

# Masstabvergleich bestätigt METAS-Kompetenz

Die europäische Metrologieorganisation EURAMET führte im Bereich der dimensionellen Messgrößen einen Schlüsselvergleich (Key Comparison) durch, woran sich weltweit 30 nationale Metrologieinstitute (NMI) beteiligten. Mit diesem Vergleich wurden die Mess- und Kalibriermöglichkeiten für Strukturabstände auf Glasmasstäben validiert. Das Bundesamt für Metrologie (METAS) beteiligte sich, zusammen mit dem britischen National Physical Laboratory (NPL), als sogenanntes Linking Lab.

FELIX MELI, DANIEL SCHNEEBERGER

Im Rahmen der internationalen Vereinbarung zur gegenseitigen Anerkennung nationaler Normale und von Kalibrier- und Messzertifikaten [1] haben die nationalen Metrologieinstitute regelmässig Messvergleiche durchzuführen. Angesichts der Bedeutung des internationalen Marktes für die Kunden des METAS sind gute Resultate in solchen Messvergleichen wichtig. Kürzlich ist innerhalb der europäischen Metrologieorganisation EURAMET ein grosser Messvergleich für Strichmasse abgeschlossen worden.

## Weltweiter Messvergleich

An diesem überregionalen Vergleich mit der Bezeichnung EURAMET.L-K7 nahmen 30 nationale Metrologieinstitute teil, davon 20 aus Europa, vier aus dem ostasiatischen Raum, vier aus dem amerikanischen Kontinent und zwei aus dem Gebiet der ehemaligen Sowjetunion. Acht Teilnehmer hatten zuvor am Nano3-Vergleich des Konsultativkomitees für die Länge (CCL) des Internationalen Büros für Mass und Gewicht (BIPM) teilgenommen, darunter das METAS [2].

Pilotlabor des EURAMET-Vergleichs war das slowenische Institut MIRS. Da sehr viele NMI teilnahmen, wurde der Messvergleich in zwei Gruppen durchgeführt. Das NPL und das METAS erklärten sich bereit, als Linking Labs die Resultate der beiden Gruppen zu verbinden und die Stabilität der Normale durch Messungen zu Beginn und am Ende des Messvergleichs zu bestimmen.

Ziel war es, den teilnehmenden Labors die Möglichkeit zu geben, ihre deklarierten Messmöglichkeiten innerhalb des MRA bestätigen zu können. Die Messungen dauerten von Juli 2006 bis Juni 2008.

## Transferrnormale und Messgrösse

Als Transferrnormale dienten zwei identische, hochwertige Masstäbe von 100 mm Länge aus Quarzglas, die das NPL zur Verfügung stellte. Auf einem Glasträger mit den Abmessungen 115 mm x 20 mm x 2,35 mm wurde eine Skala von 100 mm Länge sowie verschiedene Markierungen und Bezeichnungen aus einer dünnen Chromschicht lithographisch aufgebracht.

Zu bestimmen waren alle Abstände der Linien im Bereich von 0 bis 100 mm mit einem Intervall von 5 mm sowie zusätzlich

im Bereich von 0 bis 1 mm mit einem Intervall von 0,1 mm. Jeder Teilnehmer lieferte somit 30 Messwerte. Eine Linienposition war dabei durch beide Kanten definiert, ermittelt in einem zentralen Bereich mit 50 µm Länge (Illustration 1).

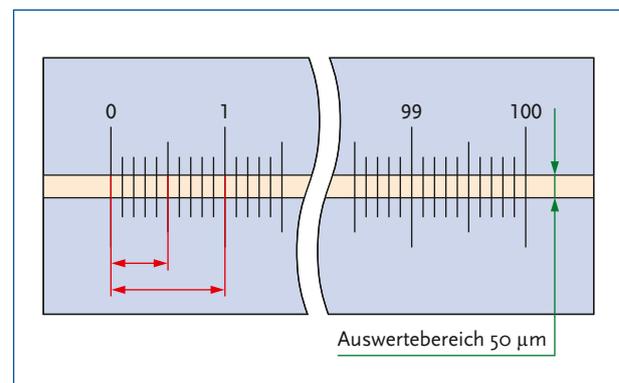
## Die METAS-Photomasken-Messmaschine

Für die Messungen am METAS wurde eine bereits im Jahr 2001 in eigener Regie entwickelte Photomasken-Messmaschine verwendet (Bild 2). Es handelt sich dabei um ein optisches Zweikoordinaten-Messgerät mit einem Messbereich von 400 mm x 300 mm. Die zu vermessenden Strukturen werden mit einem Auflichtmikroskop erfasst und mittels digitaler Bildverarbeitung ausgewertet.

Dank einem präzisen, luftgelagerten X-Y-Verschiebetisch, einem differentiellen Zweiaachsen-Interferometer sowie einem Referenzspiegelträger aus temperaturstabiler Glaskeramik (Zerodur) werden Messunsicherheiten von wenigen 10 nm erreicht. Entscheidend für die geringe Messunsicherheit ist ebenfalls die speziell konzipierte Messkabine im Reinraumbereich des METAS, die eine konstante Temperatur von 20 °C mit Schwankungen von nur wenigen hundertstel Grad gewährleistet. Die Messkabine ist als Reinraum der Klasse 100 ausgelegt.

## Zeitliche Stabilität der Transferrnormale

Um die zeitliche Stabilität der Transferrnormale während der Dauer des Vergleichs überprüfen zu können, haben das NPL und das METAS die Normale zu Beginn und zwei Jahre später, am Ende des Vergleichs gemessen.



1 Definition der Messgrösse mit Auswertebereich und Messlinie.



2 Die Glasmassstäbe wurden im METAS auf der optischen Photomasken-Messmaschine gemessen, die sich in einer Reinraumkabine der Klasse 100 befindet.

Durch die erneute Messung aller 30 Linien wurde nicht nur die Stabilität des Trägermaterials verifiziert, sondern auch die Stabilität einzelner Linien; es ging darum zu evaluieren, ob diese Linien durch Kratzer, Verschmutzungen oder unterschiedliche Reinigungsprozesse beeinträchtigt worden sind.

Die grössten von METAS gemessenen Differenzen von 6 nm beim Massstab A bzw. von 12 nm beim Massstab B lagen im Bereich der Messunsicherheit (Diagramm 3). Das NPL kam mit einer etwas grösseren Messunsicherheit zum gleichen Ergebnis. Da keine systematischen Veränderungen nachgewiesen werden konnten, war es nicht erforderlich, für die Auswertung des Vergleichs Driftkorrekturen vorzunehmen.

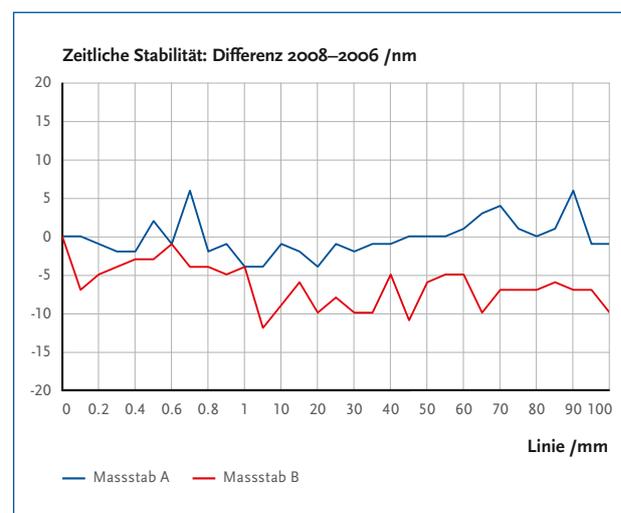
Bei einem Vergleich berechnet jedes Labor zunächst seine Messunsicherheit, ohne die zeitliche Stabilität zu berücksichtigen. Durch einen zusätzlichen Beitrag zur Messunsicherheit vor der Berechnung des Referenzwerts werden die Messwerte über den ganzen Zeitraum des Vergleichs gültig. Die Messungen von NPL und METAS erlaubten es, diesen Beitrag zu bestimmen.

### Berechnung der Referenzwerte durch Verknüpfen der Gruppen

Zu Beginn des Vergleichs war noch nicht festgelegt worden, wie die Resultate der beiden Gruppen am Schluss miteinander verknüpft werden sollten. Die Auswertung sollte jedoch beide Gruppen gleichwertig behandeln und nicht, wie bisher üblich, die Resultate der einen Gruppe hierarchisch den Resultaten der anderen Gruppe überordnen.

Bei einer ersten provisorischen Auswertung wurden zunächst die Abweichungen zu den jeweils unabhängig voneinander ermittelten Referenzwerten verglichen. Die Bestimmung des Grades der gegenseitigen Übereinstimmung von zwei Labors, die in verschiedenen Gruppen am Vergleich teilgenommen hatten, war so nicht direkt möglich.

Abhilfe schaffte ein neues Verfahren, das auf der Methode der verteilten Verknüpfung durch Bayes'sche Annäherung basiert [3]. Um die Referenzwerte für die beiden Massstäbe der Gruppen A und B zu ermitteln, wurden die Messungen entsprechend den abgeschätzten Messunsicherheiten gewichtet und jeweils durch die Korrelation der Messungen der Linking Labs auch mit den gewichteten Resultaten der jeweils anderen Gruppe verknüpft (Distributed Linking). Das METAS hatte diese neue Methode erstmals auf die Resultate des Vergleichs angewendet und damit die Auswertung entscheidend beeinflusst. Nicht konsistente Resultate wurden Schritt für Schritt von der Berechnung der Referenzwerte ausgeschlossen, bis das Birge-Kriterium [4] erfüllt war, also bis Konsistenz erreicht wurde.



3 Stabilitätsmessungen des METAS an den Massstäben beider Gruppen: Angegeben ist die Differenz der Messungen zu Beginn und am Ende des Vergleichs. Die grössten gemessenen Differenzen von 6 nm beim Massstab A bzw. 12 nm beim Massstab B lagen im Bereich der Messunsicherheit.

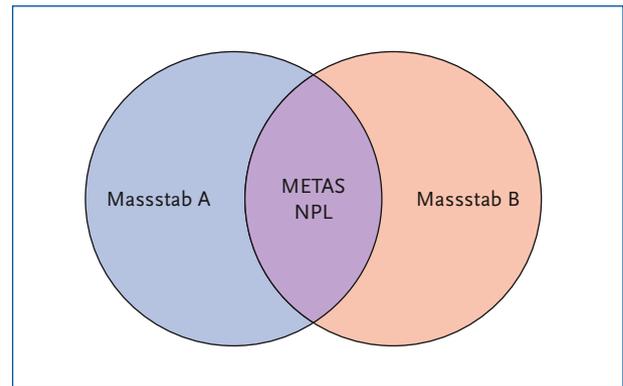
### Kompetenz des METAS bestätigt

Die mehrheitlich selbst gebauten Geräte und die angewendeten Methoden der 30 Teilnehmer waren sehr unterschiedlich. Dies hatte zur Folge, dass die erzielten Standardmessunsicherheiten im sehr grossen Bereich zwischen 6 nm und 823 nm auseinanderlagen. Bei der Berechnung der Referenzwerte wurden die Resultate so bewertet, dass die NMI mit den kleinsten Messunsicherheiten das grösste Gewicht hatten.

Das Diagramm 5 zeigt auszugsweise das Resultat für das längste Intervall von 100 mm. Die Labors auf der linken und auf der rechten Seite des Diagramms haben zwei unterschiedliche Normale gemessen. Angegeben ist jeweils die Abweichung zu den beiden unterschiedlichen Referenzwerten. Sie sind miteinander verknüpft durch die Messungen des NPL und des METAS.

Das Resultat eines teilnehmenden Labors kann dann als zufriedenstellend betrachtet werden, wenn sich der Balken der erweiterten Messunsicherheit ( $k = 2$ ) mit dem Referenzwert, also mit der Nulllinie, überschneidet.

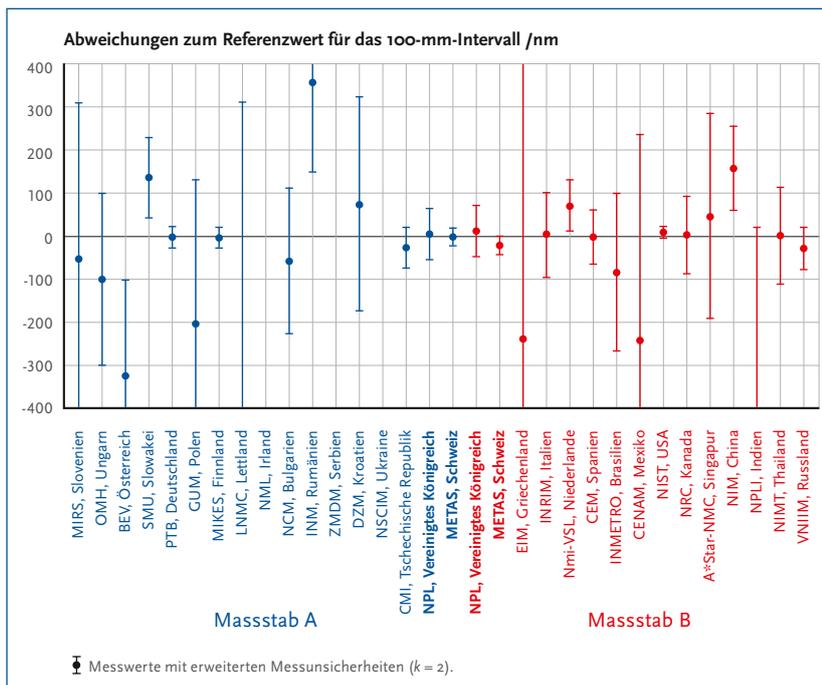
Alle vom METAS bestimmten Werte, also je 30 Linien auf jedem der beiden Glasmassstäbe, sind mit den Referenzwerten kompatibel. Sie weisen zudem sehr kleine Messunsicherheiten zwischen 16 nm und 21 nm auf. Das bestätigt, dass die bisherigen Einträge des METAS in den *Calibration and Measurement Capabilities (CMC)* des *Internationalen Büros für Mass und Gewicht (BIPM)* korrekt sind. Die CMC für alle Bereiche können unter <http://kcdb.bipm.org> eingesehen werden.



4 Aufgabe der Linking Labs NPL und METAS war es, die Resultate der Teilnehmer der Gruppe A mit den Resultaten der Teilnehmer der Gruppe B zu verbinden.

### Referenzen

- [1] Mutual Recognition Arrangement (MRA), internationale Vereinbarung zur gegenseitigen Anerkennung nationaler Normale und von Kalibrier- und Messzertifikaten nationaler Metrologieinstitute, 14. Oktober 1999, [www1.bipm.org/utis/en/pdf/mra\\_2003.pdf](http://www1.bipm.org/utis/en/pdf/mra_2003.pdf).
- [2] H. Bosse, W. Hässler-Grohne, J. Flügge, R. Köning: Final report on CCL-S3 supplementary line scale comparison Nano3, *Metrologia*, 40, Tech. Suppl., 04002, 2003.
- [3] M. Krystek, H. Bosse: A Bayesian approach to the linking of key comparisons, personal communication.
- [4] R. T. Birge: The calculation of errors by the method of least squares, *Phys. Rev.* 40, pp. 207–227, 1932



5 Verknüpfte Resultate der Gruppen A und B für das 100-mm-Intervall: Aufgetragen sind die Abweichungen zum jeweiligen Referenzwert der beiden Gruppen.