

## In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich im Web-Jahresbericht unter [www.ptb.de](http://www.ptb.de))

### Grundlagen der Metrologie

#### Glatt, glatter, atomar glatt – Technologie für die Herstellung neuartiger Stufenhöhennormale

Die PTB stellt die denkbar glattesten Oberflächen und die denkbar kleinsten Stufen her. Dazu werden Oberflächen präpariert, die auf einer Fläche von  $(100 \times 100) \mu\text{m}^2$  und mehr auf atomarer Skala entweder komplett stufenfrei sind oder periodisch auftretende monoatomare Stufen mit Terrassenbreiten von einigen Mikrometern zeigen. Dies geschieht unter Ausnutzung der Selbstorganisation von Atomen an der Oberfläche von kristallinem Silizium. (O. Lenck, FB 5.1, [oliver.lenck@ptb.de](mailto:oliver.lenck@ptb.de))

#### Virtuelles Modell für ein metrologisch rückgeführtes UHV-STM fertiggestellt

Für die Aufrüstung eines UHV-Rastertunnelmikroskops (UHV-STM) mit einem komplexen interferometrischen Messsystem wurde ein virtuelles 3D-Modell des bestehenden Aufbaus erstellt. Für das Upgrade zum metrologischen UHV-STM wurden modernste Methoden der 3D-Erfassung, Virtualisierung und computerbasierten Simulation von komplexen optomechanischen Komponenten angewendet. (R. Popadic, FB 5.1, [radovan.popadic@ptb.de](mailto:radovan.popadic@ptb.de))

### Metrologie für die Wirtschaft

#### Neues Mikrovolumennormal für die Rasterwalzenmessung

Ein Mikrovolumennormal für die Überprüfung von optischen Messgeräten zur Rasterwalzenmessung wurde von der PTB im Rahmen einer Industrie-Kooperation entwickelt. Das diamantgedrehte Normal enthält zwei etwa 10 mm breite Bereiche mit periodischen V-förmigen Rillen mit einer Tiefe von  $20 \mu\text{m}$  bzw.  $50 \mu\text{m}$ . Die Normale werden zurzeit unter industriellen Bedingungen getestet und sollen zukünftig zur Überprüfung der eingesetzten Messtechnik für Rasterwalzen verwendet werden. (U. Brand, FB 5.1, [uwe.brand@ptb.de](mailto:uwe.brand@ptb.de))

#### Aufgeraute Tiefeneinstellnormale bis $900 \mu\text{m}$ Rillentiefe für optische Messtechnik

In der Oberflächenmesstechnik werden zunehmend optische Verfahren eingesetzt. Zur Kalibrierung der Höhenmessachse von Geräten, die nur diffus reflektierende Oberflächen messen können, gab es bisher keine geeigneten Tiefeneinstellnormale. In Kooperation mit einem Industriepartner wurde daher ein

Verfahren zum Aufräumen von diamantgedrehten Tiefeneinstellnormalen entwickelt. Das Verfahren beruht auf der Sandstrahltechnik und liefert Oberflächenrauheiten zwischen  $50 \text{ nm}$  und  $150 \text{ nm}$ . (U. Brand, FB 5.1, [uwe.brand@ptb.de](mailto:uwe.brand@ptb.de))

#### Rückführbare Charakterisierung von hochpräzisen Verschiebetischen mit einer Auflösung von $14 \text{ pm}$

Ein Kalibrieraufbau für die quantitative Charakterisierung der quasi-statischen Eigenschaften von Mikro- und Nanopositioniertischen wurde entwickelt. Wesentlicher Bestandteil des Kalibrieraufbaus ist ein vierstrahliges Planspiegel-Differenzinterferometer (Jamin-Interferometer (NPL)). Durch das spezielle optische und mechanische Design des Kalibrieraufbaus wurde eine Auflösung von  $14 \text{ pm}$  und ein Grundrauschen kleiner als  $10 \text{ pm/}$  (für Frequenzen  $> 1 \text{ Hz}$ ) erzielt. (Zhi Li, FB 5.1, [zhi.li@ptb.de](mailto:zhi.li@ptb.de))

#### Automatisierung einer Härtenormalmesseinrichtung für das Härteprüfverfahren nach Rockwell

In der PTB wurde die Messapparatur für das Härteprüfverfahren nach Rockwell erweitert, um ein neues Verfahren für den Messablauf zu implementieren. Das Verfahren ermöglicht eine bedienerunabhängige Umsetzung und beschleunigt den gesamten Messablauf. Bei dem Verfahren wird der voraussichtliche Härtewert einer Härtevergleichsplatte bereits während der Messung abgeschätzt und, ohne weitere erforderliche Eingaben durch den Bediener, eine normkonforme Härteprüfung durchgeführt. (U. Brand, FB 5.1, [uwe.brand@ptb.de](mailto:uwe.brand@ptb.de))

#### Flexible Fertigung von Mustern für neuartige Raunormale für hochauflösende Oberflächenmesstechniken

In Kooperation mit einem Industriepartner hat die PTB neuartige Raunormale für hochauflösende Oberflächenmesstechniken entwickelt und erprobt. Hierbei kann die gewünschte Rauheit flexibel vorgegeben und skalierbar übertragen werden. Die Strukturen werden mittels fokussierten Ionenstrahlen (Focussed Ion Beam, FIB) auf ein geeignetes Substrat geschrieben. Dabei können auch die aus der 2D-Rauheitsmesstechnik vorteilhaften Profilwiederholungen realisiert werden. (T. Dziomba, FB 5.1, [thorsten.dziomba@ptb.de](mailto:thorsten.dziomba@ptb.de))

### **Geradheitsmessung mit 2 nm Unsicherheit am Nanometerkomparator**

Am Nanometerkomparator wurden Geradheitsmessungen auf Basis zweier verschiedener Fehlerseparationsverfahren, dem „Traceable Multi Sensor“-Verfahren und dem Umschlagverfahren, durchgeführt und im Nanometerbereich übereinstimmende Ergebnisse erzielt. Ein hochauflösender Geradheitsencoder der Firma Heidenhain konnte dadurch über eine Länge von 320 mm mit einer Unsicherheit von 2 nm kalibriert werden. (C. Weichert, FB 5.2, christoph.weichert@ptb.de)

### **Geometriefehleraufnahme an einer Werkzeugmaschine bei verschiedenen Umgebungstemperaturen**

Ein wesentlicher Anteil an geometrischen Werkstückfehlern wird durch Temperatureinflüsse auf Werkstück und Werkzeugmaschine verursacht. Im Rahmen eines europäischen Projekts wurde eine mobile Klimasimulationskammer konzipiert, um die Umgebungstemperaturen zwischen +15 °C und +45 °C variieren zu können. Der Einfluss unterschiedlicher Umgebungstemperaturen auf die Maschinengeometrie und die Werkstücke konnte damit messtechnisch erfasst und über die Maschinensteuerung kompensiert werden. (K. Wendt, FB 5.3, klaus.wendt@ptb.de)

### **Präzise Größen- und Formbestimmung von Erosionspartikeln mittels Computertomografie**

Erosive Partikel der Größenordnung 100 µm wie Sand oder Flugasche können zu erheblichen Schäden an Turbinen in Kraftwerken und Flugzeugen führen. Diese haben Ausfälle bzw. Leistungseinbußen der Turbinen zur Folge, was enorme finanzielle Folgen für die Wirtschaft nach sich ziehen. Um Turbinen besser vor Erosion zu schützen, müssen neue Materialien entwickelt werden. Dazu bedarf es jedoch genauerer Kenntnis über Temperatur, Geschwindigkeit, Größenverteilung, aber auch Form der Partikel, um genauere Modelle des Erosionsprozesses zu entwickeln. An der PTB wurde nun ein Verfahren entwickelt, mit dem beliebig geformte Partikel mit einem industriellen Computertomografen mit hoher Genauigkeit auf Form und Größe hin untersucht werden können. (Ch. Rothleitner, FB 5.3, christian.rothleitner@ptb.de)

### **Multisensor-Messtechnik für Mikroteile in innovativen industriellen Produkten**

Bauteile mit Geometrien im Submillimeterbereich bis hin zu einigen Millimetern (Mikroteile) spielen für viele Industriesektoren, wie den Fahrzeugbau, die Medizintechnik oder in der Telekommunikati-

on, eine bedeutende Rolle. Oft muss deren Außen- sowie Innengeometrie mit Messunsicherheiten unter 1 µm geprüft werden. Im Projekt MICROPARTS, gefördert im European Metrology Research Programme (EMRP), wurde zusammen mit europäischen Partnern eine signifikante Verbesserung der messtechnischen Möglichkeiten zur Erfassung von Mikroteilen mit Multisensor-Koordinatenmesssystemen erreicht. (O. Kazankova, FB 5.3, olga.kazankova@ptb.de)

### **Prüfung von optisch flächenhaft antastenden 3D-Mikromesssystemen**

Optisch flächenhaft antastende Mikromesssysteme werden zunehmend zur 3D-Messung von Mikrobauanteilen eingesetzt. In der PTB wurde die Leistungsfähigkeit derartiger Systeme untersucht. Ziel der Untersuchungen war es, die Anwendbarkeit der neuen Norm DIN EN ISO 10360-8 (2014) zur Prüfung von Koordinatenmessgeräten mit optischen Abstandssensoren auf optisch flächenhaft antastende Mikromesssysteme zu evaluieren. (J. Schlie, FB 5.3, jakob.schlie@ptb.de)

### **Ein neuartiges Großringnormal zur Erprobung von Messverfahren für große Lagerringe**

In der Industrie und in der PTB bestehen jahrzehntelange Erfahrungen in der Kalibrierung von Zylindernormalen, wie etwa Einstellringen, mit Durchmessern bis etwa 300 mm. Im Rahmen des durch das European Metrology Research Programme (EMRP) geförderten Projektes DriveTrain wurde nun ein neuartiges Großringnormal entwickelt, erprobt und kalibriert, das einen Innendurchmesser von 600 mm aufweist. (O. Jusko, FB 5.3, otto.jusko@ptb.de)

### **Groß-Koordinatenmessgerät für Kompetenzzentrum WIND (CCW)**

Im Zuge des Aufbaus eines Kompetenzzentrums für Windenergieanlagen (CCW) erhält die PTB ein Groß-Koordinatenmessgerät mit einem Messvolumen von 5 m × 4 m × 2 m. Hiermit wird erstmals die zuverlässige Rückführung von dimensionellen Messungen großer Getriebebauteile (Zahnräder, Lagerringe, Wellen und Bremsen), wie sie z. B. in Windenergieanlagen zum Einsatz kommen, ermöglicht. (M. Stein, FB 5.3, martin.stein@ptb.de)

### **Das 3D-Lasermeter für die Koordinatenmesstechnik in rauen Umgebungen**

Im Rahmen des europäischen EMRP-Forschungsprojekts „Large Volume Metrology in Industry“ wurde ein intrinsisch refraktionskompensierendes selbstnachführendes Interferometersystem, das 3D-

Lasermeter, entwickelt. Es benötigt außer einem Feuchtesensor keine weiteren äußeren Sensoren, um auch unter rauen Bedingungen, wie sie z. B. in großen Werkhallen im Flugzeugbau typisch sind, Genauigkeiten im Sub-ppm-Bereich zu erreichen. Das 3D-Lasermeter wurde in aufwendigen Messkampagnen erfolgreich verifiziert. (K. Meiners-Hagen, FB 5.4, karl.meiners-hagen@ptb.de)

### **Verbesserte SI-Rückführbarkeit für ingenieur-geodätische Entfernungsmesssysteme mit geringer Messunsicherheit**

Die Rückführung auf die SI Basiseinheiten basiert in der Geodäsie meist auf Messungen an Pfeilerstrecken. An der PTB wurde im europäischen Metrologieforschungsprojekt „Metrology for long distance surveying“ mit dem TeleYAG-System ein optisches Primärnormal zur Rückführung dieser Basisstrecken mit geringer Unsicherheit entwickelt und verifiziert. Ein „Good Practice Guide“ fasst im Projekt entwickelte Empfehlungen zur Planung, Durchführung, Auswertung und Messunsicherheitsbetrachtung für Kalibrierungen für Anwender zusammen (F. Pollinger, FB 5.4, florian.pollinger@ptb.de)

### **Fertigung hochgenauer Evolventen-Normale**

Für Messungen an Zahnrädern werden Normale mit Konturen in Form von Evolventen benötigt. Bei der vorliegenden Konstruktions- und Fertigungsaufgabe war ein Normal mit einer Kombination von Innen- und Außenevolvente mit überlagerten kleinen Störungen gefordert. Die Form der geschliffenen zylindrischen Bezugsflächen der Normale mit einem Durchmesser von ca. 300 mm weichen nur wenige Mikrometer von der Idealgeometrie ab. Eine eigens entwickelte Auflagevorrichtung hält die Durchbiegung der Normale gering und ermöglicht eine komfortable Montage in der Messeinrichtung. (R. Meeß, FB 5.5, rudolf.meess@ptb.de)