

Messunsicherheitsangabe für Messbereiche

260. PTB-Seminar 21./22. März 2011

Dr. Harry Stolz

PTB Braunschweig

Leiter der Zertifizierungsstelle

Messunsicherheitsangabe für Messbereiche



Inhalt

- A Einführung
- B Beispiel der Auswertung einer diskreten Einzelmessung
- C *Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets für diskrete Werte und Messbereiche im Qualitätsmanagement-Handbuch eines Kalibrierlaboratoriums*
- D Verifizierung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit für diskrete Werte und Messbereiche mit Hilfe eines EXCEL-Programmes

Messunsicherheitsangabe für Messbereiche



Inhalt

- A** **Einführung**
- B** Beispiel der Auswertung einer diskreten Einzelmessung
- C** *Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets für diskrete Werte und Messbereiche im Qualitätsmanagement-Handbuch eines Kalibrierlaboratoriums*
- D** Verifizierung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit für diskrete Werte und Messbereiche mit Hilfe eines EXCEL-Programmes

A Einführung



Der Akkreditierungsumfang von akkreditierten Kalibrierlaboratorien umfasst neben diskreten Werten meist aus Messbereiche.

Für diese Messbereiche wird die **kleinste angebbare Messunsicherheit (BMC)** meist in Form von linearen Funktionen $U = m \cdot x + b$ angegeben.

DAkkS-DKD-3 beschreibt nur das Verfahren zur Berechnung der Messunsicherheit einer diskreten Messung.

Probleme:

1. Wie kann man das Messunsicherheitsbudget für einen Messbereich angemessen im QM-Handbuch eines akkreditierten Kalibrierlaboratoriums darstellen ?
2. Wie kommt man von DAkkS-DKD-3 zu einem Verfahren, mit dem man die kleinste angebbare Messunsicherheit von Messbereichen verifizieren kann ?

A Einführung



Vorbemerkung

Dieser Vortrag basiert auf dem vom PTB/DKD-Workshop 4/2000 „Praxis der Unsicherheitsanalyse in DKD-Laboratorien für Gleichstrom/Niederfrequenz“

DAkkS-DKD-3 wird vorausgesetzt, d.h. folgende Vorgehensweise:

- ⇒ *Beschreibung des Messverfahrens*
- ⇒ *Aufstellung der vollständigen **Modellgleichung der Auswertung** einer Messung*
- ⇒ *Zusammentragen der Kenntnisse über alle Eingangsgröße (Werte, Verteilungen, Standardunsicherheiten)*
- ⇒ *Bestimmung des Ergebniswertes und seiner Standardunsicherheit*
- ⇒ *Bestimmung des Erweiterungsfaktors des Ergebnisses*
- ⇒ *Angabe der erweiterten Messunsicherheit des Ergebnisses*

A Einführung



Konventionen:

- **Größen:** *Großbuchstaben, kursiv* *z.B. V_{CAL}*
- **Werte:** *Kleinbuchstaben, kursiv* *z.B. v_{CAL}*
- **„bekannte“ Abweichungen:** Δ *z.B. ΔV_{CAL}*
- **„unbekannte“ Abweichungen:** δ *z.B. δV_{CAL}*
- **Standardunsicherheit:** u
- **Erweiterte Unsicherheit:** U
- **Erweiterungsfaktor** k

Messunsicherheitsangabe für Messbereiche



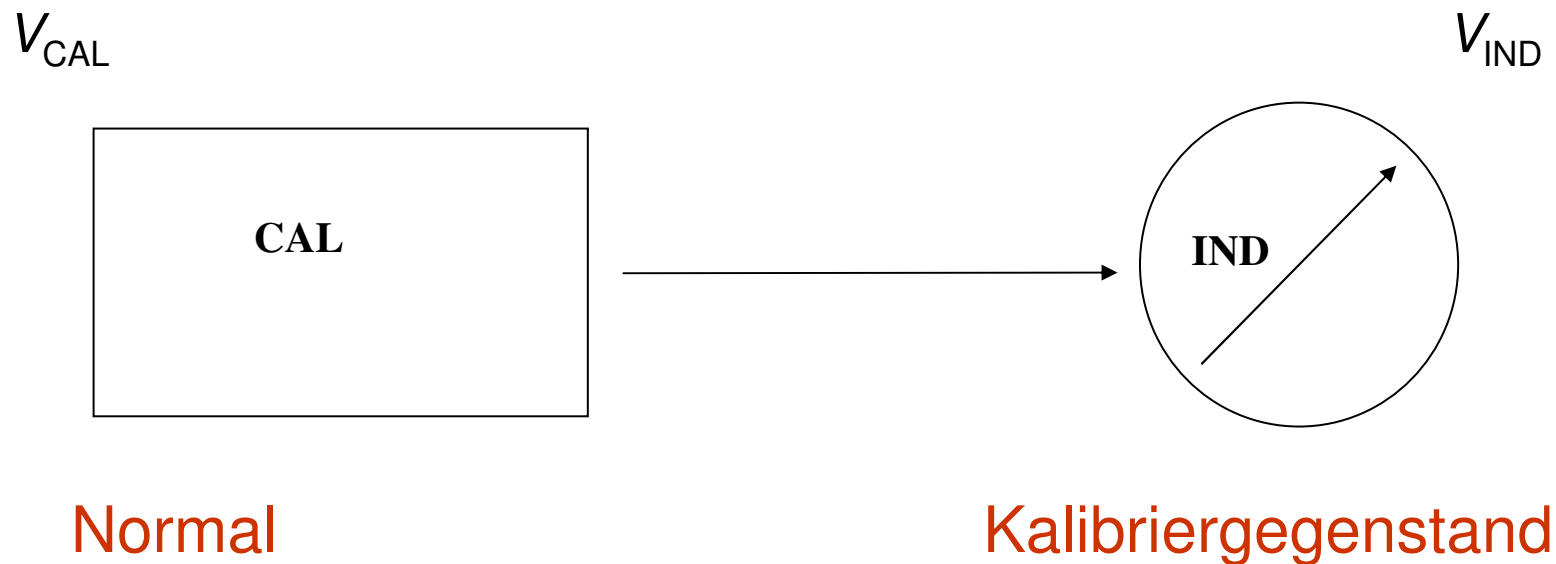
Inhalt

- A Einführung
- B Beispiel der Auswertung einer diskreten Einzelmessung**
- C *Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets für diskrete Werte und Messbereiche im Qualitätsmanagement-Handbuch eines Kalibrierlaboratoriums*
- D Verifizierung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit für diskrete Werte und Messbereiche mit Hilfe eines EXCEL-Programmes

B: Beispiel der Auswertung einer diskreten Einzelmessung

Kalibrierungsaufgabe:

Kalibrierung der Messabweichung eines 5 $\frac{1}{2}$ -stelligen Digitalvoltmeters mit Hilfe eines Multifunktionskalibrators für den Nennwert $U = 10\text{ V}$ Wechselstrom bei $f = 1\text{ kHz}$.



B: Beispiel der Auswertung einer diskreten Einzelmessung

Erläuterung der Größen



Einstellwert: $V_{\text{CAL}} = 10,0000 \text{ V}$

Abweichung $\Delta V_{\text{CAL}} = -9,5 \cdot 10^{-4} \text{ V}$ zum Zeitpunkt der Kalibrierung

Langzeitverhalten $\delta V_{\text{CAL}} = 0$ (z.B. Drift)

Verfahren: $\delta V_{\text{Verfahren}} = 0$ (Anschluss)

Anzeigewert: $V_{\text{IND}} = 9,9996 \text{ V}$ (stabil)

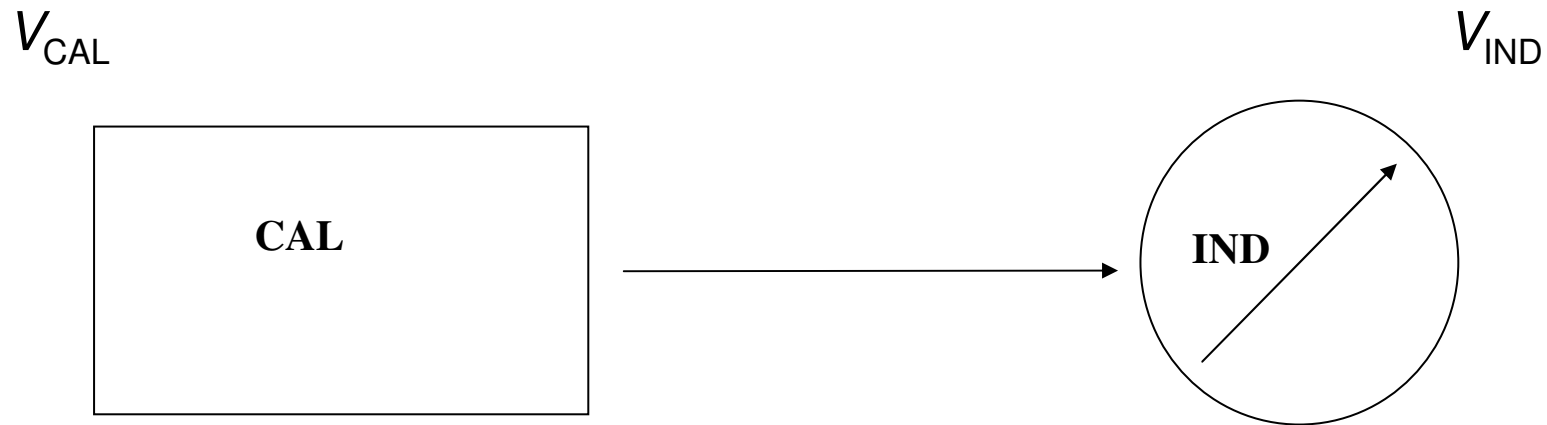
Auflösung der Anzeige: $\delta V_{\text{IND}} = 0$

Gesuchte Messabweichung der Anzeige: ΔV_{IND}

Am Eingang des Voltmeters gilt:

$$V_{\text{CAL}} - \Delta V_{\text{CAL}} - \delta V_{\text{CAL}} - \delta V_{\text{Verfahren}} = V_{\text{IND}} - \Delta V_{\text{IND}} - \delta V_{\text{IND}}$$

B: Beispiel der Auswertung einer diskreten Einzelmessung



$$\Delta V_{\text{IND}} = V_{\text{IND}} - V_{\text{CAL}} - \delta V_{\text{IND}} + \Delta V_{\text{CAL}} + \delta V_{\text{CAL}} + \delta V_{\text{Verfahren}}$$

Die Eingangsgrößen werden als unkorreliert betrachtet, da die Kenntnisse über ihre Werte als voneinander unabhängig anzusehen sind.

B: Beispiel der Auswertung einer diskreten Einzelmessung



Messunsicherheitsbudget für eine Einzelmessung

Größe	Schätzwert	Standard-messunsicherheit	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag
X_i	x_i	$u(x_i)$		c_i	$u_i(y)$
V_{CAL}	10,0000 V				
ΔV_{CAL}	-950 μV	150 μV	Normal	1	150 μV
δV_{CAL}	0 μV	340 μV	Rechteck	1	340 μV
$\delta V_{\text{Verfahren}}$	0 μV	58 μV	Rechteck	1	58 μV
V_{IND}	9,9996 V				
δV_{IND}	0 μV	29 μV	Rechteck	-1	-29 μV
ΔV_{IND}	-1350 μV				376 μV

$$\Delta V_{\text{IND}} = V_{\text{IND}} - V_{\text{CAL}} - \delta V_{\text{IND}} + \Delta V_{\text{CAL}} + \delta V_{\text{CAL}} + \delta V_{\text{Verfahren}}$$

$$u^2(\Delta V_{\text{IND}}) = (1)^2 u^2(\Delta V_{\text{CAL}}) + (1)^2 u^2(\delta V_{\text{CAL}}) + (1)^2 u^2(\delta V_{\text{Verfahren}}) + (-1)^2 u^2(\delta V_{\text{IND}})$$

B: Beispiel der Auswertung einer diskreten Einzelmessung



Wahrscheinlichkeitsverteilung des Messergebnisses

Der Unsicherheitsbeitrag der Drift überwiegt.

Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Messgröße eine Normalverteilung ($k=2$) zugeordnet werden kann.

Andererseits:

Unsicherheitsbeitrag der Drift noch nicht groß genug, um Rechteckverteilung ($k = 0,95 \cdot \sqrt{3} \cong 1,65$) anzunehmen.

Exakte Bestimmung der Verteilung und des Erweiterungsfaktors sehr aufwendig.

Um Aufwand zu vermeiden, wird dem Messergebnis hier **vereinfachend** ein Erweiterungsfaktor von **$k=2$** zugeordnet.

Dem Messergebnis beigeordnete erweiterte Messunsicherheit ($k=2$):

$$U = k \cdot u(\Delta V_{\text{IND}}) = 2 \cdot 376 \mu\text{V} \cong 0,75 \text{ mV}$$

Messunsicherheitsangabe für Messbereiche



Inhalt

- A Einführung
- B Beispiel der Auswertung einer diskreten Einzelmessung
- C ***Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets für diskrete Werte und Messbereiche im Qualitätsmanagement-Handbuch eines Kalibrierlaboratoriums***
- D Verifizierung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit für diskrete Werte und Messbereiche mit Hilfe eines EXCEL-Programmes

C: Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets im Qualitätsmanagement-Handbuch



Bisher Auswertung einer Einzelmessung, d.h.
Bestimmung der Messunsicherheit auf Basis bekannter aktueller Gegebenheiten

Jetzt Analyse eines Mess**verfahrens**, d.h.

- | | |
|--------|--|
| K-Lab. | <ul style="list-style-type: none">• Festlegung von Grenzwerten sichergestellter Mess- und Umgebungsbedingungen• Bestimmung der maximalen Messunsicherheit (<i>MMU</i>) bei Einhaltung der vorgegebenen Bedingungen für einen „nahezu idealen“ Kalibriergegenstand.• Vorgabe der kleinsten angebaren Messunsicherheit (<i>BMC</i>) im Antrag auf Akkreditierung des Laboratoriums |
| Begü. | <ul style="list-style-type: none">• Überprüfung der Angaben des Laboratoriums• Vergleich <i>BMC</i> mit <i>MMU</i>• Verifizierung <i>BMC</i> durch Vergleichsmessungen |

C: Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets im Qualitätsmanagement-Handbuch



Angaben zur Messunsicherheitsabschätzung eines Messverfahrens im Qualitätsmanagementhandbuch eines Kalibrierlaboratoriums:

- Messverfahren
- Modellgleichung für das Messverfahren
- Erläuterung aller in der Modellgleichung aufgeführten Größen und der Kenntnis bzw. Informationsquellen über die Werte (Schätzwerte, Unsicherheitskomponenten, Verteilungen)
- Darstellung des Messunsicherheitsbudgets in Listenform
- Erweiterte Messunsicherheit mit Angabe des Erweiterungsfaktors

Falls mehrere (verschiedene) Messverfahren akkreditiert werden sollen, sind entsprechende Messunsicherheitsabschätzungen für jedes Verfahren erforderlich.

C: Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets im Qualitätsmanagement-Handbuch



Vorschlag zur Darstellung des Messunsicherheitsbudgets für die Akkreditierung der Kalibrierung diskreter Werte bzw. Bereiche eines Messgerätes mit einem Kalibrator im QM-Handbuch eines Kalibrierlaboratoriums

Umfang im QM-Handbuch : jeweils nur 2 Seiten

C: Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets im Qualitätsmanagement-Handbuch



Modellgleichung der Auswertung einer Messung

(im Hinblick auf die Bestimmung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit)

Für die Akkreditierung diskreter Werte:

$$\Delta X_{\text{IND}} = X_{\text{IND}} - X_{\text{CAL}} + \Delta X_{\text{CAL}} + \delta X_{\text{CAL}} + \delta X_{\text{Verfahren}} \quad (- \delta X_{\text{IND}})$$

Für die Akkreditierung von Messbereichen:

$$\Delta X_{\text{IND}} = X_{\text{IND}} - X_{\text{CAL}} + \delta X_{\text{Spez}} + \delta X_{\text{Konf}} + \delta X_{\text{Verfahren}} \quad (- \delta X_{\text{IND}})$$

C: Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets im Qualitätsmanagement-Handbuch



Gesuchte Größe:

ΔX_{IND} Abweichung des Anzeigewertes des Messgeräts

Vorgegebene bzw. abgelesene Größen:

X_{IND} Anzeige des Messgerätes

X_{CAL} eingestellter Wert am Kalibrator

C: Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets im Qualitätsmanagement-Handbuch



Einflussgrößen vom Kalibrator: a) für diskrete Werte

$$\Delta X_{\text{CAL}}$$

Die Abweichung des Ausgangs vom eingestellten Wert zum Zeitpunkt seiner letzten Kalibrierung

$\Delta x_{\text{CAL}} \pm U(\Delta x_{\text{CAL}})$ wird dem Kalibrierschein des Kalibrators entnommen ($k=2$).

$$\delta X_{\text{CAL}}$$

Abweichung (Drift) gegenüber letzter Kalibrierung.

Wird den 1-Jahres Spezifikationen (Confidence level 99%) des Herstellers des Kalibrators entnommen.

-> **Rechteckverteilung, Schätzwert Null**

C: Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets im Qualitätsmanagement-Handbuch



Einflussgrößen vom Kalibrator: **b) für Messbereiche**

δX_{Spez}

zu erwartende Abweichung des Ausgangs vom eingestellten Wert.

Wird innerhalb den vom Hersteller angegebenen Grenzen (MPE 99%) angenommen.

Umfasst:

- Einfluss der verwendeten Normale des Herstellers,
- Justierabweichung,
- Langzeitdrift seit der letzten Justierung
- Temperaturkoeffizienten, Linearität, Netzspannung, Belastung.

-> **Rechteckverteilung, Schätzwert Null**

Grenzen aus Herstellerspezifikationen für festgelegte Rekalibrierfrist.

δX_{Konf}

Unsicherheitsbeitrag des Konformitätsnachweises

-> **Normalverteilung, Schätzwert Null, $U(\Delta x_{\text{Konf}})$** wird dem Kalibrierschein des Kalibrators entnommen (**k=2**).

**C: Verifizierung der kleinsten angebbaren
Messunsicherheit für diskrete Werte und Bereiche:
Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheits-
budgets im Qualitätsmanagement-Handbuch**



Einflussgrößen vom Verfahren und Kalibriergegenstand:

$\delta X_{\text{Verfahren}}$

Ansatz: Rechteckverteilung mit dem Schätzwert Null
Grenzen aus der maximalen Zuleitungsimpedanz,
innerer Impedanz des Kalibrators und typischer
Eingangsimpedanz des Messgerätes
oder aus zusätzlichen Kontrollmessungen

δX_{IND} Vom Messgerät stammende Abweichung
(z.B. Auflösung des Messgerätes).

Wird für die kleinste angebbare Messunsicherheit
nicht berücksichtigt.

C: Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets im Qualitätsmanagement-Handbuch



Tabellarische Darstellung des Messunsicherheitsbudgets:

Größe	Schätzwert	Standard-messunsicherheit	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag
X_i	x_i	$u(x_i)$		c_i	$u_i(y)$
X_{CAL}	x_{CAL}				
ΔX_{CAL}	Δx_{CAL}	$U(\Delta x_{CAL}) / 2$	Normal	1	$u(\Delta X_{CAL})$
δX_{CAL}	0	$U(\delta x_{Drift}) / \sqrt{3}$	Rechteck	1	$u(\delta X_{CAL})$
$\delta X_{Verfahren}$	0	$U(\delta x_{Anschluss}) / \sqrt{3}$	Rechteck	1	$u(\delta X_{Verfahren})$
X_{IND}	x_{IND}				
ΔX_{IND}	$x_{IND} - x_{CAL}$ + Δx_{CAL}				$u(\Delta X_{IND})^*$

Für diskrete Werte !!!

*Gemäß DAkkS-DKD-3 4 ergibt sich aus der Modellgleichung für die dem Ergebnis Δx_{IND} beizuordnende Standardmessunsicherheit:

$$u^2(\Delta X_{IND}) = u^2(\Delta X_{CAL}) + u^2(\delta X_{CAL}) + u^2(\delta X_{Verfahren})$$

C: Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets im Qualitätsmanagement-Handbuch



Tabellarische Darstellung des Messunsicherheitsbudgets:

Größe X_i	Schätzwert x_i	Standard- messunsicherheit $u(x_i)$	Verteilung	Sensitivitäts- koeffizient c_i	Unsicherheits- beitrag $u_i(y)$
X_{CAL}	x_{CAL}				
δX_{Spez}	0	$U(\delta X_{Spez}) / \sqrt{3}$	Rechteck	1	$u(\delta X_{Spez})$
δX_{Konf}	0	$U(\delta X_{Konf}) / 2$	Normal	1	$u(\delta X_{Konf})$
$\delta X_{Verfahren}$	0	$U(\delta X_{Verfahren}) / \sqrt{3}$	Rechteck	1	$u(\delta X_{Verfahren})$
X_{IND}	x_{IND}				
ΔX_{IND}	$x_{IND} - x_{CAL}$				$u(\Delta X_{IND})^*$

*Gemäß DAkkS-DKD-3 ergibt sich aus der Modellgleichung für die dem Ergebnis ΔX_{IND} beizuordnende Standardmessunsicherheit:

$$u^2(\Delta X_{IND}) = u^2(\delta X_{Spez}) + u^2(\delta X_{Konf}) + u^2(\delta X_{Verfahren})$$

C: Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets im Qualitätsmanagement-Handbuch



Konkrete Werte der in der letzten Spalte aufgeführten Unsicherheitsbeiträge und die sich daraus ergebenden Standardunsicherheiten liegen für alle Messpunkte bzw. Messbereiche, für die dieses Verfahren eingesetzt wird, in separaten Listen/Tabellen vor.

Die erweiterten Messunsicherheiten ergeben sich durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor k . In Fällen bei denen der Messunsicherheitsanteil einer Komponente mit Rechteckverteilung mindestens 90% ausmacht, wird $k = 0,95 \cdot \sqrt{3} \cong 1,65$ und in allen anderen Fällen $k = 2$ verwendet.
$$U\{\Delta x_{\text{IND}}\} = k u(\Delta x_{\text{IND}})$$

Die Ergebnisse verifizieren die im Leistungsverzeichnis aufgeführten kleinsten angebbaren Messunsicherheiten.

Messunsicherheitsangabe für Messbereiche



Inhalt

- A Einführung
- B Beispiel der Auswertung einer diskreten Einzelmessung
- C *Beispiel für die Darstellung des Messunsicherheitsbudgets für diskrete Werte und Messbereiche im Qualitätsmanagement-Handbuch eines Kalibrierlaboratoriums*
- D **Verifizierung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit für diskrete Werte und Messbereiche mit Hilfe eines EXCEL-Programmes**

D Verifizierung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit für diskrete Werte und Messbereiche mit Hilfe eines EXCEL-Programmes



Messunsicherheitsbudget zur Abschätzung der kleinsten angebbaren Unsicherheit von Messbereichen

Verfahren: Direkte Kalibrierung eines Messgerätes mit einem Kalibrator

Messgröße	Wechselspannung	kleinster Wert $x\{1\}$:	Zahlenwert	Einheit	Excel-Datei	MU_Bereiche.xls
Messbereich	1 V bis 22 V, 15 kHz bis 50 kHz	größter Wert $x\{10\}$:	1	V	Version 1.04	05.05.2000
			22	V	erstellt: H. Stolz, PTB, Q.33	

Unsicherheitsbeiträge

Spezifikation	$U(\delta x_{\text{Spez}})$:	linearer Term:	6,0E-05	*x
		konstanter Term:	7,0E-05	V
		Teilungsfaktor zur Ermittlung der Standardunsicherheit:	1,73	
Verifikation der Spez.	$U(\delta x_{\text{Konf}})$:	linearer Term:		*x
		konstanter Term:	3,0E-04	V
		Teilungsfaktor zur Ermittlung der Standardunsicherheit:	2,00	
Verfahren	$U(\delta x_{\text{Verf}})$:	linearer Term:		*x
		konstanter Term:	5,0E-04	V
		Teilungsfaktor zur Ermittlung der Standardunsicherheit:	1,73	

Daten eingegeben:

Name / Datum

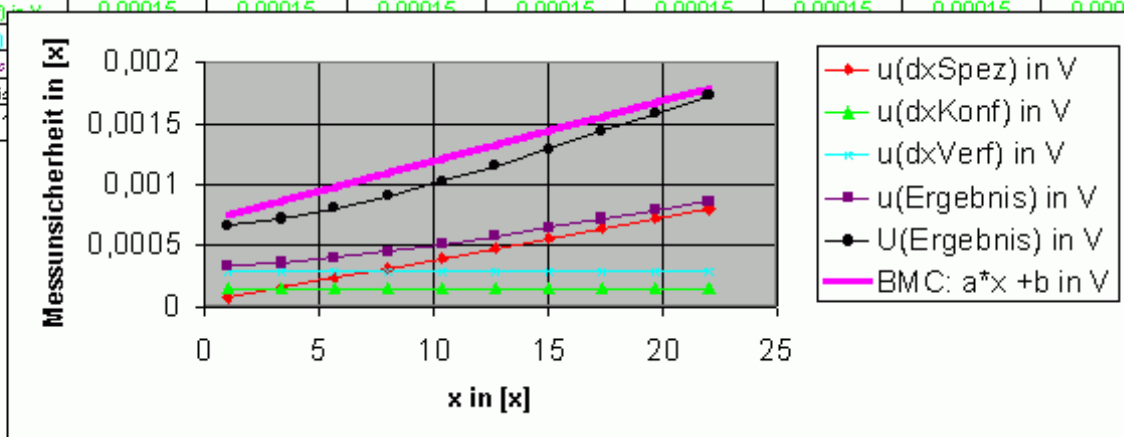
geprüft und freigegeben:

Name/Datum

k-Faktor für Ergebnis (Überdeckungswahrscheinlichkeit 95%): 2,00

Berechnung der Stützwerte

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x	1	3,333333333	5,666666667	8	10,33333333	12,66666667	15	17,33333333	19,66666667	22
$u(dx_{\text{Spez}})$ in V	7,50555E-05	0,000155885	0,000236714	0,000317543	0,000398372	0,000479201	0,00056003	0,000640859	0,000721688	0,000802517
$u(dx_{\text{Konf}})$ in V	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015
$u(dx_{\text{Verf}})$ in V										
$u(\text{Ergebnis})$ in V										
$U(\text{Ergebnis})$ in V										
U_{ver} in V										



Kleinste angebbare Messunsicherheit (BMC)
 $U = a \cdot x + b$

a	5,0E-05
b in V	7,0E-04

Messunsicherheitsangabe für Messbereiche



Inhalt

- A Einführung
- B Beispiel der Auswertung einer diskreten Einzelmessung
- C *Beispiel zur Messunsicherheitsangabe im Budgets
Qualität
eines K*
- D Verifizierung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit für diskrete Werte und Messbereiche mit Hilfe eines EXCEL-Programmes

Danke für Ihre
Aufmerksamkeit