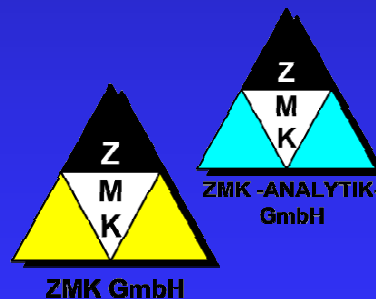




ZMK GmbH Sachsen-Anhalt

Messunsicherheitsbetrachtungen bei der
Kalibrierung dimensioneller Messgrößen am
Beispiel von Längenmessmaschinen

Andreas Zeißler, Nadine Schiering,
Barbara Werner, Olaf Schnelle-Werner



D-K-15186-01-00



Zentrum für Messen und Kalibrieren - ZMK

D-K-15186-01-00



ZMK
-ANALYTIK-
GmbH



ZMK GmbH
Sachsen-Anhalt

- Viskosität
- Elektrolytische Leitfähigkeit
- pH
- Flüssigkeitsdichte
- Volumen
Pipetten / Glasgeräte

Ortsteil Wolfen
P-D ChemiePark Bitterfeld-Wolfen
Areal A; Filmstr. 7
D-06766 Bitterfeld-Wolfen
Germany

Phone: +49 (3494) 6973 0
Fax: +49 (3494) 6973 34
E-Mail: info@zmk-wolfen.de

- Elektrik
- Zeit / Frequenz *
- Masse
- Waagen
- Drehmoment
- Druck
- Temperatur
- Feuchte / Luftfeuchte
- Parallelendmaße
- Dimensionelle Messgrößen**

* in Akkreditierung

ZMK GmbH Sachsen-Anhalt / ZMK -ANALYTIK- GmbH
268. PTB-Seminar Berechnung der Messunsicherheit
- Empfehlungen für die Praxis 19. - 20.03.2013



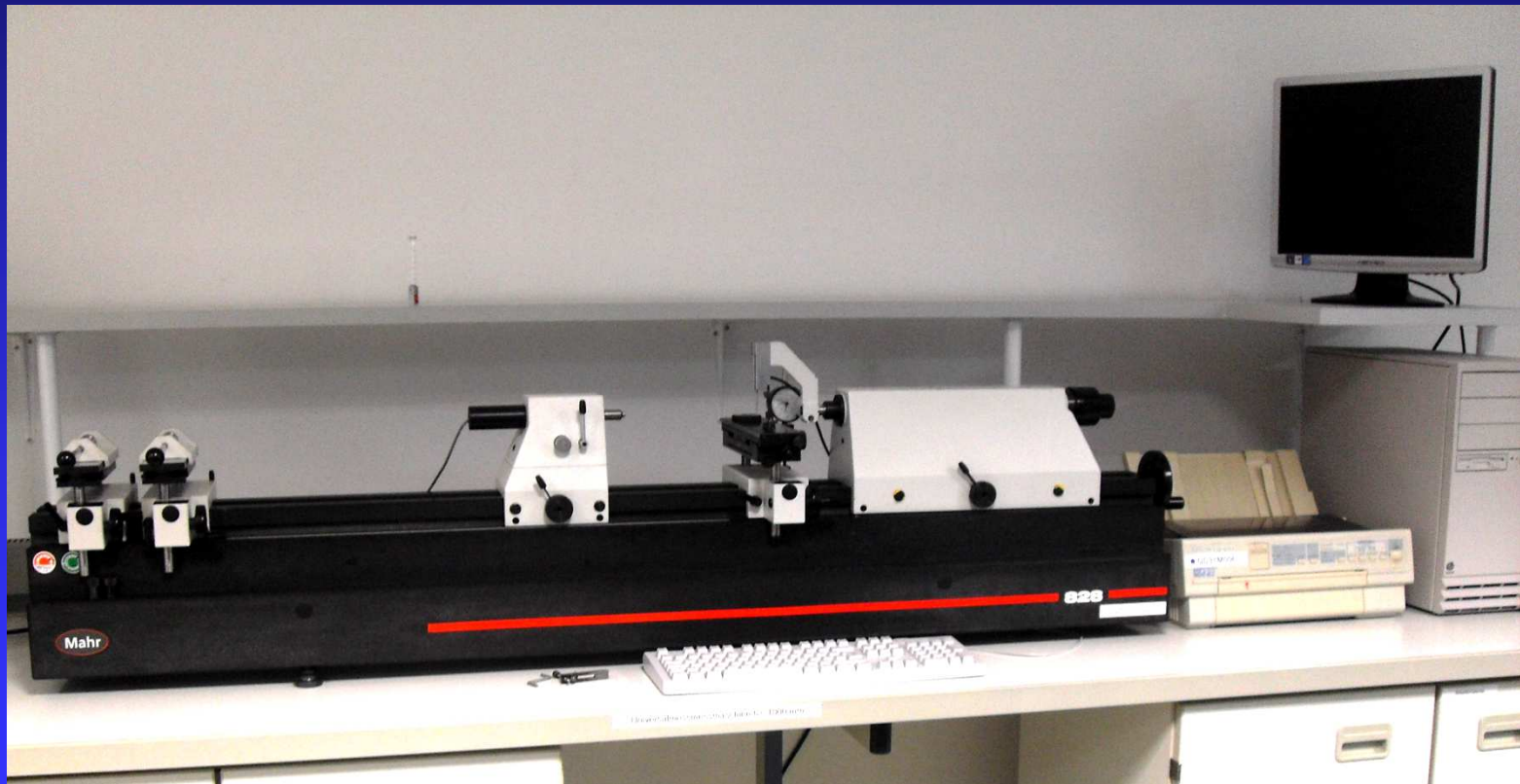
Gliederung

1. Einleitung / Motivation
2. Kalibrierverfahren
3. Übersicht über Einflussgrößen auf die Messunsicherheit
4. Modellgleichung
5. Beschreibung der Einflussgrößen (Quantifizierung)
6. Ermittlung der Empfindlichkeitskoeffizienten
7. Berechnung der Standardmessunsicherheit
8. Ableitung der Gleichung für die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit für beliebige Messpunkte innerhalb des Messbereichs
9. Zusammenfassung



1. Einleitung / Motivation

Kalibriergegenstand: Universal-Längenmessmaschine Mahr 828 PC
Messbereich 0 mm – 1000 mm
Länge des internen Maßstabes: 200 mm



ZMK GmbH Sachsen-Anhalt / ZMK -ANALYTIK- GmbH
268. PTB-Seminar Berechnung der Messunsicherheit
- Empfehlungen für die Praxis 19. - 20.03.2013

Seite 4



1. Einleitung / Motivation

Für die Erreichung ausreichend kleiner Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von Universal-Längenmessmaschinen sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

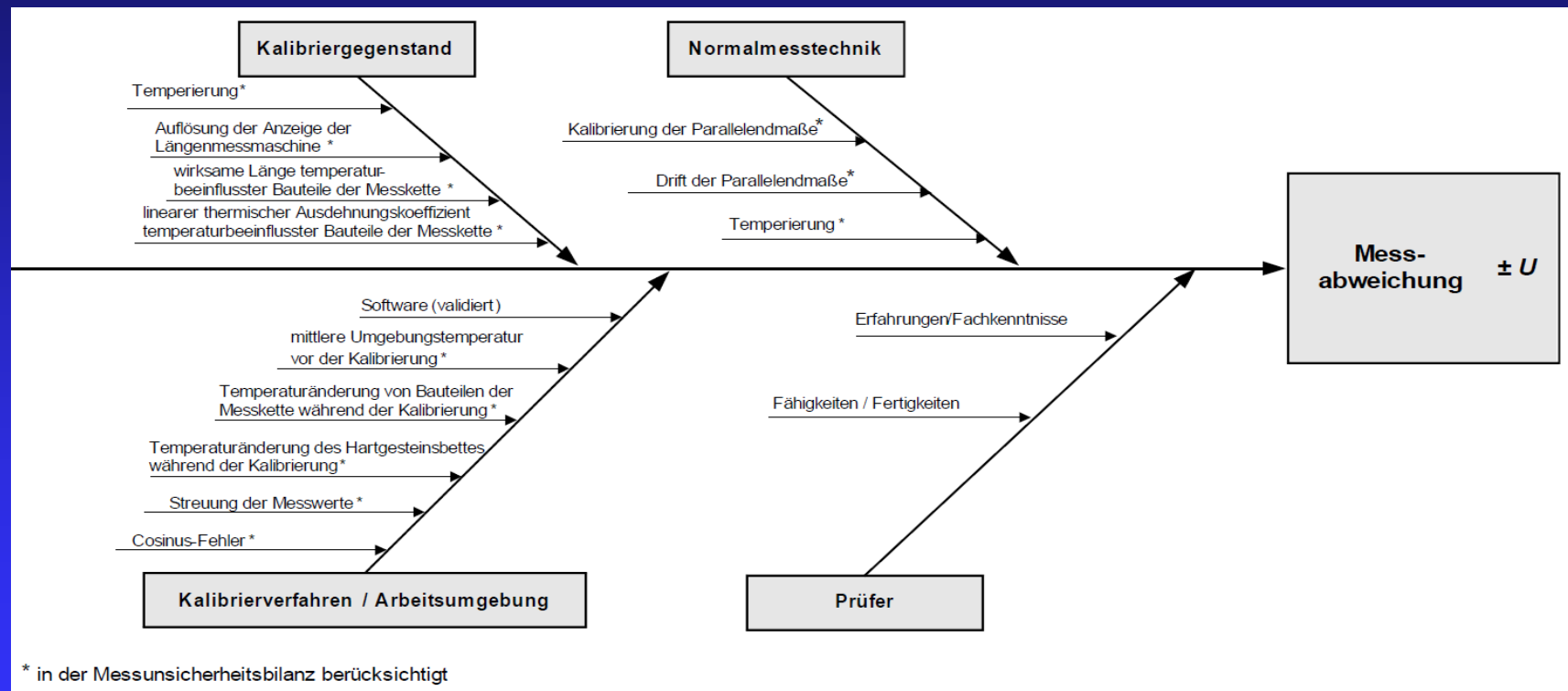
- Genaue Kenntnisse über den konstruktiven Aufbau der Längenmessmaschine
- Umfangreiche Untersuchungen der thermischen Einflüsse
- Experimentelle Untersuchungen zur erreichbaren Wiederholbarkeit der Messungen
- Gute Kenntnisse des Prüfers für die Einrichtung und Bedienung der Längenmessmaschine



2. Kalibrierverfahren

- Prüfung von Ebenheit und Parallelität der Messflächen
- Prüfung der Einhaltung der erforderlichen Umgebungsbedingungen
- Kalibrierung mit Parallelendmaßen
- zwei Messbereiche: 0 – 200 mm / > 200 mm
- Messpunkte sind über den Messbereich verteilt
- 10 Wiederholungen je Messpunkt

3. Übersicht über Einflussgrößen auf die Messunsicherheit





4. Modellgleichung

Messbereich 0 bis 200 mm

$$l_X = l_N + \delta l_{BN} + \delta l_{BNIO} + \delta l_D + \delta l_X + \delta l_S + [(L_{BN} \cdot \alpha_{BN}) - (l_N \cdot \alpha_M)] \cdot (t_m - t_0) \\ + [(L_{BN} \cdot \alpha_{BN}) + (L_N \cdot \alpha_N) - k_t \cdot (l_N \cdot \alpha_M)] \cdot \delta t - (L_S + l_N) \cdot \alpha_S \cdot \delta t_S + \delta l_C$$

Messbereich > 200 mm

zusätzliche Einflussgröße:

δt_{BNE} Differenz der Temperaturänderungen während der Kalibrierung von Parallelendmaß zum Einrichten der Längenmessmaschine und zu messendem Parallelendmaß



4. Modellgleichung

Messbereich 0 bis 200 mm

$$l_X = l_N + \delta l_{BN} + \delta l_{BN10} + \delta l_D + \delta l_X + \delta l_S + [(L_{BN} \cdot \alpha_{BN}) - (l_N \cdot \alpha_M)] \cdot (t_m - t_0) + [(L_{BN} \cdot \alpha_{BN}) + (L_N \cdot \alpha_N) - k_t \cdot (l_N \cdot \alpha_M)] \cdot \delta t - (L_S + l_N) \cdot \alpha_S \cdot \delta t_S + \delta l_C$$

Erklärung der Formelzeichen

l_N	abgelesener Wert
δl_{BN}	Unsicherheit der Kalibrierung der Parallelendmaße
δl_{BN10}	Unsicherheit der Kalibrierung des Parallelendmaßes zum Einrichten der Messmaschine
δl_D	Drift der Parallelendmaße
δl_X	Unsicherheitsbeitrag aus der Auflösung der Anzeige
δl_S	Wiederholpräzision der Messmaschine
$t_m - t_0$	Abweichung der mittleren Umgebungstemperatur von der Referenztemperatur 20°C
δt	Änderung der Temperatur von Parallelendmaßen und Messbolzen während der Kalibr.
δt_S	Änderung der Temperatur des Maschinenbettes während der Kalibrierung
δl_C	Unsicherheitsbeitrag aus dem Fehler beim Ausrichten der Parallelendmaße



4. Modellgleichung

$t_m - t_0$ Abweichung der mittleren Umgebungstemperatur von der Referenztemperatur 20°C

$$\left[(L_{BN} \cdot \alpha_{BN}) - (l_N \cdot \alpha_M) \right] \cdot (t_m - t_0)$$

Erklärung der Formelzeichen

L_{BN}	Mittenmaß des zu vermessenden Parallelendmaßes
α_{BN}	linearer thermischer Längenausdehnungskoeffizient der Parallelendmaße
l_N	abgelesener Wert
α_M	linearer thermischer Längenausdehnungskoeffizient des Maßstabes



4. Modellgleichung

δt Änderung der Temperatur von Parallelendmaßen und Messbolzen während der Kalibrierung

$$+ [(L_{BN} \cdot \alpha_{BN}) + (L_N \cdot \alpha_N) - k_t \cdot (l_N \cdot \alpha_M)] \cdot \delta t$$

Erklärung der Formelzeichen

L_{BN}	Mittenmaß des zu vermessenden Parallelendmaßes
α_{BN}	linearer thermischer Längenausdehnungskoeffizient der Parallelendmaße
L_N	Länge des Messbolzens
α_N	linearer thermischer Längenausdehnungskoeffizient des Messbolzens
k_t	Faktor, mit dem die Temperaturänderung von Parallelendmaßen und Messbolzen während der Kalibrierung als Temperaturänderung des Maßstabes eingeht
l_N	abgelesener Wert
α_M	linearer thermischer Längenausdehnungskoeffizient des Maßstabes



4. Modellgleichung

δt_S Änderung der Temperatur des Maschinenbettes während der Kalibrierung

$$-(L_S + l_N) \cdot \alpha_S \cdot \delta t_S$$

Erklärung der Formelzeichen

- L_S wirksame Länge des Maschinenbettes bei aneinander liegenden Pinolen
 l_N abgelesener Messwert
 α_S linearer thermischer Längenausdehnungskoeffizient des Maschinenbettes



5. Beschreibung der Einflussgrößen (Quantifizierung)

Unsicherheit der Kalibrierung der Parallelendmaße

aus den aktuellen Kalibrierscheinen zu entnehmen für:

δ_{BN} zu messende Parallelendmaße

δ_{BN10} Parallelendmaß 10 mm zum Einrichten der Längenmessmaschine

Normalverteilung ($k=2$)

Drift der Parallelendmaße

δ_D Schätzung auf der Grundlage der Kalibrierhistorie

Rechteckverteilung



5. Beschreibung der Einflussgrößen (Quantifizierung)

δ_X	Unsicherheitsbeitrag aus der Auflösung der Anzeige Auflösung lt. Hersteller 0,02 μm (halbe Weite = 0,01 μm) Rechteckverteilung	$u(\delta_X) = 0,01 \mu\text{m} / \sqrt{3}$
δ_S	Wiederholpräzision der Längenmessmaschine ermittelt aus 10 Wiederholungen: Normalverteilung ($k=1$)	$s = 0,04 \mu\text{m}$ $u(\delta_S) = s = 0,04 \mu\text{m}$

In der Messunsicherheitsbilanz wird nur der größere der beiden Beiträge δ_X und δ_S berücksichtigt!



5. Beschreibung der Einflussgrößen (Quantifizierung)

$t_m - t_0$ Abweichung der mittleren Umgebungstemperatur von der Referenztemperatur 20°C
Annahme: Die mittl. Umgebungstemperatur weicht höchstens 0,1 K von 20 °C ab.

Rechteckverteilung $u(t_m - t_0) = 0,1 \text{ K} / \sqrt{3}$

δt Änderung der Temperatur von Parallelendmaßen und Messbolzen während der Kalibrierung

Schätzung aus Beobachtungen bei der Kalibrierung von Parallelendmaßen:

$|\delta t|$ ist kleiner 0,08 K

Rechteckverteilung $u(\delta t) = 0,08 \text{ K} / \sqrt{3}$

δt_S Änderung der Temperatur des Maschinenbettes während der Kalibrierung

Schätzung auf der Grundlage des großen Wärmespeichervermögens des

Maschinenbettes: $|\delta t_S|$ ist kleiner 0,02 K

Rechteckverteilung $u(\delta t_S) = 0,02 \text{ K} / \sqrt{3}$



5. Beschreibung der Einflussgrößen (Quantifizierung)

δ_C

Fehler beim Ausrichten der Parallelendmaße auf die Messachse der Längenmessmaschine (Cosinus-Fehler)

Ausrichtung der Parallelendmaße erfolgt durch Suche des Umkehrpunktes

Annahme: Fehler maximal in der Größenordnung der Auflösung der Anzeige der Längenmessmaschine

- Parallelendmaß zum Einrichten der Längenmessmaschine
- zu messendes Parallelendmaß

Auflösung lt. Hersteller 0,02 μm

Rechteckverteilung

$$u(\delta_C) = (0,02 \mu\text{m} / \sqrt{3}) \cdot \sqrt{2}$$

6. Ermittlung der Empfindlichkeitskoeffizienten

c_i ist der zu dem Eingangsschätzwert x_i gehörende *Sensitivitätskoeffizient*, das ist die partielle Ableitung der Modellfunktion f nach X_i , berechnet für die Eingangsschätzwerte x_i :

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \left. \frac{\partial f}{\partial X_i} \right|_{X_1=x_1 \dots X_N=x_N} \quad (4.3)$$

Entsprechend VIM Sensitivitätskoeffizient = Empfindlichkeitskoeffizient

Quelle: DAkkS-DKD-3

$$l_X = l_N + \delta l_{BN} + \delta l_{BN10} + \delta l_D + \delta l_X + \delta l_S + [(L_{BN} \cdot \alpha_{BN}) - (l_N \cdot \alpha_M)] \cdot (t_m - t_0) + [(L_{BN} \cdot \alpha_{BN}) + (L_N \cdot \alpha_N) - k_t \cdot (l_N \cdot \alpha_M)] \cdot \delta t - (L_S + l_N) \cdot \alpha_S \cdot \delta t_S + \delta l_C$$

→ für δl_{BN} , δl_{BN10} , δl_D , δl_X , δl_S und δl_C ist $c_i = 1$

→ für $t_m - t_0$ $c_i = (L_{BN} \cdot \alpha_{BN}) - (l_N \cdot \alpha_M)$

→ für δt $c_i = (L_{BN} \cdot \alpha_{BN}) + (L_N \cdot \alpha_N) - k_t \cdot (l_N \cdot \alpha_M)$

→ für δt_S $c_i = - (L_S + l_N) \cdot \alpha_S$

7. Berechnung der Standardmessunsicherheit

Messunsicherheitsbilanz für Mahr 828 PC (Messbereichsanfang $l_N = 0$ mm)

Größe X_i	Schätzwert x_i	Verteilung	Divisor	Standardmessunsicherheit $u(x_i)$	Empfindlichkeitskoeffizient c_i	Unsicherheitsbeitrag $u_i(y)$
δ_{BN}	0 mm	Normal	2	0,025 μm	1	0,025 μm
δ_{BN10}	9,99998 mm	Normal	2	0,028 μm	1	0,028 μm
δ_D	0	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,012 μm	1	0,012 μm
δ_S	0	Normal	1	0,040 μm	1	0,040 μm
$t_m - t_0$	20,05 °C	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,058 K	0,035 $\mu\text{m}/\text{K}$	0,002 μm
δ_t	0	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,046 K	1,035 $\mu\text{m}/\text{K}$	0,048 μm
δ_{t_S}	0	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,012 K	-1,4 $\mu\text{m}/\text{K}$	-0,017 μm
δ_C	0	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,016 μm	1	0,016 μm
$k=2$					$u =$	0,077 μm
					$U =$	0,20 μm



8. Ableitung der Gleichung für die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit für beliebige Messpunkte innerhalb des Messbereichs

- Ansatz: lineare Funktion in Abhängigkeit von der gemessenen Länge
- Eingangswerte: Ergebnisse der Messunsicherheitsbetrachtungen an den Messbereichsgrenzen ($l_N = 0 \text{ mm}$ und $l_N = 1000 \text{ mm}$)

$$U = 0,2 \text{ } \mu\text{m} \quad (l_N = 0 \text{ mm})$$

$$U = 1,2 \text{ } \mu\text{m} \quad (l_N = 1000 \text{ mm})$$

- allgemeine Formel:

$$U = 0,2 \text{ } \mu\text{m} + 1 \cdot 10^{-6} \cdot l_N$$

- Einflussgröße für die Messunsicherheitsbetrachtungen zu Kalibrierungen mit der Längenmessmaschine
(z.B. für Lehrdorne, -ringe)



9. Zusammenfassung

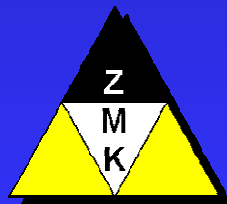
An einem konkreten Beispiel wurde gezeigt, dass für die Erreichung **ausreichend kleiner Messunsicherheiten** bei der Kalibrierung von Universal Längenmessmaschinen folgende **maschinenindividuelle Untersuchungen** durchzuführen sind:

- Genaue Kenntnisse des konstruktiven Aufbaus der Längenmessmaschine und der eingesetzten Werkstoffe
- Umfangreiche Untersuchungen der thermischen Einflüsse
- Experimentelle Untersuchungen zur erreichbaren Wiederholbarkeit der Messungen

Zusätzlich sind gute Kenntnisse des Prüfers für die Einrichtung und Bedienung der Längenmessmaschine erforderlich.



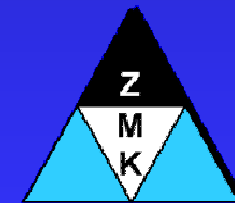
Danke für Ihre Aufmerksamkeit !



ZMK GmbH Sachsen-Anhalt

ZMK -ANALYTIK- GmbH

[http:// www.zmk-wolfen.de](http://www.zmk-wolfen.de)



ZMK GmbH Sachsen-Anhalt | ZMK -ANALYTIK- GmbH
268. PTB-Seminar Berechnung der Messunsicherheit
- Empfehlungen für die Praxis 19. - 20.03.2013

Seite 21