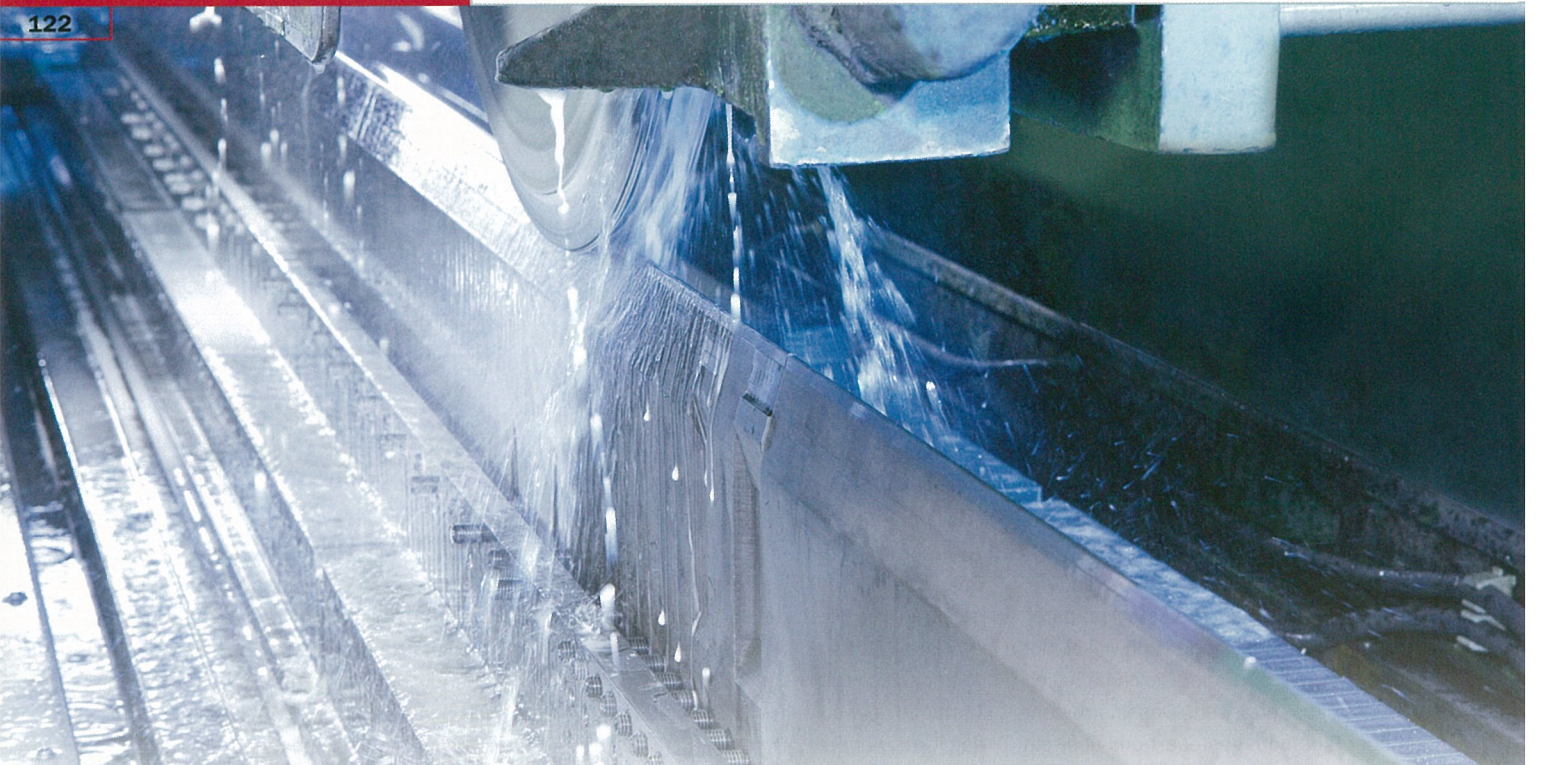




STREULICHTSENSOR MISS RAUHEIT UND FORM VON LINEARFÜHRUNGEN

Ganzflächige Beurteilung

**Boris Brodmann, Hermann Höltge, Ettlingen;
Marco Pagliuso, Herdwangen-Schönach**

Die Rauheit von Führungsbahnen wird bis heute überwiegend mit Tastschnittgeräten gemessen. Ein Streulichtsensor hingegen erfasst gleichzeitig die Form und Rauheit von geschliffenen und ultrapräzisionsbearbeiteten Linearführungen. Dadurch lässt sich auch deren Funktion beurteilen.

Linearführungen spielen in vielen Industriezweigen eine fundamentale Rolle. Von der Eisenbahn und den Werkzeugmaschinen über Automaten in der Halbleiter- und Solarindustrie bis hin zu hochgenauen Anwendungen in der Ultrapräzisionsbearbeitung und der Messtechnik sind die entsprechenden Oberflächen der Führungsbahnen verantwortlich für die jeweilige Funktion.

Meist ist dies ein möglichst reibungsarmes, verschleißfreies Gleiten der Kontaktpartner Rad-Schiene und Rolle-Führungsbahn sowie das Gleiten auf einem Luftpolster. Dabei führen Rauheitsunterschiede entlang der Führungsbahn, Abweichungen der einzuhaltenden Form und

minimale überlagerte Welligkeiten zu Verschleiß, ungenügend genauer Positionierung und nicht tolerierbaren Geräuschen.

Reibung reagiert auf Profilwinkel

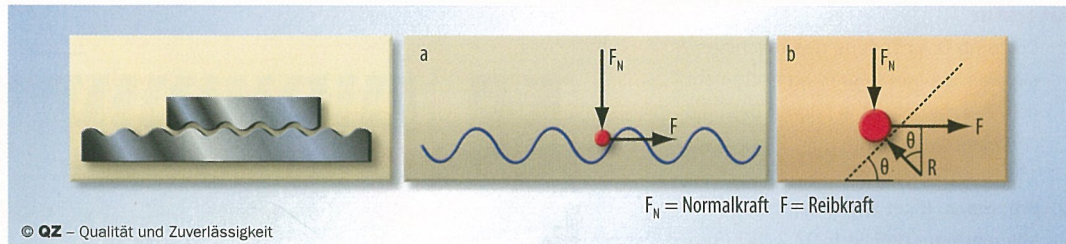
Für die Rauheitsmessung von Führungsbahnen werden bis heute überwiegend Tastschnittgeräte eingesetzt. Diese tasten mit einer Diamantspitze (6 µm Radius) die Oberfläche auf einer Länge von 4 mm ab, woraus dann die Rautiefenkenngroße R_a (arithmetischer Mittelwert der Rautiefe) oder R_z (Mittelwert aus fünf maximalen Rautiefenwerten) ermittelt werden.

Bei einer 100 mm langen und 10 mm breiten Führung wird durch eine Tast-

schnittmessung nur ein winziger Teil der gesamten Oberfläche beurteilt. Ist der Fertigungsprozess nicht gleichförmig, können viele Bereiche der Oberfläche eine andere Rauheit aufweisen. Kritisch ist auch die Beurteilung der Oberfläche mit nur einem oder zwei Parametern, die fast alle nur die Tiefe des Profils widerspiegeln, aber nicht auf Textur und Profilform eingehen. Für das Auftreten von Reibungskräften ist weniger die Rautiefe (R_a , R_z) verantwortlich als vielmehr die Steigung des Profils.

Dieser Zusammenhang ist bereits in einer historischen Abbildung von Coulomb [1] zu erkennen (Bild 1). Flache Profilwinkel führen zu einer Verminderung

Bild 1. Reibung:
Darstellung nach
Coulomb 1785 (links),
Kräfteverhältnisse nach
Popov (Mitte und rechts)



der Reibung. Dies ist der Grund dafür, dass bei der Herstellung von Gleitflächen oft nach der Vorbearbeitung (Schleifen, Drehen) noch ein Glättungsverfahren (Finishen, Rollieren) folgt, das die Profilwinkel abflacht.

Diese Einebnung lässt sich mit Ra oder Rz nur unzulänglich beschreiben, da oft nur die obersten Spitzen der Oberfläche betroffen sind. Besser wäre es hier, den Hybridparameter Rdq heranzuziehen, der den quadratischen Mittelwert der lokalen Profilsteigungen angibt. Da zur Berechnung des Kennwerts die Profilkurve differenziert werden muss, machen sich bereits kleinste Vibrationen der Tastnadel störend bei der Winkelberechnung bemerk-

bar, was zu unsicheren Rdq -Werten führt. Dies ist der Grund, warum der Profilwinkelwert nur selten zur Beurteilung von Oberflächen herangezogen wird.

Streulichtsensor erfasst Winkel

Das Streulichtmessverfahren ist dagegen eine Methode, um Änderungen der Profilwinkel auf technischen Oberflächen zu messen (Bild 2). Die Grundlagen der Streulichtmesstechnik wurden bereits beschrieben [2]. Die zu messende Oberfläche wird mit einem relativ großen Messfleck (z.B. 0,9 mm) beleuchtet. Das von der Oberfläche zurückgestreute Licht gelangt über eine winkelskorrigierte Optik

auf eine Detektorzeile, die von einem PC dargestellt und ausgewertet wird.

In der Streulichtverteilung ist sowohl die Information über die Rauheit der Oberfläche in Form ihrer Profilwinkelverteilung enthalten als auch die lokale Formabweichung. Nach der Mikrofacetten-Theorie und dem Reflexionsgesetz ist der gemessene Winkel dabei immer doppelt so groß wie die Profilwinkel.

Wird z.B. eine Oberfläche 1 geglättet [3], treten mehr flache Winkel auf und die Streulichtverteilung wird schmaler (Bild 2 oben). Als Kenngröße wird nach VDA 2009 [4] die Varianz der Verteilungsfunktion berechnet. Mathematisch ist der Aq -Wert eng mit dem Rdq -Wert verwandt. »

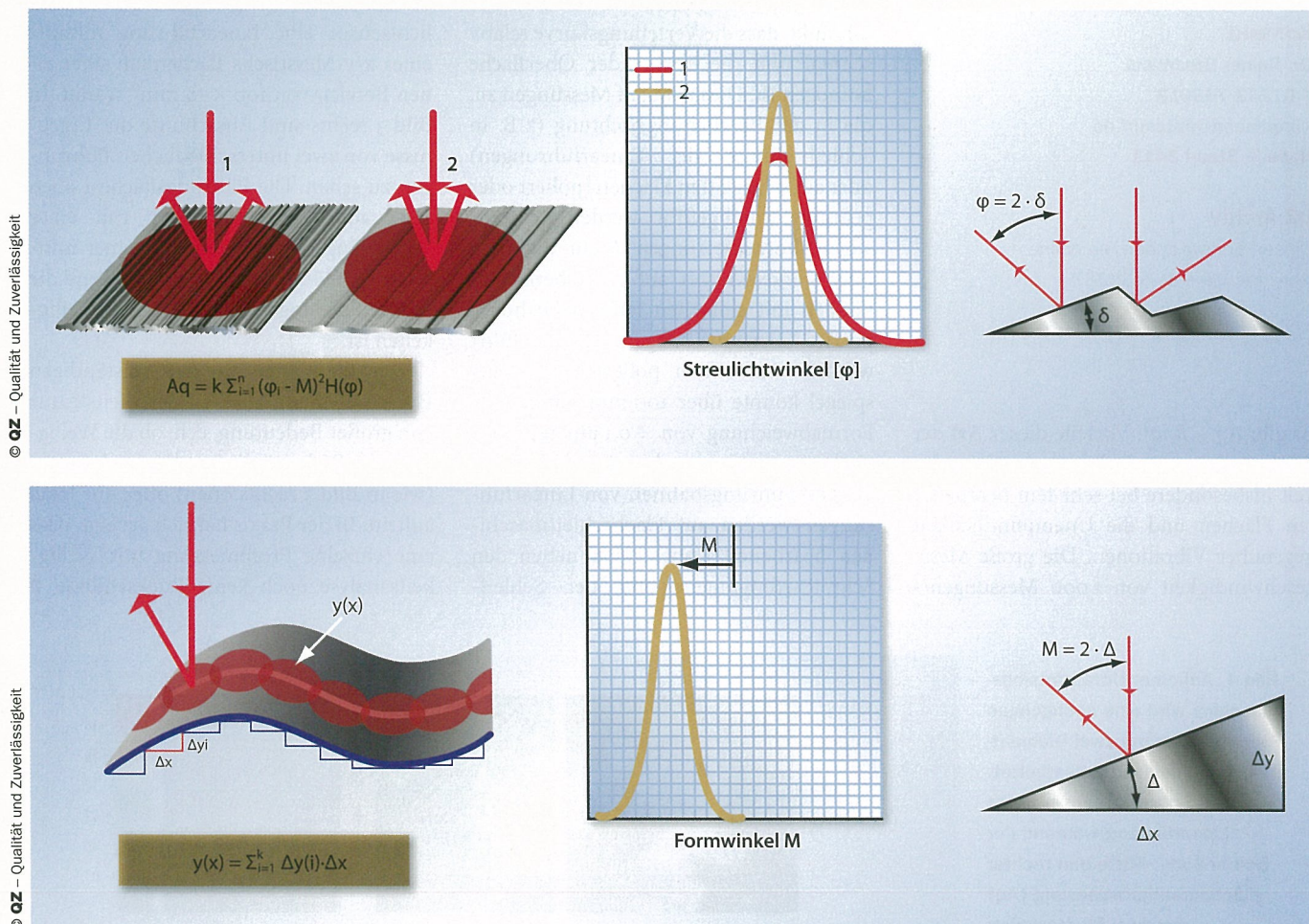


Bild 2. Streulichtmessverfahren (gemäß VDA 2009). Oben: Rauheitsmessung, unten: Formmessung



Literatur

- 1 Coulomb C. A.: Théorie des machines simples, en ayant égard au frottement de leurs parties, et la roideur des cordages. Mem Math Phys Paris 1785; x:161–342
- 2 Brodmann, R., et al.: Kenngrößen der Mikrostruktur definiert. QZ 7/2008, S. 46; www.qz-online.de/qz102624
- 3 Popov, V. L.: Kontaktmechanik und Reibung. Springer Verlag, Heidelberg 2010
- 4 VDA 2009: Geometrische Produktspezifikation, Oberflächenbeschaffenheit, Winkelaufgelöste Streulichtmesstechnik. Verband der Automobilindustrie (VDA), 2010

Autoren

Boris Brodmann, geb. 1972, verantwortet bei der OptoSurf GmbH, Ettlingen, die Applikation und den Vertrieb.

Hermann Hölte, geb. 1952, ist bei der OptoSurf GmbH verantwortlich für den Service und die Kundenbetreuung.

Marco Pagliuso, geb. 1984, ist bei der LT-Ultra GmbH, Herdangen-Schönach, Leitender Projektingenieur.

Kontakt

Dr. Rainer Brodmann
T 07243 766013
r.brodmann@optosurf.de
Halle 3, Stand 3411

QZ-Archiv

Diesen Beitrag finden Sie online:
www.qz-online.de/431368

Es gilt: $Aq \sim R_d q^2$. Vorteile dieser Art der Rauheitsmessung sind die hohe Genauigkeit insbesondere bei sehr fein bearbeiteten Flächen und die Unempfindlichkeit gegenüber Vibrationen. Die große Messgeschwindigkeit von 2000 Messungen/s

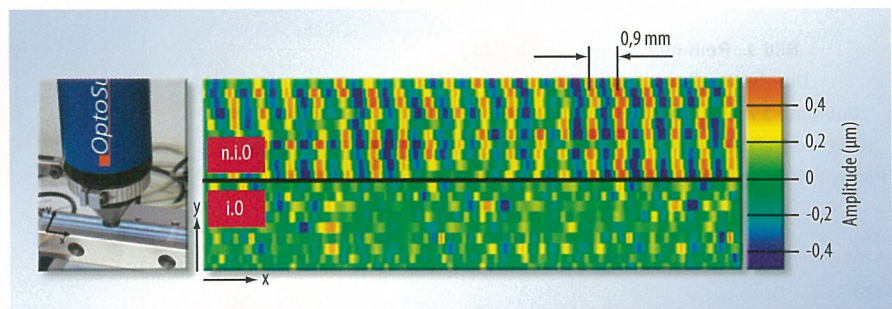


Bild 3. Links: Streulichtsensor misst Linearführung. Rechts: Flächenscan (Ausschnitt 18 x 4,5 mm²), Führung 1 (oben) mit Welligkeit und Führung 2 (unten) ohne Welligkeit

erlaubt eine ganzflächige Beurteilung von Funktionsflächen in wenigen Sekunden.

Bild 2 unten siziert die Formmessung mit Streulicht. Entlang des zu messenden Profils werden lückenlose Streulichtmessungen im Abstand Δx durchgeführt. Je nach lokaler Formabweichung Δy verkippt die Streulichtverteilungskurve um den Winkel Δ . Der Streulichtsensor misst den Winkel $M = 2 \cdot \Delta$, aus dem über die Winkel-funktion die lokale Formabweichung Δy berechnet wird. Summiert man entlang der Messstrecke alle Winkel, ergibt sich daraus das Formprofil.

Diese Methode ist auf den Fall beschränkt, dass die Verteilungskurve relativ schmal und die Textur der Oberfläche homogen ist. Dies trifft auf Messungen zu, die in der Bearbeitungsrichtung (z. B. in Schleifrichtung bei Linearführungen) oder auf sehr glatten Flächen (poliert oder gefinisht) durchgeführt werden. Bei günstigen Voraussetzungen (kein Schmutz oder starke Kratzer auf der Oberfläche) können mit einfachen Führungen hochpräzise Formmessungen durchgeführt werden. Auf einem polierten Zerodur-spiegel konnte über 100 mm Länge eine Formabweichung von $< 0,1 \mu\text{m}$ reproduzierbar gemessen werden.

Die Führungsbahnen von Linearführungen werden auf Flachsleifmaschinen bearbeitet. Dabei spielt neben den Schnittbedingungen und der Schleif-

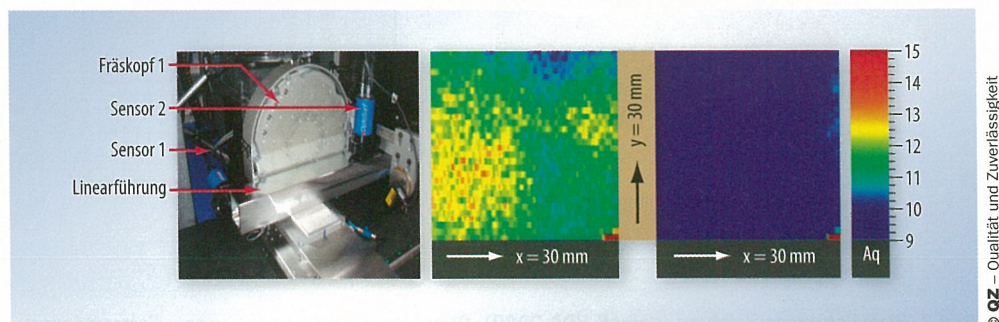
scheibenqualität vor allem die Steifheit der Schleifmaschine eine sehr wichtige Rolle. Störungen von außen oder kleinste interne Schwingungen der Maschine oder der Schleifscheibe führen zu Rauheitsänderungen und zu sehr feinen Welligkeiten auf der kritischen Funktionsfläche. Mechanische Messungen mit Tastern sind hier sehr schwierig, da die Messsignale durch die Rauheit stark „verrauscht“ sind.

Kontrolle von Linearführungen

In Bild 3 links wird gezeigt, wie der Streulichtsensor eine Linearführung mithilfe eines x/y-Messtischs flächenhaft über einen Bereich von $100 \times 10 \text{ mm}^2$ scannt. In Bild 3 rechts sind Ausschnitte der Ergebnisse von zwei unterschiedlichen Führungen zu sehen. Die Führungsfläche 1 oben zeigt auffällige Welligkeiten mit einer Wellenlänge von 0,6 mm und einer mittleren Amplitude von 0,4 μm , während die untere Führungsfläche 2 frei von Welligkeiten ist.

Für die Beurteilung der vollständigen Flächenmessung ist die Welligkeitstextur von großer Bedeutung, d. h. ob die Welligkeit in y-Richtung linear durchgehend ist (wie in Bild 3 rechts oben) oder nur lokal auftritt. In der Praxis hat sich gezeigt, dass eine einzelne Profilmessung mit Welligkeitsanalyse noch keine Rückschlüsse »

Bild 4. Auf einer Ultrapräzisionsmaschine wird eine hochgenaue Führungsbahn mit zwei Diamantfräsköpfen beidseitig bearbeitet. Links: Streulichtsensor misst Linearführung während der Bearbeitung. Mitte und rechts: Flächenrauheitsmessung (Aq) von zwei Musterteilen



zulässt, ob eine Fläche in Funktion zu unzulässigen Geräuschen führt oder nicht. Erst die Beurteilung der flächenhaften Verteilung der Welligkeiten erlaubt eindeutige Aussagen über eine i.O.- oder n.i.O.-Führung.

Bei einer 10 mm breiten Führung reichen für die Flächenmessung in der Regel maximal 15 Profile aus. Das bedeutet bei einer angenommenen Messlänge von 100 mm eine gesamte Messzeit von < 10 s, wenn ein Scantisch mit Linearmotoren eingesetzt wird und ein Glasmaßstab den Sensor exakt triggert. Dadurch können die Profile in beiden Fahrtrichtungen aufgenommen werden.

Die Frage, die sich bei Welligkeitsamplituden von < 1 µm aufdrängt, ist die nach der Genauigkeit der Führungen des messenden Scantischs. Man sollte annehmen, dass nur hochpräzise Führungen, die genauer sind als die zu messende Führung, eingesetzt werden dürfen. Dies ist für alle abstandsmessenden Sensoren (Taster, chromatische Sensoren, Interferometer) richtig, nicht aber für den Streulichtsensor, der lokale Winkeländerungen erfasst. Störende, vertikale Schwankungen einer „schlechten“ Führung lassen den lokalen Formwinkel unverändert, sodass die Formmessung über eine Winkelmessung hiervon nicht beeinflusst wird. Lediglich eine langwellige Ungenauigkeit beeinflusst das Ergebnis einer Geradheitsbestimmung.

Für die Anwender ergeben sich durch den Einsatz der Streulichtmesstechnik folgende Vorteile:

- schnelle 100-Prozent-Prüfung von hochpräzisen Führungen,
- gleichzeitiges Messen der Rauheit in Funktionsrichtung (A_q),
- schnelles Einstellen der Schleifmaschine nach Schleifscheibenwechsel oder Störungen.

Messen während der Bearbeitung

Für hochgenaue Anforderungen in den Bereichen Halbleiter- und Ultrapräzisionstechnik werden oft Luftlagerführungen eingesetzt. Rauheitsschwankungen auf der bearbeiteten Führungsbahn und geringe Formabweichungen führen zu Störungen der Aerodynamik und zu Messfehlern.

In manchen Anwendungen sind Formabweichungen von > 1 µm auf 1000 mm nicht mehr tolerierbar. Führungen von

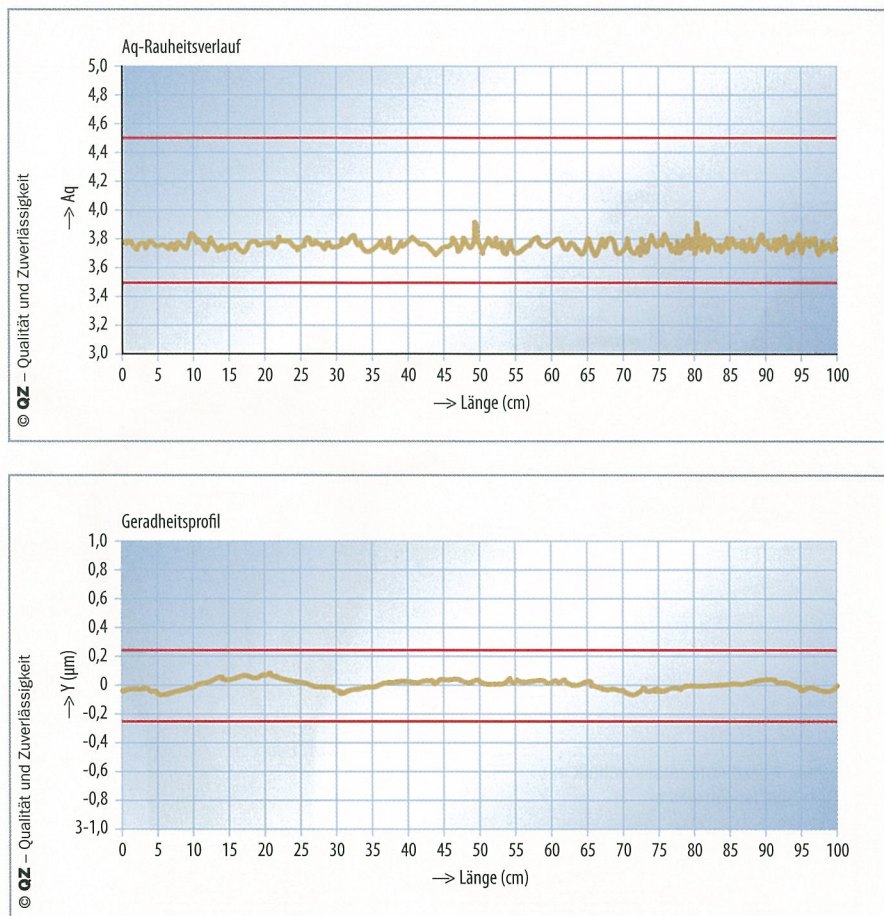


Bild 5. Ergebnis einer i.O.-Fläche. Oben: Verlauf des Rauheitswerts A_q . Unten: gleichzeitig aufgenommenes Geradheitsprofil auf einer Länge von 100 cm; die aus den gemessenen Winkelabweichungen berechnete Geradheit liegt bei < 1 µm.

dieser Güteklasse werden auf Ultrapräzisionsmaschinen hergestellt, die mit einer Diamantschneide die Oberfläche bearbeiten und dabei eine Qualität erreichen, die, als R_a -Wert ausgedrückt, bei wenigen Nanometern liegt (Bild 4).

Ein Anwender forderte eine messtechnische Überwachung der Oberfläche hinsichtlich Form und Rauheit während der Bearbeitung. Nach umfangreichen Testmessungen an verschiedenen bearbeiteten Musterteilen und einem Zerodur-Referenzspiegel von 0,1 µm Geradheit auf 300 mm Länge wurde der Streulichtsensor OS 500 von OptoSurf, Ettlingen, eingesetzt.

Als vorteilhaft hat sich die gleichzeitige Messung von Form und Rauheit erwiesen und vor allem die Unempfindlichkeit der Messmethode gegen Abstandsänderungen. Da zwei Flächen im rechten Winkel zueinander gleichzeitig bearbeitet werden, ist für jede Seite ein Sensor im Einsatz.

Die Ergebnisse von Rauheitsmessungen an Musterteilen sind in Bild 4 unten zu

sehen. Diese Messungen wurden mit einem x/y-Scantisch durchgeführt. Die n.i.O.-Fläche zeigt Rauheitsschwankungen im Bereich von $A_q = 10 \dots 13$ µm, während die i.O.-Fläche eine homogene Rauheitsverteilung im Bereich von $A_q = 9,5$ µm aufweist. Nach Vergleichsmessungen entspricht dies einem R_z -Wert von < 0,2 µm.

Beim Einsatz in der Maschine werden Geradheit und Änderungen der Rauheit auf der gesamten Bearbeitungslänge von bis zu 3 m gemessen (Bild 5). Beide Sensoren werden von einem Heidenhain-Wegmesssystem getriggert und starten automatisch, sobald der Sensormessfleck die Oberfläche erreicht.

Eine wichtige Maßnahme ist das Säubern der Oberfläche durch einen leichten Luftstrom, um die sehr feinen Bearbeitungsspäne im Messbereich zu beseitigen. Die Vorteile einer solchen In-Prozess-Messung liegen auf der Hand. Da die Maßhaltigkeit und Rauheit ständig gemessen werden, können bei nicht zulässigen Abweichungen die Maschinenparameter schnell geändert werden. □