$$A = (-24,2 \pm 5,7)\,\text{ppm}$$

$$A = -24,2\,(5,7)\,\text{ppm}$$

73

Beispiel 0: Kalibrierung – Ergebnis, relative Angabe

Achtung!

- Bezugswert für A und seine Unsicherheit ist die nominelle Eingangsspannung von 10 V!
- Relative Messunsicherheit nach GUM beziehen sich immer auf den Messwert:

$$A = -0,002\,42\,\% \quad U^*(A) = 24\,\%$$

Abweichungen können auch Null werden!
RELATIVE ANGABEN VERMEIDEN!

74

Beispiel 1: Temperaturmessung

Bestimmung der Temperatur eines Wasserbades mittels kalibriertem Pt100 Sensor und geprüften Ohmmeter.

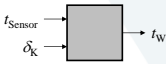
Annahme: Wassertemperatur t_W gleich der Sensortemperatur t_{Sensor} (Physik)

Um für zukünftige Anwendungen gewappnet zu sein berücksichtigen wir aber noch eine Störgröße (z.B. Eintauchtiefe, Selbsterwärmung, Kontakt, ...)

$$t_W = t_{\text{Sensor}} + \delta_K$$

75

Beispiel 1: Temperaturmessung



76

Beispiel 1: Temperaturmessung

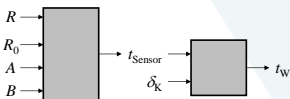
Temperatur des Sensors wird über elektrischen Widerstand bestimmt
ÖVE ÖNORM EN 60751_2009

$$R = R_0 \left(1 + A \cdot t_{\text{Sensor}} + B \cdot t_{\text{Sensor}}^2 \right) \quad t_{\text{Sensor}} = \frac{-R_0 \cdot A + \sqrt{R_0^2 \cdot A^2 - 4R_0 \cdot B(R_0 - R)}}{2R_0 \cdot B}$$


Die Größen R_0 , A , B werden aus einem Kalibrierschein entnommen.

77

Beispiel 1: Temperaturmessung



78



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Beispiel 1: Temperaturmessung

Gerät zur Widerstandsmessung:

- Agilent 3458A
- Vierleiter-Messung
- Umgebungstemperatur 20 °C
- Auto-Kalibration ein
- Auto-Nullung ein
- Prüfungsschein 1 Jahr 2 Monate alt

79



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Beispiel 1: Temperaturmessung

Alle Effekte (auch die Prüfung/Kalibrierung) sollten von den Spezifikationen des Gerätes abgedeckt sein

$$R = R_M + \delta_{\text{spec}} + \delta_{\text{NMI}}$$

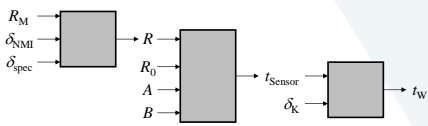
80



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Beispiel 1: Temperaturmessung



81

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Beispiel 1: Temperaturmessung

R_M

δ_{spec}

δ_K

R_0

A

B

δ_{NMI}

t_W

82

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Beispiel 1: Temperaturmessung

Die eigentliche Arbeit ist die Abschätzung der verschiedenen Eingangs-
Messunsicherheiten aus den unterschiedlichen Quellen.

>>> GUM_Beispiel1.smu

83

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Messunsicherheit gefunden!

Anwendung von Ergebnisberichten zur Rückführung

84

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Anwendung der Kalibrierergebnisse

Der **Verwender** möchte sein kalibriertes Voltmeter für die Überprüfung von 9 V Trockenbatterien einsetzen.

Für dieses Voltmeter besitzt er einen sechs Monate alten Kalibrierschein eines akkreditierten Kalibrierlabors.

Das Labor hat bei einer nominellen Eingangsspannung von 10 V eine Anzeigenabweichung von $-0,24\text{ mV}$ gefunden. Für diesen Messwert wird eine erweiterte Messunsicherheit von $0,06\text{ mV}$ angegeben.

85

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Anwendung der Kalibrierergebnisse

Er misst die Spannung ($9,001\text{ 22 V}$) und gibt eine Messunsicherheit von $0,06\text{ mV}$ an.

Er hat die Messabweichung seines Voltmeters nicht berücksichtigt!

Die Messabweichung („Fehler“) ist offensichtlich viel größer als die angegebene Messunsicherheit.

86

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Anwendung der Kalibrierergebnisse

Er misst die Spannung ($9,001\text{ 22 V}$) korrigiert sie um $+0,24\text{ mV}$ ($9,001\text{ 46 V}$) und gibt eine Messunsicherheit von $0,06\text{ mV}$ an.

Schon besser.

Implizite Annahme:
Messabweichung und Messunsicherheit sind bei 9 V und 10 V gleich.

Dieses Vorwissen muss begründet sein.

87

Anwendung der Kalibrierergebnisse

Er misst die Spannung (9,001 22 V) korrigiert sie um +0,24 mV mal 9/10 (9,001 44 V) und gibt eine Messunsicherheit von 0,054 mV an.

Vielleicht auch gut.

Implizite Annahme die Messabweichung und Messunsicherheit skalieren linear mit der Eingangsspannung.

Dieses Vorwissen muss begründet sein.

88

Anwendung der Kalibrierergebnisse

Aber er will vielleicht auch eine 1,5 V Zelle messen.

Was dann?

Dieser Kalibrierschein alleine ist offensichtlich nicht ausreichend um diese Frage zu lösen


89

Anwendung der Kalibrierergebnisse

Der **Verwender** misst mit diesem Messgerät eine Spannung nahe 10 V und verwendet den Wert unkorrigiert.

Im Allgemeinen würde die angegebene Kalibrierunsicherheit (aus dem Kalibrierschein) die Rückführungsunsicherheit weit unterschätzen.
Das weiß er und will die Sache bereinigen.

90



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at


Anwendung der Kalibrierergebnisse

Schmutzige Lösung – vom GUM (F2.4.5) sanktioniert, aber nicht empfohlen

die **Abweichung** wird nicht korrigiert aber als Standardunsicherheit interpretiert!
Die Rückführungs-Standardunsicherheit ergibt sich zu **244 µV**:

$$u_{\text{trac}} = \sqrt{A^2 + \left(\frac{U(A)}{2}\right)^2} \quad A \text{ und } U(A) \text{ aus Kalibrierschein}$$

91




Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Messunsicherheit gefunden!

Konformitätsentscheidungen

92

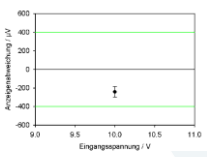


Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Anwendung der Kalibrierergebnisse

Eine **Prüfstelle** verwendet die Kalibrierung um die Konformität mit einer Spezifikation festzustellen. Sie stellt einen Prüfungsschein aus.
(Nachweisprüfung, EN 60359 (8))
Diese sei im Beispiel ±400 µV
Das Gerät entspricht also.

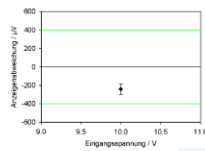


93

Anwendung der Kalibrierergebnisse

Ein **Verwender** dieses geprüften Messgerätes macht eine Messung nahe 10 V. Die einzige Kenntnis über die Messunsicherheit erhält er aus der Spezifikation welche von der Prüfstelle bestätigt wurde. Er weiß, dass der wahre Wert innerhalb $\pm 400 \mu\text{V}$ vom ermittelten Wert liegt.

Eine Aufteilung nach den verschiedenen Quellen der Unsicherheit kann nicht gegeben werden. Ist aber auch nicht nötig.



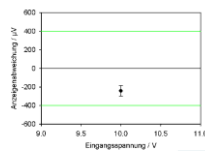
94

Anwendung der Kalibrierergebnisse

Ein **Verwender** kann einzig die Rückführungsunsicherheit aus der geprüften Spezifikation ableiten \rightarrow Rechteckverteilung $u_{\text{rac}} = 231 \mu\text{V}$

Gilt für den gesamten Messbereich

Was ist mit der mühsam ermittelten Unsicherheit der zugrundeliegende Kalibrierung?



95

Konformitätsfeststellung

Das Ergebnis einer Messung oder Kalibrierung (also Wert & Unsicherheit) soll für eine Entscheidungsfindung herangezogen werden.

Erfüllt das Messgerät oder Messobjekt bestimmte vorgegebenen Spezifikationen oder Toleranzen? (Prüfung, Lehrung, Eichung)

Zwei Philosophien \rightarrow

96

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Konformitätsfeststellung

Erste – traditionelle – Möglichkeit:

Es wird lediglich der Messwert (also ohne Unsicherheit) zur Entscheidung herangezogen.

Ist der Messwert innerhalb der Spezifikation gilt Übereinstimmung, ansonsten Nichtübereinstimmung.

97

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Konformitätsfeststellung

Allerdings war man sich immer schon klar, dass bei einer großen Messunsicherheit die Entscheidung geradezu willkürlich sein kann. Daher regulieren verschiedene normative Dokumente die maximale Unsicherheit in Relation zur Toleranz.

(Fachbegriff: *shared risk*)

98

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Konformitätsfeststellung

Regelwerke zur ersten Möglichkeit (nur Messwert):

- DIN 2257, "Goldene Regel der Messtechnik"
 $1/20 \leq u/t \leq 1/10$
- Verschiedene nationale Vorschriften bezüglich Eichung
 $U/efg \leq 1/3$ oder $U/efg \leq 1/5$ oder $U/efg \leq 1/10$
- ÖVE/ÖNORM EN 60359, Eignungsprüfung
 U vernachlässigbar gegenüber t
- Eine Entscheidung ist immer möglich!

99



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Konformitätsfeststellung

Regelwerke zur zweiten Möglichkeit (Messergebnis):

- Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment, JCGM 106:2012
- ÖNORM EN ISO 14253, Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen - Teil 1: Entscheidungsregeln für die Feststellung von Konformität oder Nichtkonformität mit Spezifikationen
- Manchmal ist keine Entscheidung möglich!

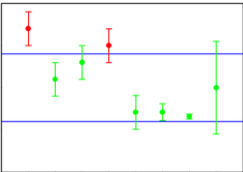
100



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen


bev.gv.at

Konformitätsfeststellung



- Methode 1
- Der Messwert alleine entscheidet
- Entscheidung immer möglich

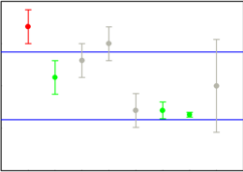
101



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Konformitätsfeststellung



- Methode 2
- Messwert und Unsicherheit wird herangezogen (mehr Information)
- Manchmal keine Entscheidung möglich
- Unrichtige Entscheidung sehr unwahrscheinlich

102

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Konformitätsfeststellung

- Methode 1
- Wahrscheinlichkeit einer ungerechtfertigten Rückweisung (*false rejection*)
- Wahrscheinlichkeit einer falschen Annahme (*false acceptance*)

103

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Konformitätsfeststellung

Methode 2: Oft ist die Messunsicherheit des Prüfers konstant.

ISO 14253: je nach Standpunkt (Hersteller, Konsument) soll das Toleranzband um die erreichbare erweiterte Messunsicherheit verkleinert oder vergrößert werden.

Das Toleranzband (Spezifikationsband) geht dann in ein Annahmehand (Übereinstimmungsband) über.

Für dieses Band wird dann Methode 1 angewendet.

104

Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Konformitätsfeststellung


Konstruieren

außerhalb der Spezifikation Spezifikation außerhalb der Spezifikation

Prüfen

Nicht-Übereinstimmung Unsicherheit Übereinstimmung Unsicherheit Nicht-Übereinstimmung

105




Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Zusammenfassung

- ▶ Messunsicherheit ist keine objektive Eigenschaft der Messung oder des Messobjektes
- ▶ Sie ist ein Maß für die unvollständige Kenntnis über das Messverfahren
- ▶ Der GUM ist eine standardisierte Methode um Unsicherheiten bei Messergebnissen zu beschreiben.
- ▶ Gegenüber anderen Methoden bietet er sowohl prinzipielle als auch praktische Vorteile

106




Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Zusammenfassung

- ▶ Seine Anwendung ist ohne großen mathematischen Hintergrund möglich
- ▶ Die mittels GUM behandelbaren Messprobleme **müssen** einen bestimmten Muster entsprechen (Eingangsgrößen::Model::Ausgangsgrößen)
- ▶ Die Basis des GUMs ist das **Modell** und die Schätzung der **Eingangsgrößen**.

107



Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

bev.gv.at

Zusammenfassung

- ▶ Unabdingbar ist die mathematische Formulierung des Messprozesses → **Modellgleichung**
- ▶ Die Mehrzahl der Kalibrierverfahren haben recht einfache Modellgleichungen
- ▶ Es gibt einige Computerprogramme die den GUM benutzerfreundlich implementieren. Im allgemeinen kann von einer manuellen Anwendung des GUM abgesehen werden

108

Zusammenfassung

- ▶ Messergebnisse dienen oftmals zur Entscheidung ob Spezifikationen eingehalten oder verletzt werden.
- ▶ Es gibt zwei unterschiedliche Verfahren wie eine Entscheidung aufgrund eines Messergebnisses getroffen werden kann.
- ▶ Kalibrier-/Prüf-/Eichscheine sind wichtige Hilfsmittel um Unsicherheitskomponenten zu erhalten (und zur Rückführung)
