

# Der „scharfe“ Blick ins Werkstück

## Struktur- und Ortsauflösung in der Röntgentomografie

**PRAXISTIPP** Bei der Wahl eines Koordinatenmessgeräts mit Computertomografie-Sensorik muss die für die Messaufgabe notwendige Auflösung berücksichtigt werden. Dabei ist das Zusammenspiel von Detektor, Röntgenquelle und Lage des Werkstücks entscheidend. Sind die Gerätekomponenten aufeinander abgestimmt, können Mikromerkmale auch an dickwandigen Werkstücken aus dichten Materialien gemessen werden.

Dr.-Ing. Schirin Heidari Bateni

**BEI KOORDINATENMESSGERÄTEN** mit Computertomografie (CT)-Sensorik wird das Werkstück zwischen Röntgenquelle und Detektor positioniert (Bild 1). Das Drehen des Werkstücks ermöglicht die Aufnahme von 2D-Durchstrahlungsbildern aus unterschiedlichen Richtungen. Dabei wird die Röntgenstrahlung abhängig von Material und Durchstrahlungslänge abgeschwächt. Aus den Durchstrahlungsbildern wird mithilfe mathematischer Verfahren ein 3D-Modell des Werkstücks rekonstruiert. Dieses ist aus dreidimensionalen Voxeln (Volumen-Pixeln) zusammengesetzt und wird daher auch als Voxelvolumen bezeichnet.

### Strukturauflösung ...

Für genaue CT-Messungen wird neben hoher Reproduzierbarkeit (unter anderem durch genaue Geräteachsen) auch eine auf die Messaufgabe abgestimmte Auflösung benötigt. Unter der Strukturauflösung eines Systems wird die Fähigkeit verstanden, kleinste Strukturen voneinander zu unterscheiden. Bei Koordinatenmessgeräten mit Computertomografie-Sensor entspricht dies der Erkennbarkeit der Merkmale im Voxelvolumen. Zur qualitativen Analyse des Werkstücks, beispielsweise zur Erkennung von Lunkern oder Rissen, ist nur die Strukturauflösung im Voxelvolumen entscheidend.

Für dimensionelle Messungen an Werkstücken müssen Oberflächenmesspunkte

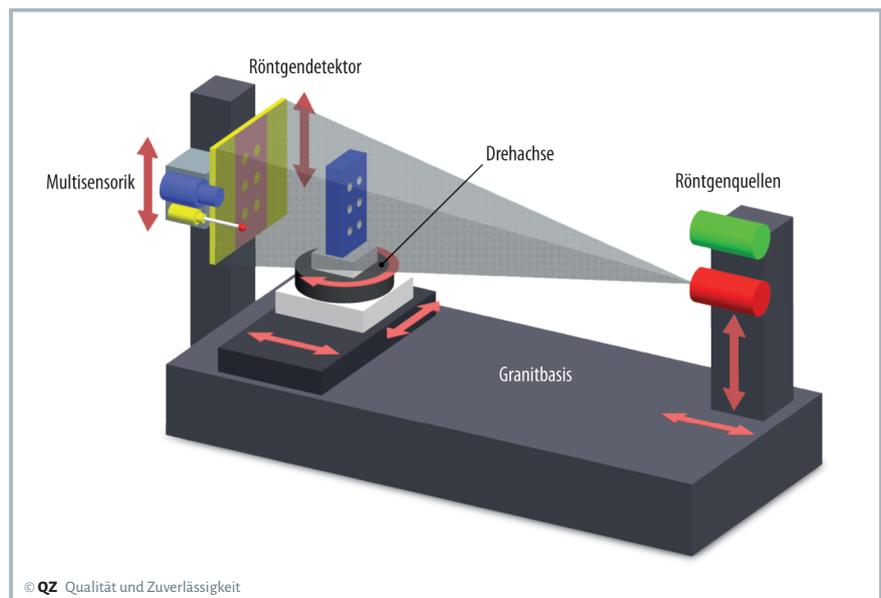


Bild 1. Aufbau eines Koordinatenmessgeräts mit Computertomografie-Sensor (Quelle: Werth Messtechnik)

aus dem Voxelvolumen erzeugt und zu Maßen verknüpft werden. Die sich dabei ergebende Strukturauflösung für dimensionelle Messungen muss genügen, um aus den Messpunkten das Maß berechnen zu können. Dies stellt höhere Anforderungen an das System. Die Merkmale (zum Beispiel Bohrungen oder Radien) müssen nicht nur getrennt erkennbar, sondern zusätzlich auch dimensionell messbar sein. Die für die Messaufgabe notwendige Strukturauflösung ergibt sich aus der Größe des kleinsten zu messenden Merkmals.

Die Voxelgröße muss so gewählt werden, dass das Merkmal in allen drei Raum-

richtungen mehrere Voxel überdeckt. Nur so kann sichergestellt werden, dass ausreichend viele Materialübergänge und damit Messpunkte sicher erkannt und bestimmt werden, um hieraus die Parameter der Geometrielemente wie Zylinder oder Ebenen berechnen zu können.

### ... und Ortsauflösung

Darüber hinaus spielt bei dimensionellen Messungen die Ortsauflösung eine wichtige Rolle. Die Ortsauflösung beschreibt in der Koordinatenmesstechnik die kleinste messbare Verschiebung eines Messpunkts und beeinflusst wesentlich die Streuung

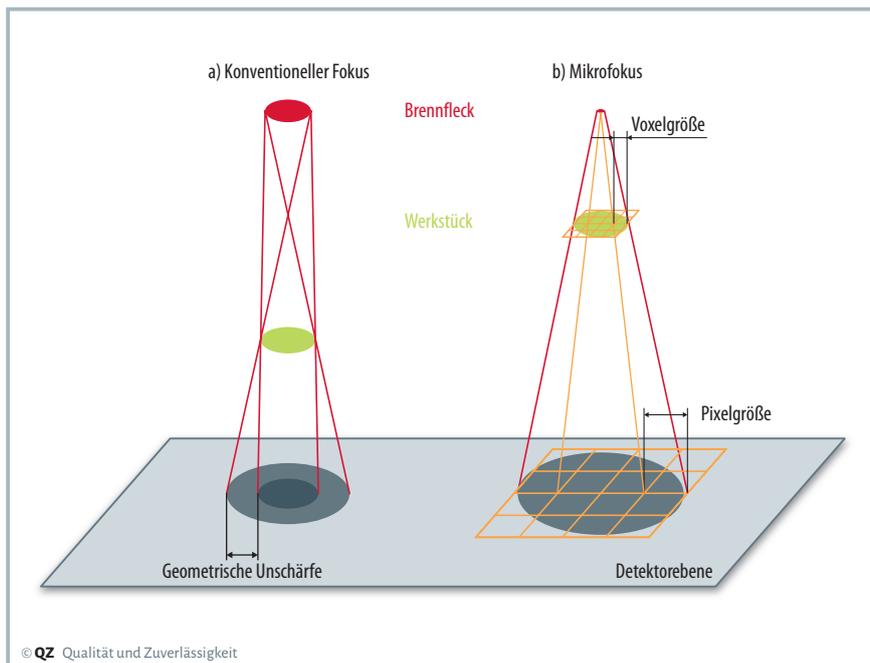


Bild 2. a) Röntgenröhren begrenzen die Strukturauflösung durch die Brennfleckgröße (Unschärfe).  
 b) Die Strukturauflösung wird außerdem durch die aus der Pixelgröße des Detektors und der Vergrößerung resultierende Voxelgröße begrenzt. (Quelle: Werth Messtechnik)

der Messergebnisse (Wiederholpräzision) und somit die Messunsicherheit. Das für Werth patentierte Verfahren der lokalen Kantenortsdetektion erlaubt die Bestimmung der Lage von Messpunkten mit Subvoxelauflösung und sorgt so für eine höhere Ortsauflösung (ein Zehntel und kleiner) als durch die Voxelgröße beziehungsweise die Strukturauflösung gegeben. Dies gewährleistet geringe Messunsicherheiten.

### Detektor und Röntgenquelle

Entscheidenden Einfluss auf die Strukturauflösung haben der Detektor und die Röntgenquelle. Die Größe des Detektors begrenzt die Größe des Messbereichs bei „Im Bild“-Messungen, da sich das Werkstück komplett im Kegelstrahl zwischen Brennfleck der Röntgenquelle und Detektor befinden muss (Bild 1). Durch die Pixelgröße und -anzahl (Auflösung) des Detektors ergibt sich, wie fein das Werkstück oder der jeweils erfasste Werkstückbereich durch das 3D-Voxelraster aufgelöst wird.

Mit einer großen Pixel- und damit Voxelanzahl ist also zumindest theoretisch eine hohe Strukturauflösung möglich. In der Praxis wird diese aber auch wesentlich durch die Ausdehnung des Brennflecks der Röntgenquelle beeinflusst. Mit zunehmender Brennfleckgröße ergibt sich eine größer werdende Unschärfe durch die von unter-

schiedlichen Stellen des Brennflecks ausgehenden Röntgenstrahlen (Bild 2a).

Aufgrund der vergrößernden Abbildung bei der CT hängt die Voxelgröße von der Pixelgröße des Detektors und von der Position des Werkstücks ab (Bild 2b). Verschiebt man das Werkstück in Richtung der Röntgenquelle, nimmt die Kantenlänge der Voxel ab. Direkt vor der Quelle ist die Voxelgröße zwar minimal, der Messbereich dafür aber sehr klein. Bei Geräten mit großem Abstand zwischen Röntgenquelle und Detektor steht bei gleicher Entfernung des Werkstücks zur Röntgenröhre und gleichem Detektor ein höherer Abbildungsmaßstab zur Verfügung, und die Werkstücke können mit höherer Strukturauflösung gemessen werden.

### Messbereich und Auflösung

Ist der Brennfleck der Röntgenröhre relativ groß, kann die minimale Voxelgröße bei maximaler Vergrößerung zwar ebenfalls eingestellt werden, die maximal mögliche Strukturauflösung wird jedoch nicht erreicht. Das Voxelvolumen wird unscharf. Das Werkstück kann alternativ näher am Detektor positioniert werden, so wird ein größerer Messbereich „im Bild“ erreicht. In der Praxis wird die Werkstückposition oft so eingestellt, dass der Einfluss von Detektor und Brennfleck etwa gleich groß ist und die

optimale Strukturauflösung vorliegt. Hierbei muss jedoch der richtige Kompromiss bezüglich des notwendigen Messbereichs beachtet werden.

Durch Rastertomografie ist es möglich, mehrere Detektormessbereiche präzise zusammenzufügen (Messung „am Bild“). Hierdurch können auch größere Werkstücke mit höchster Auflösung gemessen werden. Mithilfe der ROI-Tomografie werden lokale Zonen des Werkstücks (Region of Interest) in höherer Vergrößerung und Auflösung als das Gesamtwerkstück gemessen. Dies spart Messzeit und reduziert das Datenvolumen auf das nötige Maß.

Ein Koordinatenmessgerät mit CT-Sensor muss also sowohl über einen Detektor mit großer Pixelzahl als auch über eine Röntgenquelle mit kleinem Brennfleck verfügen, um die maximale Strukturauflösung zur Messung kleiner Merkmale zu ermöglichen. Bei Verwendung einer Mikrofokusröhre wie der Werth-300-kV-Transmissionsröhre im Tomoscope HV Compact sind die Brennfleckgröße sowie die Pixelgröße und -anzahl des Detektors optimiert. Selbst bei relativ hohen Leistungen steht ein nur wenige Mikrometer großer Brennfleck zur Verfügung. Hierdurch können auch schwieriger zu durchstrahlende Werkstücke mit hoher Strukturauflösung genau gemessen werden. Verfahren wie Raster- und ROI-Tomografie sowie Artefakt- und Driftkorrekturmethode tragen zusätzlich zur Verbesserung der Auflösung bei. ■

## INFORMATION & SERVICE

### KONTAKT

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

### QZ-ARCHIV

Diesen Beitrag finden Sie online:  
[www.qz-online.de/1400993](http://www.qz-online.de/1400993)