

## **1 Zweck und Ziel**

Diese Work Instruction beschreibt die Vorgehensweise zur Kalibrierung von Messsschiebern mit Skalen- (Nonius, Rundskale) und Ziffernanzeige.

Die Kalibrierung erfolgt in Übereinstimmung mit der Richtlinie VDI/VDE/DGQ 2618 Blatt 9.1

Die erweiterte Messunsicherheit U für den Kalibrierprozess berechnet sich nach Richtlinie EA-4/02M:2013.

## **2 Vorbereiten von Kalibriereinrichtung und Kalibriergegenstand**

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 nach VDI/VDE/DGQ 2618, Blatt 9.1 vorbereitende Maßnahmen, Prüfungen und Tätigkeiten sind durchzuführen:

- Überprüfen der Beschriftung und Ident.-Nummer
- Reinigung des Kalibriergegenstandes
- Entmagnetisierung bei Bedarf
- Sichtprüfung auf Beschädigungen und Korrosion
- Nacharbeit leichter Beschädigungen am Kalibriergegenstand (ggf. Aussondern)
- Bereitstellen technischer Unterlagen
- Überprüfung der Bauart / Messbereich des Kalibriergegenstandes
- Funktionsprüfung
- Temperieren über einen angemessenen Zeitraum von mindestens 5 Stunden

### 3 Kalibrierverfahren

Die Kennwertermittlung wird mit speziellen Parallelendmaßen Einstellringen, einem Tiefenmessschrauben-Einstellgerät und einer Hartgestein Platte durchgeführt.  
Die Abweichung der Anzeige wird durch Außen-, Innen-, Tiefen- und Stufenmessung über den gesamten Messbereich verteilt ermittelt.  
Die Messschnäbel müssen parallel sein, es darf kein Lichtspalt sichtbar sein.

#### 3.1 Außenmessung

Beginnend mit dem Anfangswert werden bei der Außenmessung die Endmaße parallel zur Maßverkörperung (Schiene) und in verschiedenen Abständen (innen, Mitte, außen), in die Messschnäbel eingelegt und das Prüfmaß ausgelesen (Datenausgang) oder abgelesen, siehe Abbildung 1 bis Abbildung 3.



Abbildung 1: Endmaß in der Nähe der Maßverkörperung



Abbildung 2: Endmaß in der Mitte der Messschnäbel



Abbildung 3: Endmaß zwischen den abgesetzten Messflächen

### 3.2 Innenmessung

Die Messabweichung der Anzeige bei Innenmessung (Abbildung 4) wird mittels Einstellringen ( $\varnothing 4,0 \text{ mm}$  &  $25,0 \text{ mm}$ ) bestimmt. Es wird eine Messung an je einer Messposition vorgenommen. Der jeweilige Messwert wird in die Auswertesoftware übertragen und ausgewertet.



Abbildung 4: Einstellring in der Mitte der Kreuzschnäbel

### 3.3 Tiefenmessung

Die Messabweichung der Anzeige bei Tiefenmessung wird mittels Tiefenmessschrauben-Einstellgerät überprüft. Hierzu wird der Messschieber in der Spannvorrichtung arretiert und auf der Hartgestein-Platte in Nullstellung gebracht (falls vorhanden) wird in Anschlagstellung geprüft. Nun erfolgt die Kalibrierung mittels Tiefenmessschrauben-Einstellgerät bei 50 mm. Die Messwerte werden in die Auswertesoftware übertragen und ausgewertet.

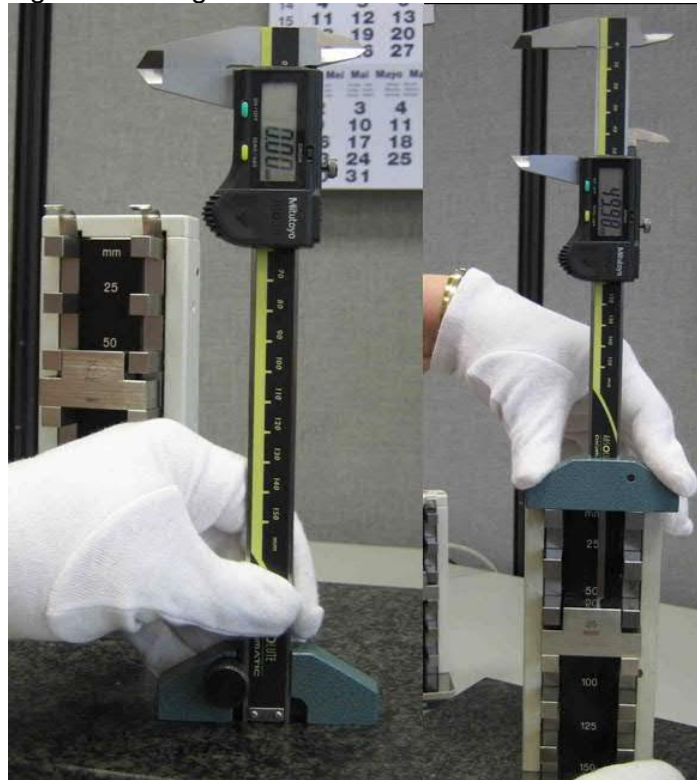


Abbildung 5: Prüfen der Nullstellung des Tiefenmaß und Kalibrierung auf Prüfgerät



### 3.4 Stufenmessung

Die Nullstellung wird in Anschlagstellung kalibriert. Auf der ebenen Auflagefläche wird der Messwert ermittelt. Die Messabweichung der Anzeige bei Stufenmessung wird unter Verwendung von Parallelendmaßen, bzw. Parallelendmaßkombinationen auf einer Hartgesteinplatte kalibriert. Der Messwert wird in die Auswertesoftware übertragen.



Abbildung 6: Stufenmessung mit Parallelendmaß

## 4 Bewertung der Kalibrierung

Die Auswertung der Messwerte und der Prüfentscheid 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 Kalibrieraufgabe 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 der Messschieber 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 Richtlinie EA-4/02 M: 2013, Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen und erklärt sich wie folgt:

### 6.1 Angaben zum Kalibriergegenstand

Messschieber nach DIN 862, Messspanne 150 mm, Skalenteilungswert 0,01 mm

### 6.2 Angaben zur Normalmesseinrichtung / Kalibriereinrichtung

Die Kennwertermittlung erfolgt mit Endmaßen der Klasse 1 aus Stahl.

### 6.3 Messaufbau

Außenmessung siehe 3.1

Innenmessung siehe 3.2

Stufenmessung siehe 3.4

### 6.4 Ermittlung der Standardabweichung - Außenmessung

Zu Beginn der Messung wird der Messschieber in Nullstellung gebracht. In dieser Position wird die Anzeige „genullt“.

Ein Endmaß von 150 mm wird parallel zwischen feststehenden und beweglichen Messschenkel eingelegt, das Prüfmaß abgelesen und in die Tabelle des FS B-7-0111 eingetragen.

Der Vorgang wird von drei Prüfern je 20 mal wiederholt, so dass insgesamt 60 Messwerte aufgenommen werden.

### Ermittlung der Standardabweichung – Innenmessung

Zu Beginn der Messung wird der Messschieber in Nullstellung gebracht. In dieser Position wird die Anzeige „genullt“.

Die Kreuzschneiden des Messschiebers werden in einem Einstellring von Ø 20 mm, parallel zwischen feststehenden und beweglichen Messschenkel, zur Anlage gebracht. Das Prüfmaß wird abgelesen und in die Tabelle des FS B-7-0111 eingetragen.

Der Vorgang wird von drei Prüfern je 20 mal wiederholt, so dass insgesamt 60 Messwerte aufgenommen werden.

### Ermittlung der Standardabweichung – Tiefenmessung

Zu Beginn der Messung wird der Messschieber in Nullstellung gebracht. In dieser Position wird die Anzeige „genullt“ und eine Tiefenmessbrücke montiert. Ein Parallel-endmaß von 50 mm dient als Prüfmaß und wird auf eine ebene Prüfplatte aufgesetzt.

Die Tiefenmessbrücke wird parallel zur Oberfläche des Endmaßes zur Anlage gebracht und das Tiefenmaß auf die Oberfläche der Prüfplatte gefahren. Das Prüfmaß wird abgelesen und in die Tabelle des FS B-7-0111 eingetragen.

Der Vorgang wird von drei Prüfern je 20 mal wiederholt, so dass insgesamt 60 Messwerte aufgenommen werden.

## Ermittlung der Standardabweichung – Stufenmessung

Zu Beginn der Messung wird der Messschieber in Nullstellung gebracht. In dieser Position wird die Anzeige „genullt“. Ein Parallel-endmaß von 50 mm dient als Prüfmaß und wird auf eine ebene Prüfplatte aufgesetzt.

Die Stirnseite des beweglichen Messschenkel wird auf die Oberfläche des Endmaß gesetzt und die Oberfläche der Prüfplatte mit der Stirnseite des feststehenden Messschenkel angefahren. Das Prüfmaß wird abgelesen und in die Tabelle des

FS B-7-0111 eingetragen.

Der Vorgang wird von drei Prüfern je 20 mal wiederholt, so dass insgesamt 60 Messwerte aufgenommen werden.

### 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 des Normals

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 des Messschiebers
- 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 das Normal $U(l_s)$

$U(l_s)$  = Messunsicherheitsbeitrag für das Normal welches zur Kalibrierung des Messschiebers verwendet wird; Parallelendmaß Nennmaß 150 mm.

Die Messunsicherheit der Abweichung des Mittenmaßes vom Nennmaß beträgt:

$$U(l_s) = 0,05 \mu m + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot l \quad (l = \text{Länge Endmaß in } \mu m)$$

$$U(l_s) = 0,05 \mu m + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 150000$$

$$U(l_s) = 0,125 \mu m \quad \text{mit } k = 2$$

$$U(l_s) = 0,06 \mu m$$

### 6.8 Beiträge für das Verfahren $U(\Delta T)$

Die Abweichung der Temperatur von der Referenztemperatur wirkt sich auf die Länge des Endmaßes aus. Die Umgebungstemperatur beträgt  $20^\circ\text{C} \pm 0,8\text{K}$ .

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

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

$$U_{Fühler} = 0,35 \text{ K} \quad \text{mit } k = 2$$

$$U_{Fühler} = 0,18 \text{ K}$$

Der Hersteller gibt einen Wärmeausdehnungskoeffizient für Stahleindmaße von  $\alpha = 11,2 \mu\text{m}$  an. Bei einer maximalen Temperaturschwankung von 0,98 K ergibt sich daraus:

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

$$u(\Delta t) = 0,15 \text{ m} \cdot 0,0000112 \text{ m} \cdot [0,8 \text{ K} + 0,18 \text{ K}]$$

$$U(\Delta T) = 1,65 \mu\text{m}$$

Nach ausreichender Temperierzeit sind zwischen Endmaß und Messschieber keine Temperaturunterschiede vorhanden. Da der Ausdehnungskoeffizient des Messschiebers nahezu gleich dem Endmaß ist, wird der Temperatureinfluß als vernachlässigbar eingestuft.

Temperaturänderungen während der Messung durch Wärmestrahlung des Prüfers (Hand am Prüfmittel oder Endmaß) können nicht festgestellt werden. Während der Kalibrierung werden Baumwollhandschuhe getragen, um einen Temperatureinfluß zu verhindern.

### 6.9 Beitrag für den Kalibriergegenstand $U(\delta l_{ix})$

Mechanische Effekte können durch die aufgebrachte Messkraft, den Abbe'schen Fehler und dem Spiel zwischen der Führungsschiene und den beweglichen Messschnäbeln entstehen. Diese Effekte werden durch die Spannweite der Bedienermittelwerte ermittelt.

Die Ablesegenauigkeit eines digitalen Messschiebers beträgt  $10 \mu\text{m}$ .

$$U(\Delta l_{ix}) = 10 \mu\text{m}$$

Da es sich um eine Digitale-Anzeige handelt sind hier keine Unterschiede zu erwarten.

Die personenabhängige Unsicherheit (Standardabweichung) wurde durch eine Messreihe von 60 Messwerten mit drei Prüfern ermittelt.  $U(s) = 4,034 \mu\text{m}$ , siehe 6.4.

### 6.10 Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge

Folgende Beiträge werden in das Messunsicherheitsbudget übernommen:

$$U(l_s) = 0,06 \mu\text{m}$$

$$U(\Delta T) = 1,65 \mu\text{m}$$

$$U(s) = 4,034 \mu\text{m}$$



### 6.11 Messunsicherheitsanalyse

Jede identifizierte Einflussgröße liefert einen Beitrag zum Messunsicherheitsbudget.

Der Einzelbeitrag jeder Einflussgröße ist mit seinem Sensitivitätskoeffizienten  $c_i$  zu multiplizieren.

Der Sensitivitätskoeffizient beträgt  $c_i = 1$ , da zur Berechnung die Grenzwerte der Veränderung des Einflusses angenommen werden.

Der Unsicherheitsbeitrag ergibt sich somit aus:

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

### 6.12 Unsicherheitsbeitrag des Normals $u(l_S)$

Der Unsicherheitsbeitrag des Endmaßes ergibt sich aus der Unsicherheit der Kalibrierung.

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

$$u(l_S) = 0,06 \mu m \cdot 1$$

$$u(l_S) = 0,06 \mu m$$

### 6.13 Unsicherheitsbeitrag des Verfahrens $u(\Delta t)$

Die mittlere Umgebungstemperatur im Messraum beträgt 20° C. Die gemessenen Grenzen liegen bei < 0,8 K pro Stunde. Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$ .

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

Die Überwachung der Umgebungstemperatur erfolgt mit Temperaturfühlern die eine Gesamtmessunsicherheit von 0,35 K beinhalten. Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$ .

$$U_{Fühler} = 0,35 K \quad \text{mit } k = 2$$

$$U_{Fühler} = 0,18 K$$

Der Gesamtunsicherheitsbeitrag des Verfahrens bei Prüfmaß 150,00 mm ergibt:

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

$$u(\Delta t) = 0,15 m \cdot 0,0000115 \cdot (0,80 K + 0,18 K) \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(\Delta t) = 0,98 \mu m$$

### 6.14 Unsicherheitsbeitrag des Kalibriergegenstandes $u(l_{ix})$

Personenabhängige Unsicherheit. Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$

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

$$u(l_{ix}) = 4,034 \mu m \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(l_{ix}) = 2,34 \mu m$$

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

Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$

Der Unsicherheitsbeitrag für die Ablesung beträgt:

$$u(\delta l_{ix}) = 10 \mu m \cdot b_i \cdot c(l_{ix})$$

$$u(\delta l_{ix}) = 10 \mu m \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(\delta l_{ix}) = 5,80 \mu m$$

### 6.16 Unsicherheitsbeitrag für mechanische Effekte $u(\delta l_M)$

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

Der Sensitivitätskoeffizient  $c(l_S) = 1$

Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$

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

$$u(\delta l_M) = 10 \mu m \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(\delta l_M) = 5,80 \mu m$$

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind in Formsheets

**FSB70111\_MSD.xlsx**

**FSB70111\_MSX.xlsx**

**FSB70111\_MSR.xlsx** - Abschätzung der Messunsicherheit Labor FME - abgelegt.

## 7 Bezugsdokumente

### 7.1 Mitgeltende Unterlagen

VDI/VDE/DGQ-Richtlinie 2618 Blatt 9.1

DIN EN ISO 463

DIN EN ISO 14253-1

DIN 862 (2005-12)

EA-4/02M:2013

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

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