

Oberflächenschadenskontrolle mit dem Streulichtsensor

A. Leis, M. Kästner, E. Reithmeier

Institut für Mess- und Regelungstechnik, Leibniz Universität Hannover

Nienburger Straße 17, 30167 Hannover

Ansprechpartner: Alexander Leis, Tel.: 0511 762-5816,

Email: alexander.leis@imr.uni-hannover.de

Abstract: Im Rahmen des AiF-Projektes »Auswirkung stochastischer Strukturen von Gegenauflflächen auf die Funktion von Radialwellendichtringen« wurde ein optisches Messsystem zur Erfassung sowohl langwelliger (Dellen) als auch kurzwelliger (Kratzer) Gestaltabweichungen entwickelt. Das Messsystem besteht aus zwei Sensoren: Der Streulichtsensor wird zur Erfassung der Dellengeometrie und zur Detektion von Kratzern eingesetzt; der chromatische Sensor wird zur Erfassung der Kratzergeometrie verwendet. In diesem Artikel wird über die Verwendung des Streulichtensors zur Detektion von Kratzern berichtet.

I. EINLEITUNG

Die moderne industrielle Fertigung stellt immer höhere Anforderungen an die Funktion von Oberflächen. So wird zum Beispiel für die Gegenauflflächen von Radialwellendichtringen (RWDR) nach den DIN-Normen 3760 [1] und 3761 [2] eine gehärtete und im Einstich geschliffene drallfreie Oberfläche gefordert, die frei von jeglichen Fehlstellen wie Dellen, Kratzern, Rissen, Rost und Ausbrüchen sein muss. In den letzten Jahren wurden die Auswirkung von Drallstrukturen, Schmierstoffen, Elastomeren, Fluiden usw. auf die Funktionsweise von RWDR in verschiedene Untersuchungen mit

einbezogen [3], [4], [5], [6]. Das AiF-Projekt »Stochastische Strukturen« hat die Bewertung von stochastischen Oberflächenbeschädigungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Dichtverhalten zum Ziel. Ferner soll innerhalb dieses Projektes ein optisches Messsystem entwickelt werden, mit dem sowohl langwellige (Dellen) als auch kurzwellige Gestaltabweichungen (Kratzer) geometrisch quantifiziert werden können. Auf Basis der Sensordaten und daraus abgeleiteten geometrischen Kennzahlen ist zu entscheiden, welche Strukturen dichtungstechnisch zulässig und welche nicht zulässig sind. Im Rahmen des Projektes wurde ein

Duosensorsystem zur Erfassung stochastischer Defekte auf den Wellenoberflächen entwickelt (siehe Abbildung 1). Das System besteht aus einem Koordinatenmessgerät (KMG) und zwei Sensoren: Der Streulichtsensor wird zur Erfassung langwelliger und zur Detektion kurzwelliger Gestaltabweichungen verwendet, der chromatische Sensor hingegen lediglich zur Geometriemessung kurzwelliger Gestaltabweichungen.

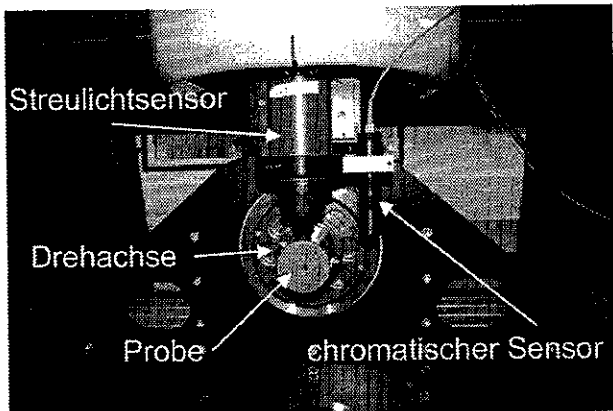


Abbildung 1: Duosensorsystem zur Erfassung stochastischer Oberflächenschäden.

Auf die Detektion kurzwelliger Gestaltabweichungen (Kratzer) mit einem Streulichtsensor wird nachfolgend näher eingegangen.

II. FUNKTIONSPRINZIP DES SENSORS

Für die Oberflächeninspektion wurde ein Streulichtsensor der Firma »Optosurf« verwendet. Der Sensor besteht aus

einer Lichtquelle (LED), einer Linse und einem zeilenförmigen Detektor (siehe Abbildung 2). Das Licht der LEDs wird von der Oberfläche unter verschiedenen Winkeln φ zurückgestreut. Daraufhin konnte die Intensitätsverteilung des zurückgestreuten Lichtes mit dem Detektor aufgenommen werden. Der verwendete Detektor besteht aus 32 Photodioden, jede Photodiode liefert einen Intensitätswert I_i ($i = 1 \dots 32$).

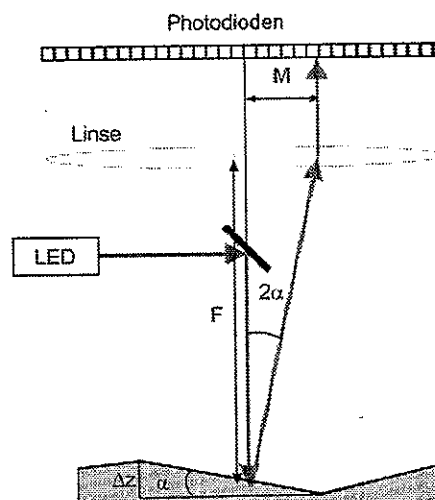


Abbildung 2: Aufbauschema des Sensors.

Im Prinzip enthält das Streulicht Informationen über die Mikro- und Makrogeometrie der beleuchteten Oberflächen (siehe Abbildung 3).

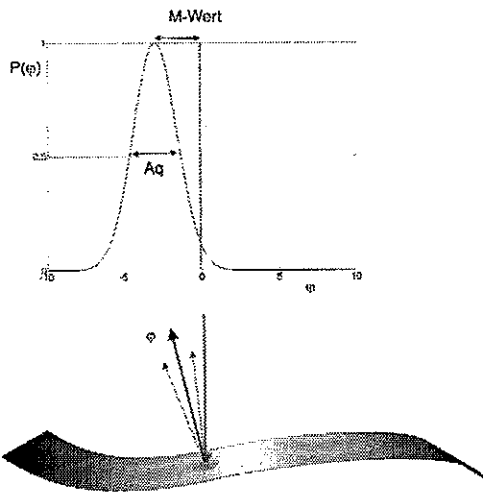


Abbildung 3: Normierte Streuwinkelverteilung $P(\varphi)$.

Die Kenngrößen des Streulichtensors können in zwei Gruppen unterteilt werden: Makrostrukturkenngößen (Gesamtintensität I_{ges} , normierte Streuwinkelverteilung $P(\varphi)$, mittlere Lage der Streuwinkelverteilung M) und Mikrostrukturkenngößen (Varianz der Streuwinkelverteilung A_q , Schiefe der Streuwinkelverteilung A_{sk} , Steilheit der Streuwinkelverteilung A_{ku}) [7].

III. MESSERGEBNISSE

Die gemessenen Laufzapfen haben eine zylindrische Form, welche für die Analyse der Oberflächenschäden jedoch aus den gemessenen Daten entfernt wurde. Außerdem haben alle Laufzapfen einen Durchmesser D von 60 mm (dies entspricht der Länge entlang der X-Achse von etwa 188,5 mm).

Während des Scannvorganges wurden

mehrere Messprofile aufgenommen. Hierfür wurde der Laufzapfen nach jeder vollen Umdrehung um einen Schritt Δy bezüglich des Streulichtensors in Y-Richtung verschoben. Dieser Prozess wurde sich so viele Male wiederholt bis insgesamt eine Ringfläche von 10 mm gescannt wurde. Am Ende der Messung wurden die Messprofile zusammengesetzt und analysiert.

I.1 Topographierekonstruktion aus M-Werten des Streulichtensors

Abbildung 4 präsentiert das typische Ergebnis einer Messung bei mittlerer Lage der Streuwinkelverteilung. Im Bild sind Exzentrizitäts- und Taumelfehler der Laufzapfenpositionierung aufgrund von charakteristischen sinusförmigen Schwankungen zu erkennen.

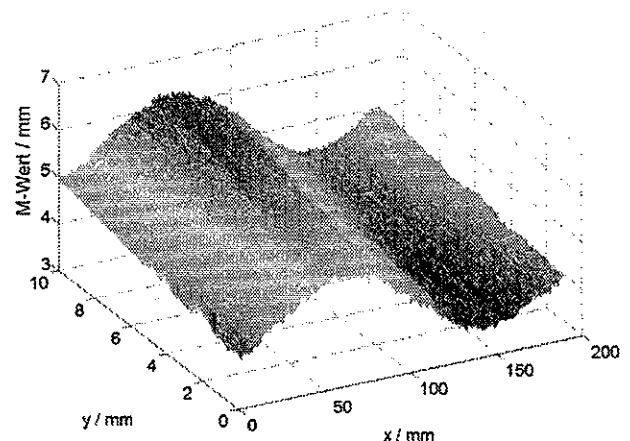


Abbildung 4: Die typische M-Wert-Messung einer Laufzapfen-Oberfläche.

Die Oberflächentopographie lässt sich aus M-Werten rekonstruieren. Mit Hilfe der trigonometrischen Beziehungen kann die Steigung Δz einer Profilstrecke berechnet werden (siehe Abbildung 2),

$$\Delta z = \Delta x \cdot \tan\left(\frac{1}{2} \arctan\left(\frac{M}{F}\right)\right)$$

wobei M der gemessene M-Wert, F die Brennweite der Sammellinse des Streulichtensors und Δx die Länge der Messstrecke ist. Durch die Integration

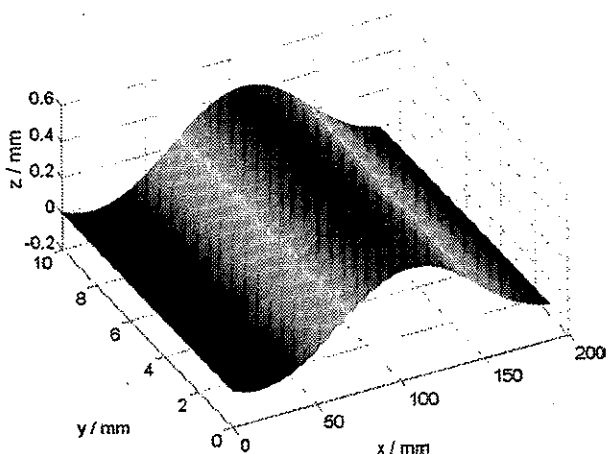


Abbildung 5: Die rekonstruierte Oberflächentopographie.

über mehrere lokale Profilsteigungen erhält man die Höheninformationen. Die rekonstruierte Topographie ist in Abbildung 5 dargestellt. Bei der Rekonstruktion wurde angenommen, dass der Anfangspunkt jedes einzelnen Messprofils mit dem Null-Wert beginnt,

wodurch der Taumelfehler eliminiert wird. Durch die entsprechende Hochpass-Filterung [9] werden ebenfalls die Exzentrizitätsfehler und die Welligkeit erster Ordnung entfernt (siehe Abbildung 6), so dass es am Ende die ungestörte Topographie zur weiteren Analyse gibt. Im Gegensatz zu Abbildung 4 und Abbildung 5 ist ein Kratzer in Abbildung 6 deutlich erkennbar.

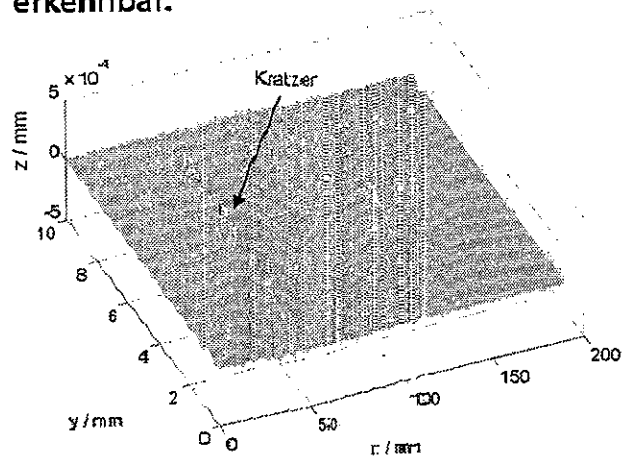


Abbildung 6: Die rekonstruierte Oberflächentopographie nach der Filterung

Durch den M-Wert können die Informationen über die Exzentrizitäts- und Taumelfehler sowie über die Welligkeit der Laufzapfen gewonnen werden. Sogar kurzweilige Defekte wie Kratzer können durch den M-Wert detektiert werden. Allerdings können die richtigen Geometrieparameter kurzweiliger Defekte (wie Tiefe, Breite usw.) hiermit

nicht erfasst werden. Der Messfleck des Streulichtensors hat einen Durchmesser von $340\ \mu\text{m}$, wodurch die laterale Auflösung des Streulichtensors begrenzt wird. Feine Mikrostrukturen können mittels Streulichtsensor grundsätzlich nicht gemessen werden. Dagegen ist die Detektion eines Mikrodefektes ohne weitere Quantifizierung möglich. So ist zum Beispiel der Kratzer in Abbildung 6 in Realität viel tiefer, als er vom Streulichtsensor gemessen wurde ($5\ \mu\text{m}$ statt $0,2\ \mu\text{m}$ tief).

1.2 Detektion von Defekten mit der Varianz der Streuwinkelverteilung A_q

Ein weiterer wichtiger Messwert, der aus der Streuwinkelkurve gewonnen werden kann, ist die Varianz der Streuwinkelverteilung A_q . Abbildung 7

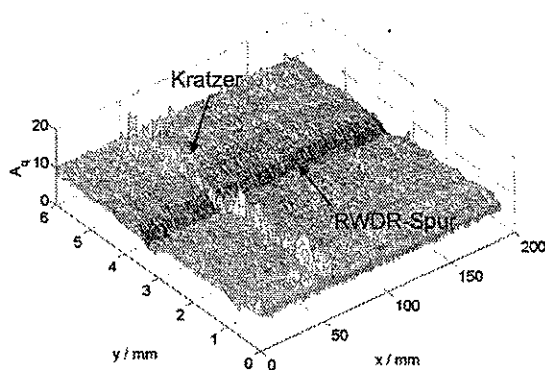


Abbildung 7: Varianz der Streuwinkelverteilung A_q einer Oberfläche

stellt ein typisches Messergebnis für A_q dar. Ein Kratzer ist hier deutlich erkennbar.

Interessanterweise hat die Varianz der Streuwinkelverteilung im Bereich von RWDR-Spuren deutlich niedrigere Werte als anderswo. Dieser Sachverhalt lässt sich wie folgt erklären: Der A_q -Wert entspricht der sogenannten optischen Rauheit. Es ist bekannt, dass die Rauheit im Kontaktbereich durch zusätzliches Polieren der Oberfläche mit der RWDR-Dichtkante abnimmt [8]. Die kurzwelligen Formabweichungen haben dagegen deutlich höhere A_q -Werte, wodurch sie detektiert werden können.

IV. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des AiF-Projektes »Stochastische Strukturen« wurde festgestellt, dass der Streulichtsensor zur Detektion kurzwelliger Gestaltabweichungen geeignet ist. Mit den Kenngrößen des Streulichtensors ist die sichere Detektion von Oberflächenbeschädigungen auf den reflektierenden Oberflächen möglich.

Mit dem M-Wert des Streulichtensors sind sowohl lang- als auch kurz-wellige Formabweichungen detektierbar. Dabei können die langwelligen Formabweichungen (wie Exzentrizitätsfehler und Welligkeit) gemessener Oberflächen auch quantitativ erfasst werden. Im Gegensatz dazu sind die kurzwelligen Defekte quantitativ nicht zu erfassen.

Die Messung der Varianz der Streuwinkelverteilung ermöglicht die Detektion kurzwelliger Formabweichungen. Quantitative Aussagen bezüglich

detektierter Defekte sind allerdings nicht möglich.

V. DANKSAGUNG

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Nr. 15168 N/1 der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V. (AIF) durchgeführt, die wir für die Unterstützung danken.

VI. Literaturverzeichnis

- [1] DIN 3760: Radial-Wellendichtringe (September 1996).
- [2] DIN 3761: Radial-Wellendichtringe für Kraftfahrzeuge (Januar 1984).
- [3] G. Kersten, Drallprüfung und Funktionsverhalten der Gegenlauffläche von Radialwellendichtringen, Forschungsbericht Bundesministerium für Forschung und Technologie (1987).
- [4] S. Buhl, W. Haas, Förderfähige Mikrostrukturen auf Gegenlaufflächen von Radial-Wellendichtringen, VDI-Berichte Band 1579, (2000).
- [5] H. Raab, W. Haas, Tribologische Partner: Radialwellendichtring und Gegenlauffläche, Antriebstechnik Band 38, Heft 4 (1999).
- [6] N. Rau, M. Seibold, Drallstrukturen geschliffener Dichtflächen beurteilen, Werkstatt und Betrieb Band 130, Heft 11 (1997).
- [7] VDA-Empfehlung: Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Winkelaufgelöste Streulichtmesstechnik - Definition, Kenngrößen und Anwendung, VDA (2009, Version: 01.11.2008).
- [8] H. K. Müller, und B. S. Nau, www.fachwissen-dichtungstechnik.de. Kapitel 8 - Wellendichtringe ohne Überdruck. Online-Ressource (2007).
- [9] DIN EN ISO 11562: Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnitt-verfahren, Messtechnische Eigenschaften von phasenkorrekten Filtern, (September 1998).