

»ProSens«

Multisensorbasierte Fertigungskontrolle durch effiziente Prüf- und Messplanung

Ulf Glaser, Zhichao Li, Tilo Pfeifer

Werkzeugmaschinenlabor RWTH Aachen, Prof. T. Pfeifer
Tel.: 0241-8027413, e-mail: t.pfeifer@wzl.rwth-aachen.de

Einleitung

Trotz des schwierigen Marktes verstärken deutsche Firmen die marktübergreifende Kooperation mit chinesischen Zulieferern. Die Produktion ist durch eine schnell gewachsene Zuliefererstruktur gekennzeichnet, die mit den Herausforderungen des globalen Handels und den zweistelligen Wachstumsraten des Abnehmermarktes konfrontiert wird und eine optimierte Gestaltung der gemeinsamen Qualitätssicherungsaktivitäten benötigt. Der Know-how- und Technologietransfer messtechnischer Entwicklungen zur Stärkung der Qualitätskontrolle solcher Kooperationen bietet große Vermarktungspotentiale [1][2].

In dem bmbf-geförderten Kooperationsprojekt »ProSens« werden die im Rahmen des Forschungsprojekts »WEPROM« entwickelten Konzepte einer effizienten Fertigungskontrolle weiterentwickelt und auf den chinesischen Markt abgestimmt. »ProSens« verfolgt unter Einbindung deutscher und chinesischer Forschungsinstitute sowie industrieller Anwender und Entwickler zwei zentrale Ziele:

- Konzeption benutzerfreundlicher Multisensorik bei der Qualitätskontrolle komplexer Bauteile durch vereinheitlichte Prüfstrategien und verstärkten Software-Einsatz bei der Prüf- und Messplanerstellung
- Erzeugung eines homogenen Qualitätsverständnisses und Sensibilisierung für die frühzeitige Einbindung prozessbegleitender Messtechnik in die Produktplanung

Stand der Technik und industrielle Bedarfsbeschreibung

Steigende Kundenforderungen hinsichtlich Qualität, Variantenvielfalt und Kostenreduzierung erfordern eine flexible und effiziente Produktion mit verlässlichen Zulieferern. Um Kooperationen zu stärken, ist eine Fertigungskontrolle mit homogenisierten und werkerorientierten Maßnahmen zur Qualitätssicherung von großer Bedeutung. Fehlende Vereinheitlichungen bewirken, dass identische Messaufgaben an verschiedenen Orten eines Unternehmens, bei Zulieferern und Kunden mit unterschiedlichen Prüfstrategien gelöst werden, so dass die Resultate nicht vergleichbar sind. Neben den Hemmnissen einer effizienten Vorbereitung wird die Durchführung der Entwicklungs-, Fertigungs- und Qualitätskontrolle durch den Trend zu komplexen Bauteilgeometrien zusätzlich erschwert. In direkter Konsequenz werden komplexe Multisensor-Messverfahren zur Qualitätskontrolle notwendig, deren Auswahl und Steuerung hohe Anforderungen an den Messtechniker stellen. Die zeit- und kostenintensive marktübergreifende Qualitätsprüfung resultiert zusammenfassend aus

- einem inhomogenen Qualitätsbewusstsein in Firmenkooperationen,
- nicht vereinheitlichten Prüfstrategien mit nicht vergleichbarem Ergebnis,
- den arbeitsintensiven und weitgehend manuell ablaufenden Stufen der Qualitätsprüfung von der Prüfplanung bis zur Prüfdatenauswertung,
- der fehlenden objektiven Dynamisierung zur merkmalsorientierten Anpassung des Prüfumfanges,
- dem mangelnden Bewusstsein für Kosteneinsparungen durch verstärkten Software-Einsatz bei der Prüf- und Messplanerstellung,
- dem ineffizienten und abgekoppelten Einsatz von Messtechnik während des gesamten Entwicklungs- und Produktionsprozesses,
- der Komplexität prüfzielorientierter Messtechnik und der damit verbundenen geringen Akzeptanz von Messtechnik im Fertigungsumfeld und
- einer unzureichenden Datenverwertung ausgehend von der Konstruktion über die Fertigungs- bis zur Prüfplanung und Qualitätsüberwachung.

In den letzten Jahren konnten entscheidende Verbesserungen dadurch erreicht werden, dass nun Software zur Verfügung steht, die durch eine integrierte Prüfplanung Prüfstrategien und Bedienabläufe in der gesamten Kette vom Zulieferer bis zum Endverbraucher vereinheitlicht und vereinfacht. Durch die Erarbeitung einheitlicher und abgestimmter Prüfstrategie direkt aus den CAD-Zeichnungen werden unnötige Rekursionen im Prüfplanungsprozess vermieden. Dies trägt zu einer Verkürzung der Entwicklungszeit neuer Produkte (»time-to-market«) bei. Defizite bestehen bei der automatisierten Auswahl modular verknüpfter Messtechnik für die jeweilige Messaufgabe. Insgesamt zeichnen sich die Systeme dadurch aus, dass der Anwender ein hohes Spezialwissen zur Bedienung benötigt. Neben der genauen Kenntnis über Messbereich und Auflösung gilt besonders für optische Systeme die Abhängigkeit der Messergebnisse von den Eigenschaften der Objektoberfläche und Umgebungslicht, die vom Anwender berücksichtigt werden muss. Hier ist eine verstärkte Werkerorientierung notwendig, um die Akzeptanz von Multisensorik für eine fertigungsintegrierte Qualitätssicherung zu erhöhen. Die zukünftigen Entwicklungen im Bereich der Multi-sensor-Koordinatenmesstechnik konzentrieren sich daher auf »Integrierte Intelligenz«, »Benutzerfreundlichkeit«, »Verringerte Störanfälligkeit«, »Erhöhte Präzision« und »Flexibilität als Standard« [3]. Das Rationalisierungspotential, das mit standardisierten Lösungen zur Automatisierung und Vereinfachung der Qualitätsprüfung erschlossen werden kann, wird auf 90% geschätzt.

Technologische Zielsetzung

Innerhalb des deutsch-chinesischen Kooperationsprojekts werden hardwareseitig ein Multisensor-Messsystem basierend auf konoskopischer Holografie, taktilem Antastsystem und einer Positioniereinheit auf einem Koordinatenmessgerät zusammengeführt und produktionskonform d.h. kompatibel zu den technologischen Schnittstellen der Anwender integriert. Messsysteme, die nach dem konoskopischen Prinzip arbeiten, haben sich hinsichtlich ihrer Genauigkeit als Alternative zu triangulationsbasierten Messsystemen (s. Bild 1) und hinsichtlich des Kostenfaktors gegenüber Autofokusverfahren für die Integration empfohlen. Die patentierte Technologie der konoskopischen Holografie findet

daher zunehmende industrielle Verwendung in der prozessnahen Fertigungs-
kontrolle und wird verstärkt auch in Koordinatenmessgeräte integriert.

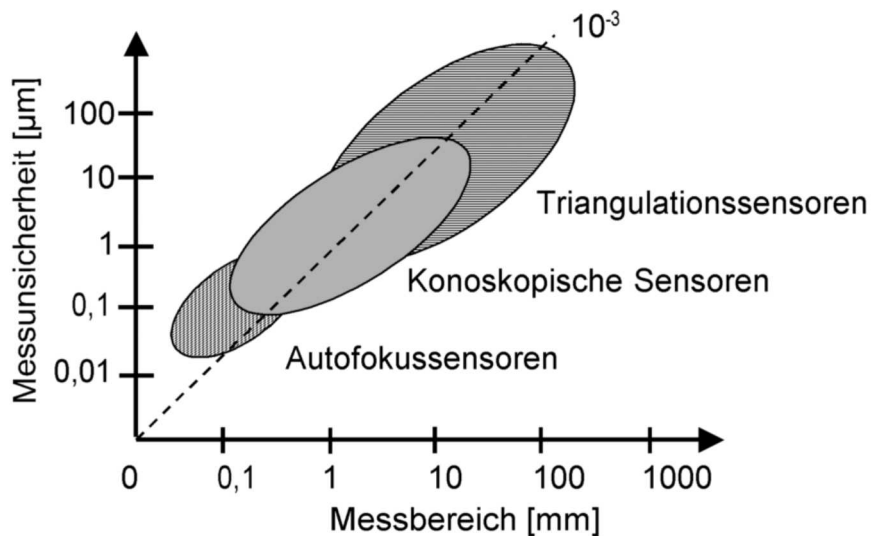


Bild 1: Vergleich KMG-integrierter optischer Messsysteme

Das softwaretechnische Entwicklungsziel liegt in der Datendurchgängigkeit und
Automatisierung. Ausgehend von der Analyse von CAD-Daten werden Geo-
metrie und Prüfmerkmale extrahiert (s. Bild 2).

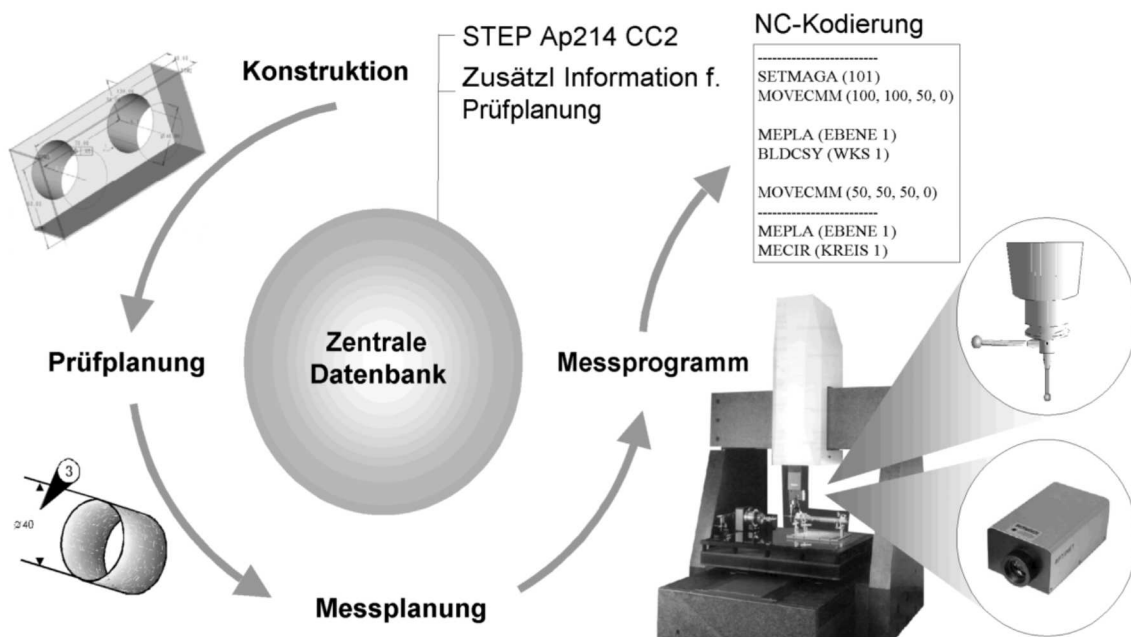


Bild 2: Soft- und Hardware-Konzept [4]

Diese Extraktion, die spätere Zuordnung von Messsystem zur Messaufgabe und die eigenständige Generierung eines Messplans soll bedienerfreundlich automatisiert werden.

Konoskopische Holografie

Das KMG-integrierte Bildverarbeitungssystem wird durch die Anbindung eines tiefenauflösenden Lasertasters ergänzt (s. Bild 3). Die z-Auflösung wird über eine punktuelle Erfassung basierend auf konoskopischer Holografie realisiert, deren Messstrahl die Optik des x,y-auflösenden BV-Systems nutzt. Die Position des motorisierten (7:1)-Zoom-Objektivs wird mit einem Hall-Sensor bestimmt, die Auflösung beträgt unter optimalen Bedingungen Werte weniger als $2\mu\text{m}$.

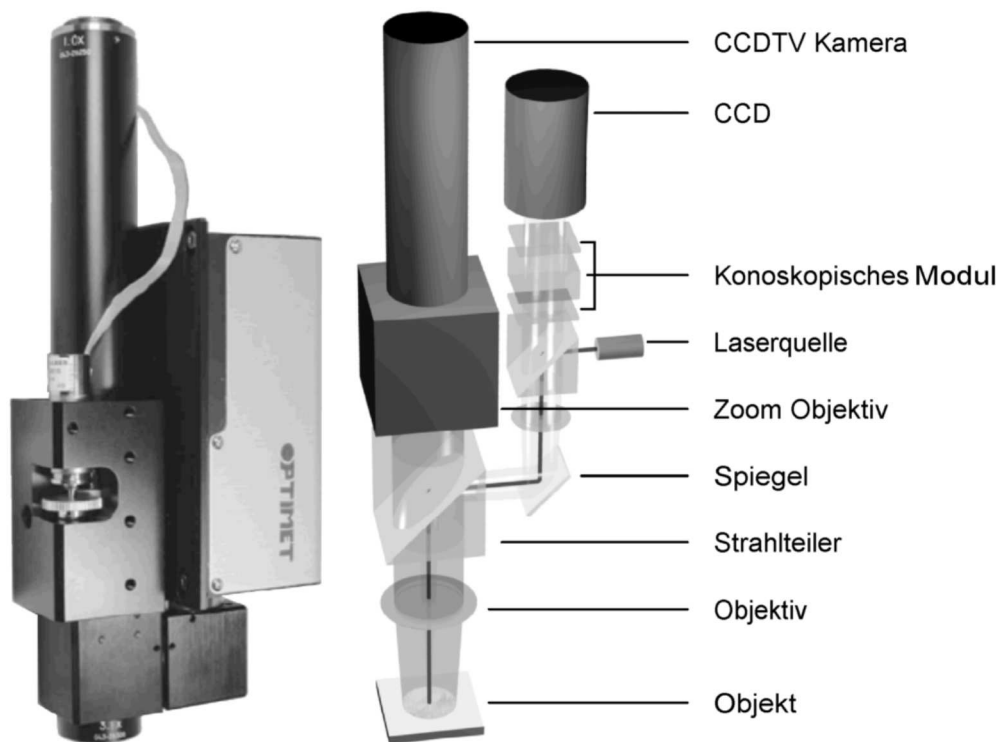


Bild 3: 3D Videokonoskopie [5]

Die Technik nutzt das Phänomen der Konoskopie, des Interferenzverhaltens polarisierten Lichts in bi-refraktiven Kristallen (s. Bild 4). Trifft ein Lichtstrahl einer (in-)kohärenten, nichtpolarisierten, quasi-monochromatischen Punktlichtquelle zunächst auf einen zirkularen Polarisator, der eine orthogonale Polarisierung und eine $\lambda/4$ -Phasenverschiebung erzeugt, und nachfolgend auf einen

uniaxialen Kristall, so wird er in zwei Strahlengänge, den ordentlichen und außerordentlichen Strahl, gebrochen. Die Strahlen breiten sich in nahezu - identische Richtungen (approx. 1. Ord.) mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aus. Der ordentliche Brechungsindex ist konstant, während der außerordentliche eine Funktion des Einfallswinkels relativ zur optischen Achse des Kristalls ist. Die Wellenfronten treten also mit einer Phasenverschiebung, die durch die minimale Streckendifferenz und v.a. durch die Kristallstruktur verursacht wird, orthogonal polarisiert aus dem Kristall aus. Der nachgeschaltete Polarisator hebt die $\lambda/4$ -Phasenverschiebung auf und die Strahlen werden gleichgerichtet. Die CCD-Detektorkamera nimmt die aus der Interferenz der beiden Strahlen resultierende Intensitätsverteilung (»Conoscopic Point Spread Function«) auf. Auf die Form der CPSF nehmen die Position der Punktlichtquelle relativ zur Detektorfläche, die Länge und Brechungsindizes des Kristalls, die Wellenlänge sowie konstante Faktoren Einfluss. Aus den Abständen der Interferenzstreifen wird die geometrische Distanz des Messpunktes abhängig von den verwendeten optischen Elementen mit einer Genauigkeit von $5\mu\text{m}$ errechnet [6][7]. Die konoskopische Holografie ist nicht auf die Messung optisch flacher Geometrien beschränkt und ermöglicht durch den kollinearen Aufbau eine unempfindliche Messung von bis zu 85° geneigten Flanken.

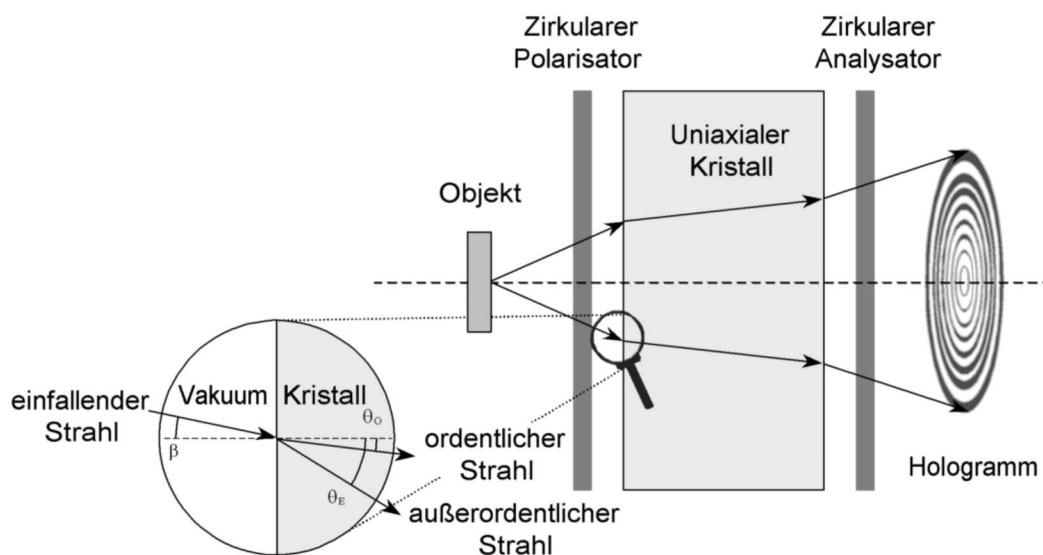


Bild 4: Vereinfachte Darstellung der (»on-axis«) konoskopischen Holografie [8]

Effiziente Prüf- und Messplanung

Eine durchgängige Prozesskette, die Konstruktionsdaten aus dem CAD-System nutzt, die Schritte der Prüfplanung übernimmt und die die Festlegung einheitlicher Messstrategien umfasst und bis zur Generierung gerätespezifischer Messprogramme reicht, ist wesentliches Ziel im Projekt „ProSens“. Das effiziente Prüf- und Messplanungssystem beinhaltet folgende Module:

- Modul zur Erkennung zu messender Prüfmerkmale aus dem CAD-Modell

Die Prüfmerkmale werden automatisch im CAD-Modell gesucht. Die prüfmerkmalsbezogenen Informationen und die zugehörigen geometrischen Elemente werden jeweilig in einem erweiterten Q-DAS[®]- und STEP AP214/CC2-Format exportiert [9] (s. Bild 5). Die Messsoftware vieler KMG-Hersteller kann diese Formate lesen und gerätespezifische Messprogramme im nahezu KMG-unabhängigen DMIS-Code erzeugen. Um die Qualitätskontrolle von Freiformflächen zu ermöglichen ist das Q-DAS[®]-Format mit Informationen wie Toleranzen und Bezugsebenen zu ergänzen.

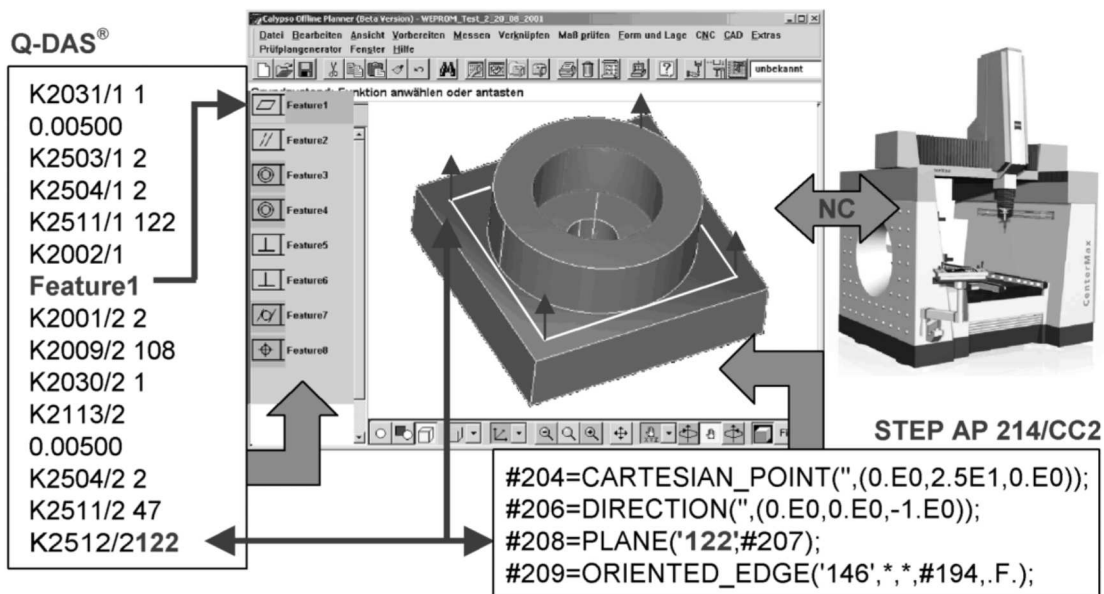


Bild 5: Verknüpfung von Q-DAS[®]- und STEP AP214/CC2-Format [10]

- Modul zur automatischen Auswahl des Sensors

Dieses Modul beinhaltet die Entscheidungskriterien zur Sensorauswahl wie Messumfang, -bereich, -unsicherheit, -volumen, -oberfläche, -zeit und -kosten sowie Systemverfügbarkeit, Objektorientierung, Merkmalstoleranz und Lichtverhältnisse unter besonderer Berücksichtigung einer ökonomischen Umsetzung des Prüfziels. Die Kenntnis der technischen Leistungsgrenzen eines Sensor ist Voraussetzung für eine optimale Abstimmung des Sensors auf die Prüfaufgabe.

- Modul zur Generierung merkmalsorientierter Prüfstrategien und deren Verwaltung in einer Datenbank

In diesem Modul wird eine Vorgehensweise zur Messstrategieerstellung entwickelt, die prüfaufgabenorientierte Messstrategie objektiv festlegt und die Vergleichbarkeit der Messergebnisse abgesichert. Diese merkmalsbezogenen Strategien werden in einer Erfahrungsdatenbank mit ihren Nebenbedingungen, wie Geometrie, Funktion und Toleranzanforderung archiviert. Diese Informationen können dann mit Hilfe eines Software-Assistenten (s. Bild 6) auf andere, vergleichbare Probleme übertragen werden.

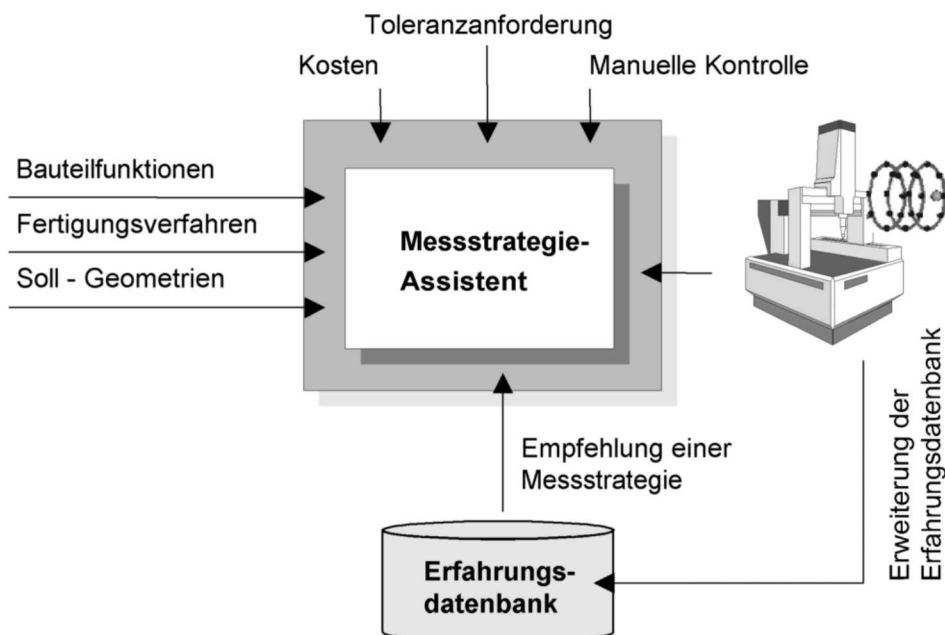


Bild 6: Messstrategieassistent [11]

Neben der Messstrategie können zusätzliche qualitätsrelevante Produktinformationen, wie z.B. das Messergebnis, in dieser Datenbank gespeichert werden und die Qualitätskontrolle eines Werkstücks langfristig nachvollziehbar sichern.

Nutzen für deutsch-chinesische Kooperationen im produktionstechnischen Umfeld

Ziel des Vorhabens ist die Homogenisierung der Fertigungs- und Abnahmekontrolle in (deutsch-chinesischen) Unternehmensstrukturen zwischen Produzenten und Zulieferern. Durch die vollständige Einbindung effizienter Multisensorik in die betriebliche Ablauforganisation, die Reduzierung des Prüfumfanges, vereinheitlichte Prüfstrategien und verstärkten Software-Einsatz bei der Prüf- und Messplanerstellung werden alle notwendigen Voraussetzungen für eine objektive Prüfung durch den Werker geschaffen. Die Erstellung von Prüfplänen mit einem für komplexe Messverfahren ausreichenden Detaillierungsgrad bildet die Basis für die dringend notwendige Vergleichbarkeit von Messergebnissen, die an unterschiedlichen Orten von verschiedenen Prüfern ermittelt werden. Dies wird durch eine datenbank-basierte Erstellung prüfzielorientierter Messstrategien unterstützt. Hierzu ist eine Vereinfachung der Bedienerführung sowohl bei der Generierung als auch bei der Anwendung bauteilspezifischer Messabläufe auf der Basis einfacher und standardisierbarer Anwenderschnittstellen auch hinsichtlich der notwendigen Eingaben, der Präsentation und weiteren Nutzung der Messergebnisse realisiert. Die Einführung dieser Systeme soll durch Schulungen bei den beteiligten Anwendern sowie durch die Veranstaltung von Workshops und die aktive Mitarbeit in Normungsgremien unterstützt werden, um das Verständnis und die Akzeptanz fertigungsunterstützender Messtechnik im deutsch-chinesischen Kontext zu homogenisieren.

Die Qualitätssicherung in der gesamten Kette vom Zulieferer bis zum Endverbraucher wird vereinheitlicht und vereinfacht. Erfahrungen aus Entwicklung und Fertigungskontrolle können in einem frühen Produktplanungsstadium eingebettet und beim Zulieferer genutzt werden. Direkt aus den Konstruktionsdaten werden abgesicherte, von allen Beteiligten geprüfte und bezogen auf Prüfschärfe und -tiefe universelle Prüfprogramme erstellt.

Mit dem Systemeinsatz ist eine erhebliche Effizienzsteigerung der Planung und

Durchführung von Maßnahmen zur Sicherung von Fertigungsprozessen verbunden. Im Falle von Konstruktionsänderungen, Bauteilvarianten und Serienwechseln ist durch die Anwendung flexibler Koordinatenmessgeräte mit kombinativer Messtechnik eine erhebliche Einsparung bezüglich der Investitionskosten für spezielle unflexible Prüfautomaten zu erwarten.

Literatur und Bildverzeichnis

- [1] Liu, X.: Exportförderung in China durch Ausbau des Messwesens, Internationale Tagung zum Mess- und Eichwesen, Berlin: PTB, 2002
- [2] Deutsche Agenda »Optische Technologien für das 21. Jahrhundert«, Siegel, A., Lifer, G. (Hrsg.), Düsseldorf, 2000
- [3] Christoph, R., Neumann, H. J.: Multisensor-Koordinatenmesstechnik, Augsburg: verlag moderne industrie, 2003
- [4] Bildquelle: Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen
- [5] Bildquelle: Opto GmbH, Obernburg, Fraunhofer IPT, Aachen
- [6] Sirat, G.: Conoscopic holography I. & II., J. Opt. Soc. Am. A/Vol. 9, No. 1, 1992
- [7] Data Sheets »Conoprobe«, Optimet Optical Metrology Ltd., Jerusalem
- [8] Bildquelle: Optimet Optical Metrology Ltd.
- [9] T. Pfeifer, R. Freudenberg, D. Effenkammer: „Daten aus einem Guss - Eine durchgängige Prozesskette vom CAD-Modell bis zum Messprogramm“, QZ - Qualität und Zuverlässigkeit, Carl-Hanser Verlag, 2000
- [10] Bildquelle: Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen
- [11] Bildquelle: Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen