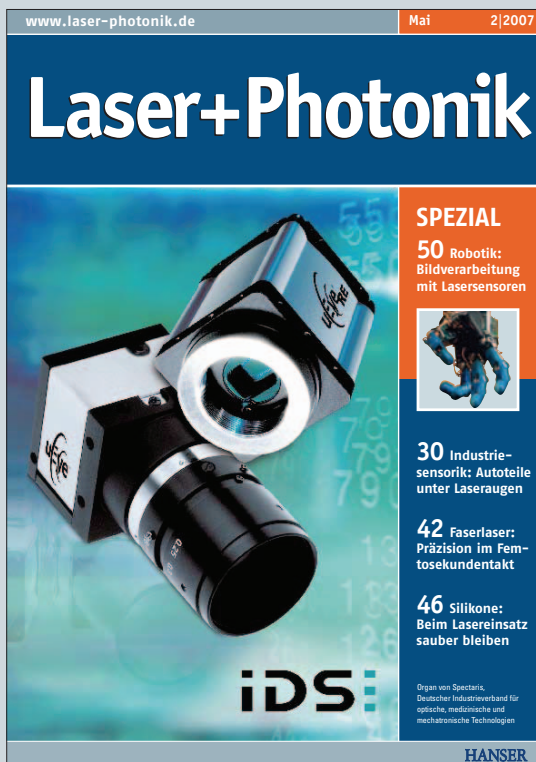


Reinhard Noll und Michael Krauhausen

Autoteile unter Laseraugen

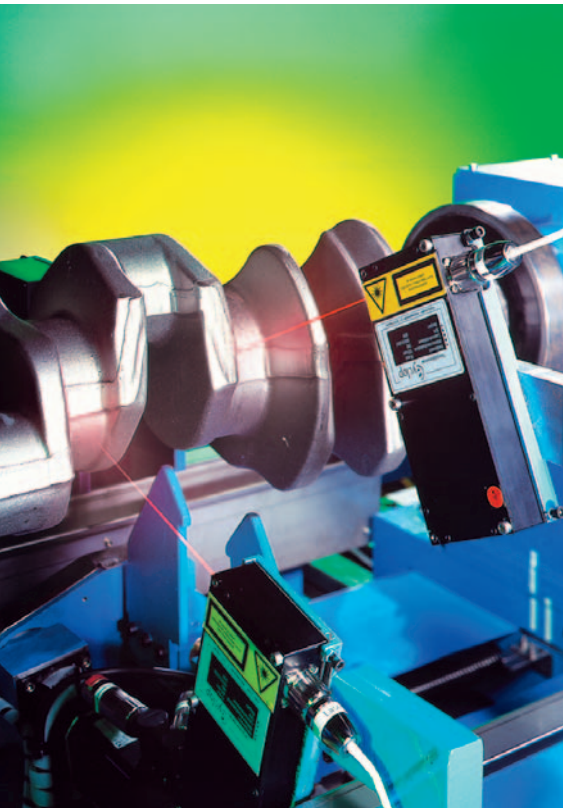


Fraunhofer
Institut
Lasertechnik

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik
Steinbachstr. 15
52074 Aachen



NoKra Optische Prüftechnik
und Automation GmbH
Max-Planck-Straße 12
52499 Baesweiler



Detailansicht einer Prüfmaschine für Kurbelwellen. Im Bild sind zwei Lasertriangulationssensoren zu erkennen, deren Laserstrahlen auf Lager der Kurbelwelle gerichtet sind

REINHARD NOLL
MICHAEL KRAUHAUSEN

In der Fahrzeugproduktion müssen zahlreiche Komponenten eines Autos einer 100-Prozent-Kontrolle ihrer geometrischen Eigenschaften unterzogen werden. Ein Beispiel dafür sind Nockenwellen. Nockenwellen steuern die Einlass- und Auslassventile von Verbrennungsmotoren. Ein modernes Fertigungsverfahren ist die Montage von Nockenwellen aus einzelnen Bauteilen, wie Tragrohr, Nocken, Sensoring, Axiallager, Antriebsrad und weiteren Komponenten. Die Nockenwellen sind vor der Endbearbeitung hinsichtlich unterschiedlicher geometrischer Merkmale zu prüfen: Nockenwinkel, Nockenform, Axialposition, Rundlauf, Durchmesser, Planlauf und so weiter (**Bild 1**).

Eine Million Nockenwellen pro Jahr

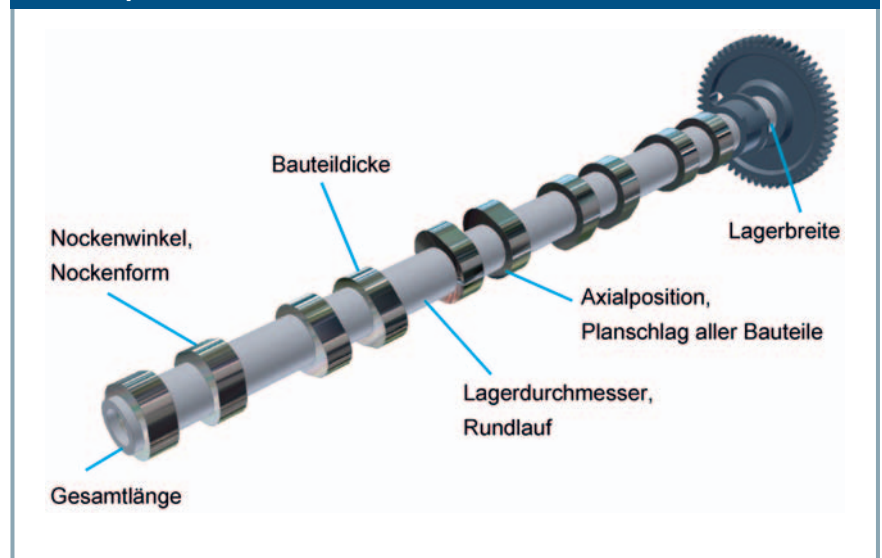
Konventionell werden Nockenwellen mit tastenden Prüfeinrichtungen geprüft. Nachteilig sind dabei die langen Rüstzeiten und die hohe Störanfälligkeit. Der moder-

Autoteile unter Laseraugen

LASERTRIANGULATIONSENSOREN BEI DER ONLINE-MESSUNG GEOMETRISCHER GRÖSSEN AN AUTOMOBILKOMPONENTEN

Die 100-Prozent-Prüfung im Fabrikbetrieb erfordert zuverlässige, robuste Messmittel und kürzeste Taktzeiten. Beispiele aus der Fertigung von Kfz-Teilen belegen, dass Lasertriangulationssensoren, beispielsweise in Verbindung mit Industrierobotern, dieser Aufgabe gewachsen sind.

Prüfbeispiel: Nockenwelle



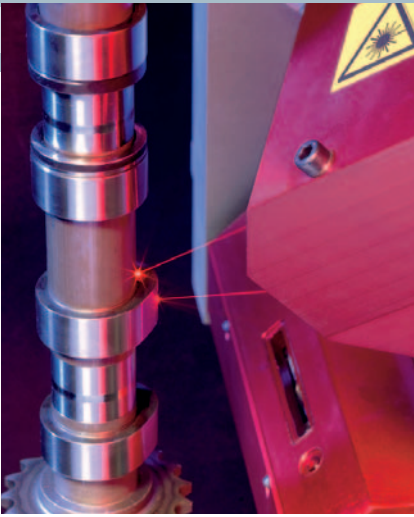
1 Prüfmerkmale an einer Nockenwelle im Überblick

ne Fertigungsbetrieb stellt an eine Prüfmaschine folgende Anforderungen:

- Prüfobjekte mit schwarzen bis metallisch glänzenden Oberflächen,
- 100-Prozent-Prüfung; jedes gefertigte Teil wird geprüft,
- Prüfung aller Merkmale ohne Sonderspannmittel,
- automatisches Be- und Entladen der Prüfmaschine,
- Prüfzeit inklusive Handhabungszeiten der Prüfobjekte < 20 s,

- Fähigkeitsindices $c_g, c_{gk} > 1$ [1,2],
- Prüfort: Fertigungshalle,
- Fertigungstoleranzen (typische Werte): Bruchteile von 1/10 mm.

Eine für diese Aufgabe entwickelte Prüfmaschine zeigt **Bild 2**. Ein Roboter übernimmt das Be- und Entladen der Messmaschine. Die zu prüfende Nockenwelle wird zwischen zwei Messspitzen aufgenommen und für den Prüfvorgang mit bis zu 8 Hz gedreht. Auf einem parallel zur Nockenwelle verfahrbaren Schlitten sind drei La-

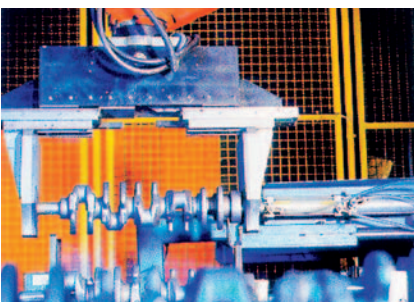


2 Detailaufnahme einer Nockenwellenprüfung

sensoren montiert, deren Messstrahlen aus unterschiedlichen Orientierungen auf die Nockenwelle gerichtet sind. Auf diese Weise können auch die Axialpositionen der Nocken und anderer Bauteile der Welle vermessen werden. Ein Präzisionsmaschinenbett aus Hartgestein trägt zu einer hohen Langzeitstabilität der Anlagen gegenüber Temperatureinflüssen und zu Unempfindlichkeit gegenüber Einflüssen aus der Produktionsumgebung bei.

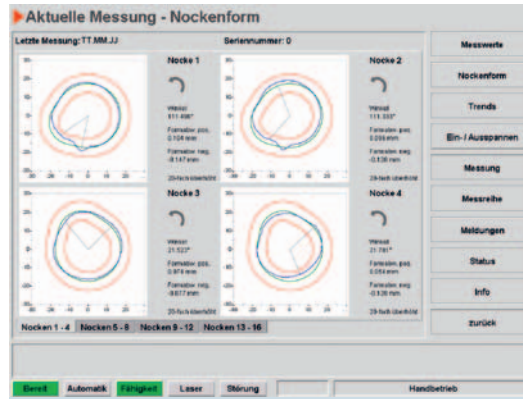
Die Länge der Nockenwellen beträgt typischerweise 300 bis 700 mm. Die maximale Axialgeschwindigkeit des Schlittens mit den Lasersensoren beträgt 1 m/s. Eine Prüfmaschine prüft zirka eine Million Nockenwellen pro Jahr. In einer Messzeit von 12 s werden insgesamt 60 geometrische Merkmale erfasst. Die Messfrequenz der Lasersensoren beträgt bis zu 30 kHz. **Bild 3** zeigt als Beispiel die Bildschirmdarstellung der Messergebnisse der Nockenform. Die Formabweichungen sind um den Faktor 20 überhöht dargestellt.

Für die Prüfmerkmale werden Wiederholstandardabweichungen (Standardabweichung von 50 aufeinanderfolgenden Messungen) im Bereich von $0,1 \mu\text{m}$ erreicht. Die Prüfsysteme erfüllen damit die Anforderungen an die Messmittelfähigkeit nach industriellen Verfahren ($c_g, c_{gk} > 1$) [1,2].



5 Automatische Beschickung der Laser-Prüfanlage mit einem Roboter (Bild: ThyssenKrupp

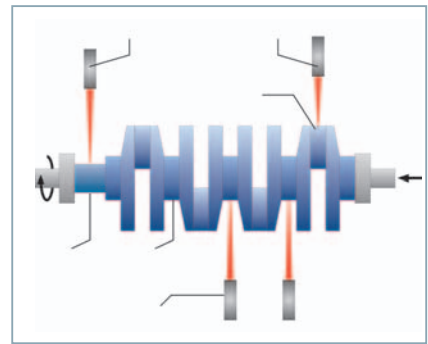
Gerlach, Homburg)



3 Bildschirmdarstellung der Messergebnisse für die Nockenform



4 Kurbelwellen für Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge (links), schematische Darstellung des Aufbaus für die Prüfung gesenkgeschmiedeter Kurbelwellen mit vier Lasertriangulationssensoren (rechts). Prüfgrößen sind die Durchbiegung der Kurbelwelle, die Abknickung des Zapfens und die Position eines Hublagers



Kurbelwellen: 40 Prozent kürzere Taktzeit

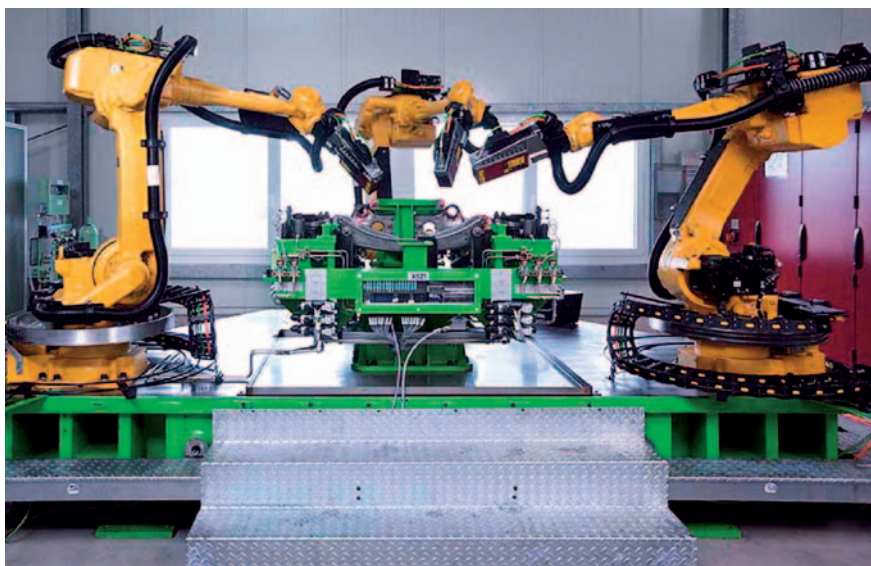
Jedes Fahrzeug mit Diesel- oder Ottomotor braucht eine Kurbelwelle, die über die Pleuelstangen die Kolben bewegt. In **Bild 4** (links) sind beispielhaft verschiedene Kurbelwellen dargestellt. Ein leistungsfähiges Herstellverfahren für Kurbelwellen mit einem Gewicht bis zu 200 kg und einer Länge bis zu 1,5 m ist das Gesenkschmieden. Das Ausgangsmaterial ist ein glühender Stahlknüppel im Vierkantformat bei einer Temperatur von $1250 \text{ }^\circ\text{C}$. In einer Pressenlinie mit einer Presskraft von maximal 6500 t werden die Kurbelwellen im Takt von 7,5 s geschmiedet. Die Teile kühlen anschließend in einem Hochregallager ab, bevor sie automatisch einer Sandstrahlanlage und der Endkontrolle zugeführt werden [3]. Eine wichtige Prüfaufgabe sind die verschiedenen geometrischen Größen der Kurbelwelle, etwa die Durchbiegung.

Mit einer Anordnung mehrerer Lasersensoren in verschiedenen Raumebenen können zwei- bis dreidimensionale Prüfaufgaben gelöst werden. **Bild 4** (rechts) zeigt eine Prüfeinrichtung für Kurbelwellen mit vier Lasertriangulationssensoren. Die Durch-

biegung von gesenkgeschmiedeten Kurbelwellen wird in drei Messebenen bestimmt. Ein Knickarm-Roboter übernimmt das Be- und Entladen der Messmaschine (**Bild 5**).

Für den Prüfvorgang wird die Kurbelwelle gedreht. Während der ersten Drehung nehmen die Lasersensoren die Messwerte für die Bestimmung der Durchbiegung auf und speichern diese. Parallel wird ein Lasersensor für die Lageerkennung permanent ausgelesen, um die Winkelstellung des zur Lageerkennung ausgewählten Hublagers zu bestimmen. In der zweiten Umdrehung wird die Kurbelwelle entsprechend der gewünschten Ausgabe-position gestoppt. Parallel werden die Messwerte der Lasersensoren zur Bestimmung der Durchbiegung zum Bedienrechner übertragen.

Unmittelbar nach Beendigung des Messvorgangs sind die Durchbiegungswerte berechnet und mit den vorgegebenen Sollwerten verglichen. In Abhängigkeit vom Prüfergebnis wird die Kurbelwelle vom Roboter entnommen und weitertransportiert. Die Anlage läuft im Dreischichtbetrieb und prüft zirka eine Million Kurbelwellen pro Jahr. Die automatisierte Prüfung verkürzt die Taktzeit um 40 Prozent gegenüber der herkömmlichen manuellen



6 Messanlage zur Prüfung von Achsträgern in einer Fertigungslinie mit drei Robotern und drei Laser-Lichtschnittsensoren

Prüfung. Das **Titelbild** zeigt eine Detailansicht der Prüfanlage mit zwei Lasertriangulationssensoren und der zu prüfenden Kurbelwelle.

Flexibles Prüfkonzept für Schweißbaugruppen

Die Messaufgabe bei der Geometrieprüfung von Schweißbaugruppen und Strukturkomponenten ist die Bestimmung der Position und Lage von Funktionsflächen und Bauteilen, wie Laschen oder Bolzen, die Absolutvermessung der Position von Bohrungen, Lang- oder Formlöchern oder im einfachsten Fall die Überprüfung der Anwesenheit montierter oder gefügter Komponenten. Die Prüfobjekte haben Längsausdehnungen bis zu 1 m und darüber. Aufgrund der Variantenvielfalt ist ein möglichst flexibles Prüfkonzept anzusetzen. Beispiele für die zu prüfenden Baugruppen sind Instrumententräger, Achsträger, Front- und Heckmodule, Katalysatorgehäuse oder Bremscheiben.

In diesem Beispiel [4] einer robotergeführten Lasermessung sind Laser-Lichtschnittsensoren an den Händen von Knickarm-Robotern montiert. Die einzelnen geometrischen Merkmale des Prüflings werden von den Robotern sukzessive angefahren und mit den Lasersensoren vermessen. Aufgrund der Bewegungsfreiheitsgrade der Knickarmroboter können die Bauteile auch an schwer zugänglichen Stellen geprüft werden. Das Anlagenkonzept hält Umrüstzeiten so kurz wie möglich. Sie beschränken sich auf kleinere Änderungen in der

Spannvorrichtung des Prüfobjekts, im Übrigen ist lediglich das bauteilspezifische Prüfprogramm auszuführen.

Je nach Taktzeitanforderungen werden ein oder mehrere Industrieroboter auf einem gemeinsamen Maschinenbett aufgebaut, das für eine Minimierung von Störeinflüssen durch das Produktionsumfeld besonders robust ausgelegt ist. Auf diesem Maschinenbett ist auch die Spannvorrichtung verankert, die die Werkstücke für den Messvorgang aufnimmt. In der Regel werden die Messobjekte innerhalb des Fertigungsprozesses automatisch von Handlingsystemen in diese Spannvorrichtung eingelegt und nach der Messung wieder ausgeschleust.

Bei typischen Fertigungstoleranzen im Bereich von einigen Zehntelmillimetern bis zu wenigen Millimetern muss ein Online-Messsystem mit einer Präzision von Hundertstelmmillimetern und darunter messen. Da die eingesetzten Standard-Industrieroboter eine für diese Aufgabe zu große Positionswiederholpräzision aufweisen, sind Korrekturverfahren erforderlich, um die geforderte Messpräzision zu erzielen. **Bild 6** zeigt eine Anlage zur Vermessung von Achsträgern mit drei Robotern und drei Laser-Lichtschnittsensoren, wie sie bei einem großen Automobilunternehmen in Deutschland im Einsatz ist. In **Bild 7** ist eine Detailaufnahme eines Prüfobjekts mit der aufprojizierten Laserlinie zu sehen.

Die robotergeführte Lasermessung erreicht unter Produktionsbedingungen Wiederholpräzisionen von wenigen μm (Basis

sind 50 Messungen). Messmittelfähigkeit wurde für alle typischen Toleranzen nachgewiesen. In den letzten Jahren sind zahlreiche robotergeführte Laser-Messanlagen bei führenden Automobilherstellern und -zulieferern erfolgreich in die industrielle Praxis eingeführt worden. Sie verdrängen dort die bislang übliche Prüfung mit taktilen Messvorrichtungen.

Reflexe an heißen Windschutzscheiben messen

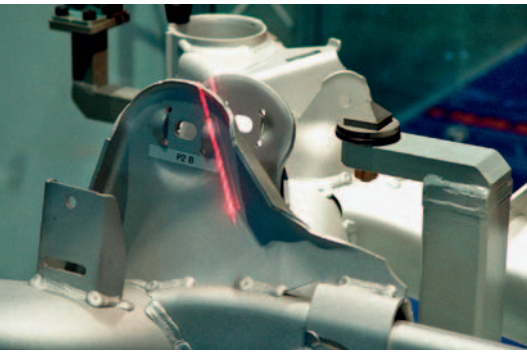
Lasertriangulationssensoren können auch Glasscheiben messen. **Bild 8** zeigt eine Anlage zur Messung der Durchbiegung an Zweischeiben-Verbundsicherheitsglas für Windschutzscheiben von Pkw. Diese Scheiben haben Abmessungen von bis zu $1,85 \times 1,35 \text{ m}^2$. Die Dicke einer Einzelscheibe beträgt 2 mm. Für die Herstellung der Scheibenkrümmung werden diese auf Transportgestellen durch einen Ofen gefahren und einem definierten räumlichen und zeitlichen Temperaturprofil ausgesetzt. Nach dem Durchlauf wird die Durchbiegung der Scheiben im heißen Zustand mit drei Lasertriangulationssensoren entlang dreier Spuren vermessen. Aufgrund des Schichtaufbaus der Verbundglasscheiben entstehen Mehrfachreflexe des Laserstrahls. Die resultierenden Störungen der Messdaten werden durch Filteralgorithmen eliminiert.

Die Temperatur der Scheiben beträgt bei der Messung 150 bis 250 °C. Die Lasersensoren haben einen Messbereich von 120 mm und messen mit einer Frequenz von bis zu 6 kHz die Scheibenkontur. Die maximale Durchbiegung beträgt 25 mm. Die Lasermessung an einer Scheibe dauert etwa 10 s.

KONTAKT

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, ILT,
52074 Aachen,
Tel. 02 41 /89 06 -1 38,
Fax 02 41 /89 06 -1 21,
www.ilt.fraunhofer.de
Laser 2007: B2.368, B3.131

NoKra Optische Prüftechnik
und Automation GmbH,
52499 Baesweiler,
Tel. 0 24 01 /60 77 -0,
Fax 0 24 01 /60 77 -11,
www.nokra.de



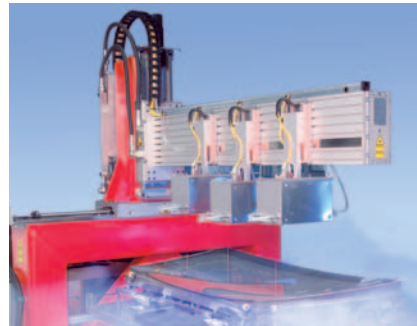
7 Detailaufnahme eines Prüfobjekts mit der aufprojizierten Linie eines Laser-Lichtschnittsensors, die durch eine Scanbewegung über das zu prüfende Geometriemerkmal geführt wird

Fünzig Wiederholmessungen bei einer Durchbiegung von 13 mm liefern eine Standardabweichung des Lasermesssystems von $< 10 \mu\text{m}$. Mit einem resultierenden c_g -Wert von 20 ist Messmittelfähigkeit unter Produktionsbedingungen gegeben. Das Messsystem wird im Dreischichtbetrieb zur Qualitätskontrolle und für die Führung des Ofenprozesses eingesetzt. ■

Fazit: Verlässliche Prüfsysteme

In den vergangenen Jahren konnte erfolgreich demonstriert werden, dass Lasermessanlagen verlässlich Geome-

triedaten von Automobilkomponenten gewinnen können. Die Online-Lasermesstechnik ist mindestens gleichwertig mit konventionellen Methoden, in einigen Fällen erreicht sie deutlich bessere Ergebnisse. Laser-Messanlagen sind einfacher in den Fertigungsprozess zu integrieren. Der geringe Wartungsaufwand und die hohe Verfügbarkeit stellen einen wirtschaftlichen Einsatz



8 Messung der Durchbiegung von Pkw-Windschutzscheiben mit Lasertriangulationssensoren

sicher. Die dynamische Entwicklung neuer Laserstrahlquellen und elektrooptischer Detektoren lässt auch in Zukunft weitere Verbesserungen in den Leistungsmerkmalen der Lasertriangulationssensoren und der darauf aufbauenden Prüfsysteme erwarten. Schon heute

erreichen Lasertriangulationssensoren bei einzelnen Prüfaufgaben Präzisionen, die bislang den interferometrischen Verfahren vorbehalten waren. Ein Vorteil der Triangulationsverfahren ist ihre Fähigkeit zur Absolutmessung geometrischer Größen, die für den industriellen Einsatz entscheidend ist.

AUTOREN

Dr. REINHARD NOLL (reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de) ist Leiter der Abteilung Lasermess- und Prüftechnik am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT), Aachen. Dipl.-Ing. MICHAEL KRAUHAUSEN ist geschäftsführender Gesellschafter bei NoKra Optische Prüftechnik und Automation, Baesweiler.

LITERATUR

- 1 Measurement Systems Analysis, Reference Manual, 3rd Edition, March 2002, DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation. Available from Carwin Limited, Unit 1 Trade Link, Western Av., West Thurrock, Grays, Essex RM20 3FJ, UK, 225 p.
- 2 Norm Ford EU 1880 1997
- 3 Presseinformation Krupp Gerlach zur Einweihung der vollautomatischen 6500-t-Pressenlinie, 30.03.2001
- 4 K. Kregel-Rothensee, F. Hilbk-Kortenbruck, M. Krauhausen: VDI-Bericht 1945, 2006, S. 59-74