

# CT & Metrologie

## Anwendung der VDI/VDE Richtlinie 2630 und Optimierung des Systems

Alexander SUPPES \*, Eberhard NEUSER \*

\* GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, Niels-Bohr-Str. 7, 31515 Wunstorf  
eberhard.neuser@ge.com

### **Kurzfassung**

Die Computer Tomographie hat sich zu einem etablierten industriellen Prüfverfahren entwickelt. Darüber hinaus finden Methoden Anwendung, die den Anwendungsbereich in die Messtechnik erweitern. Im Rahmen dieser Entwicklung wurde eine VDI/VDE Richtlinie erstellt, die beschreibt wie ein CT System für den Einsatz in der Metrologie qualifiziert werden kann.

Bei der Anwendung der VDI/VDE Richtlinie auf ein typisches CT System wurden zunächst geometrische Kenngrößen wie z.B. Längenmessabweichung und Antastabweichung ermittelt. Eine Untersuchung des Einflusses der wichtigen Systemkomponenten wie Röhre, Detektor oder Manipulator auf die Kenngrößen zeigt Optimierungspotential auf. Insbesondere die Korrektur von Detektor und Manipulationssystem sind interessant. Die Steigerung der messtechnischen Gesamtpformance des Systems wird final aufgezeigt.





# CT & Metrologie Anwendung der VDI/VDE Richtlinie 2630 und Optimierung des Systems

DGZfP Jahrestagung Potsdam 27. Mai 2014

Dr. Eberhard Neuser

Dr. Alexander Suppes

**Imagination at work.**

Copyright © 2014 General Electric Company

Inspection Technologies 1

## Gliederung

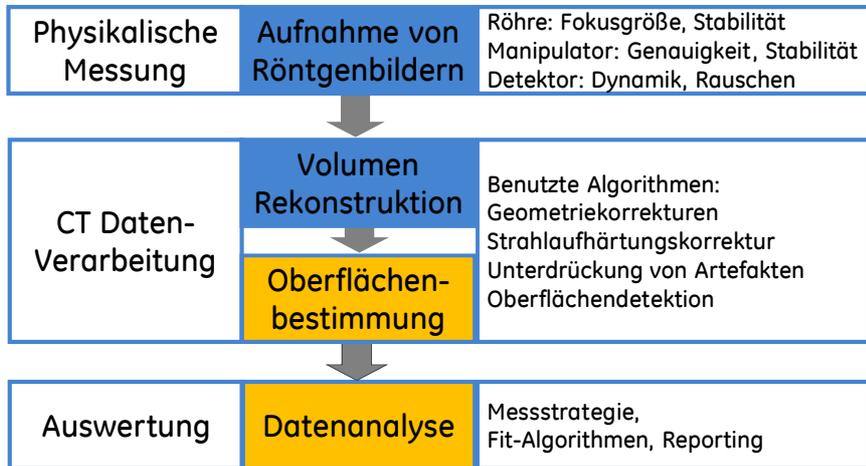
- CT / Metrologie Workflow
- System v|tome|x M 300
- VDI 2630
- Messaufbau / Prüfkörper
- Messergebnisse nicht kompensiert
- Erklärung Kompensierung
- Messergebnisse nach Kompensation
- Zusammenfassung



Copyright © 2014 General Electric Company

Inspection Technologies 2

## Metrologie – Typischer Workflow für 3D Röntgen CT



Einfluss auf Genauigkeit



Copyright © 2014 General Electric Company

Inspection Technologies 3

## phoenix v|tome|x m

Vielseitiges mikrofokus Röntgen CT System für 3D Metrologie und Analyse mit bis zu 300 kV / 500 W



### Leistungsmerkmale & Vorteile

- Höchste Vergrößerung bei 300 kV für stark absorbierende Proben
- Einzigartige dualtube Konfiguration für leistungsstarke  $\mu$ CT und hochauflösende nanoCT®
- Erstes kompaktes 300 kV mikrofokus CT System mit bis zu  $<1 \mu\text{m}$  Detailerkennbarkeit
- Einzigartiger temperaturstabilisierter digitaler GE DXR Detektor (bis zu 30 fps) für extrem schnelle CT Scans
- 3D Metrologiepaket für präzise Messungen, System entsprechend der VDI 2630 Richtlinie spezifiziert
- Max. Probengröße bis zu 500 mm  $\varnothing$  x 600 mm H; 3D Scanvolumen max. 290 mm  $\varnothing$  x 400 mm; bis zu 50 kg Gewicht



Copyright © 2014 General Electric Company

Inspection Technologies 4

# VDI 2630, Blatt 1.3 – Zielsetzung

NEUVEREINBARUNGEN		Änderung
Verfahren zur Messung von Koordinatenmessgeräten	Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten	VDI/VDE 2017
Verfahren zur Messung von Koordinatenmessgeräten	Kenngrößen und deren Prüfung	Blatt 1.3
Verfahren zur Messung von Koordinatenmessgeräten	Leistungen bei Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren	Entwurf
Verfahren zur Messung von Koordinatenmessgeräten	Leistungen bei Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren	VDI/VDE 2030
Verfahren zur Messung von Koordinatenmessgeräten	Kenngrößen und deren Prüfung	Blatt 1.3
Verfahren zur Messung von Koordinatenmessgeräten	Leistungen bei Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren	Entwurf

Agency of coordinate measuring machines – DIN EN ISO 10360-1:2012 – Guidelines for the evaluation of CMMs for coordinate measuring machines with CT sensors	Agency of coordinate measuring machines – DIN EN ISO 10360-2:2012 – Guidelines for the evaluation of CMMs for coordinate measuring machines with CT sensors
Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten Kenngrößen und deren Prüfung	Leistungen bei Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren
Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten Kenngrößen und deren Prüfung	Leistungen bei Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren

Vorbereitung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Grundlagen	3
3 Sensorarten	4
4 Annahmeprüfung	5
4.1 Anzahlschwächung	5
4.2 Lageabweichung	7
5 Überwachung	11
5.1 Prüfkörper	12
5.2 Durchföhrung	12
5.3 Äußerung	12
6 Material- und geometrieabhängiger Einfluss	12
6.1 Messung kalibriertes Werkstück	12
6.2 Messung kalibriertes Prüfkörper	12
6.3 Prüfkörper	12
Anhang A Strukturformung (für dimensionale Messungen)	15
A1 Methode	15
A2 Einstellung	15
A3 Testverfahren	16
A4 Strukturmodell	16
A5 Definition der Strukturformung für dimensionale Messungen	16
A6 Durchführung der Prüfung	16
A7 Angabe der Strukturformung für dimensionale Messungen	17
Anhang B Gegenüberstellung Formabweichung alle Schweißnaht – naht Schweißnaht	17
Schrifttum	18

- Definition allgemeingültiger Kenngrößen
- Vergleichbarkeit von Spezifikationen
- Definition von Prüfkörpern
- Aufsetzen auf bestehenden Standards in der Koordinaten-messtechnik
- Akzeptanz bei Anwendern konventioneller Messtechnik
- KEINE Aussage zur Meßunsicherheit (kundenspezifische bauteilbezogene Kenngrößen)



Copyright © 2014 General Electric Company

Inspection Technologies 5

# VDI 2630, Blatt 1.3 – Antastabweichung Form/Maß

**Antastabweichung Form:**  $PF = R_{max} - R_{min}$

- Abweichung der Oberflächenpunkte von der eingefitteten Kugel
- Indikator z.B. für
  - „Oberflächenrauschen“
  - Ungenauigkeiten der Drehbewegung

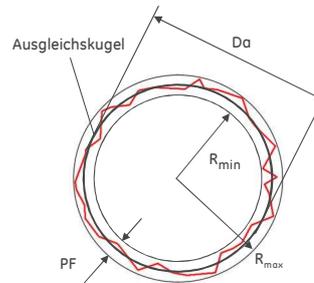


**Antastabweichung Maß:**  $PS = Da - Dr$

- Abweichung vom kalibrierten Durchmesser
- Genauigkeit der Oberflächenposition zwischen Luft und Material
- Indikator z.B. für
  - „Richtige“ Einstellung der Röntgenstrahlung (Spannung/Vorhärtung)
  - Korrekte Strahlauhföhrungskorrekturen

**Anforderungen an die Messungen**

- Kugeldurchmesser 10-20% der Messraumdiagonale
- 6 Messungen: (oben+mitte+unten) x (zentral+Rand)
- Mindestens 25 Punkte zur Bestimmung von PF und PS
- Messung in zwei "signifikant unterschiedlichen" Vergrößerungen (empfohlen wenn technisch möglich)



Copyright © 2014 General Electric Company

Inspection Technologies 6

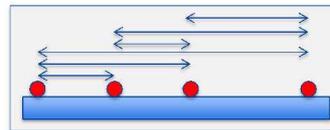
## VDI 2630, Blatt 1.3 – Längenmessabweichung

- Typischerweise Messung von Kugelabständen und Vergleich mit Kalibrierwerten
- Hinzuziehen von PS/PF nötig bei Messung von Kugelanordnungen
- Indikator für die Gesamtgenauigkeit der CT-Geometrie-Einstellung



### Anforderungen an die Messung:

- Messung von 5 Längen, in 7 Raumrichtungen, jeweils 3x in mindestens zwei Vergrößerungen
- Kleinste Testlänge = 30 mm, größte Testlänge = 66% der Messraumdiagonale



Copyright © 2014 General Electric Company

Inspection Technologies 7

## Prüfkörper / Messaufbau

### Prüfkörper Längenmessabweichung

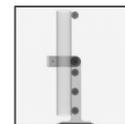
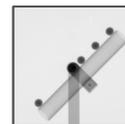
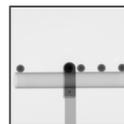
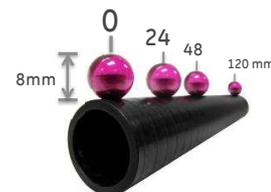
- Kugelleiste aus CFK/Rubin, DAkkS kalibriert
- Nennlängen: 24, 48, 72, 96, 120mm

### Prüfkörper Antastabweichung

- 30mm Al-Oxid Kugel, DAkkS kalibriert

### Messaufbau und -parameter

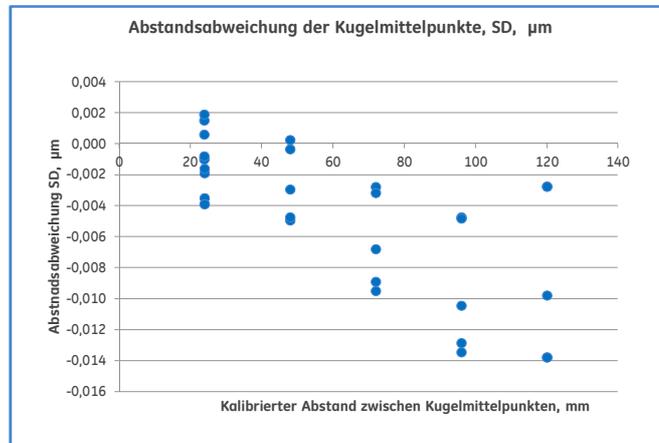
- v|tome|x M 300/180 mit 16" Detektor
- Fokus-Detektor-Abstand: 800mm
- 200kV; 0,5mm Cu
- Ca. 80µm/voxel
- Ca. 25 min/Messung



Copyright © 2014 General Electric Company

Inspection Technologies 8

## Messergebnisse „nicht kompensiert“



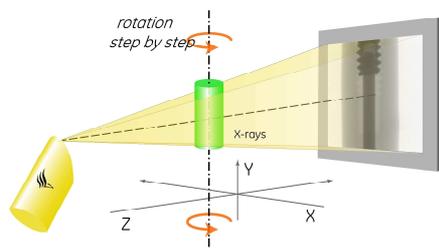
Bei 80 $\mu\text{m}/\text{vox}$ : Max. Abstandsabweichung 15 $\mu\text{m}$ .  
 → Aber: Kann man besser werden?



Copyright © 2014 General Electric Company

Inspection Technologies 9

## Einfluss von Einzelkomponenten



**Röntgenröhre:**  
 Position vom Brennfleck:  
 - Fokus-Objekt und  
 - Fokus-Detektor-Abstand

**Manipulationssystem:**  
 Linearität der  
 Vergrößerungsachse

**Detektor:**  
 Ist der Detektor  
 ideal?



Copyright © 2014 General Electric Company

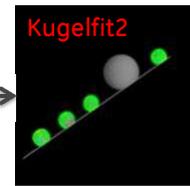
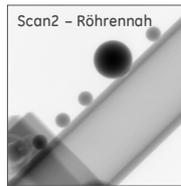
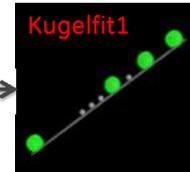
Inspection Technologies 10

## Bestimmung von Fokus-Objekt- und Fokus-Detektor-Abstand

$$L = \frac{\text{pix} \cdot FOD}{FDD} \cdot \text{vox}$$

Pixelgröße (pix) → kalibrierte Länge  
 gemessene Länge in Voxeln (vox) → gesucht: Fokus-Objekt und Fokus-Detektor-Abstand (FOD)

- Bestimmung von zwei Unbekannten aus zwei Messungen
- Robustheit durch Auswertung mehrerer Längen



Copyright © 2014 General Electric Company

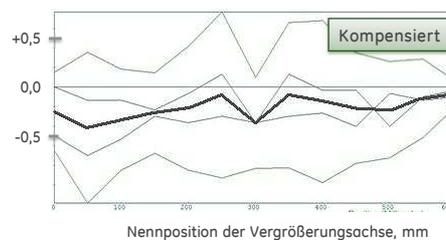
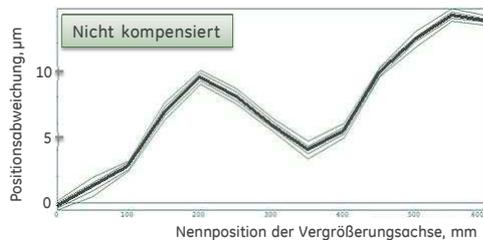
Inspection Technologies 11

## „Linearisierung“ der Vergrößerungsachse

Direktes Messsystem: → hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit

### Nutzung von Laserinterferometer zur Linearisierung:

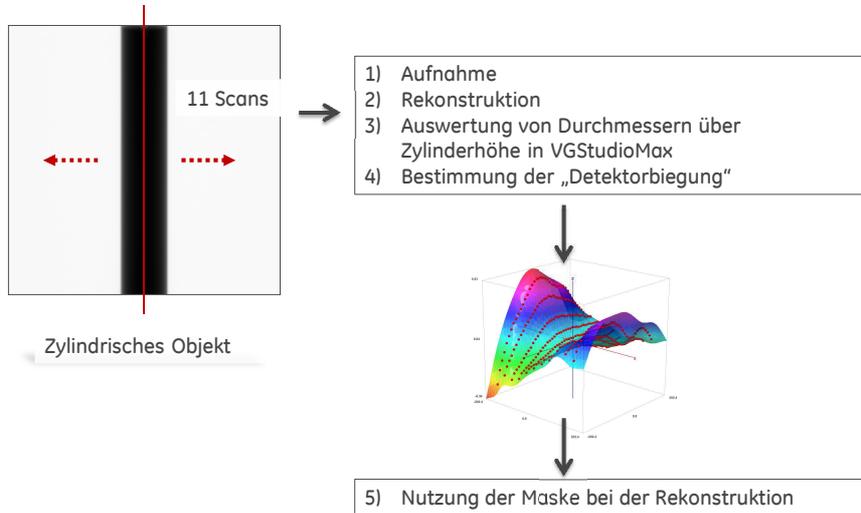
- 1) Messung der Ist-Position der Vergrößerungsachse und Vergleich mit Nennposition
- 2) Nutzung der Abweichung zur Kompensation (Linearisierung)



Copyright © 2014 General Electric Company

Inspection Technologies 12

## Kompensation – Detektorentzerrung

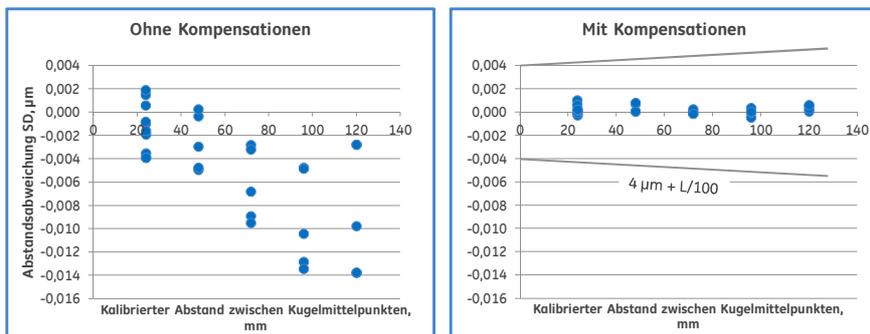


Copyright © 2014 General Electric Company

Inspection Technologies 13

## Messergebnisse Kompensiert

Abstandsabweichung der Kugelmittelpunkte, SD,  $\mu\text{m}$



Grenzwert für Kugelabstandsabweichung beim VDM „metrology edition“:  
 $SD_{MPE} = 4 \mu\text{m} + L/100$ , L: nominelle Länge in mm



Copyright © 2014 General Electric Company

Inspection Technologies 14

## Zusammenfassung

- Kugelabstandsabweichung bei einer Voxelgröße von 80µm
  - nicht kompensiert 15 µm
  - Kompensiert 2 µm
- Kompensation des Detektors und der Vergrößerungsachse führen zu sehr guten metrologischen Eigenschaften
- System-Kenngrößen nach VDI 2630-1.3 im Modus „Messung im Bild“ (Statisch):
  - $SD_{MPE(TS)} = 4\mu\text{m} + L/100$
  - $PS_{MPE(TS)} = 3\mu\text{m}$
  - $PF_{MPE(TS)} = 3\mu\text{m}$
- Detailkenntnisse über die Anlagenkomponenten wie Detektor, Manipulator und Röntgenröhre ermöglichen mittels Kompensation eine Optimierung der metrologischen Kenngrößen nach VDI 2630

