

# Numerische Vorhersage der Detail- Erkennbarkeit durch menschliche Bewerter in der industriellen Computer-Tomographie

Uwe EWERT<sup>1</sup>, Frank HEROLD<sup>2</sup>, Holger ROTH<sup>3</sup>, Florian WOHLGEMUTH<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Kowotest, Teltow

<sup>2</sup> VisiConsult X-ray Systems & Solutions, Stockelsdorf

<sup>3</sup> Waygate Technologies, Digital Solutions, Baker Hughes, Stuttgart

<sup>4</sup> HEITEC PTS, Kuchen

Kontakt E-Mail: uwe@ewert-net.de

## Kurzfassung

Die industrielle Computertomographie (iCT) wird in der Industrie zur Fehlererkennung, Fehlerbewertung und dimensionellen Messung eingesetzt. Dies erfordert die richtigen experimentellen Systemeinstellungen für eine ausreichende Sichtbarkeit und Erkennbarkeit von Details und Strukturelementen. Die Sichtbarkeit von Indikationen durch menschliche Bewerter auf einem Monitor in 2D-CT-Schnittbildern hängt von der Quadratwurzel des sichtbaren Fehlerbereichs, dem Kontrast-Rausch-Verhältnis (CNR) und der Modulationsübertragungsfunktion (MTF) ab. Der ASTM-Leitfaden E 1441 beschreibt drei wesentliche Funktionen zur Vorhersage der Sichtbarkeit kleiner kreisförmiger Indikationen in iCT-Schnittbildern. Dies sind die Contrast Discrimination Function (CDF), die MTF (siehe auch die Überarbeitung von ASTM E 1695) und das Contrast Detail Diagram (CDD). Die Sichtbarkeitsgrenze von kreisförmigen Indikationen in rekonstruierten Schnittbildern kann vom Schnittpunkt der MTF mit dem Kontrastdetaildiagramm, das die Kombination von CDF und MTF darstellt, und einem physiologischen Faktor  $c$  bestimmt werden. Die Messverfahren zur Vorhersage der Detailsichtbarkeit mittels MTF und CDD wurden mit Testphantomen getestet und durch Modellierung und Messungen verifiziert. Ein Formfaktor wird berücksichtigt, um Zylinderlöcher mit Porenangaben zu vergleichen. Es werden Schlussfolgerungen berichtet und Empfehlungen zur Bestimmung des korrekten physiologischen Faktors  $c$  gegeben.

## Detail-Kontrast-Empfindlichkeit

25.05.2023, Friedrichshafen

### NUMERISCHE VORHERSAGE DER DETAIL-ERKENNBARKEIT DURCH MENSCHLICHE BEWERTER IN DER INDUSTRIELLEN COMPUTER-TOMOGRAPHIE

#### NUMERIC PREDICTION OF THE DETAIL VISIBILITY IN INDUSTRIAL X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY BY HUMAN OBSERVERS

Uwe Ewert<sup>1</sup>, Frank Herold<sup>2</sup>, Holger Roth<sup>3</sup>, Florian Wohlgemuth<sup>4</sup>

1 KOWOTEST Gesellschaft für Prüfausrüstung mbH, Teltow

2 VisiConsult X-ray Systems & Solutions, Stockelsdorf

3 Waygate Technologies, Digital Solutions, Baker Hughes, Stuttgart

4 HEITEC PTS, Kuchen

## Qualifikation und Qualitätssicherung von CT-Anlagen

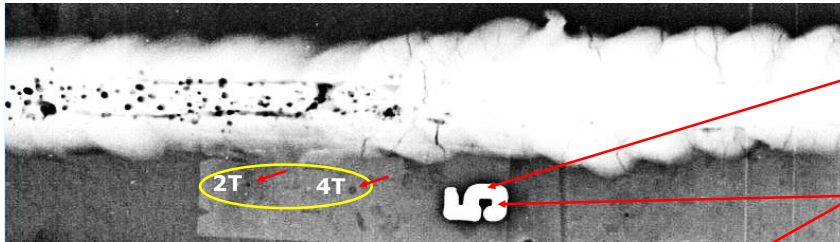
### Überblick

- Algorithmus zur computerbasierten Vorhersage der Erkennbarkeit von Löchern und Poren durch menschliche Bewerter in CT Schichtbildern
  - **Konzept:** Kontrast-Detail-Diagramm ([ASTM E 1441](#)) und
    - Modulations-Transfer-Funktion (MTF)- zur Messung des relativen Kontrastes abhängig vom Lochdurchmesser ([ASTM E 1695-20](#))
- Neue Testkörper zur Qualitätsbewertung und Überwachung von CT-Scannern
  - Neue Lochtestkörper (ASTM-Projekt: „Phantom B“)
- Ringversuch
- Ergebnisse
  - Neue Testkörper mit Lochgruppen (ASTM-Projekt: Phantom B2)

## Erkennbarkeit von Bildgüteprüfkörpern

**Was ist bereits bekannt?** → Die Erkennbarkeit hängt vom **Durchmesser** und **CNR** ab.

Bildgüthenachweis in den USA (ASTM E 1025) basiert auf der **Locherkennbarkeit bei gleichem CNR**.



### Loch-Platte-BPK

5/1000 Inches IQI (127µm dick) mit 1T, 2T, 4T Loch

2T und 4T erkennbar bei gleichem CNR



### ASTM Loch-Platte-BPKs im Vergleich zu Drähten

Große Löcher sind gut erkennbar.

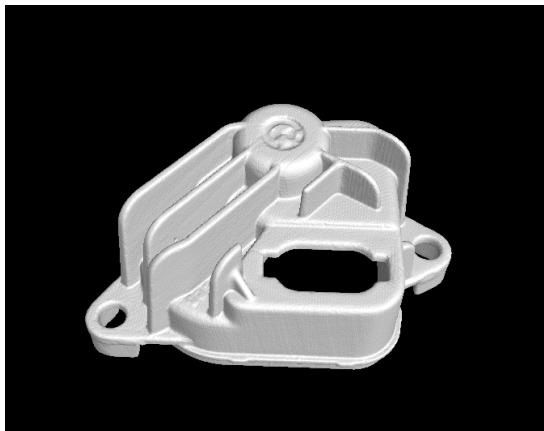
Kleine Löcher sind z.T. nicht erkennbar.

## Neuer Testkörper (ASTM Phantom B)

Beispiel: Al-Disk  
40 mm Durchmesser  
Bohrung : 50 µm - 250 µm

### Messung mit Lochtestscheiben-Testkörper

- **Überwachung der Detail-Kontrastempfindlichkeit**
- **Hat die CT-Anlage noch die gewünschte Empfindlichkeit?**



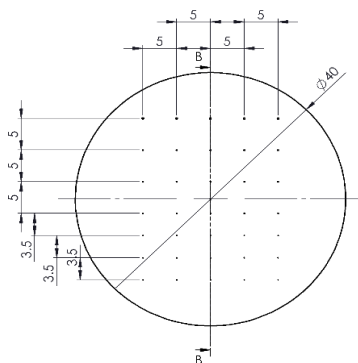
Die Messung kann durchgeführt werden zusammen mit dem Testphantom oder separat.

## Hintergrund

- **Parameter der Bildqualität in CT-Schichtbildern und digitalen Radiographien**
  - Die Bildqualität (Graubilder) hängt ab von
    - Anzeigenkontrast, Rauschen und Orts-Auflösung
    - Anzeigen-Form und -Größe.
- **Messung der Bildqualität mit Bildqualitätsindikatoren (IQI) bzw. Bildgüteprüfkörpern (BPK)**
  - In der Radiographie ist es die *äquivalente Penetrameter-Empfindlichkeit (EPS)*, die für Platte-Loch-BPKs in der ASTM standardisiert ist (z.B. ASTM E1025) und auch für Drähte verwendet wird (ASTM E747, ISO 19232-1).
  - Die Vorhersage der EPS basiert auf dem modifizierten Rose-Konzept von 1946 für optische Kameras und Betrachter.
- **Das Konzept der Kontrast-Diskriminierungs-Diagramme (CDD) wurde in den siebziger Jahren für die Computertomographie (CT) entwickelt, und basiert auf der**
  - Spektralanalyse von Rauschen, Kontrast und der Modulationsübertragungsfunktion (MTF).

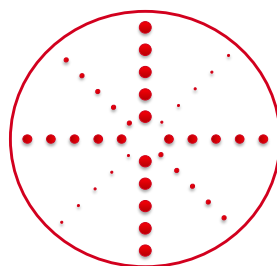
## Loch-Phantom Designs

Ewert, Da Silva, Zscherpel  
Phantom 1 (KOWOTEST, BAM, Petrobras)



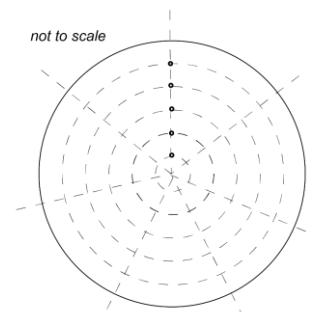
kartesische Matrix

Herold (VisiConsult)



Sternmatrix

Neuer ASTM-Standardentwurf  
Roth (Baker Hughes, Waygate)



Star design

## Beispiel: Schicht 247 mit Löchern Reale Messung

VisiConsult  
(Herold, Buchholz)

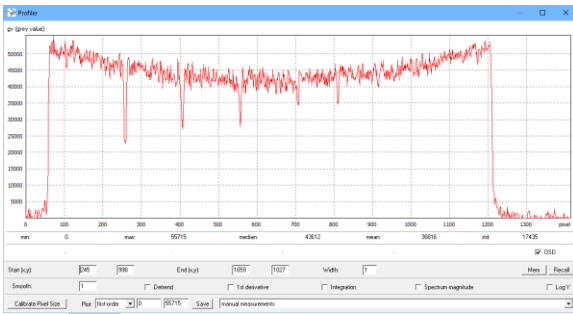
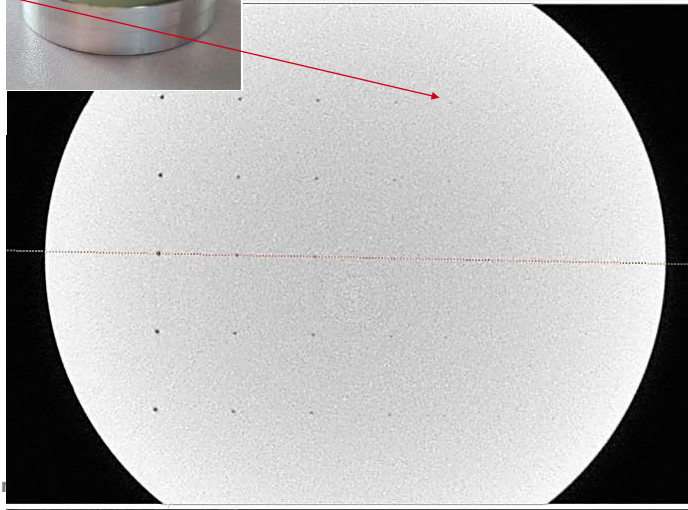
Bedingungen:

- 160 kV, I = 180 µA, Magn. = 2,996
- SDD = 666 mm, SOD 222 mm
- Vorfilter 1 mm Cu
- Voxelgröße = 33,36 µm

Das feinste sichtbare Loch in Reihe 5 hat einen Durchmesser von 100 µm (gemessen mit Mikroskop und µ-CT).

Alle fünf Löcher müssen zu sehen sein.

Wir sehen kleine **Ringartefakte und Aufhärtung** (1 mm Cu vor der Röhre).



16.05.2023

Ewert et al.

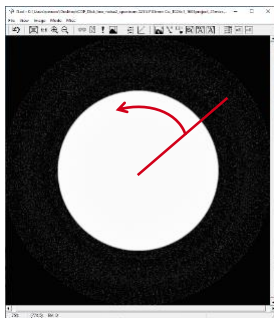
Detail-Erken

## Computertomographie: Modulationsübertragungsfunktion (MTF)



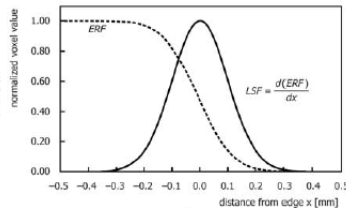
Phantom A

CT

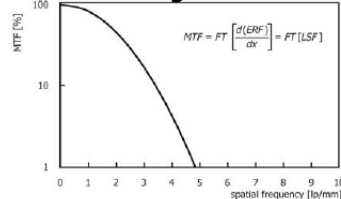


- Erläutert und definiert in **ASTM E1441-19** und der letzten Revision von **ASTM E 1695-20**
- Die MTF-Messung wird am Kreisprofil der zentralen Schicht einer Scheibe oder eines Stabes durchgeführt.
- Die  $MTF_{10}$  entspricht dem  $ISR_b^{image}$  des zentralen Schnitts

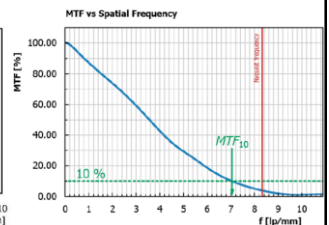
Kantenfunktion ERF und  
Linienfunktion LSF



MTF  
halb-logarithmisch



MTF



16.05.2023

Ewert et al.

Detail-Erkenbarkeit in CT

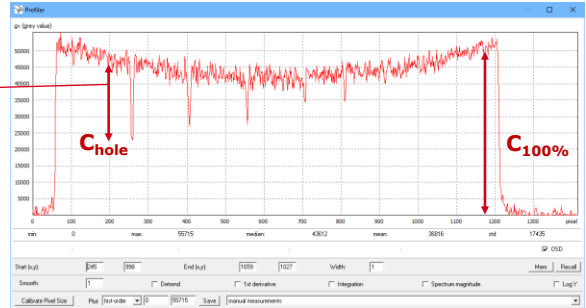
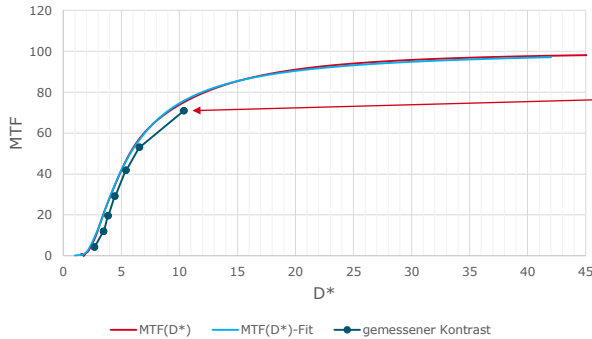
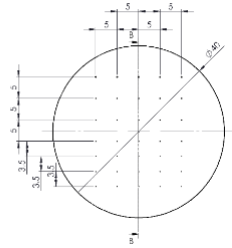
KOWOTEST

8

## MTF und relativer Kontrast der Lochanzeigen

Der gemessene relative Kontrast der Löcher liegt knapp unter der MTF(Kurve).

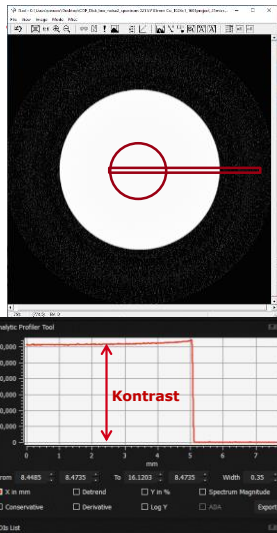
In den Simulationen liegen die relativen Kontrastwerte genau auf der MTF-Kurve.



## Computertomographie: Kontrast-Diskriminierungsfunktion (CDF)

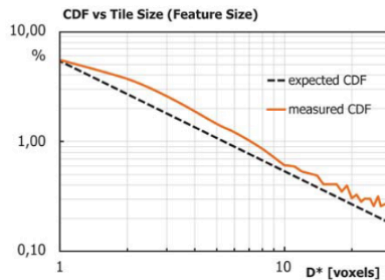


Phantom A



CT

- Der relative Kontrast  $\Delta\mu/\mu$  wird an der Zylinderkante der zentralen Scheibe und der Grundfläche der Luftdämpfung gemessen.
- Das Rauschen wird in der mittleren Scheibe gemessen.
  - Die Rauschmessung wird nach der Mittelung der Voxel für verschiedene Voxelgrößen wiederholt.

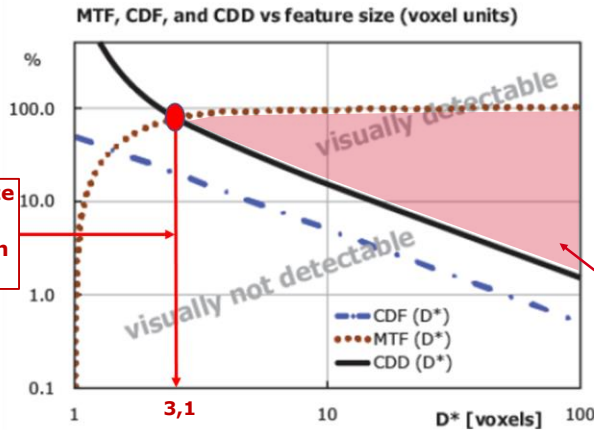


- Das Messverfahren wird in der ASTM E 1441-19 und der ASTM E 1695-20 erläutert und definiert (implementiert von Volume Graphics in VGStudio)

$$CDF(D^*) := \frac{\sigma_m(\mu_i)}{\bar{\mu}} 100 \% = 100/CNR(D^*)$$

## Computertomographie: CDD-Analyse der Rekonstruktion der zentralen Scheibe

Sichtbarkeitsgrenze für Lochanzeigen mit Durchmesser in Voxeln



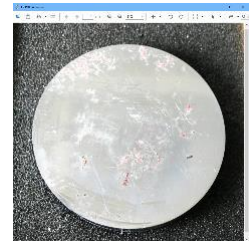
- Kombinierte Darstellung von CDD, CDF und MTF mit Schnittpunkt von CDD und MTF bei 3,1 Voxeln.
- Das kleinste gerade noch sichtbare Loch ergibt sich hier zu  $\varnothing 78 \mu\text{m}$  bei  $25 \mu\text{m}$  Voxelgröße.
- Hellrot markiert ist der Bereich in dem Lochanzeigen sichtbar sind.

## Ringversuch – zur Richtlinie D7 und ASTM Phantom B - Projekt

### Teilnehmer:

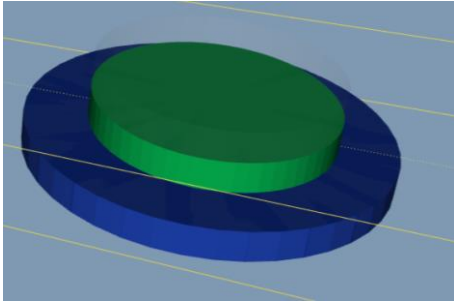
1. W. da Silva, Uni Rio de Janeiro, Brasil
2. F. Herold et al. VisiConsult
  1. M. Buchholz
  2. P. Dedyeva
3. L. Gay, SAFRAN, France
4. C. Day VJ Technology, USA
  1. S. Slote
5. G. Brennhäuser, EZRT
6. R. Schappat, Audi
7. T. Kleinteich, TPW Prüfzentrum
8. A. Hofmann, VW
9. H. Roth, Baker Hughes, Waygate Technologies

- 50 GByte Daten
- Probleme mit Probenhalterung
  - A. Hofmann hat einen Halter gedruckt
- Testkörper müssen gegen Abnutzung geschützt werden
- Genauigkeit der Testkörper muss verbessert werden
  - Platten müssen fest verbunden sein.
- VG StudioMax ist die einzige nutzbare kommerzielle Software
  - Allerdings sind noch Softwareaktualisierungen/-korrekturen erforderlich

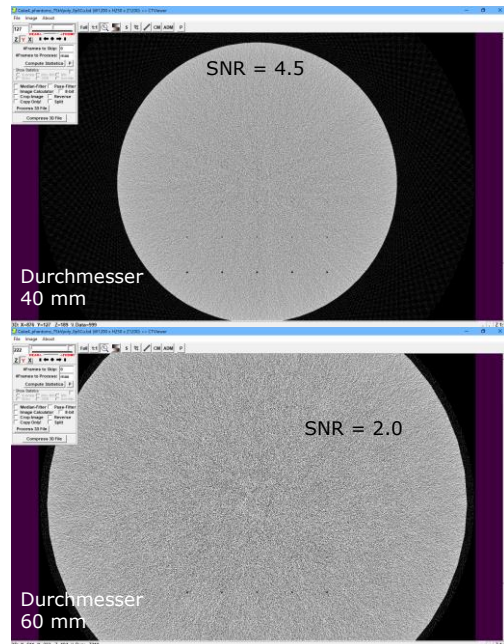


# Doppelplatten-Design

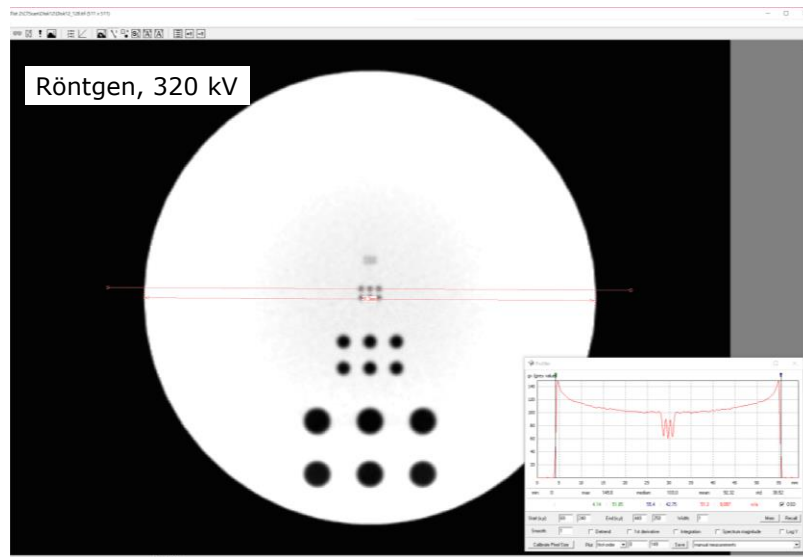
- Doppelplatten-Design zur Bestimmung der Erkennbarkeit bei verschiedenen Strahlängen



- Scheibenplatten mit verschiedenem Durchmesser und gleichem Lochmuster.



# Neues Phantom-Design mit Lochgruppen



Modellierung mit unterschiedlicher Pixel-Größe: 0,2 mm,  $SR_b = 0,25$  mm  
Vergrößerung: 1.2

Voxel-Größe: 0,16 mm

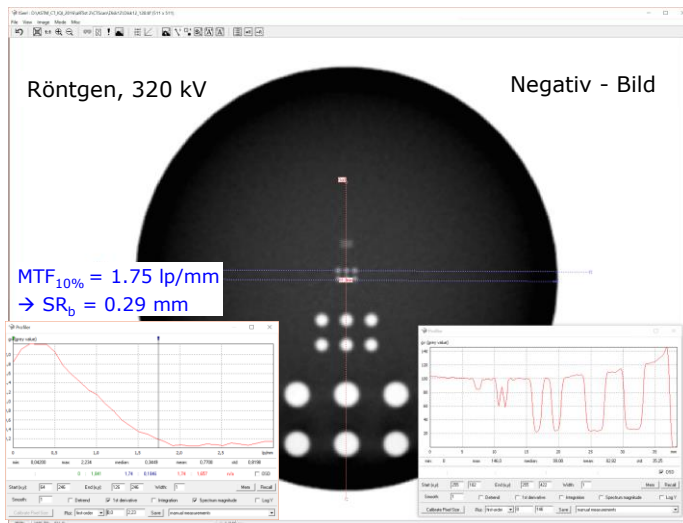
Interner Streustrahlanteil 5%

Löcher:

0,25 mm, 0,5 mm, 1,5 mm, 3 mm  
2 lp/mm, 1 lp/mm, 0,33 lp/mm, 0,167 lp/mm



## Neues Phantom-Design mit Lochgruppen



16.05.2023

Ewert et al.

Detail-Erkennbarkeit in CT

KOWOTEST

15

## Zusammenfassung

- Durch die Messung von **Kontrast-Detail-Diagrammen (CDD) und MTFs** von Zylindern (Phantom A) kann die Erkennbarkeitsgrenze (Durchmesser) von Löchern und Poren in Schnittbildern ermittelt werden.
  - Die Erkennbarkeitsgrenze ergibt sich aus dem Schnittpunkt von CDD und MTF.
- Die **Erkennbarkeitsgrenze** hängt von der Strahllänge und der Anzeigenform ab.
- **Aufhängungseffekte** können zu einer Verschlechterung der Erkennbarkeit beitragen.
- **Testplatten mit separaten Löchern** wurden entwickelt und werden genutzt, um die Erkennbarkeit von Löchern/Poren zu bestimmen und die Qualität der CT-Anlagen zu überwachen.
- Die **Testplatten** wurden mit einem **Ringversuch** überprüft.
- Die Prozedur wird in einer **ASTM-Norm und der DGZfP-Richtlinie D7** beschrieben.
- Geplant ist weiterhin die Entwicklung von neuen **Lochgruppen-Testplatten**.

16.05.2023

Ewert et al.

Detail-Erkennbarkeit in CT

KOWOTEST

16

---

**ENDE**

**Fragen... ?**



[uwe@ewert-net.de](mailto:uwe@ewert-net.de)