

L.VI Kalibrieren von Parallelendmaßen

Für Parallelendmaße bietet das Endmaßmessgerät Mahr 826 der esz GmbH die Möglichkeit zuverlässig und mit hoher Genauigkeit gemäß DKD-R 4-3, Blatt 3.1 zu messen. Im Substitutionsverfahren werden Parallelendmaße im Bereich 0,5 bis 100 mm kalibriert.



Bild L.VI.1 Kalibrierung am Endmaßmessgerät

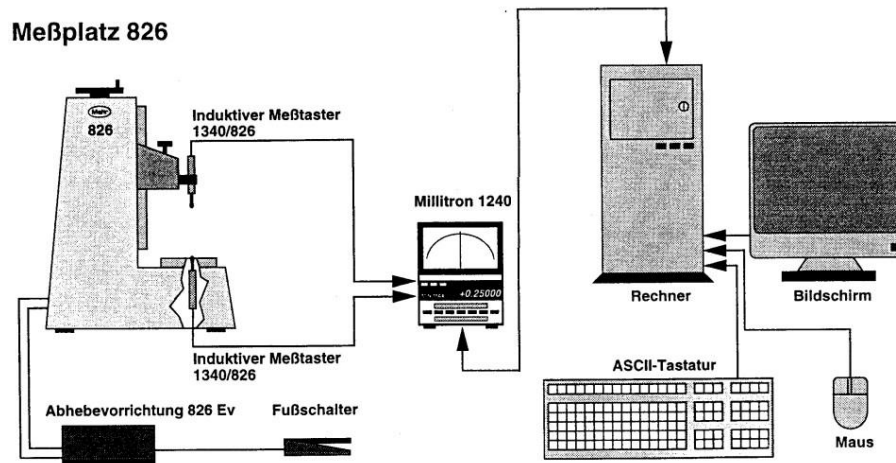
L.VI.1 Messverfahren

Im Vorbereitungsraum werden die Parallelendmaße mittels Waschbenzin gereinigt. Es wird die Kalibrierfähigkeit und die Beschaffenheit der Messflächen untersucht.

Die visuelle Kontrolle dient zum Auffinden von Beschädigungen (z. B. Kratzer mit Grataufwurf, Kantenverletzungen, Tastereindrücke usw.). Falls Notwendig werden die Messflächen z. B. mit Hilfe eines feinen Abziehsteins oder einer geeigneten Läppplatte behandelt, um Aufwürfe und Grate zu beseitigen. Erfahrungsgemäß kann so eine Mindestqualität wieder hergestellt und die Anschließbarkeit verbessert werden.

Danach erfolgt die interferentielle Prüfung mit Planglas. Sie dient zur Ebenheitsprüfung und dem Auffinden von Aufwürfen, die ohne Planglas nicht zu erkennen sind.

Es folgt die Anschubprüfung mittels Planglas. Das entstehende Anschubbild gestattet die sicherste Aussage über die Messflächenbeschaffenheit und den dadurch zu erwartenden Einfluss auf die Messunsicherheit. Die Anschubprüfung ist deshalb besonders für kleinste Messunsicherheiten erforderlich. Anschließend kommt der Endmaßsatz in den Kalibrierraum zum Temperieren und nachfolgenden Kalibrieren.

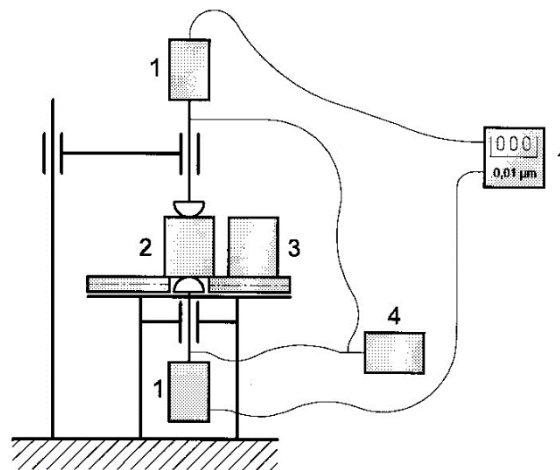


Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.7	von: PF am: s. DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - L.VI Kalibrieren von Parallelendmaßen	1

Die Kalibrierung der Parallelendmaße erfolgt durch Vergleich mit Hilfe eines Längenkomparators und eines kalibrierten Endmaßes derselben Nennlänge, das aus demselben Material wie das zu kalibrierende Endmaß gefertigt ist, als Referenznormal.

Bild L.VI.2 Messaufbau, Kalibrierung der Parallelendmaße

Das zu prüfende Endmaß und das Referenznormal werden hintereinander in die Endmaßaufnahme gelegt. Der Messtisch ist mit verschleißfesten Hartmetalleisten ausgelegt, die ein reibungsarmes Verschieben der Endmaße bei definierter Auflage ermöglichen. In die Endmaßaufnahme ist eine Führungskulisse eingearbeitet, mit der die Endmaße in die Messpositionen gebracht werden. Bei der Messung werden nacheinander 1 Messpunkt auf dem Normal und 5 Messpunkte auf dem zu prüfenden Parallelendmaß angefahren und gemessen.



- 1 = hochauflösendes Längenmeßgerät mit Anzeigeeinheit
- 2 = Endmaß
- 3 = zu kalibrierendes Parallelendmaß
- 4 = Hebevorrichtung

Bild L.VI.3 Prinzipskizze des Messverfahrens

Die Messung erfolgt über zwei induktive Taster 1340/826, deren Werte addiert werden. Zum Abheben der Taster während des Verschiebens der Parallelendmaße dient eine elektro-pneumatische Abhebevorrichtung, an die auch ein Endmaß-Saugheber für das Einlegen und Herausnehmen kleiner Parallelendmaße angeschlossen ist.

Um die temperaturbedingte Längenausdehnung so gering wie möglich zu halten wird ein seitlich herumgezogener Acryl-Glasschirm verwendet.

Die Messwertbildung und -anzeige erfolgen mit dem Kompaktmessgerät Millitron 1240. Über eine serielle Schnittstelle werden die Messwerte an einen PC übertragen.

Geprüft und dokumentiert werden die Abweichung des Mittenmaßes vom Nennmaß und die obere bzw. untere Abweichung vom Mittenmaß f_o und f_u .

Die Kalibrierung ist abzubrechen falls die Temperaturdifferenz $> 0,5K$ bzw. die gemessene Nennmaßabweichung die Toleranzklasse 2 nach DIN ISO 3650 Tabelle 4 überschreitet.

L.VI.2 Messunsicherheitsbilanz

Die Abweichungen werden, wie bereits erwähnt, in vertikaler Positionierung der beiden Endmaße mit zwei hochauflösenden Tastern bestimmt, die jeweils die obere und die untere Messfläche berühren. Die tatsächliche Länge L_x' des zu kalibrierenden Endmaßes ergibt sich aus der tatsächlichen Länge L_S' des Referenznormales entsprechend der Gleichung:

$$L_x' = L_S' + \delta L$$

wobei δL die ermittelte Längendifferenz ist. L_x' und L_S' sind die Längen der Endmaße.

Für die Bestimmung der Messunsicherheitsbeiträge müssen nach DKD-3 folgende Beiträge berücksichtigt werden:

- Messunsicherheitsbeiträge der Kalibriereinrichtung

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.7	von: PF am: s. DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - L.VI Kalibrieren von Parallelendmaßen	2

- Messunsicherheitsbeiträge des Kalibriergegenstandes
- Messunsicherheitsbeiträge der Umgebung / Verfahrens

Für die Abweichung des Mittenmaßes vom Nennmaß ergibt sich die Länge L_x des zu kalibrierenden Endmaßes bei der Bezugstemperatur aus folgender Beziehung:

$$L_x = L_S + \delta L_D + \delta L + \delta L_C - L_N (\alpha_M \delta t + \delta \alpha \cdot \Delta t) - \delta L_V$$

Hierbei sind:

- L_S Länge des Referenzendmaßes bei der Bezugstemperatur $t_0 = 20 \text{ °C}$. Sie wird, zusammen mit der beigeordneten erweiterten Messunsicherheit, im Kalibrierschein angegeben.
- δL_D Drift des Wertes des Referenznormals seit der letzten Kalibrierung. Die zeitliche Drift der Länge des Referenzendmaßes wird aus früheren Kalibrierungen und anhand der DIN ISO 3650 Tabelle 2 auf Null mit maximalen Abweichungen von $\pm 30 \text{ nm}$ abgeschätzt. Die allgemeine Erfahrung weist darauf hin, dass eine Nulldrift höchst wahrscheinlich ist und dass eine Rechteckverteilung für etwaige Abweichungen angenommen werden kann.
- δL Beobachtete Längendifferenz zwischen dem unbekanntem Endmaß und dem Referenzendmaß. Aus früheren Messungen wird angenommen das die Werte um etwa $\pm 30 \text{ nm}$ um den Mittelwert streuen.
- δL_C Korrektur hinsichtlich einer Nichtlinearität und eines Offset des Längenkomparsators
Das Endmaßmeßgerät wurde nach den Leitfaden für die Kalibrierung von Endmaßen EA-4/14 kalibriert. Daher kann sichergestellt werden, dass für Längendifferenzen D bis zu $\pm 10 \text{ }\mu\text{m}$ die Korrekturen der angegebenen Längendifferenz innerhalb der Grenzen $\pm(30\text{nm} + 0,002 \cdot D)$ liegen. Aus den Toleranzen des zu kalibrierenden Endmaßes und des Referenzendmaßes ergibt sich die maximale Längendifferenz zu $\pm 1 \text{ }\mu\text{m}$, d.h. die Grenzen für Nichtlinearitäts- und Offsetkorrekturen des Längenkomparsators betragen $\pm 32 \text{ nm}$.
- L_N nominelle Länge der Endmaße.
- t_0 Referenztemperatur ($t_0 = 20 \text{ °C}$)
- $\alpha_M = (\alpha_X + \alpha_S) / 2$ Mittelwert der thermischen Ausdehnungskoeffizienten des zu kalibrierenden und des Referenzendmaßes
- $\delta t = (t_X - t_S)$ Temperaturdifferenz zwischen dem zu kalibrierenden und dem Referenzendmaß. Es wird dafür Sorge getragen, dass die Endmaße vor der Kalibrierung die Temperatur des Messraumes annehmen. Die verbleibende Temperaturdifferenz zwischen dem Referenznormal und dem zu kalibrierenden Endmaß wird auf maximal $\pm 0,05 \text{ K}$ (Erfahrungswert) geschätzt.
- $\delta \alpha = (\alpha_X - \alpha_S)$ Differenz der thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen dem zu kalibrierenden und dem Referenzendmaß. Aus den Angaben im Kalibrierschein des Referenzendmaßes und der Herstellerangaben für das zu kalibrierende Endmaß ist ersichtlich, daß der thermische Längenausdehnungskoeffizient der Stahlendmaße innerhalb von $(11,5 \pm 1,0) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ liegt. Für die Differenz der Längenausdehnungskoeffizienten ergibt sich aus der Kombination der beiden Rechteckverteilungen eine Dreiecksverteilung in den Grenzen $\pm 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.
- $\Delta t = (t_X - t_S) / 2 - t_0$ Abweichung der mittleren Temperatur des zu kalibrierenden Endmaßes und des Referenzendmaßes von der Bezugstemperatur. Die Abweichung der mittleren Temperatur im Messraum von der Bezugstemperatur $t_0 = 20 \text{ °C}$ wird auf maximal $\pm 0,5 \text{ K}$ geschätzt. Für dem Produktterm $\delta \alpha \cdot \Delta t$ ergibt sich als Produkt der Standardmessunsicherheiten:

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.7	von: PF am: s. DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - L.VI Kalibrieren von Parallelendmaßen	3

$$u(\delta\alpha \cdot \Delta t) = \sqrt{\left(\frac{2 \times 10^{-6}}{\sqrt{6}}\right)^2 \cdot \left(\frac{0,5}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,236 \cdot 10^{-6}$$

δL_V Korrektur hinsichtlich nicht-zentrischer Antastung der Messflächen des zu kalibrierenden Endmaßes. Bei Endmaßen muss die aus Messungen in der Mitte und an den vier Ecken ermittelte Längendifferenz innerhalb von $\pm 0,12 \mu\text{m}$ liegen (ISO 3650). Unter der Annahme, dass diese Änderung an den Messflächen entlang der 9 mm langen kurzen Kante auftritt und dass das Mittenmaß in einem Kreis mit dem Radius 0,5 mm angetastet wird, wird eine Korrektur aufgrund einer nicht-zentrischen Antastung auf $\pm 6,7 \text{ nm}$ geschätzt.

Darstellung der Messunsicherheitsbilanz:

Größe X_j	Schätzwert x_j	Standardmessunsicherheit $u(x_j)$	Verteilungsfunktion	Sensitivitätskoeffizient C_j	Unsicherheitsbeitrag
L_S	l_s	$U(L_S)/2$	Normal	1,0	$u(L_S)$
δL_D	0	$u_{\delta L_D} / \sqrt{3}$	Rechteck	1,0	$u(L_D)$
δL	l	$U(\delta L)/2$	Normal	1,0	$u(L)$
δL_C	0	$u_{\delta L_C} / \sqrt{3}$	Rechteck	1,0	$u(\delta L_C)$
δt	0	$u_{T_m} / \sqrt{3}$	Rechteck	$-L_N \cdot \alpha_M$	$u(\delta t)$
$\delta\alpha \cdot \Delta t$	0	$u_{\delta\alpha \cdot \Delta t}$	-	L_N	$u(\delta\alpha \cdot \Delta t)$
δL_V	0	$u_{\delta L_V} / \sqrt{3}$	Rechteck	-1,0	$u(\delta L_V)$
L_x	$l_s + l$				$u(L_x)$

Für die dem Ergebnis beizuordnende Standardmessunsicherheit ergibt sich daraus:

$$u^2(L_x) = c_S^2 u^2(L_S) + c_D^2 u^2(\delta L_D) + c_L^2 u^2(\delta L) + c_C^2 u^2(\delta L_C) + c_t^2 u^2(\delta t) + c_\alpha^2 u^2(\delta\alpha \cdot \Delta t) + c_V^2 u^2(\delta L_V)$$

mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ und dem interpolierten Ergebnis:

$$U = k \cdot u(L_x) = 0,1 \mu\text{m} + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot L$$

L ist die Länge des Endmaßes

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind der Tabelle

<http://dmserver/technik/Messunsicherheiten/QMH-Tabellen/Laenge/Messunsicherheiten-Tabelle-L.VI-Kalibrieren-von-Parallelendmassen.xls>

zu entnehmen.

Für die Abweichungen f_o und f_u vom Mittenmaß gelten folgende Beziehungen:

$$f_u = L_x - L_{MIN} + \delta L_{CMIN} + \delta L_C$$

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.7	von: PF am: s. DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - L.VI Kalibrieren von Parallelendmaßen	4

und

$$f_o = L_{MAX} - L_x + \delta L_{C_{MAX}} + \delta L_C$$

mit:

L_x Die Länge des zu kalibrierenden Endmaßes (Mittenmaß). Exemplarisch wird für das Endmaßmessgerät eine Standardunsicherheit von mindestens $\pm 0,01 \mu\text{m}$ mit Normalverteilung für etwaige Abweichungen angenommen.

L_{MAX}, L_{MIN} Maximaler bzw minimaler Messwert der vier Eckpunkte. Wird ebenfalls mit $\pm 0,05 \mu\text{m}$ und einer Normalverteilung für etwaige Abweichungen angenommen werden.

$\delta L_{C_{konf}}$ Korrektur hinsichtlich Messunsicherheit des Verwendeten Kalibriersatzes nach DKD-R 4-1 bei Überprüfung des Längenkomparators. Aus dem Kalibrierschein zu $\pm 0,03 \mu\text{m}$ entnehmbar.

$\delta L_C, \delta L_{C_{MAX}}, \delta L_{C_{MIN}}$ Korrektur hinsichtlich einer Nichtlinearität und eines Offset des Längenkomparators. Aus den Toleranzen des zu kalibrierenden Endmaßes und des Referenzendmaßes ergibt sich die maximale Längendifferenz zu $\pm 1 \mu\text{m}$, d.h. die Grenzen für Nichtlinearitäts- und Offsetkorrekturen des Längenkomparators betragen $\pm 32 \text{ nm}$.

Tabellarische Darstellung der Messunsicherheitsbilanz für f_u (analog f_o):

Größe X_i	Schätzwert x_i	Standardmessunsicherheit $u(x_i)$	Verteilungsfunktion	Sensitivitätskoeffizient C_i	Unsicherheitsbeitrag
L_x	l_x	$U(L_x)/2$	Normal	1,0	$u(L_x)$
L_{MIN}	l_{MIN}	$U(L_{MIN})/2$	Normal	1,0	$u(L_{MIN})$
$\delta L_{C_{konf}}$	0	$U(\delta L_{C_{konf}})/2$	Normal	1,0	$u(\delta L_{C_{konf}})$
$\delta L_{C_{MIN}}$	0	$u_{\delta L_{C_{MIN}}} / \sqrt{3}$	Rechteck	1,0	$u(\delta L_{C_{MIN}})$
δL_C	0	$u_{\delta L_C} / \sqrt{3}$	Rechteck	1,0	$u(\delta L_C)$
f_u	$l_x - l_{MIN}$				$u(f_u)$

Für die dem Ergebnis beizuordnende Standardmessunsicherheit ergibt sich daraus:

$$f_u = L_x - L_{MIN} + \delta L_{C_{konf}} + \delta L_{C_{MIN}} + \delta L_C$$

und

$$f_o = L_{MAX} - L_x + \delta L_{C_{konf}} + \delta L_{C_{MAX}} + \delta L_C$$

$$u^2(f_u) = c_x^2 u^2(L_x) + c_{MIN}^2 u^2(L_{MIN}) + c_k^2 u^2(\delta L_{C_{konf}}) + c_L^2 u^2(\delta L_{C_{MIN}}) + c_c^2 u^2(\delta L_C) =$$

$$c_{MAX}^2 u^2(L_{MAX}) + c_x^2 u^2(L_x) + c_k^2 u^2(\delta L_{C_{konf}}) + c_L^2 u^2(\delta L_{C_{MAX}}) + c_c^2 u^2(\delta L_C)$$

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.7	von: PF am: s. DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - L.VI Kalibrieren von Parallelendmaßen	5

mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$

$$U = k \cdot u(f_u) = k \cdot u(f_o) = 0,08 \mu\text{m}$$

L.VI.2 Parallelendmaße aus Keramik

Um den Materialeinfluss beim Vergleich von Keramikendmaßen mit Stahleindmaßen abzuschätzen wurden die Ergebnisse eines bilateralen Vergleichs mit der Kalibrierstelle von KOBA ausgewertet und zur Unsicherheitsbestimmung heran gezogen. Die Auswertung der En-Werte zeigte einen erhöhten längenabhängigen Einfluss, der sich durch Überhöhung der Messunsicherheit mit

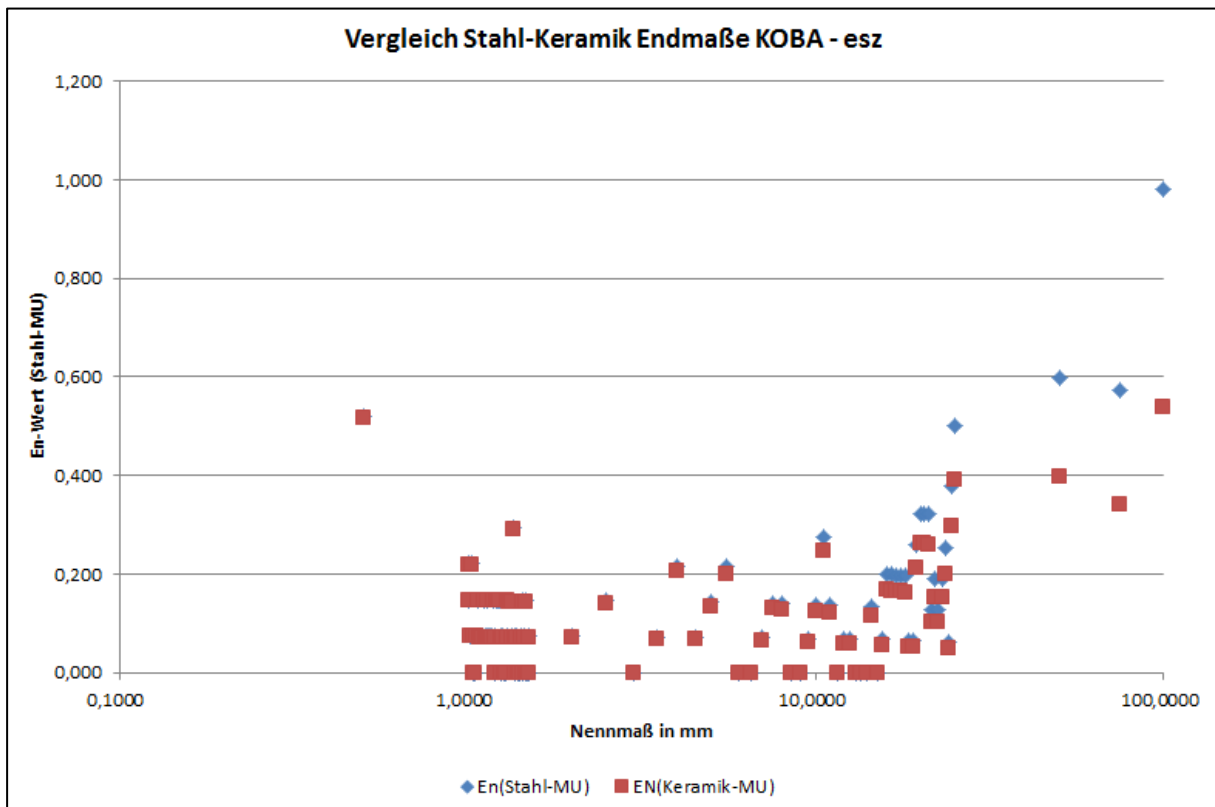
$$U_{Keramik} = 0,1 \mu\text{m} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot l$$

beschreiben lässt.

Die Zahlenwerte des Vergleichs sind der Tabelle

<K:\Intranet\DKD-QS\DKD\Ringvergleiche\intern\Länge\VergleichsmessungKeramikendmaßsatz esz-KOBA.xls>

zu entnehmen.



En-Auswertung vom 4.12.2012 zwischen KOBA und esz bei Vergleich gegen den Bezugsnormalendmaßkasten aus Stahl.

Ein Einfluss auf die Unterschiedsmessung war nicht messbar.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.7	von: PF am: s. DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - L.VI Kalibrieren von Parallelendmaßen	6



© esz AG, 2018

Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International zugänglich. Um eine Kopie dieser Lizenz einzusehen, konsultieren Sie <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> oder wenden Sie sich brieflich an Creative Commons, Postfach 1866, Mountain View, California, 94042, USA.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.7	von: PF am: s. DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - L.VI Kalibrieren von Parallelendmaßen	7