

Computertomografie erweitert die Multisensorik

WOLFGANG RAUH

Durch die Integration der Computertomografie in die Multisensor-Koordinatenmesstechnik sind Systeme entstanden, mit denen sich sowohl komplexe Werkstücke als auch Mikroteile schnell und exakt messen lassen. Erste Anwendungserfahrungen zeigen, dass durch diese Systeme ein erhebliches Rationalisierungspotenzial erschlossen werden kann. Die schnelle Erstbemusterung führt auch in der Produktentwicklung zu einer erheblichen Zeitersparnis.

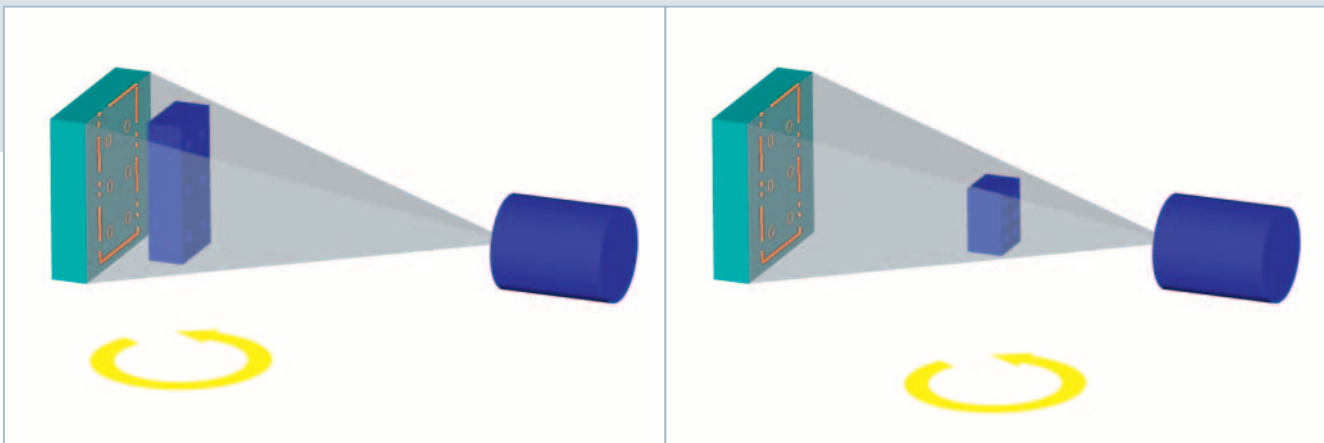


BILD 1. Prinzip der Computertomografie: Das Messobjekt befindet sich auf einem Drehtisch zwischen Röntgenquelle und Detektor. Ein geringer Abstand zwischen Objekt und Detektor ermöglicht die schnelle Erfassung größerer Teile mit niedriger Vergrößerung (Bild links); ein großer Abstand zwischen Detektor und Objekt führt zu hoher Vergrößerung für das Messen mit hoher Genauigkeit (Bild rechts)

Die Koordinatenmesstechnik steht gegenwärtig vor zwei Herausforderungen: erstens das hochgenaue Messen von Mikrostrukturen und zweitens das schnelle und vollständige Erfassen von Bauteilen, um Abweichungen zur Sollgeometrie zu bestimmen. Letzteres wird insbesondere für die Erstbemusterung, die Werkzeugentwicklung und für die Prozessoptimierung benötigt. Ein zentraler Ansatz bei der Lösung dieser Aufgaben ist das

Prinzip der Multisensorik, das Sensoren mit unterschiedlichsten Wirkprinzipien in einem Koordinatenmessgerät integriert. Die Multisensorik kombiniert neue Sensoren, beispielsweise den ›Werth-Fasertaster‹ oder die Computertomografie, mit konventionellen Sensoren der Koordinatenmesstechnik. Auf diese Weise lassen sich die Vorteile des jeweiligen Sensors für optimale Messabläufe und sichere Messergebnisse nutzen.

Vollständiges Erfassen von Objekten mit Computertomografie

Den Forderungen nach vollständiger und genauer Erfassung der Werkstückgeometrie werden heutige Koordinatenmessgeräte nur teilweise gerecht. Deutliche Vorteile bieten hingegen moderne Multisensor-Koordinatenmessgeräte, die eine Vielzahl verschiedenster Sensoren auf

einem Messgerät kombinieren, beispielsweise berührende Tastsysteme, Bildverarbeitung, Lasersensoren und taktill-optische Fasertaster. Mit diesen modernen Multisensor-Koordinatenmessgeräten ist es möglich, eine Anpassung an praktisch alle Anwendungen zu erzielen und Werkstücke mit sehr hoher Genauigkeit zu messen. Jedoch führt vor allem die benötigte Messzeit dazu, dass diese Systeme trotz relativ schneller Scanning-Verfahren für die vollständige Erfassung der Teilegeometrie nur bedingt sinnvoll sind.

Eine Möglichkeit zur vollständigen Erfassung der Teilegeometrie bietet die Computertomografie, die industriell bislang hauptsächlich für die Materialprüfung eingesetzt wurde. Bei der Röntgen-Computertomografie wird das Werkstück auf einem Drehtisch zwischen Röntgenquelle und Detektor positioniert, sodass der Detektor

HERSTELLER

Werth Messtechnik GmbH
35394 Gießen
Tel. 06 41/79 38-0
Fax 06 41/7 51 01
www.werthmesstechnik.de



BILD 2. Werth »TomoScope«: das weltweit erste Multisensor-Koordinatenmessgerät mit Röntgen-Computertomografie

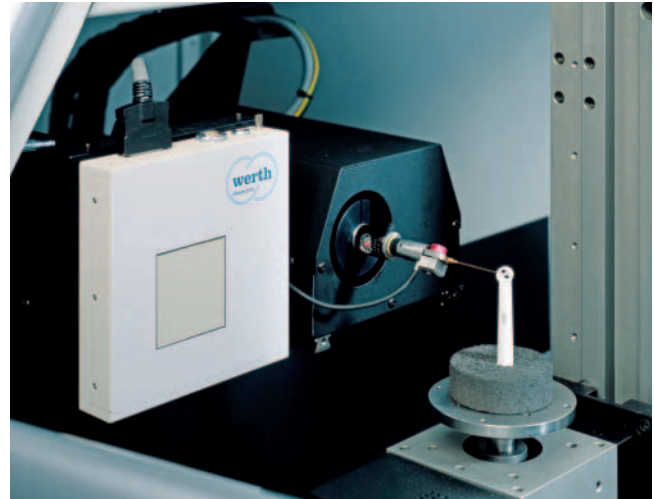


BILD 3. Flexibilität durch Multisensorik: Zwei Pinolen ermöglichen die unabhängige Positionierung des Röntgendetektors und anderer Sensoren. Die mit dem Taster aufgenommenen Punkte dienen auch der Kalibrierung der CT-Daten

bei aktiver Strahlungsquelle Durchleuchtungsbilder des Objekts liefert (Bild 1). In unterschiedlichen Winkelstellungen des Drehtischs wird hierbei eine Serie von Durchleuchtungsbildern des Objekts aufgenommen. Anschließend wird die räumliche Gestalt des Werkstücks mit Hilfe eines mathematischen Verfahrens aus den Durchleuchtungsbildern rekonstruiert. Das so erzeugte dreidimensionale Bild besteht aus Volumenelementen (Voxel), denen jeweils ein Grauwert zugeordnet ist. Dieser Grauwert kennzeichnet die Absorption der Strahlung durch das Werkstück innerhalb des Volumenelements. Das Volumenmodell beschreibt die vollständige Geometrie des Werkstücks, also auch Innengeometrien oder Hinterschnitte sehr komplexer Bauteile.

Von kleinen Details bis zu großen Bauteilen

Durch das Verändern der Abstände zwischen dem Werkstück und dem Detektor sowie zwischen dem Werkstück und der Röntgenquelle lassen sich bei der Computertomografie unterschiedliche Vergrößerungen und Messbereiche realisieren. Somit kann die genaue Erfassung kleiner Teile mit hoher Vergrößerung oder die schnelle Erfassung größerer Teile mit geringerer Vergrößerung erfolgen.

Für dimensionelle Messungen wird aus dem Volumenbild die Teileoberfläche extrahiert. Die Definition der hierfür benötigten Materialgrenze (Schwellwert) beeinflusst dabei direkt die Genauigkeit der Messung und muss daher sehr sorg-

fältig, möglichst jedoch automatisch erfolgen. Zahlreiche weitere Einflüsse schränken die erzielbare Genauigkeit bei der Computertomografie weiter ein. So können im rekonstruierten Volumenbild Störungen (Artefakte) auftreten, die zu Fehlinterpretationen führen. Abhängig von der Wellenlänge der Strahlung sowie von der Geometrie und dem Material des Werkstücks sind diese Artefakte nur sehr schwer korrigierbar. Außerdem sind zahlreiche Systemparameter unbekannt oder nicht konstant, zum Beispiel die Lage und Größe des Brennflecks der Strahlquelle, die Materialeigenschaften des Werkstücks sowie vorhandene Gerätefehler. Die bislang mit Hilfe der Computertomografie erzielbare Genauigkeit ist daher für eine Prüfung von Funktionsmaßen meist nicht ausreichend und erfordert spezielle Maßnahmen, um die von der Computertomografie bereitgestellten Daten messtechnisch aufbereiten zu können.

Vollständig und genau messen mit Multisensor-Computertomografie

Wird die Computertomografie mit genaueren Sensoren kombiniert, ermöglicht dies die schnelle und vollständige Erfassung des Werkstücks mit Hilfe der Tomografie sowie die exakte Messung eng tolerierter Maße

mit Hilfe klassischer Sensoren. Dieser Ansatz wurde weltweit erstmals im Hause Werth Messtechnik, Gießen, umgesetzt und führte zu Multisensor-Koordinatenmessgeräten mit Röntgen-Computertomografie (Bild 2). Diese multisensorischen Koordinatenmessgeräte sind dank ihres modularen Konzepts an unterschiedliche Aufgabenstellungen und Genauigkeitsanforderungen adaptierbar. Für zusätzliche Flexibilität sorgt die Option »Rastertomografie«, mit der der Messbereich des Computertomografie-Sensors erweitert wird. Dabei werden jeweils Teilbilder des Werkstücks aufgenommen und zu größeren Durchleuchtungsbildern zusammengefügt. Anhand dieser Bilder wird dann das Volumen rekonstruiert. Aktuell können so Messobjekte bis zu einem Durchmesser von etwa 90 mm und einer Länge von 200 mm tomografiert werden.

Tomografie-Daten durch Multisensorik kalibrieren

Die Erfassung gleicher Bereiche des Werkstücks mit mehreren Sensoren macht es möglich, die von den verschiedenen Sensoren gelieferten Messergebnisse miteinander abzugleichen. Dabei werden die Messergebnisse des ungenaueren Sensors mit Hilfe genauerer Informationen eines zusätzlichen Sensors korrigiert. Ein neuartiger mathematischer Ansatz auf Basis dieser Grundidee ermöglicht die Korrektur der verfahrensbedingten Fehler der Computertomografie. Dies erfolgt durch Aufnahme von Kontrollpunkten am Werkstück mit einem hochgenauen >>

LITERATUR

- 1 Rau, Wolfgang: Präzision mit gläserner Faser. Mikroproduktion 2005, H. 4, S. 36-39

Sensor, beispielsweise mit einem berührenden Tastsystem oder dem Werth-Fasertaster. Die anschließende Korrektur der vom CT erzeugten Punktwolke minimiert die Abweichungen zwischen den Kontrollpunkten und der CT-Punktwolke. Durch diese ›Auto-Kalibrierung‹ mit Hilfe der Computertomografie lassen sich Messwerte in bislang unbekannter Qualität gewinnen. Außerdem kann die Rückführung der tomografischen Messungen direkt am Messobjekt mit den bewährten Sensoren der Multisensor-Koordinatenmessgeräte erfolgen.

Anwendungsgerechte Konfiguration auf Basis bewährter Komponenten

Basis der Multisensor-Koordinatenmessgeräte mit Computertomografie sind bewährte Sensoren sowie mechanische und steuerungstechnische Komponenten, die im Hause Werth auch in anderen Koordinatenmessgeräten zum Einsatz kommen. Diese unter messtechnischen Gesichtspunkten optimierten Systeme gewährleisten eine hohe Grundgenauigkeit und Zuverlässigkeit, die bislang bei Computertomografen nicht verfügbar waren. Für Messaufgaben an makroskopischen Werkstücken im mittleren Genauigkeitsbereich wurde das ›TomoScope‹ mit mechanischen Führungen entwickelt, für höchste Genauigkeiten und für die Messung von Mikrobauteilen wurde der Werth

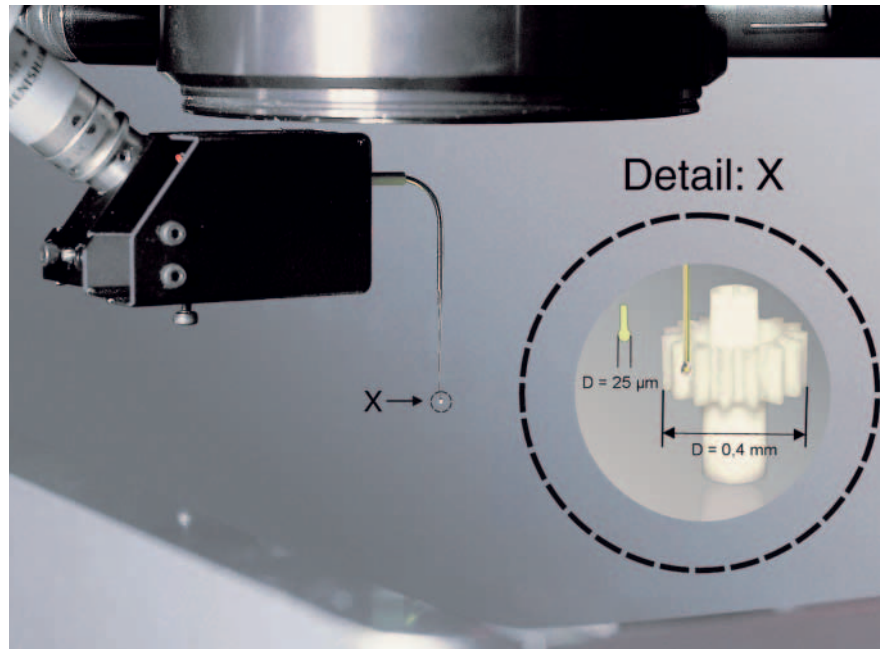


BILD 4. Der taktil-optische Werth-Fasertaster: Die Antastung des Messobjekts erfolgt mit einer Glaskugel, deren Durchmesser bis zu 10 µm klein sein kann und deren Auslenkung optisch, mit Hilfe eines Kamerasystems bestimmt wird

›TomoCheck‹ mit luftgelagerten Achsen konzipiert. In beiden Geräten besteht die Möglichkeit zum kombinierten Messen mit konventionellen Sensoren und der Computertomografie in einem einheitlichen Koordinatensystem. Durch das separate Positionieren der Strahlquelle und

des Detektors lässt sich hierbei die Vergrößerung der Computertomografie in weiten Bereichen variieren.

Während die konventionellen Sensoren im TomoScope hauptsächlich berührende Tastsysteme sind, ist der TomoCheck auf-

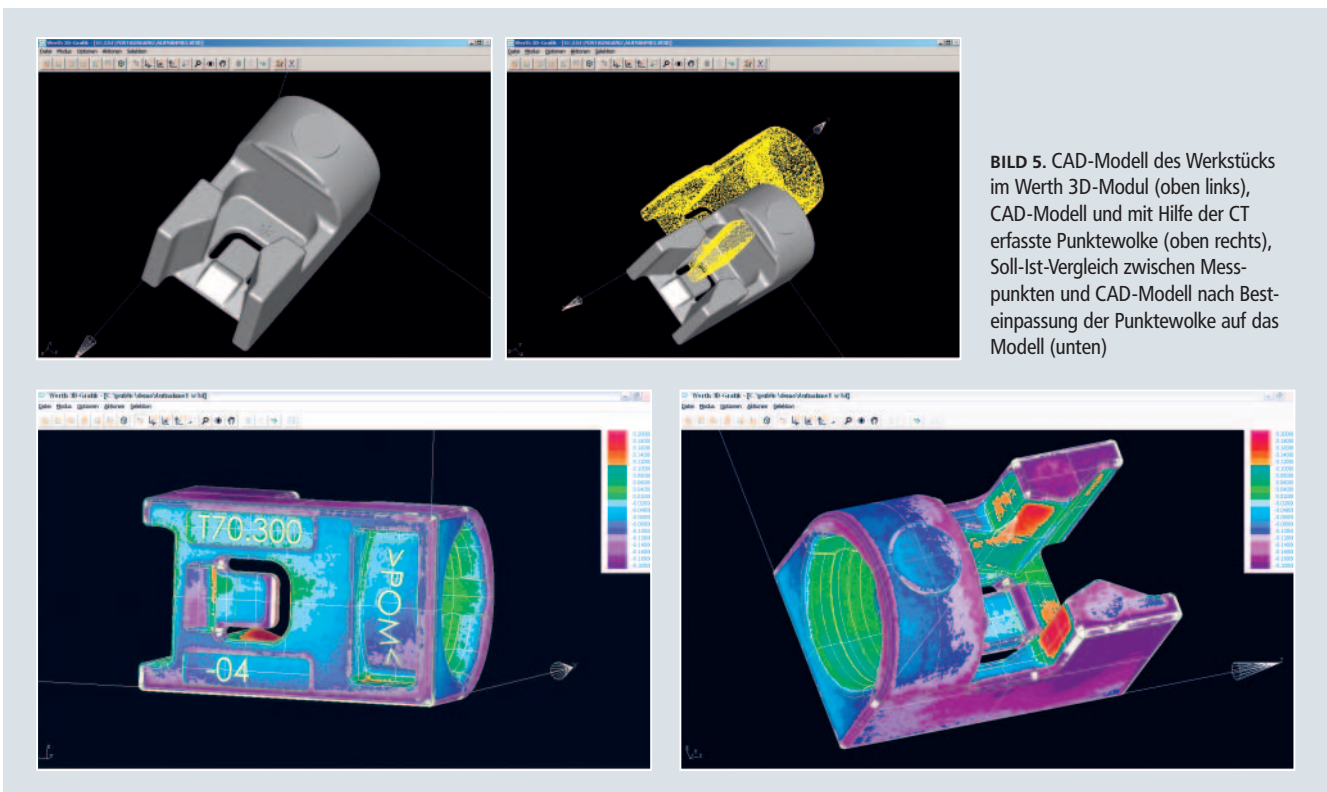


BILD 5. CAD-Modell des Werkstücks im Werth 3D-Modul (oben links), CAD-Modell und mit Hilfe der CT erfasste Punktwolke (oben rechts), Soll-Ist-Vergleich zwischen Messpunkten und CAD-Modell nach Besteinpassung der Punktwolke auf das Modell (unten)

grund der hohen Grundgenauigkeit des Grundgeräts besonders für die Kombination der Computertomografie mit dem Werth-Fasertaster geeignet (Bild 4). Mit Hilfe dieses Sensors können auch an kleinsten Geometrien hochgenaue Messungen zur Rückführung der Tomografie-Messung und zur exakten Messung einzelner Merkmale durchgeführt werden. Aufgrund der extrem geringen Antastkräfte ist bei diesem Sensor keine Einspannung des Werkstücks erforderlich. Außerdem sind die röntgentechnischen Komponenten des TomoCheck auf die Messung an Mikrobauteilen ausgelegt. So kommen im TomoCheck eine Röntgenquelle mit einem extrem kleinen Brennfleck sowie ein hochauflösender Detektor zum Einsatz.

Anders als bei bislang verfügbaren CT-Systemen sind beim TomoScope und TomoCheck durch den Bediener keinerlei Justagearbeiten zu verrichten. Alle Einstellungen sind werkseitig kalibriert. Ein werkstattnaher Einsatz der Geräte wird auch dadurch ermöglicht, dass die Konstruktion und die Ausführung einem Vollschutzgerät nach Röntgenverordnung entsprechen. Für den Betrieb der Computertomografie-Systeme sind deshalb keine weiteren Strahlenschutzmaßnahmen einzuhalten.

Einheitliche Messsoftware auch für die Computertomografie

Auch die Software des Werth TomoScope und TomoCheck entstand unter dem Gesichtspunkt der einfachen und effektiven Anwendung. Die industriell weit verbreitete Software ›WinWerth‹ für Multisensor-Koordinatenmessgeräte wurde um die für die Computertomografie benötigten Komponenten erweitert. Sie enthält neben einem einfachen Menü zur Einstellung der Tomografie-Parameter auch eine leistungsfähige Funktionsbibliothek zur Rekonstruktion von 3D-Daten sowie zur automatischen Bestimmung der Materialgrenzen. Der gesamte Messablauf mit Computertomografie und anderen Sensoren wird innerhalb der Messsoftware gesteuert.

Für die Durchführung einer Tomografie sind vom Bediener zunächst geeignete Einstellungen für die Röntgenquelle zu wählen. Dies erfolgt analog zur Lichteinstellung bei optischen Sensoren anhand von Schieberegler in der Bedienoberfläche. Um den Dynamikbereich bei schlecht kontrastierbaren Objekten zu erweitern, stehen weitere

Schieberegler zur Verfügung. Mit ihnen lassen sich die Belichtungsdauer des Detektors erhöhen und Rauschteile im Bild filtern.

Der für die Tomografie relevante Bildausschnitt wird völlig analog zu optischen Messungen durch Setzen eines Auswertefensters im Durchleuchtungsbild festgelegt. Beim Starten des Tomografievorgangs werden benötigte Abgleichvorgänge für die Sensorik vom System nötigenfalls automatisch angestoßen und durchgeführt. Der Tomografieprozess läuft danach ohne Interaktion mit dem Bediener auch für den Fall der Rastertomografie vollautomatisch.

Die Punktwolke wird in das 3D-CAD-Modell eingepasst

Nach Abschluss des Tomografieprozesses und der parallel dazu berechneten 3D-Rekonstruktion wird die Werkstückgeometrie ermittelt und automatisch in Form von Punktwolken in das 3D-CAD-Modul der WinWerth-Software eingelesen. Die Daten können für dimensionelle Auswertungen auf ein CAD-Modell eingepasst und mit dem Modell verglichen werden. Als Ergebnis dieses Vergleichs steht neben den numerischen Ergebnissen auch eine farbliche Visualisierung der Abweichungen zwischen Messpunkten und Modell zur Verfügung (Bild 5).

Aus den Messpunkten oder Teilen der Messpunkte können aber auch mit Hilfe der Standardfunktionen der Messsoftware Regelgeometrieelemente berechnet oder andere messtechnische Auswertungen vorgenommen werden. Ist ein Messablauf für einen Teiletyp hinterlegt, können weitere Messungen ohne zusätzliche Bedieneringriffe vollautomatisch vorgenommen werden. Für den Bediener ist aufgrund des durchgängigen Software-Konzepts kein Wechsel zwischen mehreren Programmpaketen notwendig. Die Messsoftware ist zu rein taktilen oder anderen Multisensor-Koordinatenmessgeräten von Werth Messtechnik vollständig kompatibel. ■■

Dr.-Ing. Wolfgang Rauh
ist Entwicklungsleiter bei
Werth Messtechnik in Gießen;
entwicklung@werthmesstechnik.de