

Vollständig außen und innen messen

Röntgentomografie in der Koordinatenmesstechnik

GRUNDLAGEN TEIL 3 In der Koordinatenmesstechnik kommen überwiegend taktile und optische Sensoren und die Röntgen-Computertomografie zum Einsatz. Röntgentomografie-Geräte unterscheiden sich in Basis und Komponenten wie Röntgenquelle, Drehachse und Detektor sowie in der Software und somit in ihren Eigenschaften, deren prinzipielles Verständnis für den optimalen Einsatz hilfreich ist. Es können räumlich ausgedehnte Objekte einschließlich ihrer innen liegenden Strukturen messtechnisch vollständig erfasst werden.

Ralf Christoph, Hans Joachim Neumann, Schirin Heidari Batani

Für die Röntgentomografie wird die Fähigkeit der Röntgenstrahlung genutzt, Objekte zu durchdringen. Die Röntgenstrahlung gelangt ausgehend von einer punktförmigen Strahlungsquelle durch das Messobjekt auf den Röntgensensor. Auf dem Weg durch das Objekt wird ein Teil der Strahlung absorbiert. Je länger der Durchstrahlungsbereich im Objekt ist, desto weniger Strahlung tritt hinter dem Objekt wieder aus. Darüber hinaus hängt die Absorption auch von der Materialart ab. Durch Verschieben der Drehachse bzw. des Messobjekts relativ zur Röntgeneinheit (Quelle und Sensor) können die Vergrößerung und somit Auflösung bei der Erfassung eines Messobjekts eingestellt werden.

Um ein Objekt zu tomografieren werden nacheinander, bei OnTheFly-CT bei kontinuierlicher Bewegung der Drehachse, einige Hundert bis wenige Tausend solcher zweidimensionalen Durchstrahlungsbilder in verschiedenen Drehlagen des Messobjekts aufgenommen. Mit mathematischen Verfahren wird daraus ein Volumenmodell berechnet, das die Geometrie und Materialverteilung des Werkstücks vollständig beschreibt (Bild 1). Um aus den Volumendaten Maße zu ermitteln, wird die exakte Lage der Materialübergänge (zum Beispiel von Metall zu Luft) aus den in der Umgebung befindlichen Amplituden der Voxel (Volumetric Pixel: Volumenbild-

punkt) berechnet. Durch die Einbeziehung der Amplitudeninformation wird die erreichbare Auflösung der Kantenortsbestimmung deutlich höher, als sie durch den Mittenabstand des Voxelrasters gegeben ist (Subvoxeling).

Zur Bestimmung von Maßen aus den so erzeugten Messpunkten werden aus Punk-

tgruppen Geometrielemente wie Geraden, Zylinder oder Ebenen berechnet. Die Selektion der Punkte erfolgt meist mit Hilfe eines CAD-Modells. Aus den so ermittelten Geometrielementen werden die Maße durch Verknüpfung berechnet (z. B. der Abstand zweier Ebenen oder Kreismittelpunkte) und mit den Sollwerten verglichen.

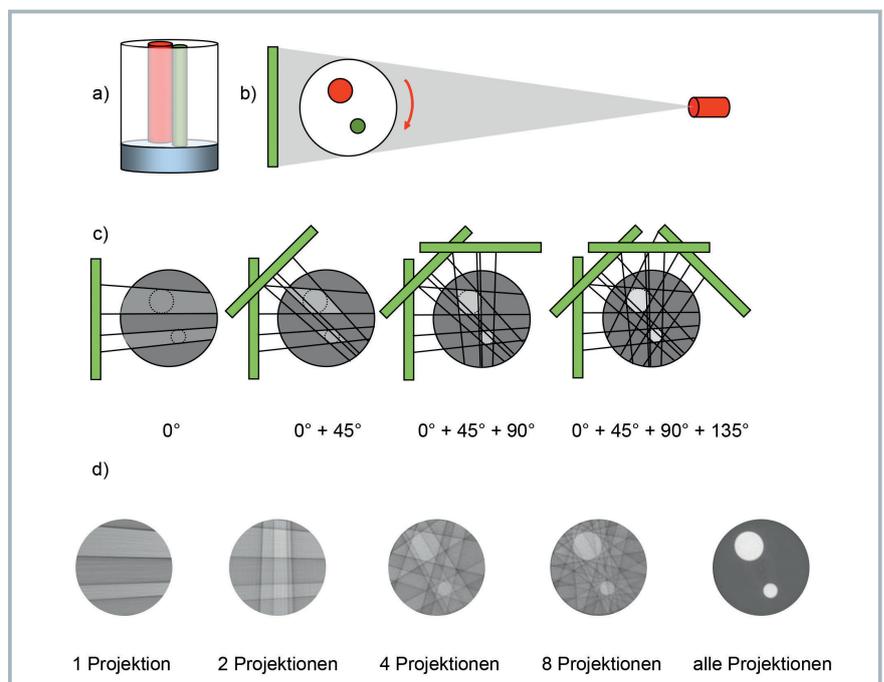


Bild 1. Berechnung von Volumendaten durch Rückprojektion von gefilterten Durchstrahlungsbildern: a) Objekt, b) Röntgenstrahlengang in der Schnittebene, c) Prinzip der schrittweisen Rückprojektion und Überlagerung, d) Rekonstruktionsergebnis bei einer unterschiedlichen Anzahl von Rückprojektionen am realen Werkstück (© Werth)

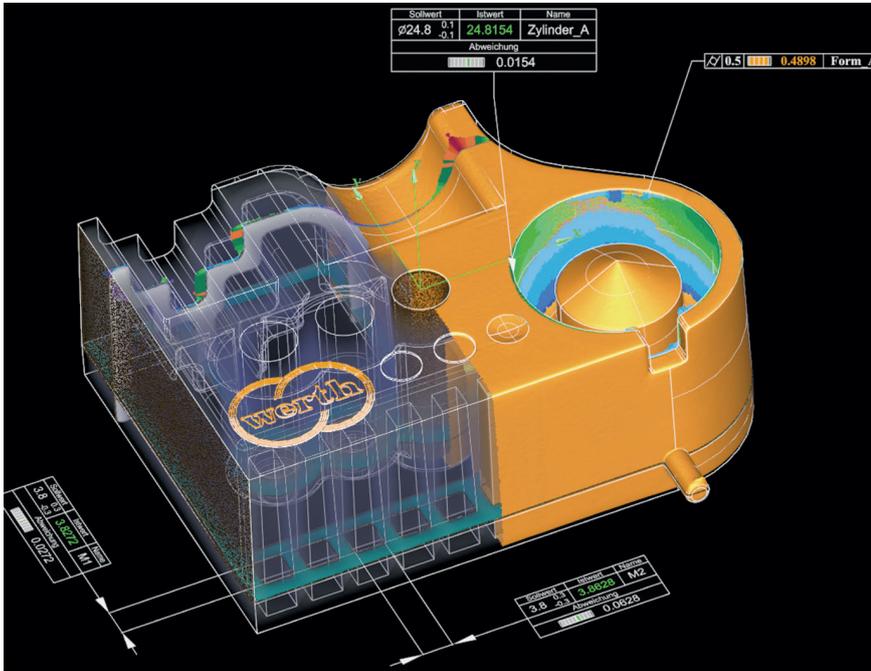


Bild 2. CAD-Modell, CT-Volumendaten und Messpunktewolke mit gemessenen geometrischen Eigenschaften, farbcodierter Abweichungsdarstellung aus 3D-Soll-Ist-Vergleich und 2D-Schnitten (© Werth)

Röntgenröhre beeinflusst Auflösung

Die zur Erzeugung der Röntgenstrahlung eingesetzten Röntgenröhren stellen eine Kernkomponente von Tomografiemessgeräten dar. Die Röntgenstrahlung entsteht in einer evakuierten Röhre beim Auftreffen eines energiereichen Elektronenstrahls auf ein Target aus Metall. Die Energie der erzeugten Röntgenstrahlung hängt von der Spannung zwischen der Kathode und Anode der Röntgenröhre und vom Targetmaterial ab. Dies ist wichtig für die Auswahl der Röntgenröhre, denn für optimale Messergebnisse muss die Strahlungsenergie auf das Material des Werkstücks abgestimmt sein.

Grundsätzlich werden die Targets von Röntgenröhren in Reflexionstargets und Transmissionstargets unterschieden. Der Unterschied beim Einsatz von Reflexions- oder Transmissionstargets zeigt sich in der verfügbaren Strahlungsleistung und damit Messzeit in Verbindung mit der dabei erreichbaren minimalen Brennfleckgröße.

Beim Reflexionstarget wird die Röntgenstrahlung vom Target reflektiert. Der Nachteil der Reflexionstargets liegt darin, dass kleine Brennfleckgrößen nur bei sehr geringer Leistung und somit langer Messzeit erreichbar sind (typisch 5 µm bei 5 W). Meist ist jedoch eine höhere Maximalleistung, allerdings bei geringerer Auflösung,

verfügbar, die für die Messung großer Werkstücke geeignet ist. Transmissionstargets werden von der Röntgenstrahlung durchstrahlt. Hier kann ein kleiner Brennfleck auch bei mittleren Leistungen erreicht werden (typisch 5 µm bei 25 W) und die meisten Werkstücke sind mit ausreichender Auflösung schnell messbar.

Bei Röntgenröhren in offener Bauweise sind regelmäßige Wartungen notwendig, geschlossene Röhren müssen nach einigen Jahren komplett ausgetauscht werden. Transmissionstargetröhren im Monoblock-Design vereinen mit einem langen Wartungsintervall von typisch 12 Monaten bei technisch unbegrenzter Lebensdauer die Vorteile beider Bauweisen.

Softwareverfahren für universellen Einsatz

Neben der oben beschriebenen Methode zum Bestimmen von geometrischen Eigenschaften (Maße) unter Zuhilfenahme von CAD-Daten gibt es eine Reihe weiterer Auswertemethoden (Bild 2). Geometrielemente können ohne CAD-Daten durch eine automatische Segmentierungsfunktion, ausgehend von einem Startpunkt, aus der Punktwolke berechnet werden. Beim 3D-Soll-Ist-Vergleich berechnet die Software die Abstände der einzelnen Messpunkte zur CAD-Oberfläche und stellt diese farbcodiert dar. Die Abweichungen der Ist-

geometrie von der Sollgeometrie sind so auf einen Blick erkennbar. Auch werden direkt Daten zur Korrektur von beispielsweise Spritzgießwerkzeugen berechnet. Weitere Methoden dienen der Bestimmung von Zeichnungsmaßen in 2D-Ansichten und Schnitten mit Methoden der Bildverarbeitung oder der Konturauswertung. Andere Softwarewerkzeuge dienen der automatischen Identifikation von Lunkern oder Einschlüssen im Messobjekt oder von Grat- und Spänen.

Mit Raster-CT kann durch Zusammenfügen von mehreren tomografierten Abschnitten des Werkstücks der Messbereich erweitert oder die Auflösung für das gesamte Werkstück erhöht werden. Die exzentrische ROI-CT erlaubt die hochauflösende Messungen und Verknüpfung mehrerer Teilbereiche des Werkstücks. ■

INFORMATION & SERVICE

BEITRAGSREIHE

Auszug aus dem Fachbuch „Röntgentomografie in der industriellen Messtechnik“, weiterführende Informationen finden Sie dort (siehe Literatur).

In QZ 10/2019 erschien der Beitrag „Optische Sensorik in der Koordinatenmesstechnik“, in QZ 12/2019 der Beitrag „Taktile Sensorik in der Koordinatenmesstechnik“.

LITERATUR

- 1 Christoph, R.; Neumann, H. J.: Röntgentomografie in der industriellen Messtechnik. 3., überarbeitete Auflage München: SZ Scala GmbH, 2017 (Die Bibliothek der Technik, Band 331).

AUTOREN

Dr.-Ing. habil. Ralf Christoph ist Inhaber und Geschäftsführer der Werth Messtechnik GmbH, Gießen, und Leiter der Entwicklung.

Dipl.-Ing. (FH) Hans Joachim Neumann hat bei Zeiss die Anfänge der Koordinatenmesstechnik mitgestaltet und war über Jahrzehnte aktiv in der Normungsarbeit. Er ist Ehrenmitglied des VDI.

Dr.-Ing. Schirin Heidari Bateni ist verantwortlich für die Technische Redaktion bei der Werth Messtechnik GmbH, Gießen.

KONTAKT

Werth Messtechnik GmbH
T 0641 7938-0
marketing@werth.de
www.werth.de