

## KONSOKOPISCHE LASERSENSOREN ERFASSEN KOMPLEXE BAUTEILE

# Mit scharfem Blick

Merkmale an komplexen, berührungsempfindlichen oder weichen Bauteilen können mit taktiler Messtechnik nur schwer oder gar nicht erfasst werden. Solche Messaufgaben lassen sich schnell und präzise mit konoskopischen Lasersensoren lösen. Die Sensoren bieten eine große Winkelabdeckung und eine bisher nicht erreichte Messgenauigkeit.

**K**onoskopische Abstandssensoren basieren auf dem Prinzip der konoskopischen Holografie [1, 2, 3] (Bild 1). Das aus einer Laserdiode ausgehende Licht wird mittels eines Strahlteilers auf ein Messobjekt projiziert. Das zurückgestreute Licht trifft nach dem Durchgang von Kollimatoren und einem Polarisator auf einen doppelbrechenden Kristall. Dabei fällt das Licht abhängig von dem Abstand zwischen Messobjekt und Sensor in unterschiedlichen Winkeln auf den Kristall und wird in ordentliche und außerordentliche Strahlen aufgespalten.

Beide Strahlenanteile durchlaufen im Kristall unterschiedliche optische Weglängen. Hinter dem Kristall sowie nach Passieren eines weiteren Polarisators zur Kontrastverbesserung führen die optischen Weglängendifferenzen zu einem ringförmigen Interferenzmuster auf dem

CCD-Sensor.

Der Streifenabstand des Interferenzmusters trägt die Abstandsinformation: je größer der Abstand zwischen Messobjekt und Sensor, desto engermaschiger das ringförmige Interferenzmuster (der Einfallswinkel  $\alpha$  wird kleiner und führt zu einer Verkleinerung der optischen Weglängendifferenzen). Verringert sich der Abstand zwischen Messobjekt und Sensor, wird das Interferenzmuster wieder weitmaschiger. Der Abstand des Messobjekts lässt sich durch Auswerten der unterschiedlichen Interferenzmuster (Abstand der Ringe) bestimmen.

Der Messbereich und die Genauigkeit werden durch verschiedene Linsen an die vorliegende Messaufgabe angepasst. Die Genauigkeit reicht von  $< 2 \mu\text{m}$  bei einer Reproduzierbarkeit ( $1\sigma$ ) von  $< 0,15 \mu\text{m}$  bis zu  $< 100 \mu\text{m}$  Genauigkeit bei einer Re-



Achim Pahlke, Rüdiger Gillhaus,  
Markus Kästner, Eduard Reithmeier, Hannover  
und Martin Schroth, Ebersbach

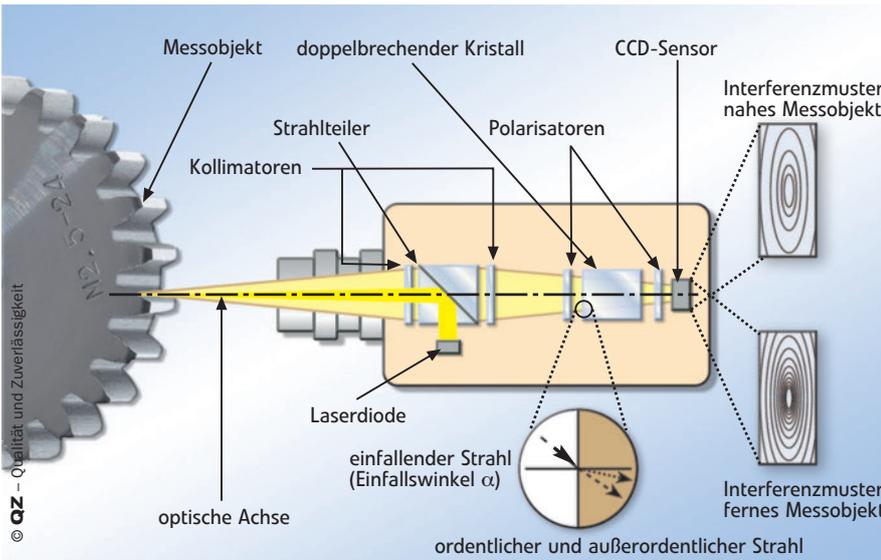


Foto: Optimet

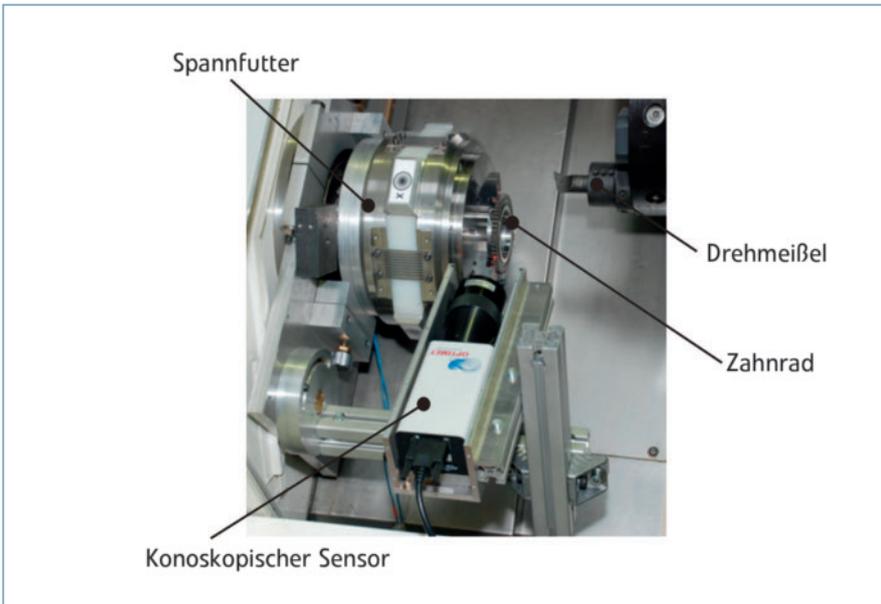
produzierbarkeit besser  $15 \mu\text{m}$ . Der Messbereich verringert sich dabei mit steigender Genauigkeit. Für Anwendungen mit hohem erforderlichen Arbeitsabstand existieren weiterhin Extended-Linsen [3]. Mittlerweile stehen Sensoren mit bis zu 15 kHz Messfrequenz zur Verfügung.

### Sensoren der Messaufgabe anpassen

Konoskopische Sensoren sind als Punkt- oder Liniensensoren erhältlich. Durch den Austausch des Linsensystems können der Arbeitsabstand, der Messbereich und die Genauigkeit an die jeweilige  $\triangleright$



**Bild 1. Konoskopische Abstandssensoren basieren auf dem Prinzip der konoskopischen Holografie.**



**Bild 2. Durch die Zahnradmessung in der Werkzeugmaschine verringert sich der Ausschuss.**

Messaufgabe angepasst werden. Weiterer Vorteil des optischen Sensors ist, dass dieser bis zu einem Winkelbereich von  $\pm 85^\circ$  zur Oberflächennormalen Messdaten erfassen kann.

Optimet Ltd., Israel, bietet den konoskopischen Sensor ConoProbe in der Mark-III-Version sowie der etwas kompakteren Smart-Version an. Zur Ansteuerung des Sensors kann in beiden Versionen entweder ein interner Trigger mit veränderlicher Periodendauer (Time Mode) oder direkt ein externer Trigger im TTL-Format genutzt werden (Trigger Mode). Die Anzahl der Messwerte sowie die Zeitbeziehungsweise Impulsabstände werden

über die mitgelieferte Software konfiguriert. Zum Lieferumfang gehören neben der Standardsoftware auch Treiber in verschiedenen Programmiersprachen (VB.NET, C, C++, Delphi) zur Einbindung in eigene Softwareprojekte.

Neben dem digitalen Ausgang ist eine analoge Schnittstelle zur Ausgabe der Abstandsdaten vorhanden. Interessante Möglichkeiten zur Synchronisation des Sensors mit anderen Peripheriegeräten ermöglicht der Read-out-Gate (ROG)-Ausgang, der ein Rechtecksignal im TTL-Format während der Messdauer anzeigt [3].

Grundlage für das Erfassen technischer Oberflächen beziehungsweise Geome-

**Literatur**

- 1 Gillhaus, R.; Kästner, M.; Seewig, J.; Reithmeier, E.: Sensorintegration zur Feinpositionierung von präzisionsgeschmiedeten Bauteilen. VDI-Tagung „Sensoren und Messsysteme 2008“, 11.-12.03.2008 Ludwigsburg, VDI-Berichte 2011, März 2008, S.841-850
- 2 Haase, R.: Einrichtung zur schnellen Messung optisch kooperativer Zahnräder. Dissertation, Institut für Mess- und Regelungstechnik, Fakultät für Maschinenbau, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 2006, Shaker Verlag
- 3 NN, ConoProbe MKIII OEM Manual, Version 0.99B, Optimet Manual P/N 3J06007, Optimet, Optical Metrology Ltd.
- 4 Denkena, B.; Immel, J.; Gillhaus, R.; Seewig, J.; Reithmeier, E.: In-process measurement and positioning of precision-forged gear shafts in 4 DoF. 10th Anniversary International euspen Conference, 18.-22.5.2008 Zürich, Volume II, S. 240-244,
- 5 Kästner, M.; Gillhaus, R.; Seewig, J.; Reithmeier, E.; Frankowski, G.: Optische Multisensortechnik zur Geometrieerfassung präzisionsgeschmiedeter Bauteile. VDI-Tagung Optische Messtechnik technischer Oberflächen in der Praxis, 9.-10.10.2007 Hannover, VDI-Berichte 1996, S. 89-100
- 6 Haase, R.; Kästner, M.; Gillhaus, R.: Auswuchten ade!, QZ – Qualität und Zuverlässigkeit 52 (2007) 4, Carl Hanser Verlag, München, S. 54-57

trien mit optischer Sensorik ist eine optisch kooperative Oberfläche des Bauteils. Metallisch glänzende, beispielsweise durch spanabhebende Bearbeitung hergestellte Oberflächen müssen zunächst entsprechend vorbereitet werden.

**Geometrische Oberflächen schnell erfassen**

Haupteinsatzgebiet der konoskopischen Sensoren ist die schnelle optische Erfassung von geometrischen Oberflächen ohne Hinterschnitt, insbesondere von Verzahnungen. Aufgrund des kollinearen Messprinzips ist es möglich, Stirnschnitt-

**Autoren**

**M. Sc. Dipl.-Ing. (BA) Achim Pahlke**, geb. 1982, und **Dipl.-Wirtsch.-Ing. Rüdiger Gillhaus**, geb. 1977, arbeiten in der Arbeitsgruppe Fertigungsmess- und Prüftechnik am Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover.

**Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Markus Kästner**, geb. 1975, leitet die Arbeitsgruppe Fertigungsmess- und Prüftechnik am Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover.

**Prof. Dr.-Ing. Eduard Reithmeier**, geb. 1957, leitet das Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover.

**Martin Schroth**, geb. 1965, ist Geschäftsführer der Messtechnik Schroth GmbH, Ebersbach.

**Kontakt**

**Achim Pahlke**  
achim.pahlke@imr.uni-hannover.de

**www.qm-infocenter.de**

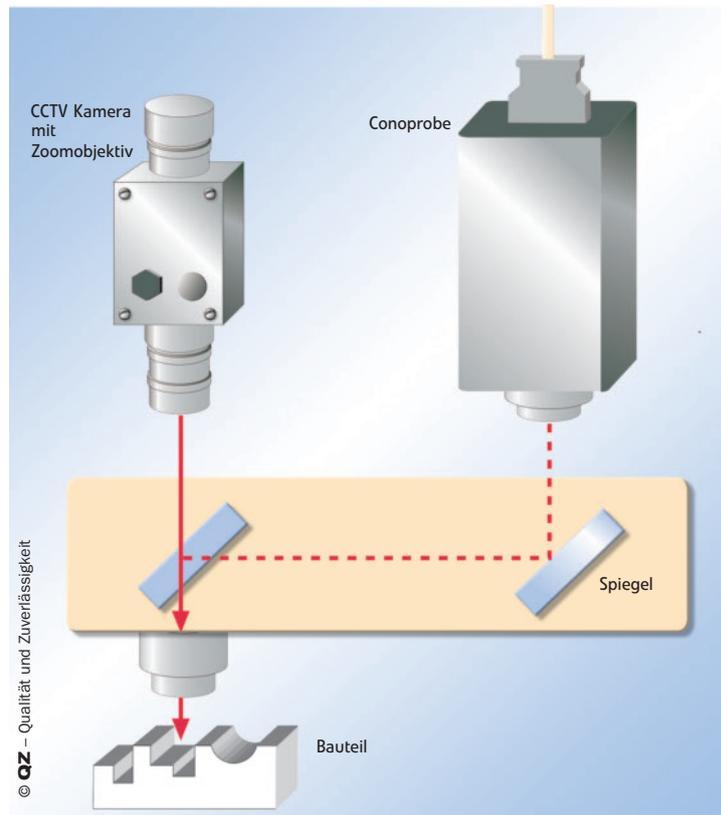
Diesen Beitrag finden Sie online unter der Dokumentennummer: **QZ110075**

te von Zahnrädern in einem Messvorgang aufzunehmen.

Die große Winkelabdeckung ermöglicht es dabei auch, Flankenausläufe am Zahnfuß korrekt zu erfassen. Neben der Analyse präzisionsgeschmiedeter Zahnräder innerhalb des Sonderforschungsbereichs 489 (SFB 489, gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft) „Prozesskette zur Herstellung präzisionsgeschmiedeter Hochleistungsbauteile“ wird der konoskopische Lasersensor auch bei der Exzenterdetektion konventionell hergestellter Zahnräder eingesetzt [2].

Ein Härteverzug kann im darauffolgenden Erstaufspannen zu einer exzentrischen Einspannung führen, die sich innerhalb der Werkzeugmaschine durch die integrierte Sensorik detektieren lässt. Diese Inline-Messtechnik ermöglicht es den Zahnradherstellern, die Qualität zu steigern beziehungsweise den Ausschuss zu verringern (Bild 2).

Der Laserabstusssensor erlaubt zudem weitere Einsatzmöglichkeiten. So werden präzisionsgeschmiedete Ritzelwellen durch zwei in die Drehmaschine integrierte Lasersensoren an Wellenschaft



**Bild 3.**  
Kamerasystem mit integrierter Strahlumlenkung (Quelle: Optimet)

und Verzahnung profillinienhaft erfasst und die Messdaten auf eine im Rechner hinterlegte Referenzgeometrie eingepasst. Der dadurch ermittelte Korrekturvektor beinhaltet die erforderliche Ausrichtung in vier Freiheitsgraden (Tumel- und Exzenterfehler) [4].

Durch die zusätzliche Integration eines konoskopischen Sensors in ein auf der Schattenprojektion basierendes Wellenmesssystem, Hommel-Etamic GmbH, Jena, kann die komplette Geometrie präzisionsgeschmiedeter Zweizylinderkurbelwellen profillinienhaft gemessen werden. Denn der Abstandssensor ermöglicht die Aufnahme der mit Hinterschneidungen behafteten Kurbelwangen, die mit der Schattenprojektion nicht erfasst werden können [5].

Die Geometrieaufnahme der Haupt- und Hublager und der Kurbelwangen erlaubt die Approximation des Gesamtmasenschwerpunkts der Kurbelwelle und eine unwuchtminimierende Einpassung, die als Ergebnis einen Korrekturvektor ermittelt. Dieser beinhaltet wiederum die Ausrichtung der Kurbelwelle in vier Freiheitsgraden, die während des Schleifprozesses der Lagersitze umgesetzt werden müssen [6].

Der konoskopische Sensor wird in der Koordinatenmesstechnik im Bereich des

Reverse Engineerings eingesetzt. Ein Periskop lenkt im optischen Koordinatenmessgerät den Laserstrahl in den Strahlengang des Kamera-Zoomobjektivs um. Die Kamera und der Laser verwenden somit dieselbe optische Achse, Kombinationsmessungen beider Systeme sind möglich. Durch das Erfassen von Punktwolken und mittels CAD-Software triangulierten Flächenmodellen können die damit erzeugten CAD-Dateien als „Kopierprogramme“ in der Fräsmaschine verwendet werden (Bild 3).

In der Stahlproduktion kommen Spezi alsensoren mit Linienlängen bis zu 500 mm Breite zum Einsatz. Diese prüfen während des Walzprozesses rot glühende Stähle auf Defekte inklusive Höheninformation. Weiterhin wurde eine automatische Abstandsbestimmung eines Schweißlasers zum Bauteil realisiert. Durch die Verwendung derselben optischen Achse wird zwischen den Schweißimpulsen der absolute Abstand ermittelt und so eine einwandfreie Schweißnaht gewährleistet.

Ein Anwendungsgebiet mit starkem Wachstumspotenzial ist die Fertigungsmesstechnik im medizinischen Bereich. In einem Prozess werden beispielsweise Zahnabdrücke mittels des konoskopischen Sensors gescannt, um „on the fly“ eine passende Krone zu fertigen. □