

# Smartes Mikroskop

**Klassische Lichtmikroskope lassen sich zu einem 3D-Oberflächenmessgerät erweitern und damit in ihrer Nutzbarkeit erheblich aufwerten.**

Torsten Machleidt und Sebastian Reuter

Dipl.-Ing. Torsten Machleidt, GBS Ilmenau GmbH, Werner-von-Siemens-Str. 10, 98693 Ilmenau, <http://gbs-ilmenau.de> und Dipl.-Ing. Sebastian Reuter, piezosystem jena GmbH, Prüssingstr. 27, 07745 Jena, <http://piezोजना.de>

Nicht nur in der Forschung sind Mikroskope von großer Bedeutung, sie können auch Produkte überwachen, Oberflächen analysieren oder der Dokumentation dienen. In vielen Laboren gehören optische Mikroskope zur Standardausrüstung. Die meisten Oberflächen lassen sich jedoch nicht in allen Einzelheiten zweidimensional abbilden. Daher hat sich in den letzten Jahren die dreidimensionale Analyse von Oberflächen zu einem immer wichtigeren Hilfsmittel entwickelt.

**H**ochpräzise 3D-Messungen mit einer Auflösung im Nanometerbereich haben in den letzten Jahren im Mikroskopiesektor stark an Bedeutung gewonnen. Typische Einsatzfelder in der Qualitätssicherung und in der Forschung bestehen darin, Oberflächen verschiedener Rauheit zu charakterisieren (Waferstrukturen, Spiegel, Glas, Metalle), Stufenhöhen zu bestimmen und gekrümmte Oberflächen, wie z. B. Mikrolinsen, präzise zu vermessen. Viele Institutionen erwägen daher, ein 3D-Oberflächenmessgerät anzuschaffen. Vorher ist jedoch die Frage zu klären, ob sich ein bereits vorhandenes Mikroskop zu einem 3D-Messgerät erweitern lässt.

Die Antwort ist einfach: Bei den meisten Mikroskopen von namhaften Herstellern ist dies möglich, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

1) [www.gbs-ilmenau.de](http://www.gbs-ilmenau.de)

2) MountainsMap® Imaging Topography ist ein Produkt der Firma Digital Surf, [www.digital-surf.com](http://www.digital-surf.com)

## VORTEILE DER MIKROSKOPERWEITERUNG

- Keine neue Gerätetechnik / kaum Einarbeitungszeit
- Kein neuer Arbeitsplatz für 3D-Messgerät erforderlich
- Herkömmliche 2D-Arbeitsweise bleibt erhalten, wird aber durch die 3D-Messung unterstützt.
- Viele vorhandene Komponenten am Mikroskop (Beleuchtung, Tubus, Objektivrevolver, z-Versteller, xy-Messstisch) bilden die Grundlage für die Erweiterung und führen zu einer sehr wirtschaftlichen Lösung.
- Komplette 3D-Analyse der Oberflächen möglich



piezosystem jena GmbH

Über einen Flexadapter am Mikroskop lässt sich ein Objektivversteller mit dem Interferenzobjektiv montieren. Das er-

weiterte Mikroskop erlaubt es, Oberflächen mit hoher Auflösung dreidimensional abzutasten.

- Das Mikroskop ist für eine unendliche Zwischenbildweite ausgelegt.
- Eine Auflicht-Hellfeld-Beleuchtung ist vorhanden.
- Ein Videokamera-Anschluss ist vorhanden.
- Die Anschlussmaße des Tubus lassen einen Objektivwechsel zu.

Die GBS mbH aus Ilmenau<sup>1)</sup> konnte bereits Mikroskope der Firmen Zeiss, Nikon, Leica, Olympus und Mikroskoptechnik Rathenow erfolgreich erweitern (Abb. 1). Messtechnische Grundlage bildet dabei die Weißlichtinterferometrie – ein bewährtes optisches Messverfahren, um Topografien mit Tiefenauflösungen im unteren Nanometerbereich dreidimensional zu erfassen. Im Gegensatz zur Interferometrie mit monochromatischem Licht nutzt die Weißlichtinterferometrie breitbandiges Licht, das eine Kohärenzlänge von etwa 2 µm besitzt. Für die Messung ist es erforderlich, den Bereich der Kohärenz mittels eines Piezoverstellers durchzufahren und alle 70 bis 80 nm ein Bild aufzunehmen. Bei

monochromatischem Licht – meist ein Laser – liegt die Kohärenzlänge allerdings typischerweise in der Größenordnung von Kilometern, sodass es unmöglich wäre, diesen großen Bereich abzuscannen.

Der Interferenzkontrast fällt umso geringer aus, je mehr sich die Wegdifferenz der Kohärenzlänge annähert. Schiebt man das Objekt mit einer Schrittweite durch die Referenzebene und zeichnet dabei jeweils ein Interferenzbild auf, resultiert ein Bildstapel, aus dem sich für jeden Pixel der Intensitätsverlauf ablesen lässt.

Die Messpunkte werden parallel erfasst und verarbeitet, sodass sich Höheninformationen großflächig innerhalb von wenigen Sekunden gewinnen lassen. Diese kurze Messdatenberechnung ist ein besonderes Merkmal der sogenannten smartWLI-Lösung der GBS mbH. Die Verlagerung der komplexen 3D-Berechnung auf die Grafikkarte hat die Auswertzeit bei einer Million Messpunkte von 30 Sekunden auf unter eine Sekunde reduziert.

### Smart erweitert

Dank des SmartWLI-Microscope der GBS mbH wandeln sich herkömmliche Mikroskope zu einem 3D-Oberflächenmessgerät. Dieses beinhaltet folgende Hardwarekomponenten: ein PC-gesteuertes, nanometergenaues Positioniersystem auf Piezobasis, ein hochwertiges Interferenzobjektiv, eine schnelle und hochempfindliche CCD-Kamera mit modernem GigE-Interface, optional einen elektrischen  $xy$ -Tisch für großflächige Messungen mittels Stitching und einen PC mit i5 Prozessor, MS Windows, 4 GB RAM, NVIDIA GPU zur schnellen Messdatenverarbeitung, TFT-Monitor, Tastatur und Maus.

Bei dieser Mikroskopnachsüstung kommen Piezoversteller von piezosystem jena GmbH zum Einsatz. Dabei handelt es sich um sog. MIPOS-Objektivversteller, die ein computergesteuertes Abtastregime in  $z$ -Richtung von bis zu  $500\ \mu\text{m}$  zulassen. Als Objektive dienen typischerweise Interferenzobjektive mit Vergrößerungen von 2,5- bis 100-fach.

Die smartWLI-Software bildet die Grundlage, um dreidimensionale Messdaten zu generieren. Sie ist intuitiv zu bedienen und ermöglicht eine schnelle Auswertung und Nanometerpräzision. Die berechneten 3D-Daten fließen direkt in die weitverbreitete Analysesoftware MountainsMap® Imaging Topography ein, in der umfangreiche Auswertemethoden (Visualisierung in 2D oder 3D, Rauheitsmessung, Stufenhöhenmessung, Partikelanalyse, Reportfunktion) zur Verfügung stehen.<sup>2)</sup>

Dank der hohen Rechenleistung der GPU-Einheit lassen sich die dreidimensionalen Daten bereits während des Scans berechnen. Damit ist es möglich, große vertikale Bereiche abzutasten, ohne dass wie bei früheren Messungen die PC-CPU-Rechenleistung bzw. der Speicherbedarf ein Limit darstellt.

Die erreichbaren Parameter des smartWLI-microscope sind:

- Vertikaler Scanbereich:  $< 400\ \mu\text{m}$
- Lateraler Scanbereich: z. B.  $480 \times 360\ \mu\text{m}^2$  (Objektiv 10-fach)
- Vertikale Auflösung:  $0,1\ \text{nm}$
- Laterale Auflösung: max.  $650\ \text{nm}$
- Scangeschwindigkeit: 3,6 bis  $16\ \mu\text{m/s}$
- Auswertzeit:  $< 1\ \text{s}$  bei 1 Million Messpunkte

### Raues Werkzeug

Das zu einem 3D-Messgerät erweiterte Mikroskop ist nun in der Lage, beispielsweise ein mit Diamant besetztes Schleifwerkzeug nanometergenau unter die Lupe zu nehmen (Abb. 2). Ziel der Messung ist es, die Form, Fläche und das Volumen des Diamanten zu bestimmen. Hierbei kommt ein weiteres Merkmal der smartWLI-microscope Technik zum Einsatz: das automatische „Stitching“, also das Aneinandersetzen mehrerer 2D-Messfelder und Bildstapel, um eine großflächige 3D-Darstellung zu generieren. In Kombination mit einem elektrischen  $xy$ -Tisch lassen sich große Bereiche der Oberfläche absannen. Im Beispiel des Schleifwerkzeugs waren es  $3 \times 3$  Regionen, die mittels eines 10-fachen Mirau-Objektivs gemessen wurden. Die hohe Messgeschwindigkeit der smartWLI-Lösung erlaubt es auch,

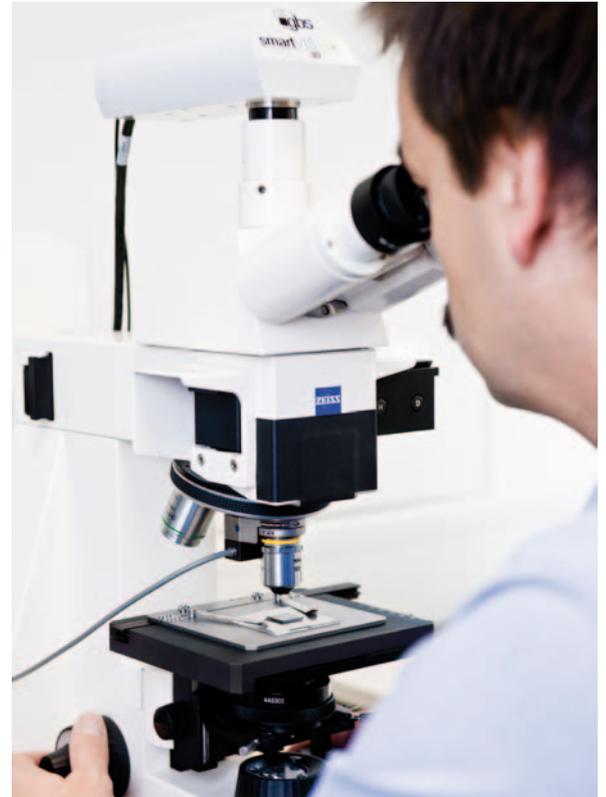


Abb. 1 Die meisten Mikroskope namhafter Hersteller lassen sich prinzipiell und relativ komplikationslos erweitern. Das Interferenzobjektiv bildet eines der zentralen Elemente der Erweiterung. Ein Tisch, der die Probe in  $xy$ -Richtung verschiebt, erlaubt es, sehr große Messbereiche einer strukturierten Oberfläche in kurzer Zeit abzuscannen.

größere Bereiche aus mehr als 100 Messfeldern in wenigen Minuten durchzufahren.

Letztlich bietet die GBS mbH mit dem smartWLI-microscope eine komplette Erweiterung für optische Mikroskope an. Erfahrene Ingenieure rüsten das Mikroskop nach und schulen das Bedienpersonal. In der Regel entstehen durch die Nachrüstung keine Einschränkungen beim Betrieb der Mikroskope. Selbst bereits vorhandene Mikroskopsoftware lässt sich weiterhin verwenden.

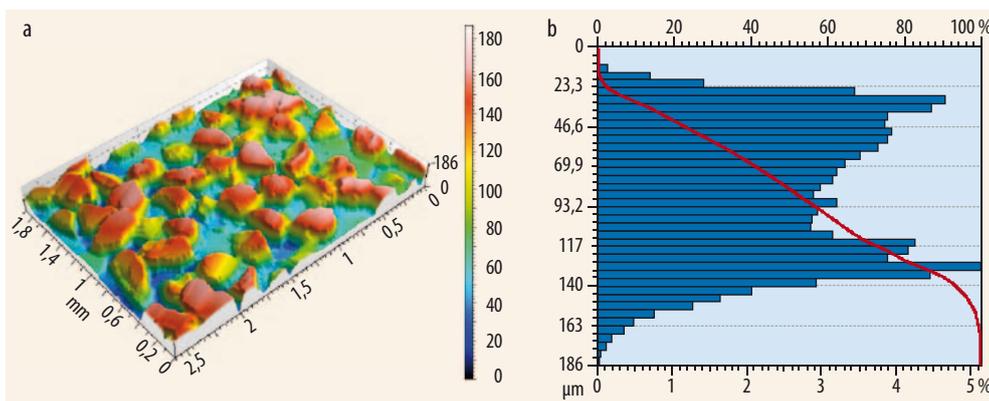


Abb. 2 3D-Oberfläche eines diamantbeschichteten Werkzeugs (a). Die Abbott-Kurve (rot) und das Histogramm (blau) beschreiben die Materialverteilung abhängig von der vertikalen Höhe der Strukturen des Objektes (b). Die Abbott-Kurve gibt quantitativ an, wie viel Material übersteht und ob die Oberfläche damit fehlerfrei ist.