

---

# Koordinatenmesstechnik mit Computertomografie

**Schirin Heidari Bateni\***

Die Röntgen-Computertomografie überzeugt durch vollständiges Erfassen des Werkstücks mit hoher Geschwindigkeit und Genauigkeit. Für fertigungsbegleitende Messungen war das Verfahren bisher dennoch oftmals zu langsam. Ein neuer Gerätetyp vereint nun die Vorteile verschiedener Geräteklassen und ebnet mit moderaten Preisen der breiten Einführung dieser Technik den Weg.



Bild 1. Durch die hohe Auflösung bei hoher Leistung können mit dem TomoScope XS viele verschiedene Werkstücke kostengünstig gemessen werden (Bilder: Werth)

---

\* Dr.-Ing. Schirin Heidari Bateni  
Werth Messtechnik GmbH, D-35394 Gießen

Bei der Röntgen-Computertomografie (CT) wird das Werkstück um seine eigene Achse gedreht und so aus verschiedenen Richtungen von Röntgenstrahlung durchdrungen. Aus den hierdurch entstehenden 2D-Durchstrahlungsbildern rekonstruiert die Mess-Software das dreidimensionale Werkstück-Volumen einschließlich innenliegender Geometrien. Im Vergleich zu konventionellen Sensoren liefert dieses Verfahren eine sehr hohe Informationsdichte. Jedoch entstehen beim Durchstrahlen des Messobjekts auch Artefakte, die zu systematischen Messabweichungen führen. Daher hatte die Weiterentwicklung der CT-Technik zunächst die Verringerung der Messabweichungen durch Korrektur der Prinzip bedingten Artefakte zum Ziel.

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts ermöglichte das erste speziell für die Koordinatenmesstechnik entwickelte CT-Gerät, das Werth TomoScope, dimensionelle Messungen mit einer Genauigkeit, die der von konventionellen Koordinatenmessgeräten entsprach. Die patentierte Werth Autokorrektur, noch heute die genaueste Methode zur Artefaktkorrektur bis in den Sub-Mikrometer-Bereich, korrigiert die CT-Messung über die Referenzmessung eines Meisterteils mit hochgenauen Sensoren wie dem patentierten Werth Fasertaster. Bei Multisensor-Koordinatenmessgeräten mit CT-Sensor kann diese an demselben Gerät durchgeführt werden. Methoden zur Software-Artefaktkorrektur, zum Beispiel auf Simulationsbasis, erlauben heute für die meisten Anwendungen ein ausreichend präzises Messen mit Computertomografie allein.

Der Erweiterung des Einsatzspektrums dienen verschiedene Verfahren zur Erhöhung der Auflösung durch spezielle Messmethoden wie Raster- und Multi-ROI-CT. Bei der Rastertomografie werden verschiedene Bereiche des Werkstücks einzeln tomografiert und zur Rekonstruktion des Werkstückvolumens zusammengesetzt. Die Multi-ROI-CT ermöglicht nach einem patentierten Verfahren die Messung ausgewählter Zonen (Region of Interest – ROI) des Werkstücks in hoher Auflösung.

Die Messbarkeit großer Werkstücke und schwer zu durchstrahlender Materialien mit hoher Auflösung wird durch Gerätetypen gewährleistet, die hochauflösende Detektoren und

Transmissionstarget-Röntgenröhren mit besonders kleinem Brennfleck bei hoher Leistung kombinieren. Neue Software-Tools wie die Mehr-Spektren-Tomografie erlauben die Messung von Mehr-Material-Werkstücken wie bestückten Steckverbindern.

### **Technik der Großen im Format der Kleinen**

Mit dem Werth TomoScope XS wurde jetzt erneut ein innovatives Gerätekonzept realisiert, welches die Vorteile verschiedener konventioneller Gerätekonzepte vereint und Nachteile vermeidet. Bei bisherigen Geräten hatte man bezüglich der Mikrofokus-Röntgenröhren die Wahl zwischen zwei Varianten: Geschlossene Röhren, die nach wenigen Jahren ersetzt werden müssen, oder offene Röntgenquellen, die mehrmals im Jahr Wartung benötigen. Daraus ergeben sich relativ häufige Stillstandzeiten bzw. hohe Wartungskosten. Die neue Röhrentechnik des TomoScope XS vereint durch eine Reihe von Innovationen die Vorteile offener und geschlossener Mikrofokus-Röntgenröhren. Das Gerät ist mit einer hochgenauen Transmissionstarget-Röntgenröhre ausgestattet. Das Monoblock-Design von Röhre, Generator und Vakuumerzeugung wurde in offener Bauweise realisiert. Dadurch ergeben sich sowohl lange Wartungsintervalle als auch eine theoretisch unbegrenzte Lebensdauer. Stillstandzeiten und Betriebskosten werden minimiert. Während das Monoblock-Design bisher Reflexionstarget-Röntgenröhren vorbehalten war, ermöglicht die Transmissionstarget-Röntgenröhre schnelles Messen mit hoher Auflösung jetzt auch bei geringen Kosten. Durch die offene Bauweise sind hohe Röhrenspannungen bis 160 kV bei Monoblock-Röntgenröhren möglich. Dadurch können auch Werkstücke aus dichteren Materialien und mit größeren Durchstrahlungslängen kostengünstig gemessen werden. Eine luftgelagerte, sehr präzise Drehachse bildet eine weitere Grundlage für gestochen scharfe Volumen und genaue Messergebnisse.

Aufgrund der kompakten Bauweise und des damit verbundenen geringen Platzbedarfs sowie des niedrigen Gewichts kann das Gerät nahezu überall aufgestellt werden. Geringe Anschaffungs- und Betriebskosten erlauben eine schnelle Amortisation. Erstmals steht ein kompaktes und preiswertes CT-Koordinatenmessgerät mit

normkonformer DAkkS-Kalibrierung zur Verfügung. Das neue Gerätekonzept ermöglicht den breiten Einsatz der CT-Sensorik für verschiedene Werkstücke und Aufgaben im Unternehmen.

Typische Anwendungsbeispiele sind die Erstbemusterung oder die fertigungsbegleitende Serienmessung komplexer Kunststoffteile, beispielsweise von Steckverbindern, Gehäusen, Spraydosen oder Baugruppen wie Flaschenhals und Deckel. Häufig liegen die Bezüge außen, die geometrischen Eigenschaften sind innen zu bestimmen. In solchen Fällen ist die Messung mit konventioneller Sensorik nur in mehreren Schritten mit Umspannen des Werkstücks und teuren individuellen Aufnahmevorrichtungen möglich. Hier erlaubt der CT-Sensor die vollständige Geometrierfassung mit einer großen Punkteanzahl, zum Beispiel für die CAD-gestützte Auswertung, eine einfache Messung von Form- und Lage nach der neuen ISO 1101 und beim Erfassen von Freiformflächen. Der hohe Informationsgehalt ermöglicht eine effiziente Korrektur des Spritzgusswerkzeugs. Hierzu wird nach der Messung ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt und die ermittelten Abweichungen werden am Solldatensatz gespiegelt.

### **Prozessintegrierte Messungen mit Computertomografie**

Neben den Kosten für Anschaffung und Unterhalt sowie Größe und Gewicht der Geräte war die CT für fertigungsbegleitende Messungen bisher häufig zu langsam. Es existieren verschiedene Methoden zur Verringerung der Messzeit, die jedoch alle auch eine verminderte Datenqualität zur Folge haben. Zu nennen sind hier die Erhöhung der Röntgenleistung auf Kosten der Auflösung, eine Verringerung des Abstands zwischen Röhre und Detektor, die vermehrte Kegelstrahlartefakte zur Folge hat, oder eine kürzere Belichtungszeit und damit verkleinertem Dynamikbereich.

Das TomoScope XS verfügt zusätzlich über die neue Betriebsart OnTheFly. Dabei werden durch kontinuierliches Drehen der Geräteachse die Totzeiten vermeiden, die sonst beim Positionieren des Werkstücks entstehen. Im konventionellen Start-Stopp-Betrieb wird die Drehbewegung bei kontinuierlicher Belichtung für die Aufnahme eines jeden Durchstrahlungsbildes unterbrochen, damit

keine Bewegungsunschärfe entsteht. Für die OnTheFly-CT setzt man zur Minimierung der Bewegungsunschärfe extrem kurze Belichtungszeiten ein. Mithilfe einer erhöhten Anzahl von Drehschritten werden typischerweise etwa 10.000 Durchstrahlungsbilder in wenigen Minuten erzeugt und zu einem Volumen rekonstruiert, sodass man die gleichen geringen Messunsicherheiten wie im Start-Stopp-Betrieb erreicht. Die Spezifikation nach VDI/VDE 2617 Blatt 13 und die Rückführbarkeit der Messergebnisse bleiben trotz der starken Beschleunigung des Messprozesses unbeeinflusst.



Bild 2. Die neue OnTheFly-CT ermöglicht fertigungsbegleitende Messungen mit hohem Durchsatz

Mit diesem Verfahren lässt sich entweder bei gleicher Datenqualität die Messzeit bis zu 10-fach reduzieren oder bei gleicher Messzeit die Datenqualität erhöhen. Spezielle Messmethoden wie Raster- und ROI-Tomografie (Region of Interest) oder eine höhere Detektorauflösung liefern Werkstück-Volumen mit höherer Auflösung und besserem Signal-Rausch-Verhältnis. Die bei konventionellen CT-Messungen resultierende Erhöhung der Messzeit kann durch OnTheFly-CT ausgeglichen werden. Mit der Mess-Software WinWerth wird das Werkstück-Volumen in Echtzeit rekonstruiert und steht sofort nach der Messung zur Verfügung.

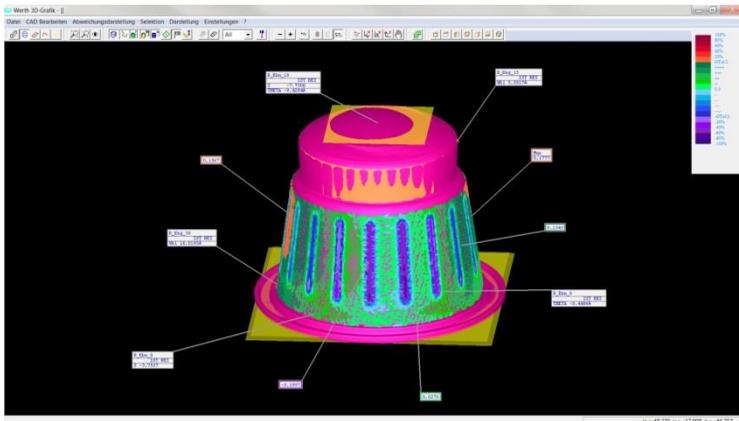


Bild 3. Auf Grundlage der Messpunktewolke lassen sich sowohl Maße bestimmen als auch ein Soll-Ist-Vergleich mit farbcodierter Abweichungsdarstellung durchführen

---

Die neuen Technologien erschließen neue Anwendungsbereiche mit strikten Messzeitvorgaben bei vorgegebener Datenqualität für die CT. Ein Beispiel aus der Medizintechnik sind prozessintegrierte Messungen von Zahnimplantaten oder Knochenschrauben, die über komplexe Innegeometrien wie Innengewinde und kleine Radien verfügen. Nur mit einer Transmissionstarget-Röntgenröhre können solche Details hochauflösend und mit hoher Messgeschwindigkeit gemessen werden. Je nach Größe und Material der Werkstücke sind 160 kV Röntgenspannung erforderlich. So lassen sich sowohl Zahnimplantate aus Stahl als auch solche aus Titan messen. Für

Titan-Zahnimplantate ergibt sich eine Messzeit von 2 min mit OnTheFly-CT gegenüber 15 min bis 20 min mit konventioneller Betriebsart.

### **Automatisierung der Computertomografie**

Für Inline-Messungen können Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensor vollständig automatisiert werden. So lässt sich das TomoScope XS mithilfe eines Roboters beladen. Es besteht auch die Möglichkeit, ein Werkstückwechselsystem zu integrieren (Patentanmeldung), das die Werkstücke mithilfe der geräteeigenen Achsen nacheinander in den Messbereich transportiert. Der Werkstückwechsler befindet sich innerhalb der Strahlenschutzhaube des Geräts, sodass Messungen ohne zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen auch während der Nacht oder am Wochenende möglich sind. Durch automatische Wechselsysteme werden die Rüstzeiten für CT-Geräte minimiert, die Röntgenröhre muss nicht für jedes Werkstück ein- und ausgeschaltet und wieder aufgewärmt werden.



Bild 4. Für prozessintegrierte Messungen und 3-Schicht-Betrieb kann ein automatisches Werkstückwechselsystem innerhalb der Strahlenschutzhaube des CT-Geräts integriert werden

Automatisierte CT-Messungen bieten sich beispielsweise zur Prozessüberwachung für Spritzgusswerkstücke an. Anhand der Messungen am Werkstück können Funktionalität und Verschleiß der Werkzeuge kontrolliert werden. So werden die Werkstücke beispielsweise auf Anzeichen für Werkzeugausbrüche und Gratbildung kontrolliert. Insbesondere bei Spritzgusswerkzeugen für kleine Werkstücke ist eine hohe Kavitätenzahl von 32 oder 64 üblich. Aufgrund der geringen Größe sind die Handhabung solcher Werkstücke und die Herstellung geeigneter Aufnahmevorrichtungen schwierig. Deshalb wird die Prüfung auf Werkzeugausbrüche oft prozessbegleitend mit dem Mikroskop durchgeführt. Eine solche visuelle Prüfung ist jedoch stark Bediener abhängig und daher fehleranfällig. Mit einer Multikavitätenmessung am TomoScope XS steht jetzt eine Alternative zur Verfügung. Mehrere Werkstücke können gleichzeitig gemessen und die Punktwolken automatisch separiert werden.