

# Surface Profiles Obtained by Means of Optical Methods — Are They True Representations of the Real Surface?

W. Hillmann — Submitted by H. Kunzmann (1), Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
Received on January 22, 1990

## Summary

The surface profile of the well known surface of a PTB roughness standard has been recorded by several methods and the results have been compared. The result of the contact stylus method, in particular that using a very small tip radius, is in good conformity with that deduced from SEM stereo images. The optical methods, i.e. laser focus system and interference microscope with image processing, result significant deviations. On the other hand, when the surface of a diamond turned copper mirror is measured, there is a difference of only a few nanometers between the contact stylus method and the interference microscope. Additional investigations will be necessary to find out potential fields of application of the optical methods and to determine the limits set to their application.

## Key Words

Surface profiles, optical methods, contact stylus method, SEM method, limits of different measuring methods.

## Einführung

In der Qualitätskontrolle nimmt das Messen von Gestaltabweichungen ständig zu. Gleichzeitig wächst auch der Wunsch nach berührungslosen und schnellen Meßverfahren. So sind in den vergangenen Jahren eine Reihe von optischen Meßverfahren zur Bestimmung von Rauheit und anderen Gestaltabweichungen entwickelt und auf den Markt gebracht worden. Für den Benutzer solcher optischen Oberflächenmeßgeräte ergibt sich sofort die Frage: Wie kann das Gerät kalibriert werden, um damit zuverlässige Messungen ausführen zu können? Dabei wird oft vergessen, zu fragen, ob die Rauheit der jeweils vorliegenden Oberfläche überhaupt sinnvoll mit dem vorgesehenen optischen Meßgerät gemessen werden kann. Dieses Problem wird anhand zweier Beispiele beleuchtet. Es sollen hier daher die Meßergebnisse mehrerer ganz unterschiedlicher Meßverfahren einander gegenübergestellt werden.

## Meßobjekt

Die aufgenommenen Oberflächenprofile haben hier Vorrang vor irgendwelchen Rauheitskenngrößen, da auf diese Weise die spezifischen Unterschiede am deutlichsten werden. Als erstes Meßobjekt diente die Oberfläche eines feinen PTB-Rauhnormals (Typ D nach ISO 5436 /5/) mit  $R_a = 0,174 \mu\text{m}$  und  $R_z = 1,25 \mu\text{m}$  (nach DIN 4768 /3/). Der Vorteil dieser Oberfläche liegt einmal darin, daß sie aufgrund vieler früherer Untersuchungen ziemlich gut bekannt ist und zum anderen darin, daß es wegen der über die Breite des Normals annähernd konstanten Profilform nicht unbedingt erforderlich ist, immer exakt auf den Mikrometer dieselbe Meßspur zu treffen. Das Oberflächenprofil hat bis zur nächsten Wiederholung in Längsrichtung des Normals eine Länge von etwa 2 mm. Ausgehend von einer aufgetragenen Markierung wurden mit einem mechanisch antastenden Tastschnittgerät Profilschriebe und mit einem Raster-Elektronenmikroskop (REM) eine Fotoreihe über die 2 mm aufgenommen. Anhand dieser Aufzeichnungen wurden mehrere Profilstellen ausgewählt, die für alle Meßverfahren als schwierig eingeschätzt wurden, die Oberfläche ganz richtig zu erfassen. Als repräsentatives Beispiel ist von allen durchgeführten Untersuchungen in Fig. 1 ein kleiner Ausschnitt des Oberflächenprofils von etwa 40  $\mu\text{m}$  Länge mit hoher vertikaler und horizontaler Vergrößerung dargestellt. Die vertikale Überhöhung beträgt 10:1.

## Meßgeräte

Mit folgenden Meßgeräten wurde das Oberflächenprofil jeweils annähernd an derselben Meßstelle aufgenommen:

- a) Tastschnittgerät, Diamantnadel mit Spitzenradius  $r \sim 3,5 \mu\text{m}$ , Kegelwinkel  $90^\circ$ .
- b) Tastschnittgerät, Diamantnadel mit Spitzenradius  $r \sim 0,2 \mu\text{m}$ , Kegelwinkel  $90^\circ$ .
- c) Tastschnittgerät mit optischem Taster, Laser-Fokus-System mit Fokusdurchmesser  $1 \mu\text{m}$ .
- d) Interferenz-Mikroskop mit automatischer Bildauswertung, Objektiv 40-fach mit 1024 Bildpunkten auf  $330 \mu\text{m}$  Länge. Das Profil der untersuchten Oberfläche war im Interferenz-Mikroskop gut sichtbar und wurde an der betreffenden Meßstelle ohne Lücken und Sprünge ausgewertet.
- e) Raster-Elektronenmikroskop, Auswertung von Stereobildpaaren nach Eckolt /1/.

## Meßergebnisse

Die Ergebnisse von a) bis e) sind in Fig. 1 zusammengestellt. Das erste Profil ist mit einem ganz normalen Tastschnittgerät (a) aufgenommen. Bei dem nächsten ist zu erkennen, daß das Spezial-Tastschnittgerät mit einem Tastspitzenradius von etwa  $0,2 \mu\text{m}$  (b) etwas mehr Detailreichtum wiedergibt. Der optische Taster (c) zeigt dagegen ein Profil mit ganz erheblich mehr Rauheit. Das Interferenzmikroskop (d) bringt noch einen ganz anderen Profilverlauf mit deutlich kleineren Bergen und Tälern. Es erhebt sich nun die Frage: Welches der vier Oberflächenprofile ist das wirkliche Profil beziehungsweise kommt diesem am nächsten? Diese Frage konnte mit dem REM (e) beantwortet werden. Aufgrund zahlreicher vorangegangener Untersuchungen (z. B. /2/ und /4/) kann angenommen werden, daß das letzte Profil dem wirklichen Profil am nächsten kommt, was auch durch das REM-Foto mit sehr guter Detailauflösung in Fig. 1 ganz unten bestätigt wird.

## Folgerungen

Aus diesen Ergebnissen können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

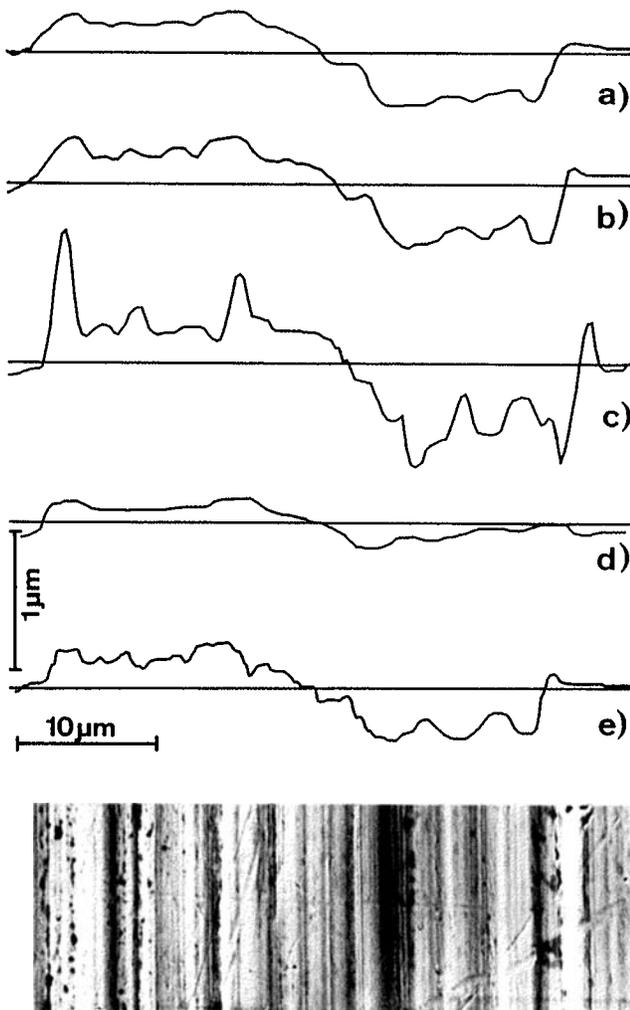


Fig. 1: Oberflächenprofil eines feinen PTB-Rauhnormals ( $R_z = 1,25 \mu\text{m}$ ), aufgenommen mit unterschiedlichen Meßverfahren:  
 a) Tastschnittgerät, Diamantspitze  $r \sim 3,5 \mu\text{m}$   
 b) Tastschnittgerät, Diamantspitze  $r \sim 0,2 \mu\text{m}$   
 c) Laser-Fokus-System, Fokusdurchmesser  $1 \mu\text{m}$   
 d) Interferenz-Mikroskop mit automatischer Bildauswertung  
 e) Raster-Elektronenmikroskop, Auswertung von Stereobildpaaren  
 ganz unten: REM-Foto

Fig. 1: Surface profile of a fine PTB roughness standard ( $R_z = 1,25 \mu\text{m}$ ), picked up by different methods:  
 a) Stylus instrument, diamond tip  $r \sim 3,5 \mu\text{m}$   
 b) Stylus instrument, diamond tip  $r \sim 0,2 \mu\text{m}$   
 c) Laser-focus-system, focusdiameter  $1 \mu\text{m}$   
 d) Interference microscope with automatic image processing  
 e) Scanning electron microscope, evaluation from stereo pairs  
 below: SEM photo

Das REM-Verfahren liefert die beste Profilwiedergabe. Es ist jedoch wegen des großen Aufwandes nur für einzelne Grundsatzuntersuchungen geeignet. Es ist bisher für Oberflächen mit Profiltiefen zwischen  $0,25 \mu\text{m}$  und  $20 \mu\text{m}$  mit gutem Erfolg eingesetzt worden /4/.

Das normale Tastschnittgerät, dessen Diamantspitze einen Spitzenradius von wenigen Mikrometern aufweist, zeigt an diesem Beispiel eine gute Wiedergabe der wesentlichen Profilmerkmale. Der industrielle Einsatz dieser Geräte hat sich gut bewährt. - Für Oberflächen mit geringer Rauhtiefe und mit Gestaltabweichungen kleiner Wellenlängen ist jedoch ein Spezialgerät mit einer Diamantspitze mit sehr kleinem Spitzenradius ( $r \sim 0,2 \mu\text{m}$ ) erforderlich, um die feinen Gestaltabweichungen, auf die es dann ankommt, auch wirklich zu erfassen. Wichtig ist dabei, die wesentlichen Abtastbedingungen wie Spitzenradius, Tastkraft, Vorschubgeschwindigkeit, Härte und Elastizität der Oberfläche richtig zu optimieren. Das ist eingehend von Kranz /6/ untersucht worden. Im nachfolgenden Beispiel wird gezeigt, daß selbst eine empfindliche, sehr fein bearbeitete Kupferoberfläche von einer Diamantnadel mit einem sehr kleinen Spitzenradius ohne Beschädigung abgetastet werden kann.

Die mit den beiden optischen Verfahren gemessenen Profilaufzeichnungen zeigen, daß entweder diese Meßgeräte verändert werden müssen oder das Profil des Rauhnormals anders gestaltet werden muß, um damit solche Meßgeräte testen und kalibrieren zu können. Da mit anders gestalteten Oberflächen jedoch bessere Übereinstimmungen zwischen mechanischem und optischem Antasten erzielt werden, ist die Kernfrage die: Wo liegen die Grenzen des einen und des anderen optischen Meßverfahrens? Hier ist es nötig, zukünftige Untersuchungen anzusetzen. Bei den Untersuchungen mit dem Gerät d) hat sich auch gezeigt, daß eine

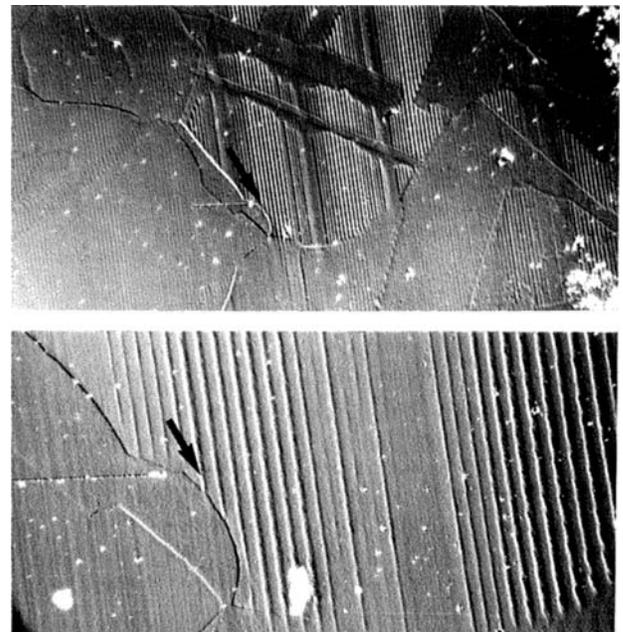


Fig. 2: Mikroskopaufnahme der Oberfläche eines diamantgedrehten Kupferspiegels,  
 oben: Übersicht, Objektausschnitt  $1 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$   
 unten: Objektausschnitt  $0,25 \text{ mm} \times 0,5 \text{ mm}$ ,

Fig. 2: Microscope image showing the surface of a diamond turned copper mirror,  
 above: survey, cutting out  $1 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$   
 below: cutting out  $0,25 \times 0,5 \text{ mm}$ ,

Abhängigkeit von der vorherigen Reinigung der Oberfläche vorhanden ist. Es sind dadurch Unterschiede im Meßergebnis der Rauhtiefe an derselben Meßstelle von über 50% aufgetreten.

#### Weitere Untersuchungen

Als ein Beispiel für das weitere Vorgehen wird nachfolgend über Messungen auf der Oberfläche eines diamantgedrehten Kupferspiegels berichtet. In einem Lichtmikroskop mit Interferenzkontrast nach Nomarski wurden die beiden Fotos in Fig. 2 aufgenommen. Oben ist eine Übersicht und unten ist der Ausschnitt, auf dem gemessen wurde, abgebildet. Die Meßstrecke beginnt am Ende des zur Markierung aufgebrauchten Kratzers und verläuft nach rechts. In Fig. 3 ist oben der Profilschrieb des Tastschnittgerätes (b) und unten der Profilschrieb des Interferenz-Mikroskops (d) zu sehen. Für die gemessenen Vorschubrillen wurde mit dem Gerät b) eine mittlere Rillentiefe von 14 nm und mit Gerät d) eine von 9 nm ermittelt. In Fig. 4 sind noch dreidimensionale Darstellungen der Oberfläche mit unterschiedlicher Vergrößerung, die mit dem Interferenzmikroskop aufgenommen wurden.

#### Schluß

Die neuen optischen Meßverfahren sind für die Oberflächenmeßtechnik ausgezeichnete Ergänzungen zu den bisherigen Meßverfahren. Es muß jedoch von Fall zu Fall geprüft werden, ob sie an der betreffenden Stelle sinnvoll eingesetzt werden können. Bevor solche Geräte zur Kontrolle einer Serienfertigung angewendet werden, ist es unbedingt erforderlich, an Einzelstücken vorher auch Messungen mit bisher bekannten und bewährten Meßgeräten durchzuführen.

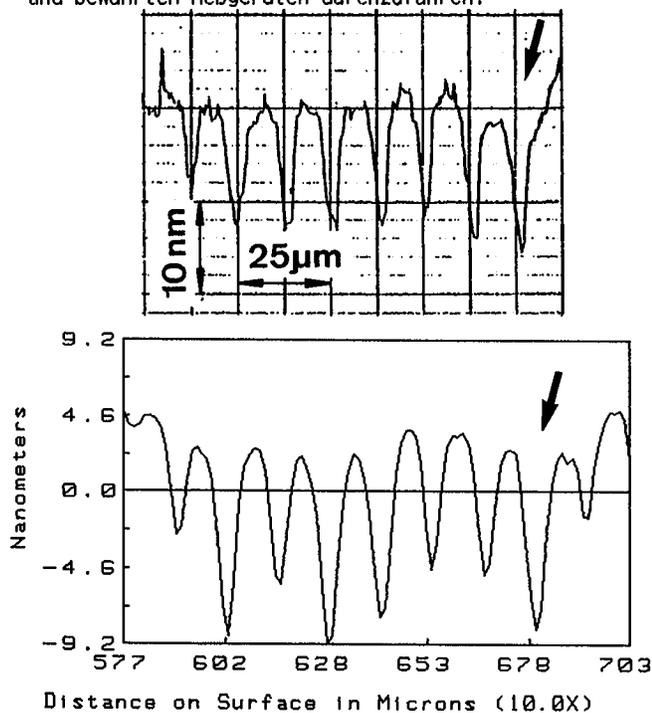


Fig. 3: Oberflächenprofil des Kupferspiegels in Fig.2, oben: aufgenommen mit Tastschnittgerät, Spitzenradius etwa 0,2 µm unten: aufgenommen mit Interferenzmikroskop

Fig. 3: Surface profile of the copper mirror in Fig.2, above: made by contact stylus instrument, tip radius about 0,2 µm below: made by interference microscope

#### Literatur

- /1/ Eckolt, K., 1983, Messung von Oberflächenprofilen mit dem Raster-Elektronenmikroskop - Herstellen und Auswerten von Stereobildpaaren -, PTB-Bericht PTB-Me-44.
- /2/ Eckolt, K., Pries, H., Barwinek, R., Ruge, J., 1987, Untersuchung von Kupferbruchflächen verschiedener Härte durch Tastschnittprofilogramme und stereoskopisches Auswerten von REM-Aufnahmen, Beitr. elektronenmikroskop. Direktabb. Oberfl. 20, S. 153-166.
- /3/ DIN 4768, Blatt 1, 1974, Ermittlung der Rauheitsmeßgrößen Ra, Rz, Rmax mit elektrischen Tastschnittgeräten, Grundlagen.
- /4/ Hillmann, W., Eckolt, K., 1988, Rauheitsmessungen mit dem Raster-Elektronenmikroskop in Beziehung zu Meßergebnissen des Tastschnittverfahrens, Feingerätetechnik 27, S. 5 - 9.
- /5/ ISO 5436, 1985, Calibration specimens-stylus instruments-Types, calibration and use of specimens.
- /6/ Kranz, O., 1980, Untersuchungen des Abtastvorganges bei Rauheitsmessungen, PTB-Bericht PTB-Me-29.

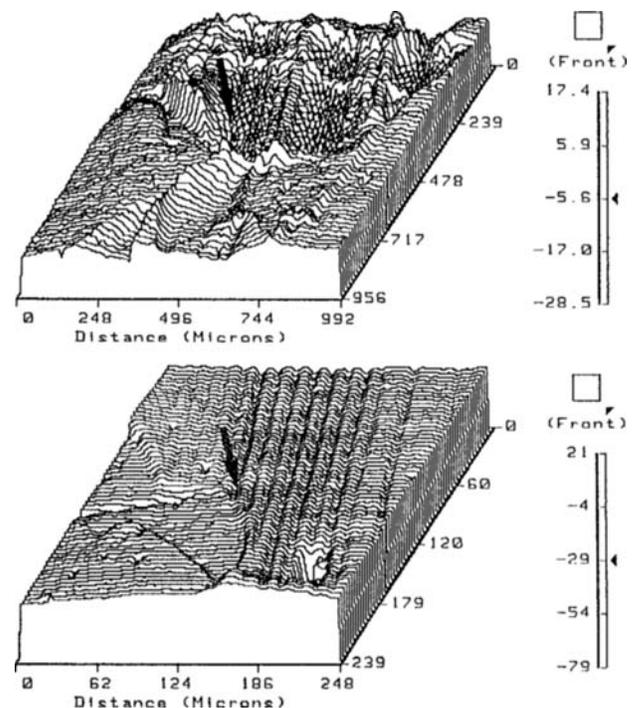


Fig. 4: Dreidimensionale Darstellung der Oberfläche des Kupferspiegels in Fig. 2, aufgenommen mit dem Interferenzmikroskop.

Fig. 4: Threedimensional representation of the surface of the copper mirror in Fig. 2, made by interference microscope.