



# Kalibrieranweisung Fühlhebelmessgerät mit Betrachtung der Messunsicherheit

WI-QM-000055 -03-  
2022-01

## 1 Zweck und Ziel

Diese Work Instruction beschreibt die Vorgehensweise zur Kalibrierung eines Fühlhebelmessgerätes. Die Kalibrierung erfolgt in Übereinstimmung mit der Richtlinie VDI/VDE/DGQ 2618 Blatt 11.3 .

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
- Reinigung des Kalibriergegenstandes
- Sichtprüfung
- Nacharbeit leichter Beschädigungen/Aussondern
- Bereitstellen technischer Unterlagen
- Funktionsprüfung
- Temperieren über einen angemessenen Zeitraum von mindestens 5 Stunden

### 3 Kalibrierverfahren

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

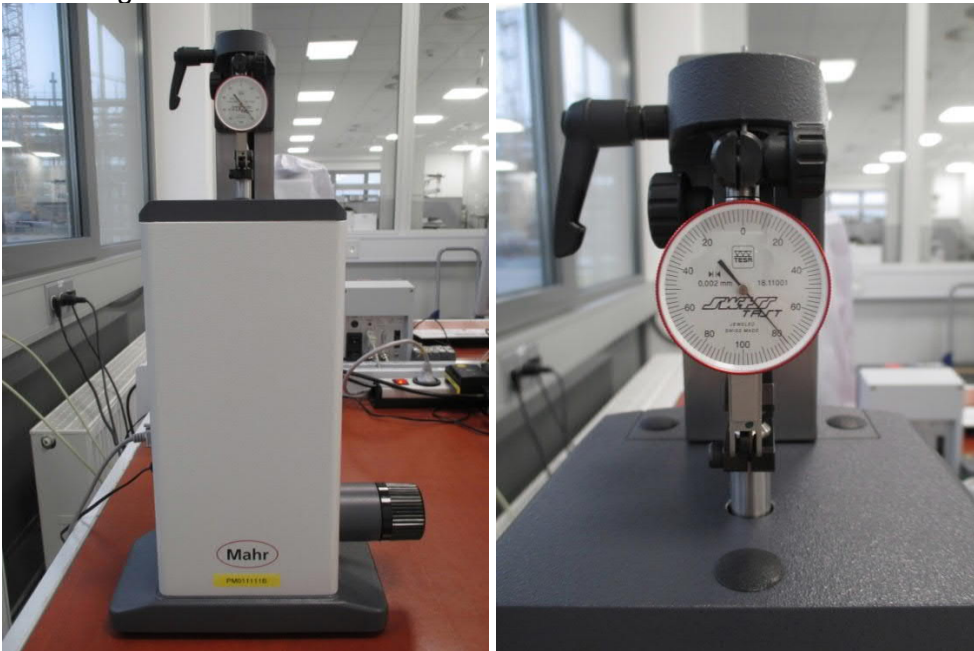


Abbildung 1: Darstellung Optimar 100 der Firma Mahr, Gesamt- und Teildarstellung

Das Fühlhebelmessgerät und das Referenznormal sind dabei in einem Messbügel so voreinander eingespannt (Abbildung 1), dass der Messbolzen der Optimar 100 und die Tastkugel des um 90° abgewinkelten Messeinsatzes (Abbildung 2), fluchtend angeordnet sind.

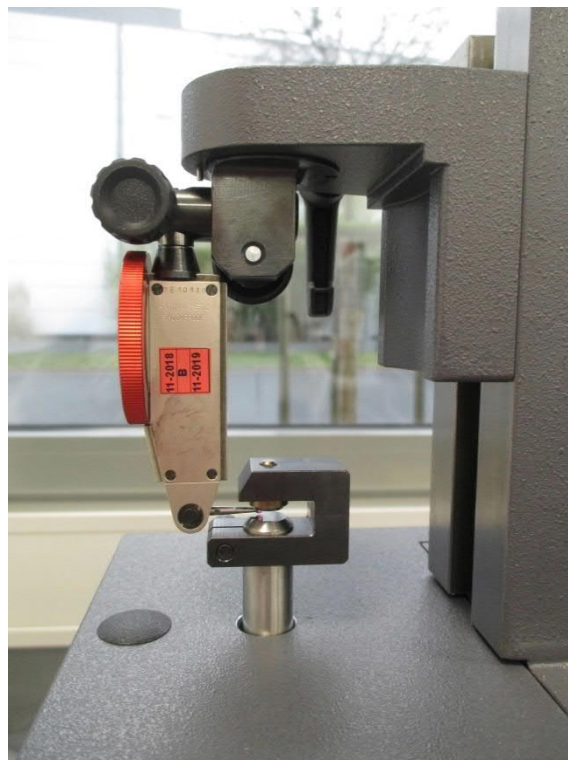


Abbildung 2: Darstellung des Messaufbaus

Die Verschiebung des Referenznormals bewirkt die gleichzeitige Verschiebung des Messeinsatzes am Fühlhebelmessgerät (Abbildung 3).

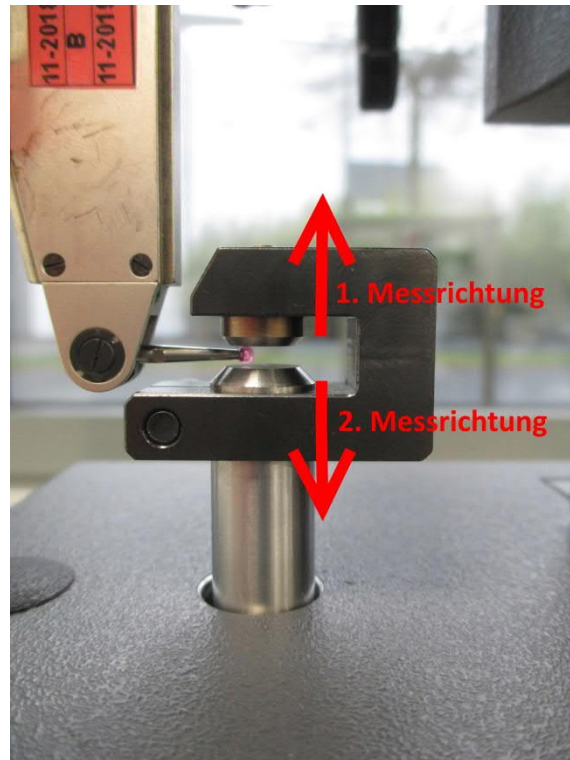


Abbildung 3: Darstellungen der Verschieberichtungen

Zur Kalibrierung wird durch Verfahren der Pinole des Referenznormal, an welcher der Messbügel befestigt ist, bewirkt, dass sich der Taster bewegt (1. / 2. Messrichtung). Zeiger und Teilstrich des Fühlhebels wird 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.

Die Ermittlung der folgenden Kennwerte geschieht in Messrichtung 1 sowie in Messrichtung 2 (siehe Abbildung 3).

Folgende Kennwerte werden ermittelt:

- $f_{ges}$  die Gesamtabweichungsspanne
- $f_e$  die Abweichungsspanne
- $f_u$  die Messwertumkehrspanne
- $f_w$  Wiederholbarkeit
- $f_t$  die Abweichungssspanne in der Teilmessspanne (wenn Differenz von zwei aufeinander folgende Messwerte um mehr als 0,5 Skalenteile)

*Hinweis:*

Innerhalb der Kalibriersoftware ist vor Beginn der Kalibrierung einzustellen, dass die Bestimmung der Werte in 5 Skalenteile erfolgen muss.

## 4 Bewertung der Kalibrierung

### 4.1 Auswertung der Messung

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 das Fühlhebelmessgerät 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

Fühlhebelmessgerät nach DIN 2270, Messspanne  $\pm 0,1$  mm, Skalenteilungswert 0,002 mm.

### 6.2 Angaben zur Normalmesseinrichtung / Kalibriereinrichtung

Die Kennwertermittlung erfolgt auf einem kalibrierten Optimar 100 Messuhrenprüfstand als Referenznormal. Ziffernschrittwert der Anzeige 0,02  $\mu\text{m}$ .

### 6.3 Messaufbau

Messaufbau wie unter Kapitel 3 dieser WI beschrieben. Die unterschiedliche Bewegungsrichtung der Messspitze wird durch die Wahl des Vorzeichens der Anzeige berücksichtigt.

### 6.4 Ermittlung der Standardabweichung

Zur Ermittlung der Standardabweichung wird der Prüfpunkt 0,100 mm, 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 des Fühlhebelmessgerätes
- 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 $u(l_{ix})$

Die personenabhängige Unsicherheit (Standardabweichung) wurde durch eine Messreihe von 30 Messwerten mit drei Prüfern ermittelt.  $u(l_{ix}) = 0,15 \mu m$ , siehe Kapitel 6.4

### 6.8 Beitrag für das Normal $u(l_s)$

Der Unsicherheitsbeitrag für das Normal ergibt sich aus der Messunsicherheit des Messuhrenprüfstand

Der Beitrag vom „Optimar 100 Messuhrenprüfstand“, bei Prüfpunkt 0,1 mm (Messweg 0,2 mm), ergibt sich aus dem Kalibrierschein.

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

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

### 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.

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

$$u(l_{\text{Fühler}}) = 0,18 \text{ K}$$

Der Gesamtunsicherheitsbeitrag des Verfahrens bei 0,2 mm ergibt:

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

$$u(\Delta t) = 0,00002 \text{ m} \cdot 0,0000115 \cdot (0,80 \text{ K} + 0,18 \text{ K})$$

$$u(\Delta t) = 0,002 \text{ } \mu\text{m}$$

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

Bei einem Skalenteilungswert von 2,0  $\mu\text{m}$  beträgt die Ablesegenauigkeit eines Messwertes am Prüfling erfahrungsgemäß 1  $\mu\text{m}$ .

$$u(\delta l_{ix}) = 1 \text{ } \mu\text{m}$$

#### 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 „Optimar 100 Messuhrenprüfstand“ können nicht festgestellt werden.

Der Unsicherheitsbeitrag  $u(\delta l_M)$  wird durch die Spannweite der Bedienerwerte  $R_X$  aus der Messsystemanalyse Verfahren 2, nach Bosch Heft 10-2003 ermittelt.

$$u(\delta l_M) = 0,6 \text{ } \mu\text{m}$$

#### 6.12 Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge Folgende Unsicherheitsbeiträge werden in das Budget übernommen:

$$u(l_{ix}) = 0,15 \text{ } \mu\text{m}$$

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

$$u(\Delta t) = 0,002 \text{ } \mu\text{m}$$

$$u(\delta l_{ix}) = 1 \text{ } \mu\text{m}$$

$$u(\delta l_M) = 0,6 \text{ } \mu\text{m}$$

#### 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 0,1 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 $u(\Delta t)$

Eine Längenänderung der Übersetzungsmechanik im Prüfling hat keinen Einfluss, da diese vor Beginn der Messung auf einen Messwert von -0,1 mm voreingestellt wird.

Eine Temperaturänderung, durch Wärmestrahlung des Prüfers während der Messung, konnte nicht festgestellt werden. Dieses wurde durch Versuche mit Temperaturfühlern an der Messpinole vom „Optimar 100 Messuhrenprüfstand“ und Prüfling festgestellt.

Die Abweichung der Umgebungstemperatur von der Referenztemperatur wirkt sich auf die Länge des Maßstabs im Komparator aus. Die Umgebungstemperatur beträgt  $20 \text{ °C} \pm 0,5 \text{ K}$ . 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 0,2 mm, wie folgt:

Der Gesamtunsicherheitsbeitrag des Verfahrens bei 0,2 mm ergibt:

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

$$u(\Delta t) = 0,0002 \text{ m} \cdot 0,0000115 \cdot (0,80 \text{ K} + 0,18 \text{ K}) \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(\Delta t) = 0,001 \mu m$$

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

Personenabhängige Unsicherheit. Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$ .

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

$$u(l_{ix}) = 0,15 \mu m \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(l_{ix}) = 0,087 \mu m$$

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

Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$ .  
Der Unsicherheitsbeitrag für die Ablesung beträgt:

$$u(\delta l_{ix}) = 1 \mu m \cdot c(l_{ix}) \cdot b_i$$

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

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

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

Ein Unsicherheitsbeitrag wird durch die Spannweite der Bedienerwerte  $R_x$  aus der Messsystemanalyse Verfahren 2, nach Bosch Heft 10-2003 ermittelt.  
Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$ .

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

$$u(\delta l_M) = 0,57 \mu m \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(\delta l_M) = 0,33 \mu m$$

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind in Formsheets **FSB70111\_FHMA.xlsx** - Abschätzung der Messunsicherheit Labor CSL - abgelegt.

## 7 Bezugsdokumente

7.1 Mitgeltende Unterlagen  
VDI/VDE/DGQ 2618, Blatt 11.3  
DIN EN ISO 463  
DIN EN ISO 14253-1  
DIN 2270 (1985-04)  
EA-4/02M:2013  
FS-QM-000129 (FS A-7-0054)  
FS-QM-000233 (FS B-7-0111)