

1 Zweck und Ziel

Diese Work Instruction beschreibt die Vorgehensweise zur Kalibrierung von Bügelmessschrauben mit planparallelen oder sphärischen Messflächen.

Die Kalibrierung erfolgt in Übereinstimmung mit der Richtlinie VDI/VDE/DGQ 2618 Blatt 10.1.

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 10.1 vorbereitende Maßnahmen, Prüfungen und Tätigkeiten sind durchzuführen:

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

3 Kalibrierverfahren

Zu ermitteln sind:

- Überprüfung der Kupplung (Ratsche) Auslösung: min. 5 N, max. 10 N
- Ebenheitsabweichung der Messflächen
- Parallelitätsabweichung der Messflächen
- Messabweichungen

Zu Beginn der Kalibrierung wird die Auslösung der Kupplung überprüft. Hierzu wird die Messkraft ermittelt. Bei akkreditierten Kalibrierungen erfolgt keine Bewertung dieser.

Die Kennwertermittlung der Bügelmessschraube erfolgt mit planparallelen Prüfgläsern für die Ebenheits- und Parallelitätsabweichung, sowie speziellen Parallelendmaßen, deren Nennmaß den in DIN 863 geforderten Prüfmaßen entsprechen.

Zur Ebenheitsabweichung der Messflächen wird ein planparalleles Prüfglas (Abbildung 1 & 2) einmal am Messamboss und einmal an der Messspindel angeschoben, so dass Interferenzringe auftreten. Die Ebenheitsabweichung ergibt sich aus den Farbschattierungen, der Zahl der Ringe oder Streifen (nach DIN 863-1: max. 2) oder der Größe der Auslenkung der Streifen (ein Ring/Streifen entspricht bei Tageslicht $\sim 0,3 \mu\text{m}$).

Die Anzahl der Interferenzstreifen wird ausgezählt und einzeln für Messamboss und Messspindel in die Auswertesoftware übertragen. Falls wegen der Beschaffenheit der Messflächen deren interferentielle Prüfung nicht möglich ist und bei geringeren Ansprüchen an die Messunsicherheit kann die Ebenheitsabweichung mit einem Haarlineal durch Prüfung in mehreren Achsen nach dem Lichtspaltverfahren ermittelt werden (nur Abweichungen $> 2 \mu\text{m}$ sind mit diesem Verfahren zu erkennen). Eine Randzone von 0,4 mm bleibt unberücksichtigt.

Die Ermittlung der Parallelitätsabweichung erfolgt mit 2 unterschiedlich gestuften planparallelen Prüfgläsern mit denen 2 Winkelstellungen der Spindel, die um 180° differieren geprüft werden. Hierzu wird ein planparalleles Prüfglas unter dem Einfluss der Messkraft an die Messflächen (zwischen Messamboss und Messspindel) angelegt und die Anzahl der Interferenzringe auf beiden Seiten ermittelt und addiert. Analog wird mit dem zweiten planparallelen Prüfglas verfahren. Unterscheiden sich die beiden Ergebnisse auffällig, so sind weitere 2 Positionen der Messspindel mit planparallelen Prüfgläsern bei 90° und 120° zu überprüfen.

Die ermittelten Werte werden in die Auswertesoftware übertragen. Im Kalibrierschein wird die größte Abweichung ausgegeben.

Beginnend mit dem Anfangswert werden die Endmaße parallel zwischen Amboss und Messspindel eingelegt und das Prüfmaß digital ausgelesen oder von der Anzeige/Skale abgelesen (Abbildung 3). Das Prüfmaß wird in die Auswertesoftware übertragen. Aus den Messabweichungen wird die größte Messabweichung f_{max} ermittelt. Zusätzlich werden alle Einzelmesswerte erfasst und ausgewertet.



Abbildung 1: Parallelitätsprüfung der Messflächen



Abbildung 2: Parallelitätsprüfung der Messflächen



Abbildung 3: Abweichung vom Nennmaß

4 Bewertung der Kalibrierung

4.1 Auswertung der Messung

Die Auswertung der Messwerte und der Prüferscheid 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 die Bügelmessschraube 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-4/02M:2013.

Zur Ermittlung der Messunsicherheit einer Bügelmessschraube nach DIN 863 wurden die folgenden Schritte vorgenommen:

6.1 Angaben zum Kalibriergegenstand

Bügelmessschraube nach DIN 863, Messspanne 25 mm, Skalenteilungswert 0,001 mm

6.2 Angaben zur Normalmesseinrichtung / Kalibriereinrichtung

Die Kennwertermittlung erfolgt mit Endmaßen der Klasse 1 aus Keramik.

6.3 Messaufbau

Zur Messung wird das Endmaß parallel zum Messelement in die Messflächen eingelegt und das Prüfmaß abgelesen (Abbildung 1).



Abbildung 1: Messaufbau

6.4 Ermittlung der Standardabweichung

Zu Beginn der Messung wird die Bügelmessschraube durch zusammenfahren der Messfläche an Spindel und Amboss und unter Verwendung der Gefühlsratsche, in Nullstellung gebracht. In dieser Position wird die Anzeige „genullt“.

Ein Endmaß von 25 mm wird parallel zwischen Amboss und Messspindel 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.

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 Ableseunsicherheit der Bügelmessschraube
- 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 der Bügelmessschraube verwendet wird; Parallelendmaß Nennmaß 25 mm.

Die Messunsicherheit der Abweichung des Mittenmaßes vom Nennmaß beträgt:

$$U(l_s) = 0,07 \mu m + 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot l \quad (l = \text{Länge Endmaß in } \mu m)$$

$$U(l_s) = 0,07 \mu m + 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot 2500 \mu m = 0,085 \mu m \quad (\text{mit } k = 2)$$

$$U(l_s) = 0,04 \mu m$$

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 $20^\circ\text{C} \pm 0,8\text{K}$.

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

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

$$U_{\text{Fühler}} = 0,18 \text{ K}$$

Der Hersteller gibt einen Wärmeausdehnungskoeffizient für Keramikendmaße von $a = 9,3 \mu m$.

Bei einer maximalen Temperaturschwankung von 0,98 K ergibt sich daraus:

$$\Delta L = L_1 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

$$\Delta L = 0,025 \text{ m} \cdot 0,0000093 \text{ m} \cdot 0,98 \text{ K}$$

$$\Delta L = 0,23 \mu m$$

$$U(\Delta T) = 0,23 \mu m$$

Nach ausreichender Temperierung sind zwischen Endmaß und Bügelmessschraube keine Temperaturunterschiede vorhanden. Da der Ausdehnungskoeffizient der Bügelmessschraube nahezu gleich dem Endmaß ist, wird der Temperatureinfluß als vernachlässigbar eingestuft. Temperaturänderungen während der Messung durch Wärmestrahlung des Prüfers (Hand am Bügel 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, die ein Aufbiegen des Bügels bewirkt, entstehen. Diese Effekte werden durch die Spannweite der Bedienermittelwerte R_X ermittelt.

Die Ablesegenauigkeit der Bügelmessschraube beträgt $1 \mu m$

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

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. $U(s) = 0,92 \mu m$, siehe 6.4.

6.10 Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge

Folgende Beiträge werden in das Messunsicherheitsbudget übernommen:

$$U(l_S) = 0,04 \mu m$$

$$U(\Delta T) = 0,23 \mu m$$

$$U(s) = 0,92 \mu m$$

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 c_i beträgt 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.

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

$$u(l_S) = 0,0425 \mu m \cdot 1$$

$$u(l_S) = 0,0425 \mu m$$

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

Die mittlere Umgebungstemperatur im Messraum beträgt 20°C. Die gemessenen Grenzen liegen bei < 0,8K 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 0,35K beinhalten. Angenommen wird eine Rechteckverteilung b_i .

$$U_{Fühler} = 0,35 K$$

mit k=2

$$U_{Fühler} = 0,18 K$$

Der Gesamtunsicherheitsbeitrag des Verfahrens bei Prüfmaß 25 mm ergibt:

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

$$u(\Delta t) = 0,025 m \cdot 0,0000093 \cdot (0,80 K + 0,18 K) \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(\Delta t) = 0,13 \mu m$$

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

Personenabhängige Unsicherheit. Angenommen wird eine Rechteckverteilung b_i

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

$$u(l_{ix}) = 0,92 \mu m \cdot 0,58 \cdot 1$$

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

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:

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

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

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

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

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

Der Sensitivitätskoeffizient $c(l_S) = 1$

Angenommen wird eine Rechteckverteilung b_i

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

$$u(\delta l_M) = 3 \mu m \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(\delta l_M) = 1,74 \mu m$$

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind in Formsheets FSB70111_BMSD.xlsx - Abschätzung der Messunsicherheit Labor CSL - abgelegt.

7 Bezugsdokumente

7.1 Mitgeltende Unterlagen

VDI/VDE/DGQ-Richtlinie 2618 Blatt 10.1
 DIN EN ISO 463
 DIN EN ISO 14253-1
 DIN 863-1 (1999-04)
 DIN 863-3 (1999-04)
 EA-4/02M:2013
 FS-QM-000129 (FS A-7-0054)
 FS-QM-000233 (FS B-7-0111)