

Weshalb Schweizer Wellen so gut in deutsche Bohrungen passen

Bei der Kalibrierung zylindrischer Lehren darf sich das METAS zu einem der führenden Metrologieinstitute zählen. Das Labor Länge erbringt auf diesem Gebiet qualitativ hochstehende Dienstleistungen für zahlreiche Kunden weltweit. Entsprechend wichtig ist der Nachweis der Kompetenz in Messvergleichen und die darauf abstützende internationale Anerkennung der Messmöglichkeiten und Kalibrierzertifikate.

RUDOLF THALMANN

Zylindrische Lehren, also Lehrringe und Lehrdorne, haben in der Längenmesstechnik eine zentrale Bedeutung. Sie werden in der Fertigung verwendet, um die Einhaltung der Toleranzen von Bohrungen und Wellen zu überprüfen und letztlich deren perfekte Passung sicherzustellen.

Funktionsgerechte Passungen

So wird beispielsweise im ISO-Passungssystem für den Fall, wo Welle und Bohrung ohne merkliches Spiel noch beweglich sein sollen, das Toleranzfeld für die Bohrung mit H7, für die passende Welle mit g6 gefordert. Der Konstrukteur wird dann für ein «12-mm-Spiel» für die Bohrung in der Zeichnung $\varnothing 12$ H7 angeben, was bedeutet, dass der Durchmesser der Bohrung zwischen 12.000 mm und 12.018 mm liegen muss, während der Durchmesser der mit $\varnothing 12$ g6 tolerierten passenden Welle zwischen 11.983 mm und 11.994 mm liegen muss.

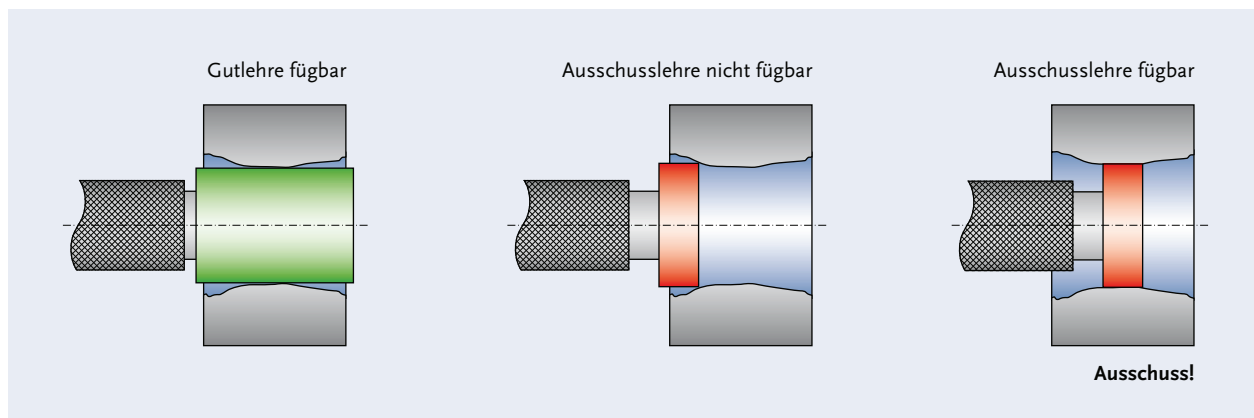
In der Fertigung sind die Werkstücke anschliessend möglichst effizient und funktionsgerecht auf ihre Masshaltigkeit zu prüfen. Dafür gibt es – je nach Anforderungen – eine Vielzahl verschiedenster Messgeräte, vom aufwendigen Koordinatenmessgerät über pneumatisch messende Geräte bis zu Bügelmessschrauben oder Innenmikrometern.

Am gängigsten, einfachsten und häufig funktionsgerechtesten ist die Prüfung mit sogenannten Grenzlehren. Der Taylor'sche Grundsatz besagt, dass eine *Gutlehre*, die das Maximum-Materialmass – bei einer Bohrung also den minimalen Durchmesser – verkörpert, ffügbar sein muss (Illustration 1). Ist sie nicht ffügbar, muss nachgearbeitet, also Material entfernt werden. Eine *Ausschusslehre*, die das Minimum-Materialmass – bei einer Bohrung also den maximal zulässigen Durchmesser – verkörpert, darf hingegen nicht ffügbar sein. Ist sie ffügbar (Illustration 1), wurde Ausschuss produziert.

Grosser Bedarf an kalibrierten Lehren

Der Vorteil der Lehrenprüfung liegt darin, dass sie funktionell und schnell ist. Sie kann auch von weniger qualifiziertem Personal durchgeführt werden. Als Nachteile sind die Abnützung sowie die verhältnismässig hohen Kosten für die Beschaffung und regelmässige Kalibrierung der Lehren aufzuführen, dies insbesondere, wenn eine Vielzahl verschiedener Masse zu prüfen ist, für die mindestens je ein Spiel von Lehren verfügbar sein muss.

Angesichts der Bedeutung der Lehrenprüfung für die industrielle Fertigung ergibt sich ein entsprechender Bedarf an zylindrischen Lehren, die kalibriert werden müssen. In der Schweiz gibt es mehrere Hersteller von Lehren und zwölf akkreditierte



1 Taylor'sches Prinzip der Lehrenprüfung: Die Gutlehre muss in die Bohrung ffügbar sein (Illustration links), die Ausschusslehre darf nicht ffügbar sein (Mitte). Ist sie ffügbar, wurde Ausschuss produziert (rechts).



2 METAS-Lehrenmessmaschine LMM5 zur Kalibrierung von zylindrischen Lehren, Gewindelehren und Stufenendmassen.

Laboratorien, die die Kalibrierung von zylindrischen Lehren in ihrem Geltungsbereich haben. Die Kalibrierung von Lehren erfolgt mit Längenmessgeräten, sogenannten Abbe-Komparatoren, stets im Vergleich mit kalibrierten Einstellringen oder Einstelldornen.

Die für Lehren zulässigen Toleranzen liegen bei $\pm 1.5 \mu\text{m}$. Um die geforderte Toleranz mit ausreichender Zuverlässigkeit bestätigen zu können, müssen die Lehren mit einer Messunsicherheit von $0.3 \mu\text{m}$ bis $0.5 \mu\text{m}$ kalibriert werden, was der besten Messmöglichkeit der akkreditierten Stellen entspricht. Daraus ergibt sich direkt die Anforderung an die Messunsicherheit für die als Referenznormale verwendeten Einstellringe und -dorne, die im Bereich von $0.1 \mu\text{m}$ liegen muss. Solch kleine Messunsicherheiten können nur einige wenige nationale Metrologieinstitute anbieten.

Die METAS-Lehrenmessmaschine erfüllt höchste Ansprüche

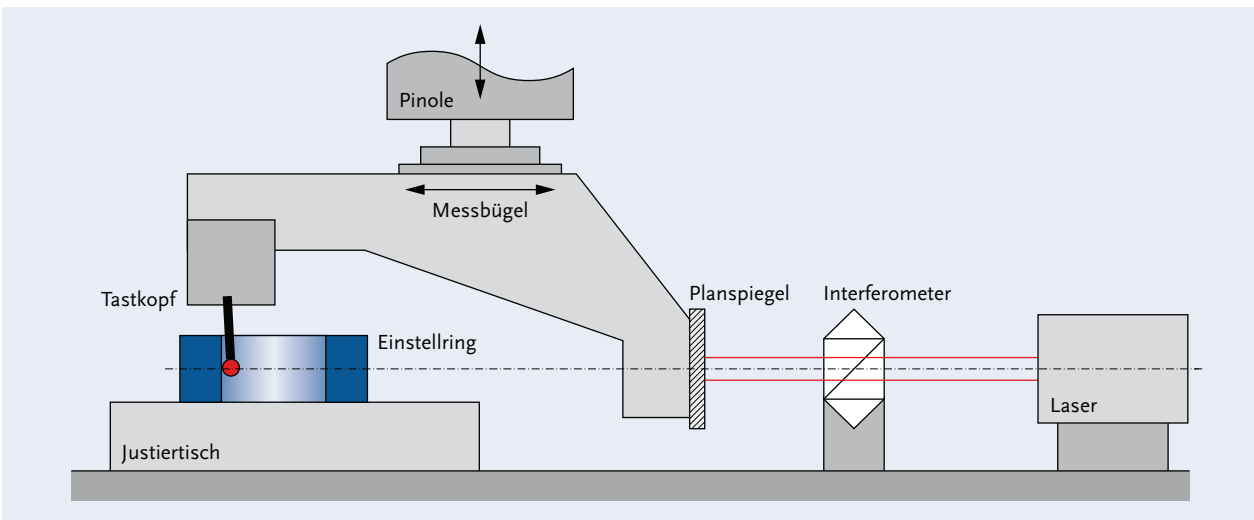
Um dem Bedarf an erhöhter Messgenauigkeit für zylindrische Lehren gerecht zu werden, hatte das METAS vor bald 15 Jahren in Zusammenarbeit mit der damaligen Schweizer Firma SIP (Société Genevoise d'Instruments de Physique) eine Messmaschine entwickelt [1]. Ein kommerzielles Gerät hätte die hohen Anforderungen nicht erfüllen können. Dennoch wurde versucht, möglichst viele Elemente von einem bestehenden Koordinatenmessgerät zu übernehmen.

Bild 2 zeigt die Lehrenmessmaschine LMM5, deren obere Hälfte (Portal mit horizontaler und vertikaler Führung) mit dem damaligen Koordinatenmessgerät SIP CMM5 praktisch identisch ist. Sämtliche tragenden Elemente bestehen aus Grauguss. Das Maschinenbett, der Tisch und die Stützen wurden speziell für diese Maschine von SIP konstruiert und als Einzelstücke gegossen. Die Motorisierung, die Steuerung, das Messsystem, das vielfältige mechanische Zubehör und die Software wurden von Spezialisten des METAS entwickelt und gefertigt.

Bild und Illustration 3 zeigen schematisch das Prinzip für die Messung des Innendurchmessers eines Einstellringes. Der Messkopf in Form eines Bügels ist der bewegliche Teil. Er umfasst den Tastkopf und den Planspiegel als Reflektor für das Interferometer. Die zu kalibrierende Lehre und das Interferometer sind ortsfest mit dem Tisch verbunden. Das Laser-Interferometer misst die Abstandsänderung zwischen Interferometer und Spiegel und damit die gefahrene Wegstrecke zwischen den beiden Antastpunkten auf jeder Seite des zu kalibrierenden Durchmessers. Für Aussendurchmesser kann der Messbügel um das Messobjekt herumfahren, ohne den vom Spiegel reflektierten Laserstrahl zu verlieren.

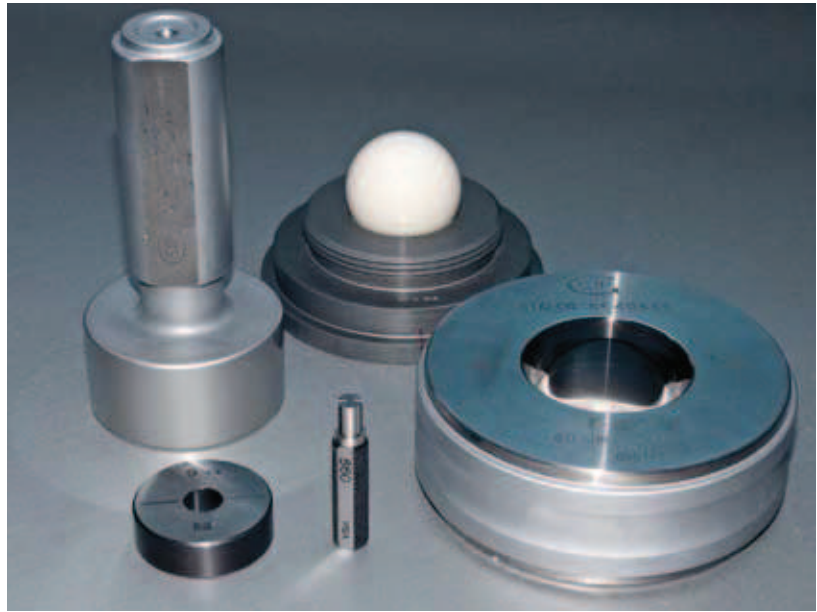
Grundprinzipien der Längenmesstechnik

Bei der Konzeption des Messaufbaus wurde auf die möglichst strikte Einhaltung der grundlegenden Prinzipien der Längenmesstechnik geachtet:



3 Messprinzip für die Kalibrierung eines Einstellringes unter Einhaltung des Abbe-Prinzips.

- Die interferometrische Längenmessung garantiert eine hohe Genauigkeit und eine möglichst direkte Rückverfolgbarkeit der Messergebnisse auf die mit Hilfe von stabilisierten Lasern realisierte Meterdefinition.
- Das Abbe-Prinzip fordert, dass die zu messende Länge möglichst kollinear zum Bezugsmaßstab, also zum messenden Laserstrahl ist, damit allfällige Führungsfehler der Bewegung keinen Einfluss haben. Bild und Illustration 3 zeigen, dass das Abbe-Prinzip strikte eingehalten wird.
- Wesentlich für unverfälschte und wiederholbare Messungen sind kompakte und stabile Messkreise. Der obere Messkreis zwischen Tastkopf und Spiegel wird durch einen formstabilen Messbügel aus Grauguss gebildet. Während der Verschiebung des Messbügels muss insbesondere der Abstand zwischen Prüfling und Interferometer – also der Messkreis, der durch den Gusstisch gebildet wird – absolut unverändert bleiben. Dank der kinematischen Auflage des Tisches ist eine Krafteinwirkung bei einer Deformation des Portals durch Gewichtsverschiebung bei der Bewegung der horizontalen Achse ausgeschlossen.
- Eine entscheidende Rolle spielt natürlich das Tastsystem, mit dem die Messflächen angetastet werden. Die Auslenkung des mit Federstahllamellen parallel geführten Tastelementes – eine Saphirkugel – wird induktiv gemessen und bietet eine Antastwiederholbarkeit von wenigen Nanometern. Durch Messung bei verschiedenen Tasterauslenkungen kann auf den messkraftfreien Antastpunkt extrapoliert werden, womit sämtliche, durch die Messkraft erzeugten Fehler eliminiert werden.
- Der korrekten Ausrichtung des Prüflings zur Messrichtung muss größte Beachtung geschenkt werden. Dank dem Justiertisch mit drei Bewegungsfreiheitsgraden kann der zu kalibrierende Ring oder Dorn so ausgerichtet werden, dass die Zylinderachse exakt senkrecht zur Messrichtung steht und auch wirklich der grösste Durchmesser und nicht eine zu kleine Sehne gemessen wird. Gerade diese kritische Umkehrpunktsuche bedingt für die seitliche Verschiebung des Tisches eine qualitativ hochstehende Führung.



4 Lehren, wie sie im Messvergleich zirkuliert sind.

Vielfältige Kalibrierdienstleistungen

Mit der Lehrenmessmaschine (Bild 2) können nicht nur zylindrische Lehren, sondern auch Gewindelehren, Stufenendmasse und Massstäbe kalibriert werden (Messmöglichkeiten siehe Kasten 5). Die beste Messunsicherheit des METAS für Innen- und Aussendurchmesser, die auch im Rahmen des CIPM-MRA [2] international anerkannt ist, beträgt $0.07 \mu\text{m}$.

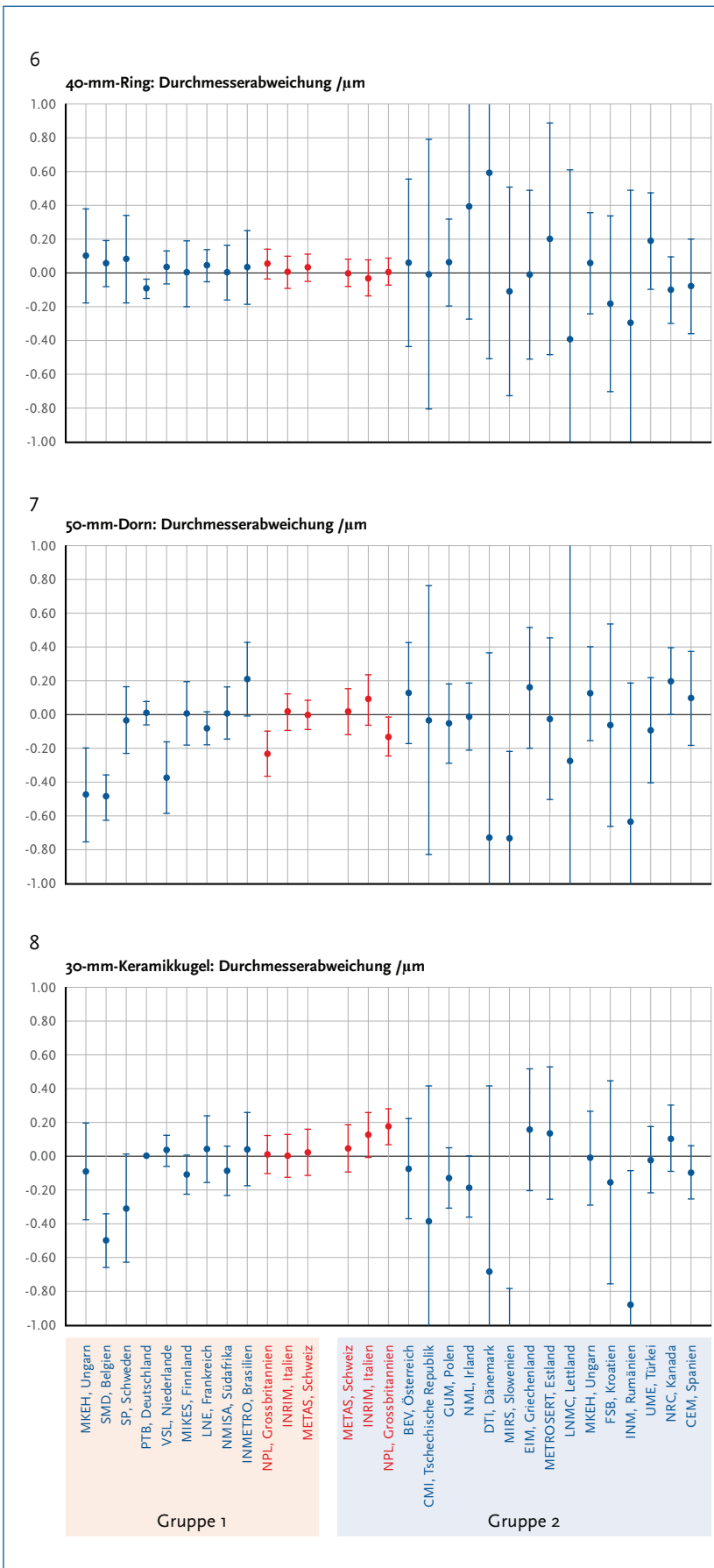
Zum Standardkalibrierumfang für zylindrische Lehren gehört neben dem *Durchmesser auf drei Höhen* auch die Kalibrierung der *Rundheit auf den Messhöhen* sowie der *Geradheit* und der *Parallelität der Mantellinien*. Die genaue Kenntnis der Formabweichung ist nicht nur für das METAS zur Ermittlung der Messunsicherheit notwendig, sondern auch für den Anwender,

damit er abzuschätzen in der Lage ist, wie genau er das Mass der Referenzlehre übernehmen kann, wenn die nominellen Messbedingungen nicht exakt eingehalten werden können.

Die Lehrenmessmaschine wurde mittlerweile zu einer Erfolgsgeschichte des METAS. Sie ist das bestausgeladete Messgerät des Labors *Länge* und praktisch dauernd für Kundenaufträge im Einsatz. So werden jährlich beispielsweise gut 100 Kalibrierzertifikate für Dorne, knapp 200 Zertifikate für Ringe und etwa 80 Zertifikate für Prüfstifte mit einem Umsatz von rund CHF 170 000 ausgestellt. Zu den Kunden zählen nicht nur Kalibrierlaboratorien aus der Schweiz, sondern aus der ganzen Welt, mit Schwerpunkt in der EU, aber auch im nordamerikanischen und asiatischen Raum.

Messmittel	Messbereich	Messunsicherheit U_{95}
Einstellringe	$1 \text{ mm} \leq L \leq 160 \text{ mm}$	$\sqrt{(63 \text{ nm})^2 + (0.28 \cdot 10^{-6} L)^2}$ $\approx 63 \text{ nm} + 0.09 \cdot 10^{-6} L$
Einstellringe	$160 \text{ mm} \leq L \leq 350 \text{ mm}$	$\sqrt{(67 \text{ nm})^2 + (0.62 \cdot 10^{-6} L)^2}$ $\approx 29 \text{ nm} + 0.57 \cdot 10^{-6} L$
Einstelldorne	$1 \text{ mm} \leq L \leq 200 \text{ mm}$	$\sqrt{(63 \text{ nm})^2 + (0.28 \cdot 10^{-6} L)^2}$ $\approx 63 \text{ nm} + 0.11 \cdot 10^{-6} L$
Einstelldorne	$200 \text{ mm} \leq L \leq 400 \text{ mm}$	$\sqrt{(67 \text{ nm})^2 + (0.62 \cdot 10^{-6} L)^2}$ $\approx 25 \text{ nm} + 0.58 \cdot 10^{-6} L$
Gewindelehren	$0.5 \text{ mm} \leq \text{Steigung} \leq 6 \text{ mm}$ Kerndurchmesser Innengewinde $\geq 3 \text{ mm}$	Flanken-Ø: $1.8 \mu\text{m}$ Steigung: $1 \mu\text{m}$, Flankenwinkel: $2'$
Strichmasse	$1 \text{ mm} \leq L \leq 600 \text{ mm}$, Teilung $\geq 0.1 \text{ mm}$	$200 \text{ nm} + 2 \cdot 10^{-6} L$
Stufenendmasse	$L \leq 1000 \text{ mm}$	$\sqrt{(170 \text{ nm})^2 + (0.64 \cdot 10^{-6} L)^2}$ $\approx 170 \text{ nm} + 0.36 \cdot 10^{-6} L$

5 Messmöglichkeiten mit der Lehrenmessmaschine des METAS.

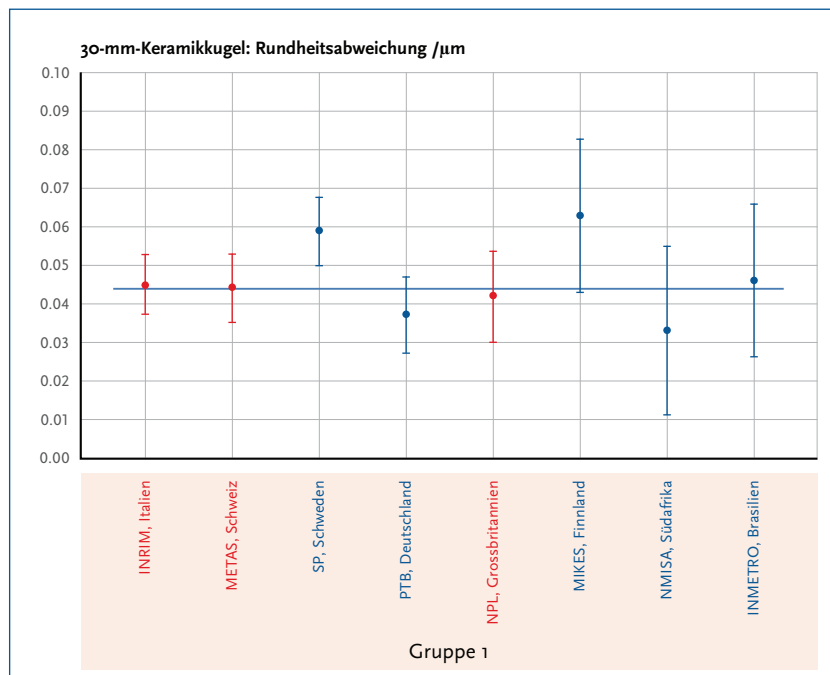


Die Resultate aller Diagramme zeigen die Abweichung vom Referenzwert, die Unsicherheitsbalken entsprechen der mit $k=2$ erweiterten Messunsicherheit.

6 Ergebnisse des Messvergleichs für den Durchmesser des 40-mm-Rings.

7 Ergebnisse des Messvergleichs für den Durchmesser des 50-mm-Dorns.

8 Ergebnisse des Messvergleichs für den Durchmesser der 30-mm-Keramikkugel.



9 Ergebnisse des Messvergleichs für die Rundheit der 30-mm-Keramikkugel.

Weltweiter Messvergleich

Im Rahmen des Abkommens zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierzertifikate [2] müssen regelmässig Messvergleiche durchgeführt werden. Angesichts der Bedeutung des internationalen Marktes für das METAS sind gute Resultate in solchen Messvergleichen äusserst wichtig, um die deklarierten Messmöglichkeiten bestätigen zu können. Kürzlich wurde ein grosser, im Rahmen der europäischen Metrologieorganisation EURAMET durchgeführter Messvergleich für Durchmesser normale abgeschlossen.

Am Schlüsselvergleich EURAMET.L-K4 nahmen die Laboratorien von 26 nationalen Metrologieinstituten teil, 23 aus Europa, die übrigen aus Kanada, Brasilien und Südafrika. Angesichts der grossen Anzahl Teilnehmer wurden zwei Gruppen gebildet: In der ersten Gruppe waren die Laboratorien eingeteilt, deren beste Messunsicherheit bei 0,2 µm oder kleiner liegt, in der zweiten Gruppe die Laboratorien mit grösseren Messunsicherheiten. Drei Laboratorien (INRIM aus Italien, NPL aus Grossbritannien und das METAS), die in beiden Gruppen teilnahmen, werden die Resultate der beiden Teilvergleiche verknüpfen. Als Pilotlabors fungierten das INRIM für die Gruppe 1 und das ungarische Institut MKEH für die Gruppe 2.

Das METAS war beim Entwurf des technischen Protokolls sowie bei der Beschaffung und Qualifizierung geeigneter Lehren behilflich. In beiden Gruppen zirkulierten je zwei Ringe (Durchmesser 40 mm und 3,5 mm), zwei Dorne (Durchmesser 50 mm und 4 mm) sowie eine Kugel aus Keramik mit Durchmesser 30 mm. Bild 4 zeigt eine Auswahl der Lehren, wie sie verglichen wurden. Die zu bestimmende Messgrösse waren der Durchmesser in eine vorgegebene Messrichtung für sämtliche Lehren sowie die Rundheitsabweichung der Kugel im Äquator.

Das Diagramm 6 zeigt die Ergebnisse des Messvergleichs für den Durchmesser des 40-mm-Rings, Diagramm 7 für den Durchmesser des 50-mm-Dorns. Die Resultate sind als Abweichungen vom Referenzwert dargestellt. Die Referenzwerte wurden aus dem mit der jeweiligen Messunsicherheit gewichteten Mittelwert ermittelt, nach allfälligem Ausschluss von Resultaten, die statistisch nicht konsistent waren. Rot hinterlegt sind die Ergebnisse der Labors, die in beiden Gruppen teilnahmen und die Verknüpfung der Ergebnisse der beiden Gruppen gewährleisten.

Ein Resultat eines teilnehmenden Labors kann dann als zufriedenstellend betrachtet werden, wenn sich der Balken der erweiterten Messunsicherheit ($k=2$) mit dem Referenzwert (Nulllinie) überschneidet. Die Diagramme 6 bis 9 zeigen, dass die Werte des METAS sehr nahe beim Referenzwert liegen und die ermittelte Messunsicherheit bestätigt werden konnte. Es zeigt sich auch, dass nur sehr wenige Metrologieinstitute wie das METAS Messunsicherheiten von 0,1 µm oder kleiner angeben können.

Interpretation der Ergebnisse

Eine Auswertung sämtlicher, auch hier nicht gezeigter Resultate zeigt weiter, dass die Abweichungen für Innendurchmesser (Ringe) generell kleiner sind als für Aussendurchmesser (Dorne). Dies hängt wohl damit zusammen, dass der Einfluss der Tastergeometrie – viele Labors verwenden Flachtaster, die häufig Ebenheits- und Parallelitätsfehler aufweisen – oft unterschätzt wird und die Formabweichung der im Messvergleich verwendeten Dorne eher grösser war.

Aus den Diagrammen 6 bis 9 geht ebenfalls hervor, dass die Abweichungen eher gegen kleinere Werte tendieren, eine Tat-

sache, die bereits in früheren Messvergleichen beobachtet wurde. Für die Durchmesserbestimmung von Ringen liess sich dies damit erklären, dass bei der sogenannten Umkehrpunktsuche der grösste Durchmesser nicht gefunden werden konnte, bei der Kalibrierung von Dornen mit Flachtastern würde man für die häufigsten Fehler bei der Antastung (Geometriefehler der Taster, Ausrichtfehler durch Verkipfung) allerdings eher grössere Werte erwarten.

Die in Diagramm 8 gezeigten Werte des Messvergleichs für den Durchmesser der 30-mm-Keramikkugel zeigen ein ähnliches Bild wie die Ergebnisse für die zylindrischen Lehren. Auch hier stimmen die METAS-Resultate ausgezeichnet mit den Referenzwerten überein. Diagramm 9 zeigt schliesslich die Ergebnisse des Messvergleichs für die Rundheitsabweichung der 30-mm-Keramikkugel für die Gruppe 1. Der Referenzwert für die Rundheitsabweichung beträgt 44 nm und entspricht exakt dem Wert des METAS. Vier Laboratorien (NPL, PTB, INRIM und METAS) waren in der Lage, eine Messunsicherheit von ca. 10 nm oder besser anzugeben.

Weiterhin zuverlässige Dienstleistungen

Die Resultate der Messvergleiche haben die Messmöglichkeiten des METAS für die Lehrenkalibrierung voll und ganz bestätigt und tragen zur Validierung unserer Messverfahren bei. Sie belegen auch, dass das METAS auf diesem Gebiet zu den führenden Metrologieinstituten gehört. Das METAS wird im Verlaufe dieses Jahres die Steuerung und die Software der

Lehrenmessmaschine modernisieren, um die Zuverlässigkeit und Effizienz der Dienstleistungen weiterhin gewährleisten zu können. Dies soll mit einem minimalen Betriebsunterbruch realisiert werden und nur geringfügige Lieferverzögerungen für die Kundschaft verursachen.

Referenzen

- [1] Rudolf Thalmann: Erhöhte Messgenauigkeit für Lehren dank neuer Längenmessmaschine, OFMETinfo, Vol. 3, Nr. 2, p. 22, 1996.
- [2] CIPM MRA, internationales Abkommen zwischen nationalen Metrologieinstituten zur gegenseitigen Anerkennung der nationalen Normale und der Kalibrierzertifikate, www.bipm.org/en/cipm-mra.



Dr. Rudolf Thalmann,
Sektionschef Länge, Optik und Zeit,
Direktwahl +41 31 32 33 385,
rudolf.thalmann@metas.ch.

Le secret de l'accord parfait entre les arbres suisses et les alésages allemands

Utilisées dans la production, les jauges cylindriques permettent de contrôler le respect des tolérances des alésages et des arbres. En raison de l'importance du contrôle par jaugeage dans la production industrielle, le besoin en étalonnage est d'autant plus marqué.

Les tolérances autorisées pour les calibres sont de l'ordre de $\pm 1.5 \mu\text{m}$. Pour pouvoir confirmer la tolérance souhaitée avec une fiabilité suffisante, les jauges doivent être étalonnées avec une incertitude de mesure de $0.3 \mu\text{m}$ à $0.5 \mu\text{m}$, ce qui correspond à la possibilité de mesure la plus poussée des laboratoires accrédités. Par conséquent, il en résulte aussitôt une incertitude de mesure exigée de l'ordre de $0.1 \mu\text{m}$ pour les bagues et les tampons étalons utilisés comme standards de référence.

Pour l'étalonnage de jauges cylindriques, METAS fait partie des instituts de métro-

Il segreto del perfetto accordo tra alberi elvetic e alesaggi tedeschi

Per verificare che vengano rispettati i limiti di tolleranza delle trivellazioni e degli alberi per perforazione, nella produzione si utilizzano calibri cilindrici. Considerata l'importanza del controllo dei calibri per la produzione industriale, ne risulta un corrispondente fabbisogno di taratura.

I limiti ammissibili di tolleranza per i calibri si situano a $\pm 1.5 \mu\text{m}$. Per poter confermare con sufficiente affidabilità i limiti di tolleranza richiesti, i calibri devono essere tarati con un'incertezza di misura compresa tra $0.3 \mu\text{m}$ e $0.5 \mu\text{m}$, che corrisponde alla migliore possibilità di misurazione dei laboratori accreditati. Ne risulta direttamente l'esigenza relativa all'incertezza di misura per gli anelli di centraggio e le spine di registro utilizzati come campioni di riferimento, che deve essere dell'ordine di $0.1 \mu\text{m}$.

Why Swiss shafts fit perfectly into German bore-holes

Cylindrical gauges are used to ensure adherence to bore-hole and shaft tolerances during manufacture. In view of the importance of gauging for industrial manufacture, there is a corresponding demand for calibration.

The permissible tolerances for gauges are of the order of $\pm 1.5 \mu\text{m}$. In order to be able to confirm the requisite tolerance with sufficient reliability, the gauges must be calibrated with a measurement uncertainty of $0.3 \mu\text{m}$ to $0.5 \mu\text{m}$, which represents the best measurement capabilities of the accredited laboratories. From this it follows directly that the measurement uncertainty for the setting ring and plug gauges used as reference standards must be of the order of $0.1 \mu\text{m}$.

METAS is entitled to count itself among the leading metrology institutes for the calibration of cylindrical gauges. With the

logie de pointe. Grâce à sa machine de mesure (photo 2), elle obtient pour l'éta- lonnage de diamètres intérieurs et exté- rieurs une meilleure incertitude de mesure de $0.07 \mu\text{m}$, valeur reconnue au niveau international dans le cadre de l'arrange- ment MRA du CIPM [2].

L'analyse de la comparaison de mesures pour les étalons de diamètres, effectuée récemment dans le cadre de EURAMET avec 26 instituts de métrologie nationaux, montre que les valeurs obtenues par METAS sont très proches de la valeur de référence (diagrammes 6 à 9). Elle confirme également que les incertitudes de mesure indiquées par METAS jusque-là sont cor- rectes. De plus, la comparaison des mesu- res a mis en évidence que les instituts de métrologie capables d'indiquer des incer- titudes de mesure égales ou inférieures à $0.1 \mu\text{m}$ ne sont que peu nombreux.

Il METAS può essere considerato uno degli istituti di metrologia leader nella taratura di calibri cilindrici. Per le calibrature di diametri interni ed esterni con il banco di misura di calibri (fotografie 2) si ottiene la migliore incertezza di misura possibile pari a $0.07 \mu\text{m}$, che è riconosciuta a livello internazionale nell'ambito del CIPM- MRA [2].

L'interpretazione della misurazione comparativa per campioni di riferimento di diametri, ultimata di recente dall'Orga- nizzazione europea di metrologia EURA- MET con la partecipazione di 26 istituti nazionali di metrologia mostra che i valori del METAS sono molto vicini al valore di riferimento (diagrammi 6 a 9). Tale inter- pretazione conferma anche che le incer- tezze di misura dichiarate finora dal METAS sono corrette. La misurazione comparativa ha dimostrato inoltre che solo pochissimi istituti di metrologia sono in grado di dichiarare incertezze di misura di $0.1 \mu\text{m}$ o inferiori.

aid of a length measuring machine (pic- ture 2), it achieves a best measurement capability of $0.07 \mu\text{m}$ for the calibration of internal and external diameters, recog- nised internationally within the frame- work of CIPM-MRA [2].

An evaluation of the recently completed measurement comparison for diameter standards conducted by the European Association of National Metrology Insti- tutes (EURAMET), in which 26 national metrology institutes participated, shows that the METAS values are very close to the reference value (diagrams 6 to 9). It also confirms that the measurement uncertainties that have been quoted by METAS to date are correct. Moreover, the measurement comparison shows that very few metrology institutes can claim measurement uncertainties of $0.1 \mu\text{m}$ or less.



■ Innovative, ultrapräzise Messgeräte für Geradheit, Rechtwinkigkeit und Länge. Herstellung von hochgenauen Prüfmittel in verschiedenen Materialien. Schweizerischer Kalibrierdienst SCS.

■ Innovative, ultra-precise measuring devices for straightness, squareness and length. Manufacturing of high accurate standards from various materials.

Kunz precision AG
 CH-4800 Zofingen
 Switzerland
 Fon +41 62 746 00 20
 mailbox@kunz-precision.ch
 www.kunz-precision.ch

SWISS CALIBRATION
 S Schweizerischer Kalibrierdienst (Reg.-Nr. 000)
 C Service suisse d'étalonnage
 S Servizio di taratura in Svizzera
 S Swiss Calibration Service

kunz precision