

# Vorstoss in neue Dimensionen

Mit immer kleineren Strukturen, komplexeren Systemen und steigenden Anforderungen an die Umgebungsbedingungen stösst die moderne Fertigungstechnologie gleich in mehrfacher Hinsicht in neue Dimensionen vor und stellt die Längenmesstechnik vor herausfordernde Aufgaben. Dank neuen Labors und neuen Einrichtungen kann METAS mit dieser Entwicklung Schritt halten und auch künftig die geforderte Qualität in der dimensionellen Messtechnik anbieten.

Um der technologischen und messtechnischen Entwicklung in der industriellen Fertigung gerecht zu werden, hat das Längenmesslabor in den vergangenen 15 Jahren seinen Maschinenpark sukzessive erneuert und ausgebaut und damit seine Messmöglichkeiten stetig verbessert und erweitert. Mit dem Bezug neuer Laborräume können nun die gestiegenen Platzbedürfnisse befriedigt werden. Die unterirdisch gelegenen und von der Umgebung optimal isolierten Labors erfüllen hinsichtlich Klima und Vibrationsfreiheit höchste Ansprüche.

Die Längenmessung bezog in den Erweiterungsbauten Labors für Winkel-, Oberflächen- und Endmassmessung sowie ein Laserlabor für die Realisierung der Meterbasis. In einem weiteren Labor mit erhöhter Raumhöhe wurde eine moderne Koordinatenmessmaschine mit wesentlich grösserem Messvolumen als bisher in Betrieb genommen. Dank den neuen Reinräumen können die hochtechnologischen Messplätze der Nanometrologie endlich unter geeigneten Bedingungen betrieben werden, wobei noch genügend Raum für neue Entwicklungen auf diesem zukunftssträchtigen Gebiet bleibt.

RUDOLF THALMANN

Die klassische Längenmesstechnik stützt sich seit Jahrzehnten auf traditionelle Massverkörperungen wie Endmasse, zylindrische Lehren oder Strichmasse ab, deren Kalibrierung auch heute noch zu den vorwiegenden Aufgaben eines Längenmesslabors gehören. Die diesbezügliche messtechnische Entwicklung des METAS in den letzten Jahren hatte denn auch zum Ziel, die Messeinrichtungen punkto Genauigkeit und Rationalisierung zu verbessern und das Dienstleistungsangebot zu erweitern, insbesondere auf den Gebieten der Form-, Oberflächen- und Winkelmesstechnik. Die technologische



1: Koordinatenmessgerät zur Messung dreidimensionaler Werkstücke.

Revolution der Jahrtausendwende gibt dem dimensionellen Messen neue Impulse und stellt in verschiedener Hinsicht hohe Anforderungen:

- *Neue Technologien:* Mikroelektronik, Materialwissenschaften und jüngst auch die Nanotechnik sind Schlüsseltechnologien, die nicht nur neue messtechnische Bedürfnisse schaf-

fen, sondern auch neue Generationen von Messinstrumenten ermöglichen; erwähnt seien die Entwicklung vom mechanischen zum elektronischen Taster oder vom geritzten Stahlmassstab zum Inkrementalmassstab aus Glas oder Glaskeramik, um nur die einfachsten zu nennen.

- **Komplexität:** In der industriellen Anwendung, aber auch im Kalibrierlabor gelangen stets komplexer Messgeräte und -maschinen wie Koordinatenmessgeräte, Videoprojektoren oder hochauflösende Mikroskope zum Einsatz. Die Sicherstellung der Rückverfolgbarkeit auf die nationalen Normale beschränkt sich bei solchen Geräten nicht nur auf die Kalibrierung einer Längenskala, sondern muss auch das äusserst komplexe Zusammenspiel der Mehrdimensionalität mit der spezifischen Messaufgabe, der dazu verwendeten Messstrategie und der Software miteinbeziehen. Hinzu kommt, dass heutige Messgeräte nicht mehr zwingend in der besten mechanisch erreichbaren Qualität hergestellt werden, sondern beispielsweise Führungsfehler softwaremässig korrigiert werden.
- **Miniaturisierung:** In neuen Industriezweigen wie Mikroelektronik, Optik oder Medizinaltechnik werden immer kleinere Strukturen gefertigt.
- **Quantitatives Wachstum:** Das wirtschaftliche Wachstum mit der Produktionssteigerung und den durch die Globalisierung gestiegenen und weiter verbreiteten Qualitätsforderungen hat den Bedarf an kalibrierten Messmitteln in einem vor 15 Jahren kaum geahnten Mass erhöht.

### Neue Bedürfnisse am METAS

Um diesen neuen Anforderungen gerecht zu werden, hat sich die Längenmesstechnik am METAS mit folgenden Schwerpunkten weiterentwickelt:

- Modernisierung und Weiterentwicklung der Messeinrichtungen zur Kalibrierung von Endmassen und Lehren zur Verbesserung der Messunsicherheit, der Erweiterung des Kalibrierumfangs und der Rationalisierung,
- Beschaffung neuer Geräte und Entwicklung rückverfolgbarer Verfahren für die verbesserte Formmessung wie Rundheit, Geradheit, Ebenheit oder Zylindrizität,

- Einrichtung eines neuen Winkellabors,
- Aufbau eines Oberflächenlabors für die Rauheits- und Härtemessung,
- Vorstoss in die Nanometrologie mit der Rastersondenmikroskopie und dem Bau einer Maskenmessmaschine.

Bei diesen Erweiterungen hatte sich die Längenmessung in andern Labors «eingemistet», meist unter schwierigsten Platzverhältnissen und häufig unter unzureichenden Umgebungsbedingungen. Erst die bauliche Erweiterung wird dem längst fälligen Platzbedarf gerecht. Die oftmals die Messqualität beeinträchtigenden Störungen durch andere Aktivitäten im gleichen Labor sind nun beseitigt. Die räumliche Erweiterung erlaubt zudem eine Konzentration der bis dahin zum Teil weit verstreuten Räume und damit auch verbesserte Arbeitsabläufe für die Mitarbeiter, die oft an verschiedenen Messplätzen gleichzeitig tätig sind.

### Kompetenzzentrum für Koordinatenmesstechnik

Ein neues Labor mit übergrosser Raumhöhe erlaubte die Beschaffung einer Koordinatenmessmaschine. Sie

bietet mit 1200 x 710 x 550 mm<sup>3</sup> einen im Vergleich zu früher wesentlich grösseren Messbereich. Steuerung und Software der neuen Anlage (Bild 1) erlauben den Zugang zu den Korrekturdateien für Positions- und Führungsfehler. Dadurch kann die Messmaschine unter den im Labor herrschenden Bedingungen auf die nationalen Normale rückführbar gemacht werden. Nebst den Kalibrier- und Prüfaufträgen für Kunden werden grundsätzliche Untersuchungen zur Kalibrierung und Überwachung von Koordinatenmessgeräten und zur Messunsicherheitsabschätzung durchgeführt. Ziel ist es, ein Kompetenzzentrum für Koordinatenmesstechnik zu werden.

### Winkel- und Geradheitsmessung

Das neue Winkelmesslabor bietet im Vergleich zu früher neben wesentlich mehr Platz auch die nötige Raumhöhe, um kleinere Temperaturgradienten und eine bessere Temperaturstabilität zu erreichen. Im Labor befinden sich nebst dem numerisch gesteuerten Winkelmesstisch (Bild 2) zwei weitere Prüfplatten von 800 x 1200 mm<sup>2</sup> und 1000 x 2000 mm<sup>2</sup>, die beide eine



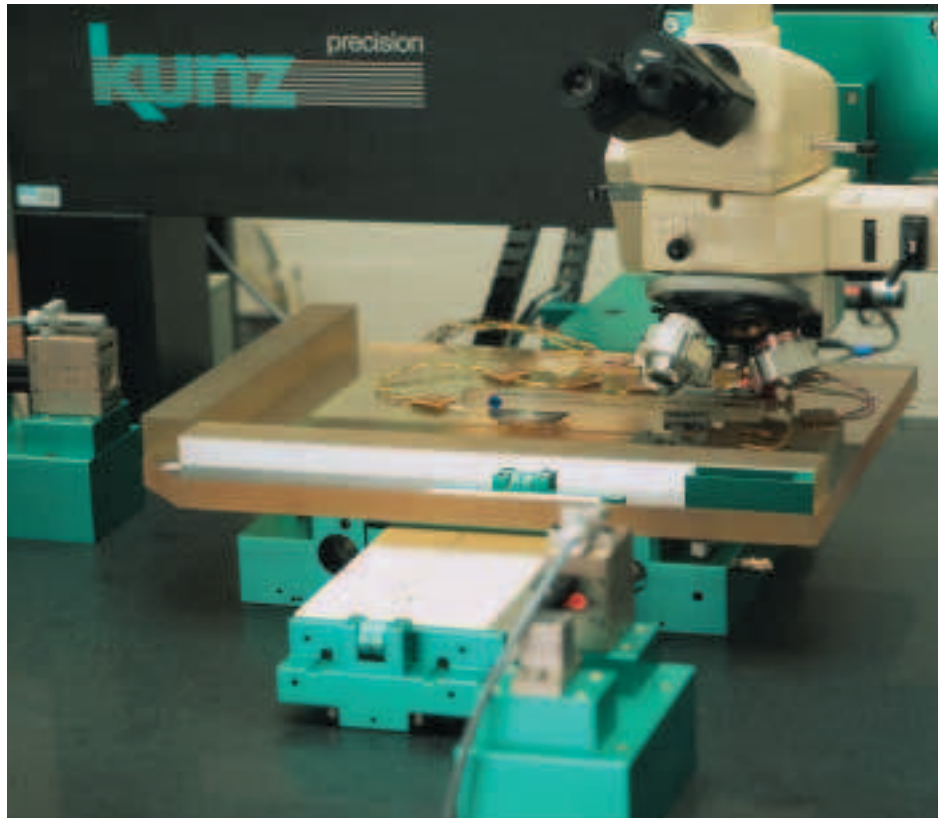
2: Numerisch gesteuerter Winkelmesstisch.

Ebenheitsabweichung von unterhalb 1  $\mu\text{m}$  aufweisen. Die heute realisierten Messaufbauten umfassen einen hochpräzisen horizontalen Luftlagerschlitten zur Kalibrierung von Geradheitsverkörperungen, eine vertikale Säule mit Luftlagerschlitten zur Messung von Hartgesteinswinkelnormalen und Prüfsäulen, einen Sinustisch mit Laserinterferometer zur Kalibrierung von Neigungssensoren und zwei weitere Aufbauten zur Charakterisierung von Autokollimatoren.

### Nanometrologie im Aufwind

Den quantitativ wie qualitativ grössten räumlichen Ausbau erfährt die Nanometrologie. Für die äusserst schmutzempfindlichen Mikrostrukturen herrschen in den drei neuen Reinräumen nicht nur bezüglich Staubfreiheit (mit der Reinraumklasse 10 000 ist die Anzahl Partikel grösser als 0.5  $\mu\text{m}$  auf maximal 10 000 pro Kubikfuss spezifiziert) wesentlich bessere Bedingungen. Auch bezüglich Klimastabilität und Vibrationsfreiheit erfüllen die Labors höchste Ansprüche. Der Zugang zu diesen Labors ist nur über eine Schmutzschleuse mit Umkleidemöglichkeit und über einen für alle drei Räume gemeinsamen Vorbereitungsraum möglich.

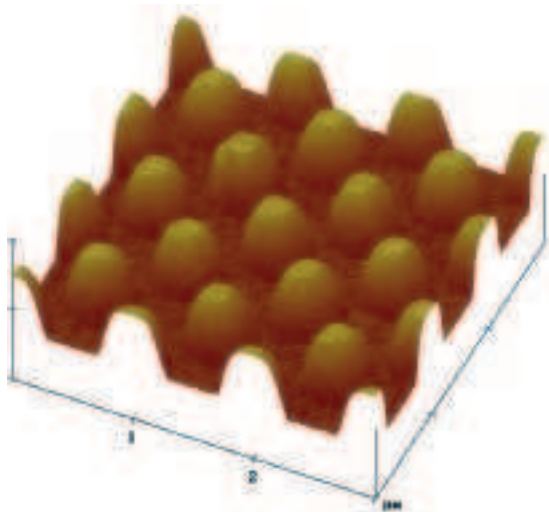
Zwei der Nanometrologie-Messplätze seien hier speziell erwähnt. Mit



3: Mit der Maskenmessmaschine werden Präzisionsmasstäbe und zweidimensionale Photomasken kalibriert.

dem Metrologie-Rasterkraftmikroskop, einem kommerziellen Gerät, das am METAS weiterentwickelt wurde, können für die dimensionelle Vermessung kleinster Strukturen bisher unerreichte Genauigkeiten erzielt werden. Das Mikroskop wurde mit einem Doppel-

parallelfedertisch erweitert, dessen lineare Verschiebung mit einem hochauflösenden Interferometer gemessen wird. Dieser Aufbau erlaubt es, Oberflächenprofile über eine Länge von 380  $\mu\text{m}$  mit Nanometer-Auflösung zu erfassen. Er kann somit für die



4: Holographisches Kalibriergitter, Bildausschnitt 3  $\mu\text{m}$  x 3  $\mu\text{m}$ , mittlerer Strukturabstand 700.967 nm.



5: Mit einem Tastschnittgerät werden feinste Oberflächenstrukturen erfasst.

Kalibrierung aller relevanten Parameter von Mikroskopiestandards eingesetzt werden. So kann beispielsweise der mittlere Strukturabstand eines holographischen Gitters (Bild 4) von 700 nm mit einer Messunsicherheit von nur 0.008 nm bestimmt werden. Diese Genauigkeit wurde durch einen internationalen Messvergleich, an dem 12 Staatslabors teilnahmen, bestätigt.

Die Maskenmessmaschine, die sich in einer zusätzlichen Messkabine der Reinraumklasse 100 befindet, ist eine Eigenentwicklung für das Kalibrieren von Glasmassstäben und zweidimensionalen Photomasken. Ihr Messbereich von 300 x 400 mm<sup>2</sup> wird von einem Referenzsystem mit Zerodurspiegeln (Bild 3) aufgespannt. Die Verschiebung des luftgelagerten X-Y-Tisches wird von einem differenziellen zweiachsigen Laserinterferometer mit höchster Auflösung gemessen. Die

## Résumé

*Le laboratoire de longueur a dans les 15 années passées continuellement renouvelé et étendu son parc d'instruments et de machines, afin de pouvoir suivre le progrès technologique et métrologique lié au monde de la production industrielle, et a ainsi encore pu améliorer ses possibilités de mesures. Le besoin grandissant de place a été satisfait grâce à l'installation de laboratoires supplémentaires dans notre nouveau bâtiment. Il s'agit d'installations souterraines, isolées de façon optimale de l'environnement, et satisfaisant aux exigences les plus élevées en ce qui concerne les vibrations et le climat.*

*Le groupe de métrologie dimensionnelle a pu en particulier installer de nouveaux laboratoires pour la mesure de surface, d'angles et de cales étalons. Une salle spéciale de grande dimensions a été conçue afin d'installer une machine à mesurer tridimensionnelle avec un grand volume de travail. De nouvelles salles blanches permettent aujourd'hui de réaliser des mesures high-tech dans le domaine de la nanométrie sous des conditions adéquates, tout en laissant encore suffisamment d'espace pour les futurs développements requis par ce domaine en pleine croissance.*

lokalen Strukturkoordinaten werden durch digitale Bildauswertung aus dem Mikroskopbild ermittelt und mit den Daten der Tischposition kombiniert. Um eine hohe Messgenauigkeit zu erreichen sind beste Umgebungsbedingungen notwendig. So werden Temperatur, Druck, Feuchte und CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft laufend erfasst und fließen in entsprechende Korrekturen ein. Präzisionsmassstäbe und zweidimensionalen Photomasken können mit der Maskenmessmaschine mit Messunsicherheiten von 20 nm bis 50 nm kalibriert werden.

## Oberflächen unter der Lupe

Im neuen Oberflächenlabor können endlich alle Messgeräte, die bis anhin auf vier Räume verteilt waren, zusammengelegt werden: Zwei Tastschnittgeräte (Bild 5) zur Messung von Rauheitsparametern, Stufenhöhen und

## Riassunto

*Per tener conto dei progressi tecnologici e metrologici della produzione industriale il laboratorio della lunghezza ha progressivamente rinnovato e sviluppato durante il trascorso quindicennio l'insieme delle apparecchiature, dandosi così i mezzi di costantemente migliorare e ampliare le possibilità di misurazione. La necessità di nuovi posti è stata soddisfatta costruendo laboratori supplementari. Si tratta dei laboratori sotterranei, perfettamente isolati dall'ambiente circostante, e conformi a severe esigenze per quanto riguarda la temperatura e l'assenza di vibrazioni.*

*Il gruppo di metrologia dimensionale ha potuto in particolare installare nuovi laboratori per la misura di superfici, angoli e calibri a blocchetto. Una sala molto ampia è stata appositamente concepita per una macchina destinata alle misurazioni tridimensionali di oggetti voluminosi. Altre sale con elevato grado di nettezza permettono di raggiungere oggi livelli di misurazione di altissima precisione nel campo della nanometrologia, a condizioni adeguate, con riserve di spazio per i futuri sviluppi di questo settore in piena evoluzione.*

geometrischen Elementen in Profilschnitten, ein Interferenzmikroskop für Oberflächenmessungen an mikroskopisch kleinen Objekten oder Strukturen, ein Ebenheitsinterferometer für die Prüfung von Plangläsern sowie drei Härtenormalmessmaschinen zur Kalibrierung von Härtevergleichsplatten für alle Rockwellskalen und Vickershärte. Die Zusammenlegung all dieser Messinstrumente erleichtert die internen Vergleiche, und Synergien zwischen den verschiedenen Oberflächenmesstechniken können besser genutzt werden.

## Summary

*In the past 15 years, the length laboratory has continuously renewed and extended its equipment and thus improved its calibration measurement capabilities in order to satisfy the technological and metrological development of the industrial production. With the additional laboratories in the new buildings the need for more space can finally be satisfied. The underground laboratories are optimally isolated from the surrounding and fulfil highest requirements with respect to vibration and environmental conditions.*

*The dimensional metrology group could move into new laboratories for surface, angle and gauge block measurement. In a specially sized room a new co-ordinate measuring machine with a much larger measurement volume has been installed. Thanks to the new clean rooms the high-tech activities of nanometrology can now be operated under adequate conditions, and there remains still enough room for further developments in this growing area.*