

## 1. Zweck und Ziel

Diese Work Instruction beschreibt die Vorgehensweise zur Kalibrierung von:

- Zylindrischen Einstellnormalen
- Lehrdornen mit Gut- und Ausschusslehrenkörper
- Einstellringe
- Gut- und Ausschusslehrringe

Die Kalibrierung erfolgt auf Grundlage der VDI/VDE/DGQ 2618 Blatt 4.1, Abschnitt 3.3.4 Option 3 und Abschnitt 3.3.5 Option 4.

Die erweiterte Messunsicherheit  $U$ , für den Kalibrierprozess, berechnet sich nach Richtlinie EA-4/02 M: 2013, Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen, in ihrer jeweils gültigen Revision.

## 2. Vorbereiten von Kalibriereinrichtung und Kalibriergegenstand

2.1 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.

2.2 Folgende 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 Baumaße
- Funktionsprüfung
- Temperieren über einen angemessenen Zeitraum von mindestens fünf Stunden

### 3. Kalibrierung

#### 3.1 Lehrdorn und Zylindrische Einstellnormale nach VDI/VDE/DGQ 2618 Blatt 4.1 Abschnitt 3.3.4 Option 3

(Durchmesserbestimmung für Gebrauchsnormale zur Maßübertragung)

Die Kennwertermittlung erfolgt auf einem Längenkomparator, mit kalibriertem optischem Wegmesssystem als Referenznormal.

Da davon auszugehen ist, dass eine erhöhte Abnutzung des Prüflings in Ebene 2 und Ebene 3 entsteht, werden diese Ebenen während der Kalibrierung besonders betrachtet.

Der Prüfling wird auf einem Universal-Messtisch für schwimmende Bewegung positioniert. Zylindrische Einstellnormale und Lehrdorne werden durch Antasten mit Messtastern, zwischen Reitstock und dem beweglichem Messschlitten, vermessen.

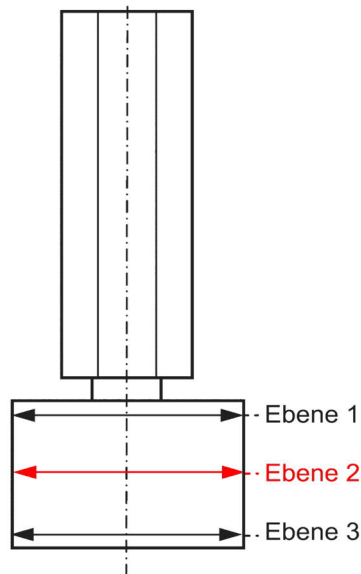


Bild 1

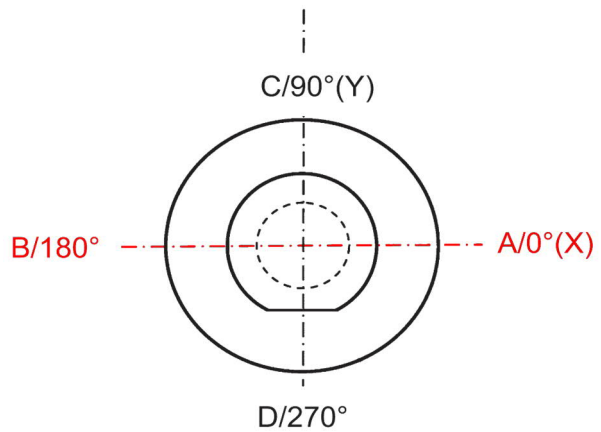


Bild 2

**Allgemeine Vorbereitungen:**

Universalmesstisch des Längenkomparators ausrichten.

Messkraft am Längenkomparator auf 5 N einstellen.

Längenkomparator mit 10,00 mm Endmaß abgleichen, Anzeige des Komparators auf Mittenmaß des Endmaßes einstellen.

Prüfling auf dem zuvor ausgerichteten Universal-Messtisch in Haltevorrichtung oder Prisma fixieren.

Universalmesstisch auf schwimmende Bewegung einstellen.

**Kalibrierung des Durchmessers in Ebene 2:**

- 1) Mittels Achsen Verstellung den Prüfling zwischen den Messtastern positionieren.
- 2) Messtaster an der vorgeschriebenen Ebene 2 (Messposition A) anfahren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Z/Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und den Messwert erfassen.
- 4) Messtaster vom Prüfling verfahren.

Nun sind 4 weitere Messwerte in der Nähe der zuvor festgelegten Position (Schnitt A-B) zu nehmen. Hierzu wird der Prüfling relativ zur Messeinrichtung etwas gedreht (positiv als auch negativ).

Allgemeingültige, veränderte Messpositionen:

Durchmesser > 6 mm = sind in etwa 0,5 mm in Umfangsrichtung von der festgelegten Position (Schnitt A-B) um ihre Achse zu drehen.

Durchmesser < 6 mm = sind in etwa um 10° um ihre Achse zu drehen.

**Kalibrierung des Durchmessers in Ebene 2:**

- 1) Prüfling anhand der allgemeingültigen Messpositionen vom Nullpunkt drehen (+ 10° bzw. + 0,5 mm).
- 2) Prüfling auf der Haltevorrichtung oder Prisma fixieren.
- 3) Messtaster an der vorgeschriebenen Ebene 2 (Messposition A) anfahren.
- 4) Durch Bewegung des Tisches in der Z/Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und den Messwert erfassen.
- 5) Messtaster vom Prüfling lösen.

**Kalibrierung des Durchmessers in Ebene 3:**

- 1) Messtaster an der vorgeschriebenen Ebene 3 (Messposition A) anfahren.
- 2) Durch Bewegung des Tisches in der Z/Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und den Messwert erfassen.
- 3) Messtaster vom Prüfling lösen.
- 4) Prüfling von Haltevorrichtung lösen.
- 5) Prüfling anhand der allgemeingültigen Messpositionen vom Nullpunkt drehen
- 6) ( $-10^\circ$  bzw.  $-0,5\text{ mm}$ ).
- 7) Prüfling auf der Haltevorrichtung oder Prisma fixieren.
- 8) Messtaster an der vorgeschriebenen Ebene 3 (Messposition A) anfahren.
- 9) Durch Bewegung des Tisches in der Z/Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und den Messwert erfassen.
- 10) Messtaster vom Prüfling lösen.

**Kalibrierung des Durchmessers in Ebene 1:**

- 1) Messtaster an der vorgeschriebenen Ebene 1 (Messposition A) anfahren.
- 2) Durch Bewegung des Tisches in der Z/Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und den Messwert erfassen.
- 3) Messtaster vom Prüfling lösen.

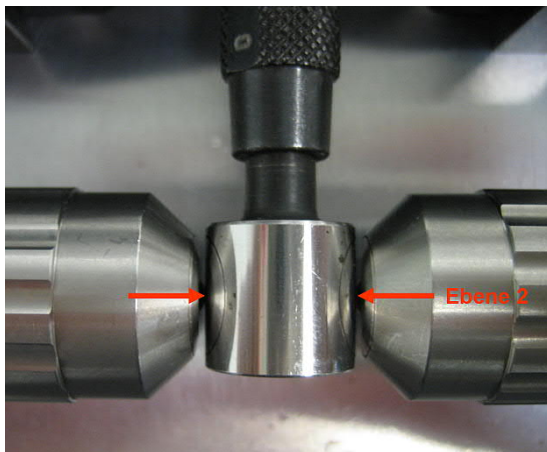


Bild 3

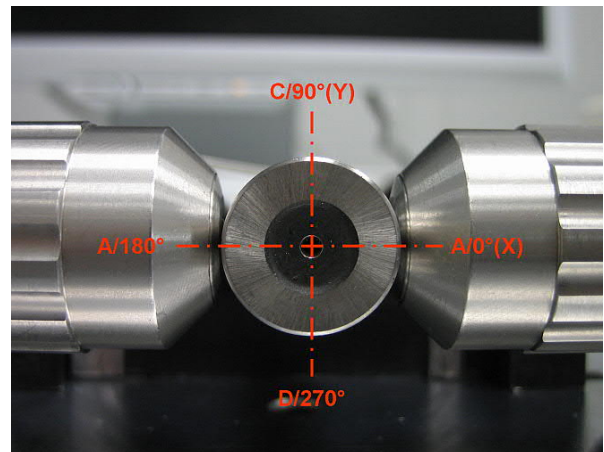


Bild 4

## 3.2 Lehrdorn und Zylindrische Einstellnormale nach VDI/VDE/DGQ 2618 Blatt 4.1

## 3.3.5 Option 4

**(Durchmesserbestimmung für Lehren)**

Die Kennwertermittlung erfolgt auf einem Längenkomparator, mit kalibriertem optischem Wegmesssystem als Referenznormal.

Achtung:

Die Formabweichung des Lehdornes muss aus vorherigen Kalibrierungen, z.B. der Erstkalibrierung (nach Option 1) bekannt sein.

Der Prüfling wird auf einem Universal-Messtisch für schwimmende Bewegung positioniert. Zylindrische Einstellnormale und Lehdorne werden durch Antasten mit Messtastern, zwischen Reitstock und dem beweglichem Messschlitten, vermessen.

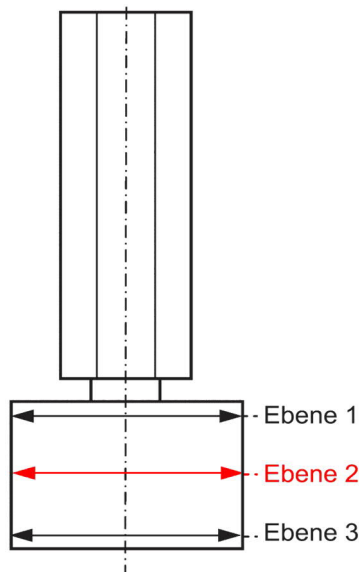


Bild 1

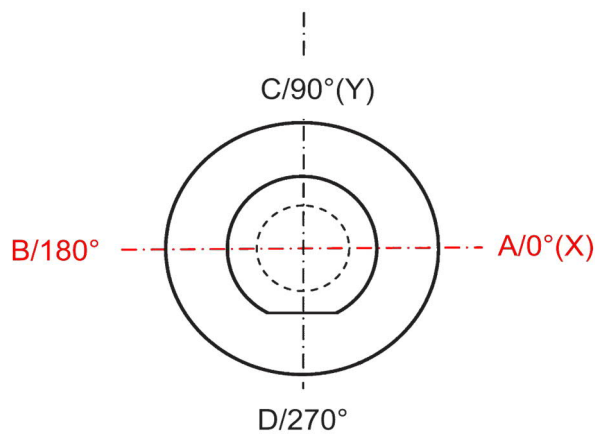


Bild 2

**Allgemeine Vorbereitungen:**

- 1) Universalmesstisch des Längenkomparators ausrichten.
- 2) Messkraft am Längenkomparator auf 5 N einstellen.
- 3) Längenkomparator mit 10,00 mm Endmaß abgleichen, Anzeige des Komparators auf Mittenmaß des Endmaßes einstellen.
- 4) Prüfling auf dem zuvor ausgerichteten Universal-Messtisch in Haltevorrichtung oder Prisma fixieren.
- 5) Universalmesstisch auf schwimmende Bewegung einstellen.

**Kalibrierung des Durchmessers Ebene 2 (Schnitt A-B):**

- 1) Mittels Achsen Verstellung den Prüfling zwischen den Messtastern positionieren.
- 2) Messtaster an der vorgeschriebenen Ebene (2) (Messposition A) anfahren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Z/Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und den Messwert erfassen.
- 4) Messtaster vom Prüfling verfahren.

**Kalibrierung des Durchmessers Ebene 1 (Schnitt A-B):**

- 1) Mittels Achsen Verstellung den Prüfling zwischen den Messtastern positionieren.
- 2) Messtaster an der vorgeschriebenen Ebene 1 (Messposition A) anfahren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Z/Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und den Messwert erfassen.
- 4) Messtaster vom Prüfling verfahren.

**Kalibrierung des Durchmessers Ebene 3 (Schnitt A-B):**

- 1) Mittels Achsen Verstellung den Prüfling zwischen den Messtastern positionieren.
- 2) Messtaster an der vorgeschriebenen Ebene 3 (Messposition A) anfahren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Z/Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und den Messwert erfassen.
- 4) Messtaster vom Prüfling verfahren.
- 5) Fixierung des Prüflings lösen.

**Kalibrierung des Durchmessers in Ebene 2 (Schnitt C-D):**

- 1) Prüfling um 90° drehen.
- 2) Mittels Achsen Verstellung den Prüfling zwischen den Messtastern positionieren.
- 3) Messtaster an der vorgeschriebenen Ebene 2 (Messposition A) anfahren.
- 4) Durch Bewegung des Tisches in der Z/Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und den Messwert erfassen.
- 5) Messtaster vom Prüfling verfahren.

**Kalibrierung des Durchmessers in Ebene 1 (Schnitt C-D):**

- 1) Mittels Achsen Verstellung den Prüfling zwischen den Messtastern positionieren.
- 2) Messtaster an der vorgeschriebenen Ebene 1 (Messposition A) anfahren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Z/Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und den Messwert erfassen.
- 4) Messtaster vom Prüfling verfahren.

**Kalibrierung des Durchmessers in Ebene 3 (Schnitt C-D):**

- 1) Mittels Achsen Verstellung den Prüfling zwischen den Messtastern positionieren.
- 2) Messtaster an der vorgeschriebenen Ebene 3 (Messposition A) anfahren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Z/Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und den Messwert erfassen.
- 4) Messtaster vom Prüfling verfahren.

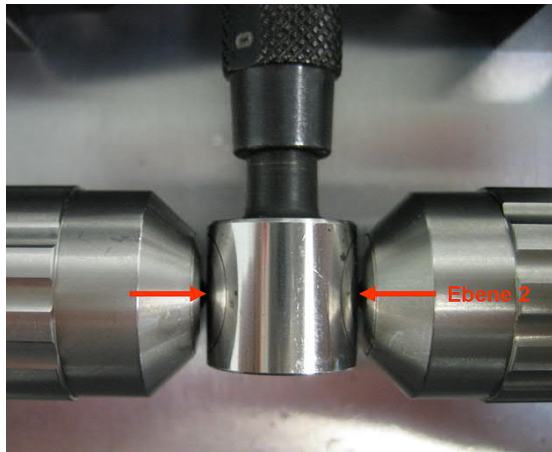


Bild 3

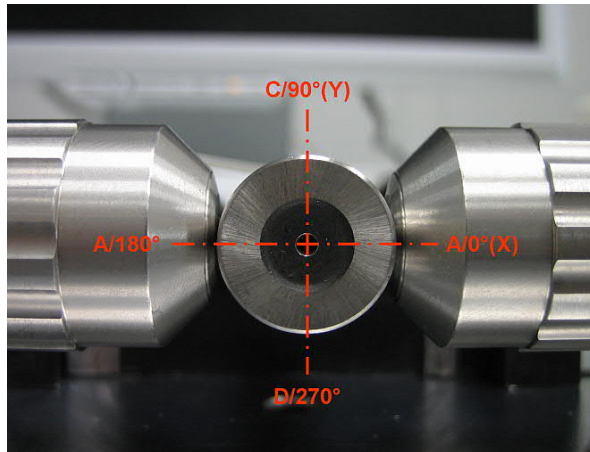


Bild 4

### 3.3 Einstellringe Gut- und Ausschusslehrringe nach VDI/VDE/DGQ 2618 Blatt 4.1 Abschnitt 3.3.4 Option 3

(Durchmesserbestimmung für Gebrauchsnormale zur Maßübertragung)

Die Kennwertermittlung erfolgt auf einem Längenkomparator, mit kalibriertem optischem Wegmesssystem als Referenznormal.

Da davon auszugehen ist, dass eine erhöhte Abnutzung des Prüflings in Ebene 2 entsteht wird diese Ebene während der Kalibrierung besonders betrachtet.

Lehrringe werden durch Antasten mit kugelförmigen Hanteltastern vermessen. Die Tasterauslenkung wird dabei auf einen elektronischen Hebelmesstaster übertragen.

Die Antastung im Lehrring erfolgt mittels Tastkugel in Ebene 1, 2 und 3 relativ zur Messeinrichtung (Schnitt A-B).

Der Kulminationspunkt wird am Schnittpunkt ermittelt und die Anzeige des Hebeltasters mit der des Wegmesssystems am Längenkomparator synchronisiert (genullt).

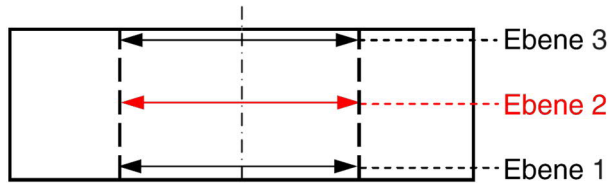


Bild 5

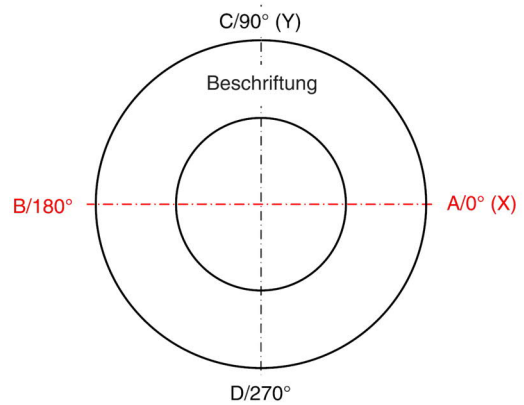


Bild 6

### Allgemeine Vorbereitungen:

- 1) Universalmesstisch des Längenkomparators mit einem Feinzeiger ausrichten.
- 2) Tasterkonstante mit 40,00 mm Einstellring ermitteln und in Kalibriersoftware eingeben.
- 3) Prüfling auf dem zuvor ausgerichteten Universal-Messtisch fixieren. Hierbei muss (sofern möglich) die Beschriftung vom Prüfling nach oben zeigen. Andernfalls sind die Ebenen 1 & 3 im Kalibrierschein zu tauschen.
- 4) Messkraft am Längenkomparator auf Maximum einstellen.

### Kalibrierung des Durchmessers in Ebene 2 (Schnitt A-B):

- 1) Mittels Achsenverstellung des Messtisches, den Hanteltaster mittig in Prüfling einfahren.
- 2) Tastkugel, an der vorgeschriebenen Ebene 2 (Messposition A) positionieren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und die Anzeige des Tasters mit der Anzeige des Längenkomparators synchronisieren (Nullen).
- 4) Den Taster an die gegenüberliegende Seite fahren (von A nach B).
- 5) Messwert erfassen.
- 6) Um Beschädigungen am Hanteltaster zu vermeiden, ist dieser vor weiteren Schritten mittig im Prüfling zu positionieren.

Anschließend sind weitere Messwerte in der Nähe der zuvor festgelegten Position (Schnitt A-B) zu nehmen. Hierzu wird der Prüfling relativ zur Messeinrichtung etwas gedreht (positiv als auch negativ).

Allgemeingültige, veränderte Messpositionen:

Durchmesser > 6 mm = sind in etwa 0,5 mm in Umfangsrichtung von der festgelegten Position (Schnitt A-B) um ihre Achse zu drehen.

Durchmesser < 6 mm = sind in etwa um 10° um ihre Achse zu drehen



**Kalibrierung des Durchmessers in Ebene 2 (Schnitt A-B):**

- 1) Tastkugel, an der vorgeschriebenen Ebene 2 (Messposition A) positionieren.
- 2) Den Tisch in der Y-Drehachse der allgemeingültigen Messpositionen vom Nullpunkt drehen (+ 10° bzw. + 0,5 mm).
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und die Anzeige des Tasters mit der Anzeige des Längenkomparators synchronisieren (Nullen).
- 4) Den Taster an die gegenüberliegende Seite fahren (von A nach B).
- 5) Messwert erfassen.
- 6) Um Beschädigungen am Hanteltaster zu vermeiden ist dieser vor weiteren Schritten mittig im Prüfling zu positionieren.

**Kalibrierung des Durchmessers in Ebene 3 (Schnitt A-B):**

- 1) Tastkugel, an der vorgeschriebenen Ebene 3 (Messposition A) positionieren.
- 2) Durch Bewegung des Tisches in der Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und die Anzeige des Tasters mit der Anzeige des Längenkomparators synchronisieren (Nullen).
- 3) Den Taster an die gegenüberliegende Seite fahren (von A nach B).
- 4) Messwert erfassen.
- 5) Um Beschädigungen am Hanteltaster zu vermeiden ist dieser vor weiteren Schritten mittig im Prüfling zu positionieren.

**Kalibrierung des Durchmessers in Ebene 2 (Schnitt A-B):**

- 1) Tastkugel, an der vorgeschriebenen Ebene 2 (Messposition A) positionieren.
- 2) Den Tisch in der Y-Drehachse der allgemeingültigen Messpositionen vom Nullpunkt drehen (- 10° bzw. - 0,5 mm).
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und die Anzeige des Tasters mit der Anzeige des Längenkomparators synchronisieren (Nullen).
- 4) Den Taster an die gegenüberliegende Seite fahren (von A nach B).
- 5) Messwert erfassen.
- 6) Um Beschädigungen am Hanteltaster zu vermeiden ist dieser vor weiteren Schritten mittig im Prüfling zu positionieren.

**Kalibrierung des Durchmessers in Ebene 1 (Schnitt A-B):**

- 1) Tastkugel, an der vorgeschriebenen Ebene 2 (Messposition A) positionieren.
- 2) Durch Bewegung des Tisches in der Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und die Anzeige des Tasters mit der Anzeige des Längenkomparators synchronisieren (Nullen).
- 3) Den Taster an die gegenüberliegende Seite fahren (von A nach B).
- 4) Messwert erfassen.
- 5) Um Beschädigungen am Hanteltaster zu vermeiden ist dieser vor weiteren Schritten mittig im Prüfling zu positionieren.

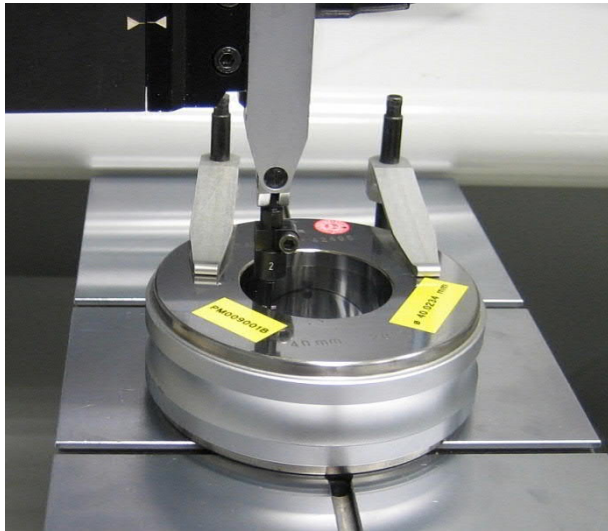


Bild 7



Bild 8

### 3.1.4 Einstellringe Gut- und Ausschusslehrringe nach VDI/VDE/DGQ 2618 Blatt 4.1 Abschnitt 3.3.5 Option 4

(Durchmesserbestimmung für Gebrauchsnormale zur Maßübertragung)

Die Kennwertermittlung erfolgt auf einem Längenkomparator, mit kalibriertem optischem Wegmesssystem als Referenznormal.

#### Achtung:

Die Formabweichung des Lehdornes muss aus vorherigen Kalibrierungen, z.B. der Erstkalibrierung (nach Option 1) bekannt sein.

Lehrringe werden durch Antasten mit kugelförmigen Hanteltastern vermessen. Die Tasterauslenkung wird dabei auf einen elektronischen Hebelsmesstaster übertragen.

Die Antastung im Lehrring erfolgt mittels Tastkugel in Ebene 1, 2 und 3 relativ zur Messeinrichtung (Schnitt A-B).

Der Kulminationspunkt wird am Schnittpunkt ermittelt und die Anzeige des Hebelsmessers mit der des Wegmesssystems am Längenkomparator synchronisiert (genullt).

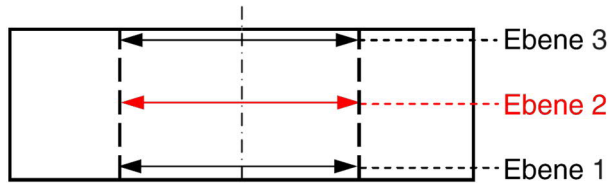


Bild 5

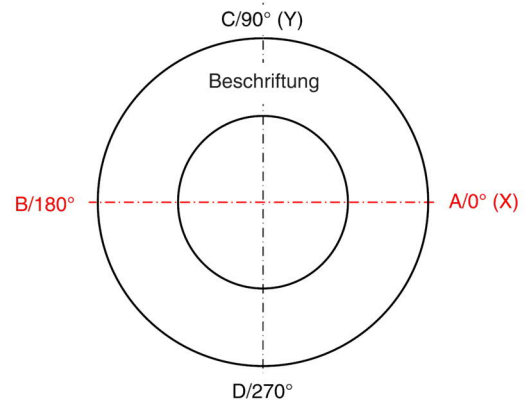


Bild 6

### Allgemeine Vorbereitungen:

- 1) Universalmesstisch des Längenkomparators ausrichten.
- 2) Tasterkonstante mit 40,00 mm Einstellring ermitteln und in Kalibriersoftware eingeben.
- 3) Prüfling auf dem zuvor ausgerichteten Universal-Messtisch fixieren. Hierbei muss (sofern möglich) die Beschriftung vom Prüfling nach oben zeigen. Andernfalls sind die Ebenen 1 & 3 im Kalibrierschein zu tauschen.
- 4) Messkraft am Längenkomparator auf Maximum einstellen.

### Kalibrierung des Durchmessers Ebene 2 (Schnitt A-B):

- 1) Mittels Achsenverstellung des Messtisches, den Hanteltaster mittig in Prüfling einfahren.
- 2) Tastkugel, an der vorgeschriebenen Ebene 2 (Messposition A) positionieren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und die Anzeige des Tasters mit der Anzeige des Längenkomparators synchronisieren (Nullen).
- 4) Den Taster an die gegenüberliegende Seite fahren (von A nach B).
- 5) Messwert erfassen.
- 6) Um Beschädigungen am Hanteltaster zu vermeiden, ist dieser vor weiteren Schritten mittig im Prüfling zu positionieren.

### Kalibrierung des Durchmessers Ebene 1 (Schnitt A-B):

- 1) Mittels Achsenverstellung des Messtisches, den Hanteltaster mittig in Prüfling einfahren.
- 2) Tastkugel, an der vorgeschriebenen Ebene 1 (Messposition A) positionieren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und die Anzeige des Tasters mit der Anzeige des Längenkomparators synchronisieren (Nullen).
- 4) Den Taster an die gegenüberliegende Seite fahren (von A nach B).
- 5) Messwert erfassen.

- 6) Um Beschädigungen am Hanteltaster zu vermeiden, ist dieser vor weiteren Schritten mittig im Prüfling zu positionieren.

### **Kalibrierung des Durchmessers Ebene 3 (Schnitt A-B):**

- 1) Mittels Achsenverstellung des Messtisches, den Hanteltaster mittig in Prüfling einfahren.
- 2) Tastkugel, an der vorgeschriebenen Ebene 3 (Messposition A) positionieren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und die Anzeige des Tasters mit der Anzeige des Längenkomparators synchronisieren (Nullen).
- 4) Den Taster an die gegenüberliegende Seite fahren (von A nach B).
- 5) Messwert erfassen.
- 6) Um Beschädigungen am Hanteltaster zu vermeiden, ist dieser vor weiteren Schritten mittig im Prüfling zu positionieren.
- 7) Prüfling vom Universal-Messtisch lösen und um + 90° drehen

### **Kalibrierung des Durchmessers Ebene 2 (Schnitt C-D):**

- 1) Mittels Achsenverstellung des Messtisches, den Hanteltaster mittig in Prüfling einfahren.
- 2) Tastkugel, an der vorgeschriebenen Ebene 2 (Messposition A) positionieren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und die Anzeige des Tasters mit der Anzeige des Längenkomparators synchronisieren (Nullen).
- 4) Den Taster an die gegenüberliegende Seite fahren (von C nach D).
- 5) Messwert erfassen.
- 6) Um Beschädigungen am Hanteltaster zu vermeiden, ist dieser vor weiteren Schritten mittig im Prüfling zu positionieren.

### **Kalibrierung des Durchmessers Ebene 1 (Schnitt C-D):**

- 1) Mittels Achsenverstellung des Messtisches, den Hanteltaster mittig in Prüfling einfahren.
- 2) Tastkugel, an der vorgeschriebenen Ebene 1 (Messposition A) positionieren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und die Anzeige des Tasters mit der Anzeige des Längenkomparators synchronisieren (Nullen).
- 4) Den Taster an die gegenüberliegende Seite fahren (von C nach D).
- 5) Messwert erfassen.
- 6) Um Beschädigungen am Hanteltaster zu vermeiden, ist dieser vor weiteren Schritten mittig im Prüfling zu positionieren.

### **Kalibrierung des Durchmessers Ebene 3 (Schnitt C-D):**

- 1) Mittels Achsenverstellung des Messtisches, den Hanteltaster mittig in Prüfling einfahren.
- 2) Tastkugel, an der vorgeschriebenen Ebene 3 (Messposition A) positionieren.
- 3) Durch Bewegung des Tisches in der Y-Achse den Kulminationspunkt suchen und die Anzeige des Tasters mit der Anzeige des Längenkomparators synchronisieren (Nullen).
- 4) Den Taster an die gegenüberliegende Seite fahren (von C nach D).
- 5) Messwert erfassen.
- 6) Um Beschädigungen am Hanteltaster zu vermeiden, ist dieser vor weiteren Schritten mittig im Prüfling zu positionieren.

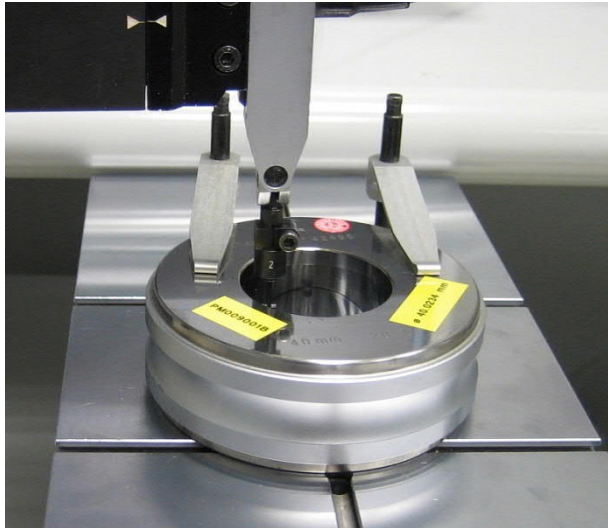


Bild 7



Bild 8

## 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 Kalibrierungsaufgabe 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 Prüflings

Nach erfolgreicher Kalibrierung wird der Prüfling mit einer Kalibriermarke gekennzeichnet.

Mitgeleitende Unterlage:

WI-QM-000009 Setzen von Kalibriermarken nach erfolgter Kalibrierung eines Prüfmittels

## 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

Lehrdorn nach DIN 2248 / 2249, Durchmesser 30 mm, Toleranzfeld H7

### 6.2 Angaben zur Normalmesseinrichtung / Kalibriereinrichtung

Die Kennwertermittlung erfolgt auf einem Längenkomparator mit kalibriertem optischem Wegmesssystem als Referenznormal. Ziffernschrittweite der Anzeige 0,1  $\mu\text{m}$ .

### 6.3 Messaufbau

Der Kalibriergegenstand wird in das Wegmesssystem, um 90° versetzt zur Achse eingespannt und zwischen den Kugeltastern des Längenkomparators kalibriert (Siehe 3.1, Bild 3 & 4).



Bild 9

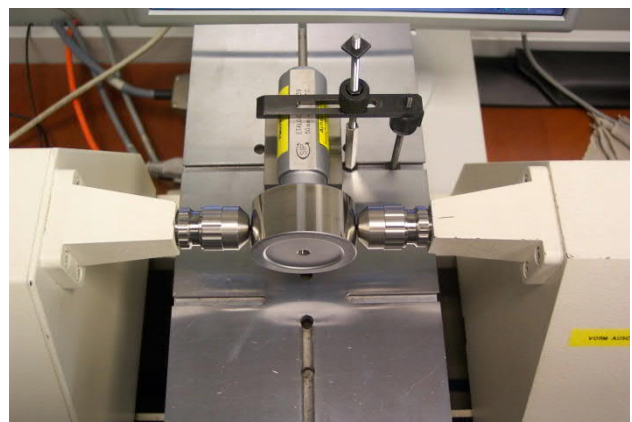


Bild 10

### 6.4 Ermittlung der Standardabweichung

Zur Ermittlung der Standardabweichung wird der Durchmesser 30 H7 von drei Prüfern jeweils 20-mal angefahren. Die abgelesenen Messwerte werden in die Tabelle des F 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.

## 1. Einfluss des Normals

### a) Unsicherheitsbeitrag optisches Wegmesssystem

b) Thermischer Längenausdehnungskoeffizient

## 2. Einfluss des Verfahrens

Einfluss der Abweichung der Umgebungstemperatur von der Bezugstemperatur auf

c) das Normal

d) den Kalibriergegenstand

Einfluss der Temperaturänderung während der Kalibrierung auf

e) das Normal

f) den Kalibriergegenstand

## 3. Einfluss des Kalibriergegenstandes

g) Mechanische Effekte

h) Thermischer Längenausdehnungskoeffizient

### 6.6 Mathematisches Modell der Einflussgrößen

Mit den Einflussgrößen wird das mathematische Modell der Messunsicherheit aufgestellt.

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

### 6.7 Beitrag für das Normal $U(l_S)$

Der Messunsicherheitsbeitrag für das Normal  $U(l_S)$  setzt sich aus den Beiträgen des Längenkomparators  $U(l_{S1})$  und des zur Kalibrierung verwendeten Endmaßes  $U(l_{S2})$  zusammen.

Der Beitrag des Längenkomparators, bei Prüfpunkt 30 mm, ergibt sich aus dem Kalibrierschein und den Herstellerangaben.

$$U(l_{S1}) = 0,2 + 0,4 \cdot L[\mu m] \quad \text{Herstellerangabe für SIP-550M (L= gemessene Länge in m)}$$

$$U(l_{S1}) = 0,2 + 0,4 \cdot 0,030$$

$$U(l_{S1}) = 0,212 \mu m$$

Der Beitrag des Endmaßes von  $l = 10 \text{ mm}$ , welches zur Kalibrierung des Längenkomparators verwendet wurde, ergibt sich aus dem Kalibrierschein und beträgt:

$$U(l_{S2}) = 0,05 \mu m + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot l_i$$

$$U(l_{S2}) = 0,05 \mu m + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 10000 \quad (l \text{ ist die Länge des Endmaß in } \mu m)$$

$$U(l_{S2}) = 0,055 \mu m \quad \text{mit } k=2$$

$$U(l_{S2}) = 0,0275 \mu m$$

Der Gesamtbeitrag  $U(l_S)$  durch das Normal errechnet sich aus der Addition der Beiträge von  $U(l_{S1})$  und  $U(l_{S2})$ .

$$U(l_S) = U(l_{S1}) + U(l_{S2})$$

$$U(l_S) = 0,212 \mu m + 0,0275 \mu m$$

$$U(l_S) = 0,24 \mu m$$

### 6.8 Beiträge für das Verfahren

Die Abweichung der Umgebungstemperatur von der Referenztemperatur wirkt sich auf die Länge des Maßstabs im Längenkomparator aus. Die Umgebungstemperatur beträgt 20°C



$\pm 0,8K$ . Das Material des Maßstabs ist Stahl, mit einem Wärmeausdehnungs-koeffizienten von  $\alpha = 11,5 \mu m$ .

Bei einer maximalen Temperaturschwankung von  $0,8K$ , errechnet sich der Unsicherheitsbeitrag  $\Delta L$ , für den Messbereich bis 30 mm wie folgt:

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

$$\Delta L = 0,0300 m \cdot 0,0000115 m \cdot 0,8 K$$

$$\Delta L = 0,092 \mu m$$

$$U(\Delta T) = \Delta L$$

$$U(\Delta T) = 0,28 \mu m$$

Eine Temperaturänderung durch Wärmestrahlung des Prüfers während der Messung konnte nicht festgestellt werden. Dieses wurde durch Versuche mit Temperaturfühler an den Flachtastern des Längenkomparators und am Prüfling ermittelt.

#### 6.9 Beitrag für den Kalibriergegenstand $U(s)$

Die personenabhängige Unsicherheit (Standardabweichung) wurde durch eine Messreihe von 60 Messwerten mit drei Prüfern ermittelt.  $U(s) = 0,18 \mu m$ , siehe 6.4.

#### 6.10 Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge

Folgende Unsicherheitsbeiträge werden in das Budget übernommen:

$$U(l_s) = 0,24 \mu m$$

$$U(\Delta T) = 0,28 \mu m$$

$$U(s) = 0,18 \mu m$$

#### 6.11 Messunsicherheitsanalyse

Jede identifizierte Einflussgröße liefert einen Beitrag zum Budget.

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

Der Unsicherheitsbeitrag errechnet sich somit aus:  $u_i(y) = U_i \cdot c_i$

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

Der Unsicherheitsbeitrag  $u(l_s)$ , bei Position 30 mm, ergibt sich aus der Messunsicherheit des Längenkomparators und der Unsicherheit des zur Kalibrierung verwendeten Parallelendmaßes.

$$u(l_s) = [ U(l_{s1}) + U(l_{s2}) ] \cdot c(l_s)$$

$$u(l_s) = (0,212 \mu m + 0,0275 \mu m) \cdot 1$$

$$u(l_s) = 0,24 \mu m$$

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

Die mittlere Umgebungstemperatur im Messraum beträgt  $20^\circ C$ . 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 0,35 K beinhalten. Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$ .

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

$$U(\text{Fühler}) = 0,18 \text{ K}$$

Der Gesamtunsicherheitsbeitrag des Verfahrens bei 30 mm ergibt:

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

$$u(\Delta t) = 0,03 \text{ m} \cdot 0,0000115 \cdot (0,80 \text{ K} + 0,18 \text{ K}) \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(\Delta t) = 0,2 \text{ } \mu\text{m}$$

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

Personenabhängige Unsicherheit. Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$

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

$$u(l_{ix}) = 0,183 \text{ } \mu\text{m} \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(l_{ix}) = 0,11 \text{ } \mu\text{m}$$

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

Da es sich bei einem Lehrdorn und ein festes Maß handelt, wird hierfür kein Beitrag berechnet.

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

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

Der Sensitivitätskoeffizient beträgt  $c(\delta l_M) = 1$

Angenommen wird eine Rechteckverteilung  $b_i$

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

$$u(\delta l_M) = 0,6 \text{ } \mu\text{m} \cdot 0,58 \cdot 1$$

$$u(\delta l_M) = 0,348 \text{ } \mu\text{m}$$

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

## 7. Bezugsdokumente

- 7.1 Mitgeltende Unterlagen  
 VDI/VDE/DGQ 2618 Blatt 4.1  
 DIN EN ISO 463  
 DIN EN ISO 14253-1  
 DIN 2248  
 DIN 2249-1 (2000-01)  
 DIN 2250-1 (2008-10)  
 DIN 2250-2 (2008-10)  
 Richtlinie EA-4/02 M: 2013