



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS



Dokumentation

Tobias Bühlmann

Motivation

- Das Prinzip der MU-Berechnung ist im Prinzip verständlich.
- Aber die Messunsicherheitsbilanz ist noch nicht ausgeführt!
- Gründe dafür:
 - viel Aufwand
 - viele Fragen
- → **Empfehlungen**

Diese Empfehlungen sind nicht von einer Norm abgeleitet sondern von der Erfahrung des Dozenten bei seiner Tätigkeit als Laborleiter und Fachexperte.

Fragen

1. Welche Ziele – Anforderungen muss die MU-Bilanz erfüllen ?
2. In welcher Form wird das MU-Bilanz geschrieben ?
3. Welche Programme / Software braucht man um die MU-Bilanz zu schreiben ?
4. Für wen wird die MU-Bilanz geschrieben ?
5. Welche Struktur hat eine MU-Bilanz ?

Fragen

6. Wie detailliert ist eine MU-Bilanz ?
7. Wieviel Aufwand braucht man um eine MU-Bilanz zu schreiben ?
8. Wie genau muss es sein ?
9. Wie oft muss man die MU-Bilanz revidieren ?
10. Wie kann man eine MU-Bilanz überprüfen ?

Welche Anforderungen für die MU-Bilanz?

Verständlich
(für den Autor
sowie für Kollegen)

Präzis (fundiert)

Erweiterbar

Nicht zu kompliziert

Sauber
dokumentiert

Lesbar

Welche Form für die MU-Bilanz?

1 bis 2
(höchstens)
Dokumente

Programme ?
Dynamisch ?

Welche Programme bzw. Software für die MU?

Word

Excel

Matlab /
Mathematica

Gescannte
Handnotizen

C++ / Python

Spezifische
Software

Spezifische Tools

- Es gibt spezifische Tools für die Berechnung der MU
 - GUM Workbench Version 2.4 Pro veröffentlicht durch Metrodata GmbH, Demoversion erhältlich
<http://www.metrodata.de>
 - METAS Unclib erhältlich auf
<http://www.metas.ch/unclib>
- Für spezielle Zwecke anzuwenden

Für wen ist die MU-Bilanz geschrieben?

Für sich selber

Für den Chef

Für die Kollegen
(heute & morgen)

Für den Auditor

Für die Firma

Welche Struktur hat eine MU-Bilanz?



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS

Weiterbildungskurs Metrologie → Modul-Nr.: → MUS-04 → ¶

Grundlagen der Messunsicherheit → Dozent: → C. Pascale ¶



Beispiel einer Dokumentation für die Messunsicherheitsbilanz ¶



Lernziele: ¶

Praktische Tipps und Empfehlungen, um eine Messunsicherheitsbilanz aufzustellen. Diese Empfehlungen sind nicht von einer Norm abgeleitet, sondern von der Erfahrung der Dozenten bei ihren Tätigkeiten als Fachexperte. ¶

Überblick über das Angebot an Programmen und die diesbezüglichen Informationsquellen bekommen. ¶

Vorzüge und Grenzen eines Programms zur Ermittlung der Messunsicherheit anhand eines Beispiels kennenlernen und andere einfache Beispiele umsetzen. ¶



Form der Messunsicherheitsbilanz: Eine Messunsicherheitsbilanz ist im Prinzip ein eigenes Dokument oder eventuelle mehrere Dokumente. Er dient nur, die Unsicherheitsberechnung zu dokumentieren. ¶

Beispiele: ¶



... Word alleine ¶

Hauptkomponenten der Dokumentation

Grösse	X_i	Messwert	Verteilung/ Form	Standard Unsicherheit	Sensitivität	$u(k=1)$ (m/s ²)
Zeit						
Wiederholbarkeit	τ_{gemessen}	1.145 s	A	12 ms	-17.16 m/s ⁻³	0.208
Ablesung	$\delta\tau_{\text{Ablesung}}$	0.0 s	B Recht.	0.29 ms	-17.16 m/s ⁻³	0.005
Reaktionszeit	$\delta\tau_{\text{Reaktion}}$	0.0 s	B Recht.	5.7 ms	-17.16 m/s ⁻³	0.099
Länge						
Wiederholbarkeit	L_{gemessen}	0.301 m	A	0.46 mm	30.04 s ⁻²	0.014
Massstabgenauigkeit	δL_{Meter}	0.0 m	B Recht.	0.58 mm	30.04 s ⁻²	0.017
Ablesung	$\delta L_{\text{Ablesung}}$	0.0 -m	B Dreick	0.20 mm	30.04 s ⁻²	0.006
Durchmesser						
Wiederholbarkeit	D_{gemessen}	0.050 m	A	0.87 mm	15.95 s ⁻²	0.014
Massstabgenauigkeit	δD_{Meter}	0.0 m	B Recht.	0.58 mm	15.95 s ⁻²	0.009
Ablesung	$\delta D_{\text{Ablesung}}$	0.0 m	B Dreick	0.20 mm	15.95 s ⁻²	0.003
Kombinierte Standardunsicherheit						0.232
Erweiterte Messunsicherheit (k=2)						0.47



Tabellarische Zusammenfassung der verschiedenen Beiträge.

Lineare Struktur

Hierarchische Struktur nicht empfohlen

Grösse	Var.	Messwert	...	u (k=1) (m/s ²)
Zeit	τ		...	0.230
Länge	L		...	0.023
Durchmesser	D		...	0.017
Total (k=1)				0.244

Grösse	Var.	Messwert	...	u (k=1) (m/s ²)
Wiederholbarkeit	τ_{gemessen}			0.208
Ablesung	$\delta\tau_{\text{Ablesung}}$			0.005
Reaktionszeit	$\delta\tau_{\text{Reaktion}}$		...	0.099
Zwischen Total (k=1)				0.230

Grösse	Var.	Messwert	...	u (k=1) (m/s ²)
Wiederholbarkeit	L_{gemessen}			0.014
Massstabgenauigk.	δL_{Meter}			0.017
Ablesung	$\delta L_{\text{Ablesung}}$		...	0.006
Zwischen Total (k=1)				0.023

- Wäre in Excel möglich !
- Kleine Übersichtlichkeit

Eine MU-Bilanz ist nicht immer so einfach wie in der Pendelübung!

- Hier geht es um eine Grösse : g
- In gewissen Fällen hat man **verschiedene Varianten**
 - Auswahl von verschiedenen Methoden
 - Auswahl von verschiedenen Messinstrumenten
 - Unterschiedlichen Einfluss von Umgebungsparameter (Temperatur, Druck), ...
- In gewissen Fällen hat man die Abhängigkeit von einem oder mehreren **Parametern**:
 - Frequenz
- In gewissen Fällen ist die MU-abhängig von der **Messgrösse** z.B. Widerstand:
 - Unsicherheit von 1 mΩ bis 100 mΩ
 - Unsicherheit von 100 mΩ bis 10 Ω

Lösung 1 – Die MU-Bilanzen sind unterschiedlich

■ MU-Bilanz im Bereich A

Grösse	X_i	Messwert	Verteilung/ Form	Standard Unsicherheit	Sensitivität	u ($k=1$) (m/s^2)
Zeit						
Wiederholbarkeit	t_{gemessen}	1.145 s	A	12 ms	-17.16 m/s^3	0.208
Ableseung	$\delta t_{\text{Ableseung}}$	0.0 s	B Rect.	0.29 ms	-17.16 m/s^3	0.005
Reaktionszeit	$\delta t_{\text{Reaktion}}$	0.0 s	B Rect.	5.7 ms	-17.16 m/s^3	0.099
Länge						
Wiederholbarkeit	l_{gemessen}	0.301 m	A	0.46 mm	30.04 s^2	0.014
Massstabgenauigkeit	δl_{Meter}	0.0 m	B Rect.	0.58 mm	30.04 s^2	0.017
Ableseung	$\delta l_{\text{Ableseung}}$	0.0 -m	B Dreieck	0.20 mm	30.04 s^2	0.006
Durchmesser						
Wiederholbarkeit	D_{gemessen}	0.050 m	A	0.87 mm	15.95 s^2	0.014
Massstabgenauigkeit	δD_{Meter}	0.0 m	B Rect.	0.58 mm	15.95 s^2	0.009
Ableseung	$\delta D_{\text{Ableseung}}$	0.0 m	B Dreieck	0.20 mm	15.95 s^2	0.003
Combinierte Standard Unsicherheit						0.232
Erweiterte Messunsicherheit ($k=2$)						0.47

Empfehlung:

■ MU-Bilanz im Bereich B

Grösse	X_i	Messwert	Verteilung/ Form	Standard Unsicherheit	Sensitivität	u ($k=1$) (m/s^2)
Zeit						
Wiederholbarkeit	t_{gemessen}	1.145 s	A	12 ms	-17.16 m/s^3	0.208
Ableseung	$\delta t_{\text{Ableseung}}$	0.0 s	B Rect.	0.29 ms	-17.16 m/s^3	0.005
Reaktionszeit	$\delta t_{\text{Reaktion}}$	0.0 s	B Rect.	5.7 ms	-17.16 m/s^3	0.099
Länge						
Wiederholbarkeit	l_{gemessen}	0.301 m	A	0.46 mm	30.04 s^2	0.014
Massstabgenauigkeit	δl_{Meter}	0.0 m	B Rect.	0.58 mm	30.04 s^2	0.017
Ableseung	$\delta l_{\text{Ableseung}}$	0.0 -m	B Dreieck	0.20 mm	30.04 s^2	0.006
Durchmesser						
Wiederholbarkeit	D_{gemessen}	0.050 m	A	0.87 mm	15.95 s^2	0.014
Massstabgenauigkeit	δD_{Meter}	0.0 m	B Rect.	0.58 mm	15.95 s^2	0.009
Ableseung	$\delta D_{\text{Ableseung}}$	0.0 m	B Dreieck	0.20 mm	15.95 s^2	0.003
Combinierte Standard Unsicherheit						0.232
Erweiterte Messunsicherheit ($k=2$)						0.47

Alle MU-Bilanzen im selben Dokument

- Word: im selben Dokument
- Excel: eine separate Tabelle

■ MU-Bilanz im Bereich C

Grösse	X_i	Messwert	Verteilung/ Form	Standard Unsicherheit	Sensitivität	u ($k=1$) (m/s^2)
Zeit						
Wiederholbarkeit	t_{gemessen}	1.145 s	A	12 ms	-17.16 m/s^3	0.208
Ableseung	$\delta t_{\text{Ableseung}}$	0.0 s	B Rect.	0.29 ms	-17.16 m/s^3	0.005
Reaktionszeit	$\delta t_{\text{Reaktion}}$	0.0 s	B Rect.	5.7 ms	-17.16 m/s^3	0.099
Länge						
Wiederholbarkeit	l_{gemessen}	0.301 m	A	0.46 mm	30.04 s^2	0.014
Massstabgenauigkeit	δl_{Meter}	0.0 m	B Rect.	0.58 mm	30.04 s^2	0.017
Ableseung	$\delta l_{\text{Ableseung}}$	0.0 -m	B Dreieck	0.20 mm	30.04 s^2	0.006
Durchmesser						
Wiederholbarkeit	D_{gemessen}	0.050 m	A	0.87 mm	15.95 s^2	0.014
Massstabgenauigkeit	δD_{Meter}	0.0 m	B Rect.	0.58 mm	15.95 s^2	0.009
Ableseung	$\delta D_{\text{Ableseung}}$	0.0 m	B Dreieck	0.20 mm	15.95 s^2	0.003
Combinierte Standard Unsicherheit						0.232
Erweiterte Messunsicherheit ($k=2$)						0.47

Lösung 2 – Die MU-Bilanzen haben Gemeinsamkeiten

Messgrösse	Var.	Messwert	...	$u(k=1)$ (m/s ²)
Zeitmessung	τ_{gemessen}}		...	...
Ablesung im Fall A	$\delta\tau_{\text{Ablesung}}$		....	...
Ablesung im Fall B			...	...
Ablesung im Fall C			...	...
..		
Massstabgenauigkeit	δD_{Meter}		...	
Ablesung	$\delta D_{\text{Ablesung}}$		...	.
Total ($k = 1$) im Fall A				0.244
Total ($k = 1$) im Fall B				0.264
Total ($k = 1$) im Fall C				0.358



Lösung 3 – Matrizendarstellung ist möglich

- Möglich wenn gleiche Unsicherheitsquelle vorhanden sind
- Möglich wenn die Sensitivitätskoeffizienten gleich sind
- Aber **aufpassen auf die Übersichtlichkeit**

				Fall A	Fall B	Fall C
Grösse	Var.	Messwert	...	u (k=1) (m/s ²)	u (k=1) (m/s ²)	u (k=1) (m/s ²)
Wiederholbarkeit	τ_{gemessen}}		...	...
Ablesung	$\delta\tau_{\text{Ablesung}}$		....	...
Reaktionszeit	$\delta\tau_{\text{Reaktion}}$		...	...
Wiederholbarkeit	L_{gemessen}		...			
				
Ablesung	$\delta D_{\text{Ablesung}}$...	-		
Total (k=1)				0.244	0.264	0.358

Wie detailliert ist eine MU-Bilanz?

- Keine allgemeine Antwort möglich

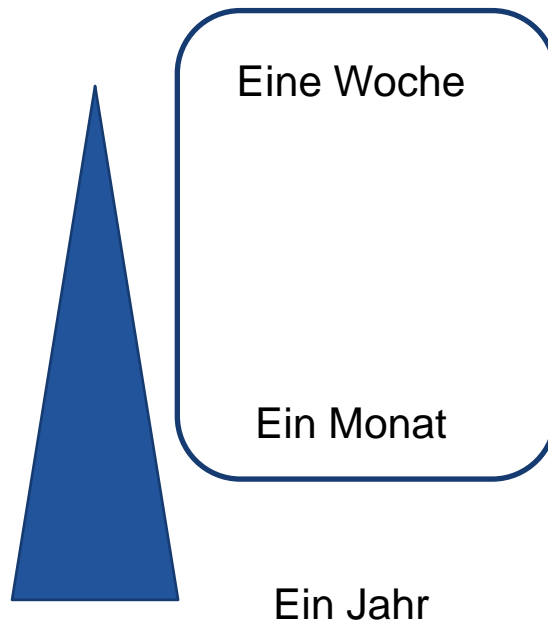
- Aber in der Regel
 - 5 bis 20 Seiten
 - 5 bis 20 Terme in der Messunsicherheitsbilanz

- Unwesentliche Beiträge werden vernachlässigt !

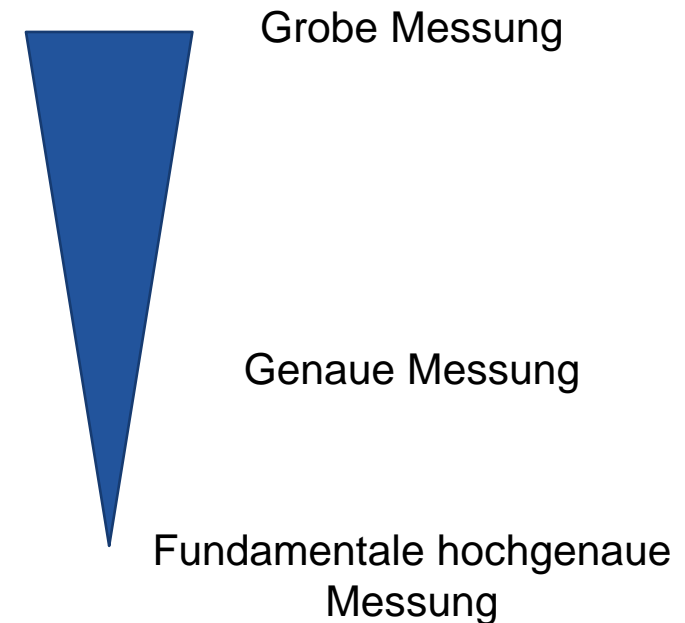
Wieviel Aufwand?

- Messprozedur schon vorhanden
- Aufwand ist im Prinzip invers proportional zur angestrebten Unsicherheit

Aufwand



Unsicherheit



Wie genau?

- Im Prinzip so genau wie möglich (ohne zu überschätzen)!

Grösse	Var.	Messwert	...	u (k=1) (m/s ²)
Wiederholbarkeit	τ_{gemessen}}		...	...
Ablesung	$\delta\tau_{\text{Ablesung}}$		....	...
Reaktionszeit	$\delta\tau_{\text{Reaktion}}$		...	...
Wiederholbarkeit	L_{gemessen}}		...	...
...
Ablesung	$\delta D_{\text{Ablesung}}$		...	...
Total (k=1)				0.244

So genau wie möglich

Mit bestem Wissen und Gewissen

So genau wie möglich

- Gesamtunsicherheit eventuell am Schluss nach oben runden
 - Anstatt $g = 9.81 \text{ m/s}^2 \pm 0.49 \text{ m/s}^2 \text{ (k=2)}$
 - Eventuell $g = 9.81 \text{ m/s}^2 \pm 0.70 \text{ m/s}^2 \text{ (k=2)}$ (comfortable feeling factor)
- Mit der Erfahrung sollte es nicht mehr nötig sein !

Wie oft ist eine Revision nötig?

- Keine festen Termine !
- Intern getriggerte Revision
 - Wünsche für genauere Messungen
 - Feststellung von Inkonsistenzen – Abweichungen
- Extern getriggerte Revision
 - Anpassung der Messmethode
 - Neue Messinstrumente
 - Messinstrumente neu kalibriert
 - Feststellung von Inkonsistenzen – Abweichungen

Überprüfung der MU-Bilanz?

- Anders gefragt:
«Wie weiss man dass die MU-Bilanz korrekt ist ?»
 - Durch laborinterne Stabilitätsmessungen
 - Durch «Firmen-interne» Messvergleiche: zwischen unterschiedlichen Laboratorien der Firma
 - Durch Vergleiche mit anderen Messlaboratorien

Demonstration GUM-Workbench

GUM Workbench Pro - MathPendel.smu

Datei Bearbeiten Ansicht Bild Diagramm Optionen Extras Hilfe

Modell Beobachtung Korrelation Budget Letztes Ergebnis Diagramm ?

Allgemein **Modellgleichung** Größen - Daten Partielle Ableitung

Gleichung: $\Sigma \dots$ $f(x) \dots$ Umbenennen Reihenfolge Experten

$$g = 4 \cdot \pi^2 / \tau^2 \cdot (L + D/2 + (D^2 / (5 \cdot (2 \cdot L + D))));$$

$$\tau = \tau_{\text{gemessen}} + \delta \tau_{\text{Ablesung}} + \delta \tau_{\text{Reaktion}};$$

$$L = L_{\text{gemessen}} + \delta L_{\text{Meter}} + \delta L_{\text{Ablesung}};$$

$$D = D_{\text{gemessen}} + \delta D_{\text{Meter}} + \delta D_{\text{Ablesung}};$$

Größe	Einheit	Definition
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
π		Pi
τ	s	Periode der Pendelschwingung
L	m	Distanz zwischen Rotationspunkt und dem nächstgelegenen Punkt auf der Kugel (Länge)
D	m	Durchmesser der Kugel
τ_{gemessen}	s	Gemessene Periode als Mittelwert von Messungen
$\delta \tau_{\text{Ablesung}}$	s	Ableseunsicherheit der Periodenmessungen
$\delta \tau_{\text{Reaktion}}$	s	Unsicherheit der Reaktionszeit
L_{gemessen}	m	Gemessene Länge als Mittelwert von Messungen
δL_{Meter}	m	Genauigkeit des Meters
$\delta L_{\text{Ablesung}}$	m	Ableseunsicherheit der Längenmessungen
D_{gemessen}	m	Gemessener Durchmesser als Mittelwert von Messungen
δD_{Meter}	m	Genauigkeit des Meters
$\delta D_{\text{Ablesung}}$	m	Ableseunsicherheit der Durchmessermessungen