

# Optische Messverfahren zur Hochgeschwindigkeitsprüfung von rotationssymmetrischen Präzisionswerkzeugen

Marco Büchner

Mahr OKM GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena

<mailto:marco.buechner@mahr.de>

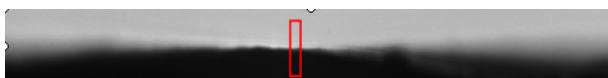
Dieser Beitrag beschreibt Verfahren zur Messzeitreduzierung bei der Prüfung von rotationssymmetrischen Präzisionswerkzeugen mit Hilfe von optischen Koordinatenmessgeräten (KMG). Die Messzeitreduzierung wird maßgeblich durch die Messwertgewinnung während der Bewegung mindestens einer Maschinenachse sowie paralleler Datenerfassung und -auswertung erreicht.

## 1 Einführung

Eine 100%-Prüfung wird in vielen Gebieten der Fertigungsmesstechnik angestrebt. Auch für eine optimale Qualitätssicherung von rotationssymmetrischen Präzisionswerkzeugen (roPrWz) ist dies das Ziel. Hierbei sind Aussagen über die einzelnen Schneiden statt der Hüllkontur gefordert. Dies führt neben dem für die hohe Präzision erforderlichen Start-Stop-Betrieb optischer KMG's zu langen Messzeiten, weshalb eine 100%-Prüfung aktuell nicht erreicht werden kann. Dieser Beitrag beschreibt im Weiteren Verfahren zur Reduzierung der Messzeit bei der Einzelschneidenmessung.

## 2 Grundlagen

Zur Messung von roPrWz werden der optische Sensor (Kamera mit telezentrischem Objektiv und telezentrischer Durchlichtbeleuchtung) und das Werkzeug so angeordnet, dass sich der Fokuspunkt des Sensors in der Werkzeugachse befindet [1,3]. Mit Hilfe einer Rotationsachse wird das Werkzeug um seine Längsachse gedreht. Somit lässt sich für jede laterale Position die Kontur jeder einzelnen Schneide mit Hilfe des Schattenbildverfahrens scharf abbilden. Aufgrund der meist geschraubten Schneiden von roPrWz, wird die Kontur einer Schneide nur in einem kleinen lateralen Bereich scharf abgebildet (Abb. 1).



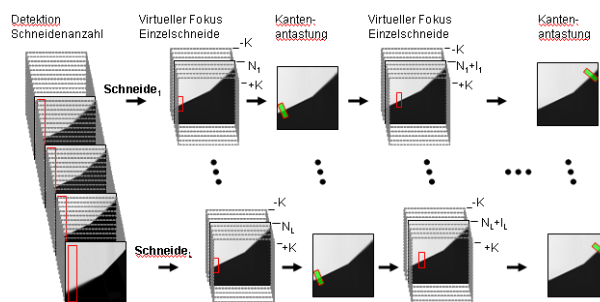
**Abb. 1** Abbildung einer geschraubten Schneidkante im Durchlichtverfahren mit Kennzeichnung des lateral scharf abgebildeten Bereichs (rotes Rechteck).

Um die komplette Kontur einer Schneide vermessen zu können, ist eine wiederholte Scharfstellung und Kantenantastung [2 S.85] für kleine interessierte Bereiche (ROI) notwendig. Die Scharfstellung erfolgt hierbei durch die Positionierung auf den mittels Fokusverfahren [2 S. 64-69] ermittelten Fokuswinkel. Für eine vollständige Erfassung

muss dies für sehr viele ROI's und für alle Schneiden wiederholt werden.

## 3 Prinzip dynamische Messverfahren

Von dynamischen Verfahren spricht man, wenn die für das Ergebnis gewonnenen Daten während der Bewegung zwischen Sensor und Messobjekt erfasst werden. In [3] wird ein Verfahren beschrieben, wo die Erfassung des Werkzeugs während der Rotation des Werkzeugs erfolgt. In Anlehnung an [3] kann die Prüfung der Einzelschneiden wie im Weiteren beschrieben deutlich reduziert werden. Grundlage stellt die zwischen KMG-Steuerung und Kamera synchronisierte Aufnahme einer Sequenz aus Bildern und Positionen dar. Durch die während der Rotation des Werkzeugs aufgenommenen Informationen, bestehend aus Bild und korrespondierenden 4D-Achsinformationen des KMG, kann die Kontur je nach Drehbereich einzelner oder aller Schneiden des roPrWz erfasst werden. Hierbei erfolgt die Erfassung im kompletten Bildfeld der Kamera wodurch deutlich mehr Informationen in kürzerer Messzeit gewonnen werden. Durch die intelligente Auswertung der Bild-Positionssequenz (Abb. 2) wird die strikte Trennung zwischen Fokus- und Kantenantastung aufgehoben. Aufgrund der Einsparung von Positionierungen gegenüber den statischen Verfahren sowie der Aufnahme einer zweiten Sequenz und paralleler Auswertung der Ersten, wird die Messzeit weiter reduziert.



**Abb. 2** Parallele dynamische Konturauswertung der Bild-Positionssequenz je Schneide eines roPrWz

Die Auswertung startet am Bildfeldrand unter Verwendung eines sehr schmalen ROI's. Dieser ist kleiner als der lateral scharf erfassbare Bereich. Auf Basis von Fokusverfahren erfolgt innerhalb der Sequenz die Detektion der Schneidenanzahl sowie der Fokuswinkel  $C_F$  jeder einzelnen Schneide. Anschließend findet die parallele Konturauswertung jeder Schneide statt. Dazu wird das Bild mit dem minimal zu  $C_F$  korrespondierenden Winkel extrahiert und eine Kantenantastung unter Nutzung der zum Bild korrespondierenden Achsdaten durchgeführt. Für jede Schneide wird anschließend entsprechend der detektierten Kontur das ROI lateral verschoben, bis das komplette Bildfeld ausgewertet ist. Zum Schluss erfolgt eine Synchronisierung mit der zweiten Aufnahme. Die parallele Auswertung und Aufnahme wird fortgesetzt, bis das komplette Werkzeug erfasst ist. Da die Geometrie des Werkzeugs nicht bekannt sein muss, wird das Prinzip als „Dynamic Contour Scan“ (DCS) bezeichnet.

#### 4 Verfahrensspezialisierungen

Abhängig von der Kenntnis der Werkzeugparameter, kann die dynamische Messung von roPrWz weiter optimiert werden. So lässt sich die Anzahl von Positionierung entsprechend der Werkzeuggeometrie reduzieren - „DCS geo“. Abhängig von der Schneidenanzahl, Spannutensteigung und maximaler Drehgeschwindigkeit kann die Messung von Einzelschneiden - „Single DCS“ - mit reduziertem Drehwinkel geeigneter als die Komplettmessung über 360 Grad sein. Ist eine exakte Beschreibung des Werkzeugs gegeben, können mehrere Achsen des KMG's gleichzeitig positioniert werden, wodurch eine hoch dynamische Variante „HDCS“ entsteht. In Abb. 5 sind die einzelnen Verfahren entsprechend der bekannten Werkzeuginformationen dargestellt.

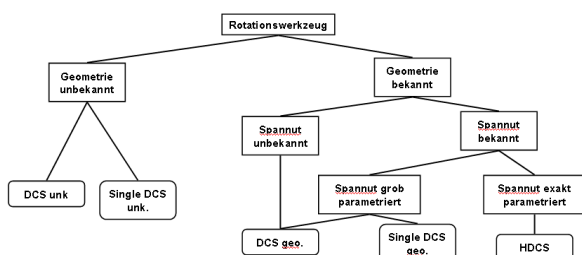


Abb. 3 Überblick dynamische Messverfahren

#### 5 Ergebnisse

Durch Abtastung des Drehbereichs bei der Sequenzaufnahme ergibt sich ein max. Winkelfehler  $C_e^{\max}$  in Grad (1). Dieser ist abhängig von der aus Kamerafrequenz und Drehgeschwindigkeit resultierenden Winkelauflösung  $A$ . Entsprechend der geometrischen Anordnung kann aus (2) der max. Radienfehler bei der dynamischen Messung be-

stimmt werden. Dieser ist abhängig von Werkzeugradius und der Winkelauflösung.

$$C_e^{\max} = \frac{1}{2} (C_{i+1} - C_i) = \frac{1}{2} A \quad (1)$$

$$dRf_R^A = R \cdot (1 - \cos(C_e^{\max})) \quad (2)$$

In Abb. 4 sind die Formabweichungen am Beispiel der Messung eines Tannenbaumfräasers mit einem Radius von 16mm dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der Fehler (Sprung in der Formabweichung) entsprechend kleinerer Winkelauflösung geringer wird. Er ist jedoch größer als der theoretische Fehler (2). Dies kann auf den Telezentriefehler des verwendeten Objektivs zurückgeführt werden. Bei  $A=0.25^\circ$  sind keine Abweichungen detektierbar.

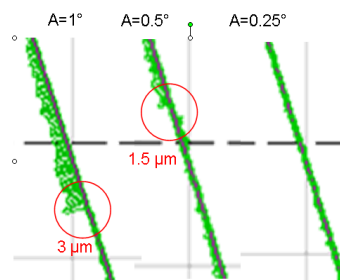


Abb. 4 Sprünge in Formabweichung bei der Messung mittels DCS in Abhängigkeit von der Winkelauflösung. Tannenbaumfräser  $R=16\text{mm}$

Die Ergebnisse (Abb. 4 und Tab. 1) zeigen, dass mittels dynamischer Messverfahren eine deutliche Messzeitreduzierung von mind. 35% bei gleicher Messunsicherheit möglich ist. Bei größeren Toleranzen ist eine Reduzierung von mehr als 50% möglich.

Messverfahren	Bemerkung	Messzeit [min]
Statisch	Einzelschneide	3:32
SingleDCS geo	Einzelschneide $A=0.25^\circ$	1:38
SingleDCS geo	Einzelschneide $A=0.5^\circ$	1:24
SingleDCS geo	4xEinzelschneide $A=0.5^\circ$	6:14
DCS unk	4 Schneiden $A=0.5$	5:42

Tab. 1 Vergleich der Messzeiten für unterschiedliche Messverfahren. Tannenbaumfräser mit 4 Schneiden

#### Literatur

- [1] H. Hage, D. Ernst: „Präzisionsmessung“ in: *Quality Engineering Nr. 5* S. 68-69, 1999 (ISSN 1436-2457 Konradin)
- [2] S. Töpfer: „Automatisierte Antastung für die hochauflösende Geometriemessung mit CCD-Bildsensoren“ Technische Universität Ilmenau Dissertation, 2008
- [3] Carl Mahr Holding GmbH: „Verfahren und Vorrichtung zur Werkzeuermessung“ Patent DE102007053993B4, 2010