

1 Inhalt und Geltungsbereich

Diese Work Instruction beschreibt die Vorgehensweise zur Kalibrierung digitaler Messuhren. Die Kalibrierung erfolgt in Übereinstimmung mit der Richtlinie VDI/VDE/DGQ/DKD 2618 Blatt 11.4. Die erweiterte Messunsicherheit U für den Kalibrierprozess berechnet sich nach Richtlinie EA-4/02M:2013.

2 Vorbereiten des Kalibriergegenstandes

Vor Beginn der Kalibrierung ist der Kalibrierstatus aller zur Durchführung der Kalibrierung benötigten Normale und Normalmesseinrichtungen zu prüfen. Gegebenenfalls sind sie zu kalibrieren und zu justieren.

Folgende vorbereitende Maßnahmen, Prüfungen und Tätigkeiten sind durchzuführen:

- Überprüfen der Beschriftung und Ident.-Nummer.
- Falls die Messuhr neu sein sollte, so wird eine Ident.-Nummer vergeben, jedoch wird diese erst nach erfolgter Kalibrierung mit positiven Prüfentscheid graviert/gelasert.
- Reinigung des Kalibriergegenstandes Achtung: Herstellervorgaben beachten!
- Sichtprüfung ggf. unter Zuhilfenahme einer Lupe (3-fach) auf:
 - a) Korrosion
 - b) Beschädigungen am Einspannstift
 - c) Beschädigungen am Messbolzen
 - d) Verschleiß am Messeinsatz
 - e) Darstellung der Ziffern (zur Prüfung alle Ziffern auf „8“ einstellen)
 - f) Darstellung von Dezimalpunkt, Einheit und bei negativen Werten des Minuszeichens
- Nacharbeit leichter Beschädigungen/Aussondern.
- Wechseln des Messeinsatzes, wenn nötig.
- Nacharbeit leichter Beschädigungen des Messbolzens mit Zuhilfenahme eines Ölstein (fein).
- Korrosion am Messbolzen, soweit möglich, mit Zuhilfenahme eines Ölstein (fein) entfernen. Achtung: Messbolzen danach reinigen.
- Bereitstellen technischer Unterlagen
- Überprüfung der Baumaße (bei Eingangsprüfung):

Durchmesser des Einspannschafts mittels Feinzeigermessschraube (8 h6)

- Funktionsprüfung:
 - a) Gängigkeit über die gesamte Messspanne in verschiedenen Lagen (zum Beispiel Messbolzen nach oben)
 - b) Querspiel des Messbolzens
 - c) Fester Sitz des Messeinsatzes
 - d) Fester Sitz des Einspannschafts im Gehäuse
 - e) Überprüfung Datenausgang / Schnittstelle (Anzeigegerät oder Drucker)
 - f) Wenn nötig Batterie ersetzen
 - g) Temperieren über einen angemessenen Zeitraum von mindestens 5 Stunden

3 Kalibrierverfahren

Die Kennwertermittlung erfolgt mit dem Messuhrenprüfstand Optimar 100 der Firma Mahr als Referenznormal, siehe Abbildung 1



Abbildung 1: Optimar 100, Fa. Mahr

Die Messuhr wird mittels Reduzierspannbuchse an der Prüflingsaufnahme eingespannt, sodass die Messspinole des Messuhrenprüfstandes und der Messbolzen der Messuhr fluchtend und unter leichter Vorspannung angeordnet sind (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Aufbau des Messuhrenprüfstandes

3.1 Kalibrierumfang

Zu ermitteln ist bei kleinst einstellbarer Ziffernschrittweite (Auflösung):

- Wiederholpräzision
- Messabweichungen im:
 - Gesamtmessbereich
 - Teilmessbereich von 50 Ziffernschrittweiten
- Messwertumkehrspanne

Die Messpositionen (Sollwerte) sind in der Auswertesoftware hinterlegt. Der Messuhrenprüfstand fährt die vorgegebenen Positionen automatisch an.

Kalibrierung

Zur Kalibrierung der Messuhr wird durch Verfahren der Pinole des Referenznormals eine Verschiebung des Messbolzens bewirkt (in beide Messrichtungen). Die an der gewählten Messposition erfassten Werte werden mittels Datenbus-Leitung in die Auswertesoftware übertragen.

Datenerfassung ohne Datenausgang am Prüfling:

Die Pinole des Referenznormals (softwaregesteuert) verfährt automatisiert in die Nähe der Sollposition. Manuell wird die Pinole des Referenznormals verfahren, bis der Sollwert am Display des Prüflings angezeigt wird. Der ermittelte Messwert vom Referenznormal wird softwareseitig erfasst. Der Soll- und Referenzwert wird miteinander verglichen und ausgewertet.

Datenerfassung mit Datenausgang am Prüfling:

Die Pinole des Referenznormals (softwaregesteuert) verfährt automatisiert. Der Messwert des Prüflings und die Stellung der Pinole des Referenznormals wird mittels Datenbus-Leitung permanent an die Auswertesoftware übertragen und ausgewertet. Sobald der Sollwert vom Prüfling über den Datenbus übertragen und softwareseitig erfasst wurde wird die Position der Pinole des Referenznormals mit dieser verglichen und ausgewertet.

4 Bewertung der Kalibrierung

4.1 Auswertung der Messung

Die Auswertung der Messwerte und der Prüfscheid erfolgt mit einer geeigneten Kalibrier-Software. Bei der Auswertesoftware handelt es sich um handelsübliche Software, welche als valide angesehen wird. Ein Hersteller-Zertifikat liegt vor. Der Softwarehersteller versichert, dass die Software unter Berücksichtigung des anerkannten Stands der Technik und unter Wahrung größtmöglicher Sorgfalt erstellt und umfassend getestet wurde.

Innerhalb der Auswertesoftware wurden alle Parameter zur Auswertung der Einzelmesswerte durch die Laborleitung voreingestellt. Grundlage für die Voreingestellten Parameter zur Messwertermittlung sind Sollwerte, welche sich aus den zur Kalibrierung verwendeten Normal(en) ergeben. Die jeweils verwendeten Normale zur Kalibrierung sind auf nationaler oder internationaler Ebene rückgeführt. Es wird der wahre Wert der Normale ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit, auf die für die Kalibrierung sinnvolle signifikante Nachkommastelle gerundet. Der gerundete Wert stellt den Sollwert der Kalibrierung dar. Ein gerundeter Sollwert kann gegebenenfalls aus zuvor gebildeten Mittelwerten bestehen.

Alle Einstellungen innerhalb der Kalibriersoftware sind gegen Veränderung mittels Berechtigungsvergabe gesichert. Die Einstellungen können nur von zuvor autorisierten Personen verändert werden. Die Autorisierung der Personen erfolgt durch die Laborleitung. Änderungen von Einstellungen innerhalb der Kalibriersoftware benötigen stets die Zustimmung dieser.

Alle Änderungen sind nachvollziehbar. Sie werden mittels Userkennung und Zeitstempel getrackt. Die Datenübertragung der erfassten Messwerte erfolgt manuell mittels Handeingabe, oder digital mittels Digitalschnittstelle.

Grundlage für die Auswertung der erfassten Messwerte stellen die vom Hersteller oder des Kunden bereitgestellten Spezifikationen, sowie die vom Kunden getroffene Entscheidungsregel zu Konformitätsaussagen, in Kalibrierscheinen dar.

5 Kennzeichnung des Prüfstatus

Nach erfolgreicher Kalibrierung wird die Messuhr mit einer Kalibriermarke gemäß WI-QM-000009 Setzen von Kalibriermarken nach erfolgter Kalibrierung eines Prüfmittels gekennzeichnet.

6 Messunsicherheitsbudget

Die erweiterte Messunsicherheit U , für den Kalibrierprozess, berechnet sich nach EA-4/02 M:2013, Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen und erklärt sich wie folgt:

6.1 Angaben zum Kalibriergegenstand

Messuhr nach DIN 878, Messspanne 10 mm, Skalenteilungswert 0,01 mm

6.2 Angaben zur Normalmesseinrichtung / Kalibriereinrichtung

Die Kennwertermittlung erfolgt auf einem kalibrierten Optimar 100 Messuhrenprüfstand als Referenznormal. Ziffernschrittwert der Anzeige 0,02 μm

6.3 Messaufbau

Zur Messung ist der Prüfling zu dem eingebauten Längennormal des Messuhrenprüfstands, nach dem Abbe'schen Prinzip, senkrecht fluchtend angeordnet (siehe Kapitel 3, Abbildung 2). Der Messbolzen der Messuhr liegt direkt an der Messspinole des Messuhrenprüfstands an. Die unterschiedliche Bewegungsrichtung des Messbolzens wird durch die Wahl des Vorzeichens der Anzeige berücksichtigt, siehe Abbildung 3



Abbildung 3: Messaufbau und Auswertung

6.4 Ermittlung der Standardabweichung

Zu Beginn der Messung werden Zeiger und der Teilstrich „0“ deckungsgleich eingestellt. In dieser Position wird mittels Software die Anzeige „genullt“.

Die Messposition 7,5 mm auf der Messuhr wird angefahren das Prüfmaß abgelesen und in die Tabelle des FS B-7-0111 übertragen und ausgewertet.

Zur Ermittlung der Standardabweichung wird der Prüfpunkt von drei Prüfern jeweils 10 mal angefahren. Die abgelesenen Messwerte werden in die Tabelle des Formsheets FS B-7-0111 übertragen und ausgewertet.

6.5 Einflussgrößen

Bei der Längenmessung wirken sich vor allem Temperatureinflüsse negativ aus. Umweltbedingte Abweichungen von der Bezugstemperatur oder temperaturbedingte Einflüsse während der Kalibrierung wie die Körperwärme des Prüfers.

6.5.1 Einfluss des Normals

Unsicherheitsbeitrag Optimar 100 Messuhrenprüfstand
Thermischer Längenausdehnungskoeffizient

6.5.2 Einfluss des Verfahrens

Einfluss der Abweichung der Umgebungstemperatur von der Bezugstemperatur auf

- a) das Normal
- b) den Kalibriergegenstand

Einfluss der Temperaturänderung während der Kalibrierung auf

- c) das Normal
- d) den Kalibriergegenstand

6.5.3 Einfluss des Kalibriergegenstandes

- a) Mechanische Effekte
- b) Wiederholpräzision und Ablesunsicherheit der Messuhr
- c) Thermischer Längenausdehnungskoeffizient

6.6 Mathematisches Modell der Einflussgrößen

Mit den Einflussgrößen wird das mathematische Modell der Messunsicherheit aufgestellt.

$$u_{\text{gesamt}}(L) = \sqrt{u^2(l_{ix}) + u^2(l_s) + u^2(\Delta t) + u^2(\delta l_{ix}) + u^2(\delta l_M)}$$

6.7 Beitrag für den Kalibriergegenstand $u(l_{ix})$

Zur Ermittlung der personenabhängigen Standardabweichung wird der Prüfpunkt von drei Prüfern jeweils 10 mal angefahren.

$u(l_{ix}) = 0,417 \mu m$, siehe Kapitel 6.4

6.8 Beitrag für das Normal $u(l_s)$

Der Unsicherheitsbeitrag bei 10,00 mm ergibt sich aus der Messunsicherheit des Messuhrenprüfstands.

$$u(l_s) = 0,32 \mu m \text{ mit } K = 2$$

$$u(l_s) = 0,16 \mu m$$

6.9 Beiträge für das Verfahren $u(\Delta t)$

Die mittlere Umgebungstemperatur im Messraum beträgt 20°C. Die gemessenen Grenzen liegen bei <0,8 K pro Stunde.

$$u(\Delta_{\text{Raum}}) = 0,8 K$$

Die Überwachung der Umgebungstemperatur erfolgt mit Temperaturfühlern die eine Gesamtmessunsicherheit von 0,35K beinhalten.

$$u(F_{\text{fühler}}) = 0,35 K \text{ mit } K = 2$$

$$u(F_{\text{fühler}}) = 0,18 K$$

Der Gesamtunsicherheitsbeitrag des Verfahrens bei 10 mm ergibt:

$$u(\Delta t) = l_{ix} \cdot \alpha \cdot [U(\Delta_{\text{Raum}}) + U(F_{\text{fühler}})]$$

$$u(\Delta t) = 0,01 m \cdot 0,0000115 m \cdot (0,80 K + 0,18 K)$$

$$u(\Delta t) = 0,1127 \mu m$$

6.10 Unsicherheitsbeitrag für die endliche Auflösung des Kalibriergegenstandes $u(\delta l_{ix})$

Bei Überdeckung von Zeiger und Teilstrich und einem Skalenteilungswert von 10 μm , beträgt die Ablesegenauigkeit eines Messwertes am Prüfling erfahrungsgemäß 5 μm .

$$u(\delta l_{ix}) = 5 \mu m$$

6.11 Unsicherheitsbeitrag für mechanische Effekte $u(\delta l_M)$

Schwingungsimmissionen werden durch eine entkoppelte Bodenplatte (eigenes Fundament) verhindert. Unerwünschte Schwingungen mit Einfluss auf den Messuhrenprüfstand können nicht festgestellt werden.

Ein Unsicherheitsbeitrag wird durch die Spannweite der Bedienerwerte R_X aus der Messsystemanalyse Verfahren 2, nach Bosch Heft 10-2003 ermittelt.

$$u(\delta l_M) = 2,27 \mu m$$

6.12 Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge

Folgende Beiträge werden in das Messunsicherheitsbudget übernommen:

$$u(l_{ix}) = 0,417 \mu m$$

$$u(l_S) = 0,16 \mu m$$

$$u(\Delta t) = 0,1127 \mu m$$

$$u(\delta l_{ix}) = 5 \mu m$$

$$u(\delta l_M) = 2,27 \mu m$$

6.13 Messunsicherheitsanalyse

Jede identifizierte Einflussgröße liefert einen Beitrag zum Budget.

Der Einzelbeitrag jeder Einflussgröße wird mit seinem Sensitivitätskoeffizienten c_i multipliziert. Der Sensitivitätskoeffizient c_i beträgt 1, da zur Berechnung die Grenzwerte der Veränderung des Einflusses angenommen werden.

Aufgrund der endlichen Auflösung des Normals und des Kalibriergegenstandes, wird eine Rechteckverteilung b_i angenommen.

Der Unsicherheitsbeitrag errechnet sich somit aus:

$$u_i(y) = u_i \cdot b_i \cdot c_i$$

6.14 Unsicherheitsbeitrag des Normals $u(l_S)$

Der Unsicherheitsbeitrag $u(l_S)$, bei Position 10,0 mm ergibt sich aus der Messunsicherheit des Messuhrenprüfstands.

$$u(l_S) = u(l_S) \cdot c(l_S)$$

$$u(l_S) = 0,16 \mu m \cdot 1$$

$$u(l_S) = 0,16 \mu m$$

6.15 Unsicherheitsbeitrag des Verfahrens $u(\Delta t)$

Die Abweichung der Umgebungstemperatur von der Referenztemperatur wirkt sich auf die Länge des Maßstabs im Messuhrenprüfstand aus. Die Umgebungstemperatur beträgt $20^\circ\text{C} \pm 0,8\text{ K}$. Das Material des Maßstabs ist Stahl, mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von $\alpha = 11,5 \mu m$.

Bei einer maximalen Temperaturschwankung von 0,8 K, errechnet sich der Unsicherheitsbeitrag ΔL für den Messbereich von 10 mm, wie folgt:

$$\Delta L = L_1 \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot b_i \cdot c_i$$

$$\Delta L = 0,01 m \cdot 0,0000115 m \cdot 0,98 K \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$\Delta L = 0,06537 \mu m$$

$$u(\Delta t) = \Delta L$$

$$(\Delta t) = 0,06537 \mu m$$

Eine Längenänderung der Übersetzungsmechanik im Prüfling hat keinen Einfluss, da dieser vor Beginn der Messung auf einen Messwert von 0 mm voreingestellt wird.

Eine Temperaturänderung, durch Wärmestrahlung des Prüfers während der Messung, konnte nicht festgestellt werden. Dieses wurde durch Versuche mit Temperaturfühlern an den Messbolzen von Messuhrenprüfstand und Prüfling festgestellt.

6.16 Unsicherheitsbeitrag des Kalibriergegenstandes $u(l_{ix})$

Personenabhängige Unsicherheit. Angenommen wird eine Rechteckverteilung b_i

$$u(l_{ix}) = U(s) \cdot b_i \cdot c(l_{ix})$$

$$u(l_{ix}) = 0,417 \mu m \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(l_{ix}) = 0,242 \mu m$$

6.17 Unsicherheitsbeitrag für die endliche Auflösung des Kalibriergegenstandes $u(\delta l_{ix})$

$$u(\delta l_{ix}) = 5 \mu m$$

Der Unsicherheitsbeitrag für die Ablesung beträgt:

$$u(\delta l_{ix}) = u(\delta l_{ix}) \cdot b_i \cdot c(l_{ix})$$

$$u(\delta l_{ix}) = 5 \mu m \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(\delta l_{ix}) = 2,9 \mu m$$

6.18 Unsicherheitsbeitrag für mechanische Effekte $u(\delta l_M)$

$$u(\delta l_M) = R_X \cdot b_i \cdot c(l_S)$$

$$u(\delta l_M) = 2,27 \mu m \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(\delta l_M) = 1,32 \mu m$$

6.19 Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge

Folgende Beiträge werden in das Messunsicherheitsbudget übernommen:

$$u(l_{ix}) = 0,242 \mu m$$

$$u(l_S) = 0,16 \mu m$$

$$u(\Delta t) = 0,06537 \mu m$$

$$u(\delta l_{ix}) = 2,9 \mu m$$

$$u(\delta l_M) = 1,32 \mu m$$

6.20 Erweiterte Messunsicherheit U

$$U = K \cdot \sqrt{u^2(l_{ix}) + u^2(l_S) + u^2(\Delta t) + u^2(\delta l_{ix}) + u^2(\delta l_M)}$$

$$U = k \cdot u_{gesamt}(L)$$

$$U = 8 \mu m$$

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind in Formsheets **FSB70111_MSU.xlsx** - Abschätzung der Messunsicherheit Labor CSL - abgelegt.

7 Bezugsdokumente

7.1 Mitgeltende Unterlagen

VDI/VDE/DGQDKD 2618 Blatt 11.4

DIN EN ISO 463

DIN EN ISO 14253-1

DIN 878 (2006-06)

EA-4/02M:2013

FS-QM-000129 (FS A-7-0054)

FS-QM-000233 (FS B-7-0111)