

## **1 Zweck und Ziel**

Diese Work Instruction beschreibt die Vorgehensweise zur Kalibrierung mechanischer Messuhren. Die Kalibrierung erfolgt in Übereinstimmung mit der Richtlinie VDI/VDE/DGQ/DKD 2618 Blatt 11.1. 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 Prüfendscheid graviert/gelasert.
- Reinigung des Kalibriergegenstandes Achtung: Herstellervorgaben beachten!
- Entmagnetisierung (bei Bedarf)
- Sichtprüfung ggf. unter Zuhilfenahme einer Lupe (3-fach) auf:
  - a) Korrosion
  - b) Beschädigungen am Glas
  - c) Beschädigungen am Einspannstift
  - d) Beschädigungen am Messbolzen
  - e) Verschleiß am Messeinsatz
  - f) Geraden Zeiger
  - g) Zeigerende im mittleren Drittel der kurzen Teilstriche
- 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.
- Defektes Glas ersetzen, wenn nötig
- Bereitstellen technischer Unterlagen
- Überprüfung der Baumaße (bei Eingangsprüfung):

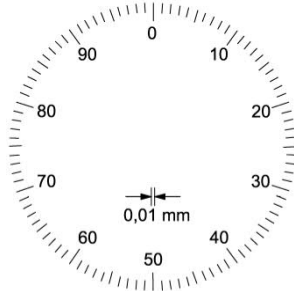
Durchmesser des Einspannschafts mittels Feinzeigermessschraube

## 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) Abhebeeinrichtung
- f) Feststelleinrichtung für Außenring (wenn zutreffend)
- g) Vor- und Überlauf des Zeigers (Auszug aus DIN EN ISO 463:2006):

Der Zeiger muss sich bei hineingehendem Messbolzen im Uhrzeigersinn bewegen.

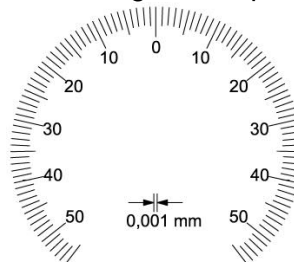
Für Messuhren mit mehr als einer Umdrehung des Zeigers [Ausführung des Skalenträgers entsprechend]:



a) Skale für mehrfache Umdrehungen

- Wenn sich der Zeiger in der Ruhestellung und der Nullstrich auf dem Skalenträger in 12-Uhr-Stellung befindet, muss der Zeiger einen Vorlauf von mindestens 1/10 des Skalenbereichs gegen den Uhrzeigersinn aufweisen (Vorlaufspanne). Der Überlauf des Zeigers außerhalb des Messbereichs (Nachlaufspanne) darf nicht kleiner als 1/10 Skalenbereichs sein [siehe Bild a)].

Für Messuhren mit weniger als einer Umdrehung des Zeigers [Ausführung des Skalenträgers entsprechend Bild 3 b)]:



b) Skale für Teilumdrehung

- Wenn sich der Messbolzen in der Ruhestellung befindet, muss der Vorlauf des Zeigers mindestens 3 Skalenteile gegen den Uhrzeigersinn aufweisen (Vorlaufspanne). Die Nachlaufspanne (der Überlauf des Zeigers außerhalb des Messbereichs) muss so sein, dass der Zeiger nicht die Position erreicht, in der er sich in der Ruhestellung befindet. Die Nachlaufspanne muss jedoch mindestens 3 Skalenteile betragen [siehe Bild b)].

- Stellung der Zeiger zueinander.
- 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 Einfacher Kalibrierumfang

Für analoge Messuhren, welche **nicht** gemäß DIN EN ISO 463 spezifiziert sind oder unter Berücksichtigung der Werte **weniger** als eine Zeigerumdrehung zulassen sind folgende Kennwerte zu ermitteln:

- Wiederholpräzision
- Messabweichungen über den Teilmessbereich einer zehntel Umdrehung
- Messwertumkehrspanne

### 3.2 Erweiterter Kalibrierumfang

Für analoge Messuhren, welche gemäß DIN EN ISO 463 spezifiziert sind und unter Berücksichtigung der Werte mindestens eine Zeigerumdrehung zulassen sind **zusätzlich** zum einfachen Kalibrierumfang weitere Kennwerte der Messabweichung über:

- den Gesamtmessbereich
- den Teilmessbereich einer Umdrehung
- den Teilmessbereich einer halben Umdrehung

zu ermitteln.

Die Messpositionen (Sollwerte) sind in der Auswertesoftware teilweise hinterlegt. Für die Kalibrierung im Gesamtmessbereich ist darauf zu achten, dass mindestens 4 Messwerte pro Zeigerumdrehung erfasst werden. Die Messpunkte sind vor Beginn der Kalibrierung in der Kalibriersoftware einzustellen. Der Messuhrenprüfstand fährt anschließend die vorgegebenen Positionen automatisch an.

### 3.3 Kalibrierung

Zur Kalibrierung der Messuhr wird durch Verfahren der Pinole des Referenznormals eine Verschiebung des Messbolzens bewirkt (in beide Messrichtungen). Zeiger und Teilstrich der Messuhr werden jeweils auf Überdeckung eingestellt. Die an der gewählten Messposition erfassten Werte werden in die Auswertesoftware übertragen. Der ermittelte Messwert vom Referenznormal und Sollwert wird miteinander 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. Ziffernschrittweite der Anzeige 0,02  $\mu\text{m}$

### 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

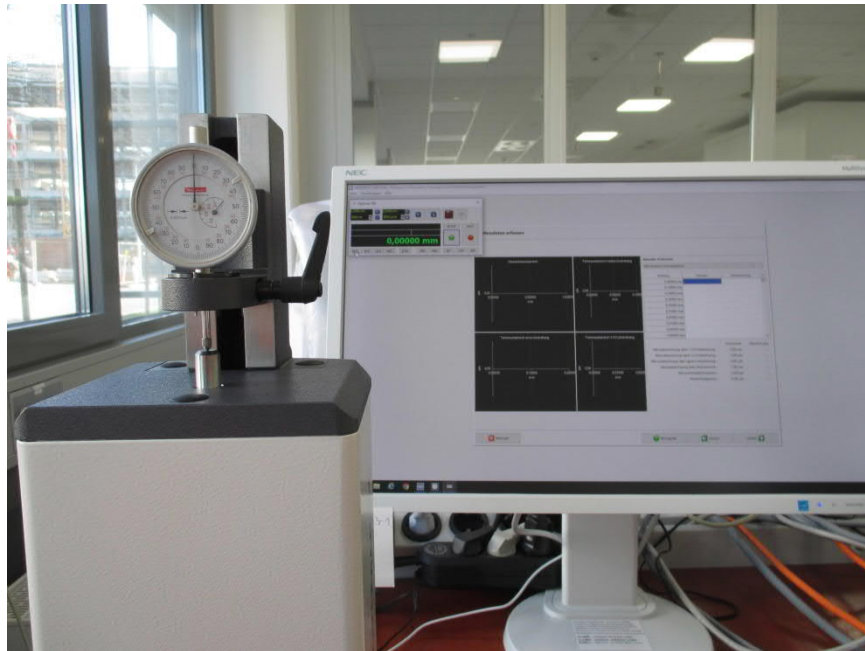


Abbildung 3: Messaufbau und Auswertung

#### 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 Normal

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 Ableseunsicherheit der Messuhr
- c) Thermischer Längenausdehnungskoeffizient

## 6.6 Mathematisches Modell der Einflussgrößen

Mit den Einflussgrößen wird das mathematische Modell der Messunsicherheit aufgestellt.

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

### 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.

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

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

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

$$u(Fühler) = 0,18 K$$

Der Gesamtunsicherheitsbeitrag des Verfahrens bei 10 mm ergibt:

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

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

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

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

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

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

### 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  $\Delta L$  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 11.1  
 DIN EN ISO 463  
 DIN EN ISO 14253-1  
 EA-4/02M:2013  
 FS-QM-000129 (FS A-7-0054)  
 FS-QM-000233 (FS B-7-0111)

## 7.2 Normen

<input checked="" type="checkbox"/>	DIN EN ISO 9001**
<input type="checkbox"/>	DIN EN ISO 14001**
<input type="checkbox"/>	BS OHSAS 18001**
<input type="checkbox"/>	DIN EN 13980**
<input type="checkbox"/>	IRIS**
<input checked="" type="checkbox"/>	DIN 878 (2006-06)
<input type="checkbox"/>	

<input checked="" type="checkbox"/>	DIN EN ISO 17025**
<input type="checkbox"/>	KTA 1401**
<input type="checkbox"/>	PAS 1037**
<input type="checkbox"/>	DIN 14675**
<input type="checkbox"/>	10 CFR 50 Appendix B**
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	

\*\*Ausgabe lt. aktuellem IMS-Handbuch

## 8 Änderungsdienst

### 8.1 Änderungsdurchführung

Für den Änderungsdienst dieses Dokumentes ist der Verfasser verantwortlich.

Folgende Tätigkeiten sind durchzuführen:

- Die zuständige Abteilung für das Integrierte Managementsystem über inhaltliche Änderungen informieren.
- Geändertes und freigegebenes Dokument wird über die zuständige Abteilung verteilt.

### 8.2 Archivierung

- Die Originaldatei dieses Dokumentes ist in der IMS-Datenbank abgespeichert.
- Ausgedruckte Dokumente unterliegen nicht dem Änderungsdienst und sind ausschließlich für den internen Gebrauch bestimmt.
- Aufbewahrungsfristen sind im Handbuch MA A-7-0001 hinterlegt.