



▢ CT: Prüf- und Messmittel für Industrie und Forschung

Dr. J. Kastner, FH OÖ Campus Wels


RECENDT
RESEARCH CENTER FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING

 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
Vienna University of Technology

 ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG UND TOMOGRAFIE

Das K-Projekt ist eine Forschungskooperation im Sinne des Kompetenzzentren-Programms COMET

▢ Agenda

1. K-Projekt für zerstörungsfreie Prüfung und Tomografie
2. Röntgen-Computertomografie – Messprinzip und Industriebeispiele
3. Anwendungsbeispiele Kunststoffe und Verbundwerkstoffe - Faserauswertung
4. Anwendungsbeispiele Metalle – Virtuelle Metallografie
5. Zusammenfassung



▢ Eckdaten K-Projekt für zerstörungsfreie Prüfung und Tomografie

- ▣ Ein K-Projekt ist eine kooperative Forschungseinrichtung von Forschungs- und Firmenpartnern
- ▣ Gesamtprojektvolumen: 6,98 Mio € (1,1-1,5 Mio €/Jahr)
- ▣ 3 wissenschaftliche und 11 Firmenpartner
- ▣ Endausbau 17 Mitarbeiter (VZÄ)
- ▣ Laufzeit: 5 Jahre, Sep. 2009 bis Aug. 2014
- ▣ Wissenschaftlicher Output:
 - ▢ 14 Dissertationen + 22 Diplom-/Masterarbeiten
 - ▢ 104 Publikationen (davon 30 reviewte) und 3 Patente
 - ▢ Durchführung von 2 Konferenzen mit >100 TN

▢ Strategische Ziele von ZPT

- ▣ Die österreichischen Forschungsaktivitäten in der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) und Tomografie werden durch das K-Projekt gebündelt und qualitativ verbessert.
- ▣ Sowohl die Anzahl der Forscher als auch die Geräte-Ausstattung erreichen eine überkritische Größe.
- ▣ Die wissenschaftlichen Partner TU Wien (Prof. Degischer, Prof. Seidler), RECENDT GmbH (Dr. Burgholzer, Dr. Wiesauer) und FH OÖ Wels (Dr. Hendorfer, Dr. Kastner) haben Zugang zu allen relevanten, neuen ZfP- und Tomografiemethoden und entwickeln diese weiter.

▫ Partner des K-Projektes



Seite 5

J. Kastner

19.03.2010

ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAFIE

▫ Methoden

Die untersuchten Methoden umfassen:

- Multiskalare Röntgen-Computertomografie für Auflösungen bis unter 500 nm
- Optische Kohärenz Tomografie
- Aktive Thermografie & Fotoakustik
- Berührungslose Ultraschall-Prüfung und Terahertzprüfung
- Quantitative Auswertungsmethoden inkl. 3D-Algorithmen und Visualisierungsverfahren für Heterogenitäten und kritische Defekte

Seite 6

J. Kastner

19.03.2010

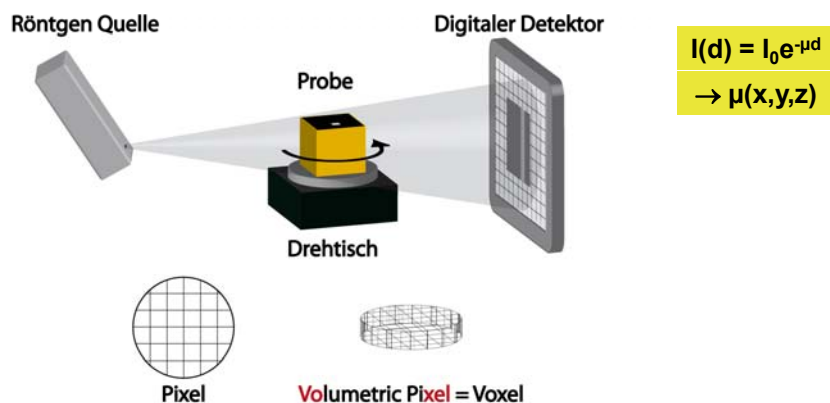
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAFIE

▣ Agenda Computertomografie

1. K-Projekt für zerstörungsfreie Prüfung und Tomografie
- 2. Röntgen-Computertomografie – Messprinzip und Industrieller Einsatz**
- 3. Anwendungsbeispiele Kunststoffe und Verbundwerkstoffe - Faserauswertung**
- 4. Anwendungsbeispiele Metalle – Virtuelle Metallografie**
- 5. Zusammenfassung**



▣ 3D-Röntgen-Computertomografie



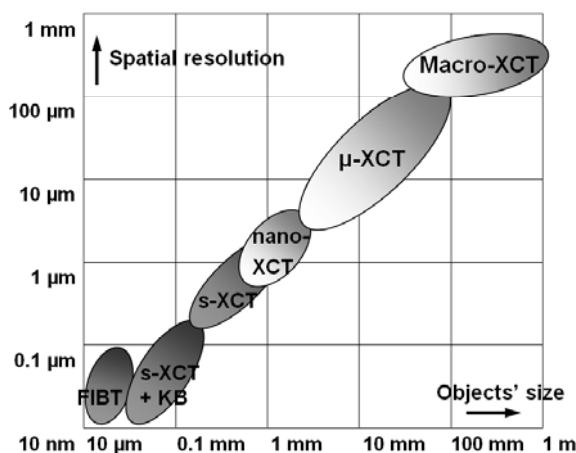
▣ Industr. Röntgen-Computertomografie

- Ist ein zerstörungsfreie Methode.
- Ist eine Methode, die das komplette Bauteil - auch Innengeometrien - erfasst.
- Ist eine „schnelle“ Methode (Meßzeit: 30-60 min)
- Hat hohe Wachstumsraten (10-30 %/Jahr).
- Es gibt immer mehr CT-Hersteller: RayScan, Phönix-GE, Yxlon, BIR, Aracor, Zeiss, Werth, Metris/Nikon,...
- Immer mehr Firmen nutzen CT: Audi, BMW, Daimler, Ferrari, Fiat, Porsche, VW, Bosch, Festo, Nemag, Valeo, Airbus, Eurocopter, Alcatel, Braun, Lego, Tyco,.... **Blum, Starlim Spritzguss,..**
- Aufgrund der rasanten IT-Entwicklung werden CT-Daten immer leichter handelbar.



ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAFIE

▣ Multiskalare CT-Methoden



1. Mikrofokus-CT



2. Nanofokus-CT



3. Synchrotron-CT (ESRF)



4. Zielpreparationen, FIB-T,...



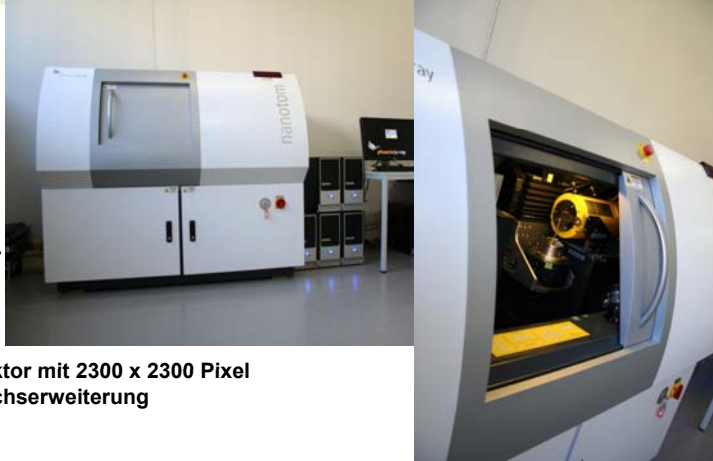
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAFIE

▣ Nanotom – Hochauflösender CT

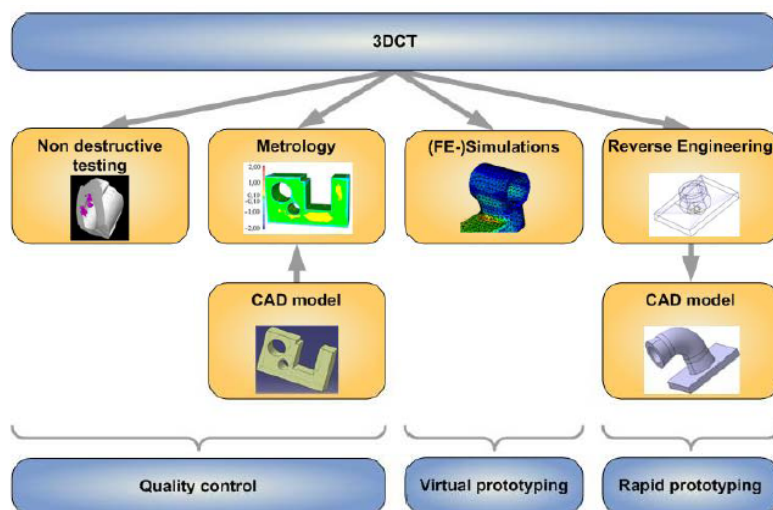
Röhre:
180kV high-power
nanofocus™-
Röhre

Detektor:
Voildigitaler Detektor mit 2300 x 2300 Pixel
3-fach Messbereichserweiterung

Prüfteile:
L bis 150 mm, d bis 120 mm, Gewicht bis 2 kg
Max. Auflösung: (abhängig von der Probengröße) <math><0,4 \mu\text{m}</math>



▣ Anwendungen der Industriellen CT





Industrieller CT im Praxis- einsatz:

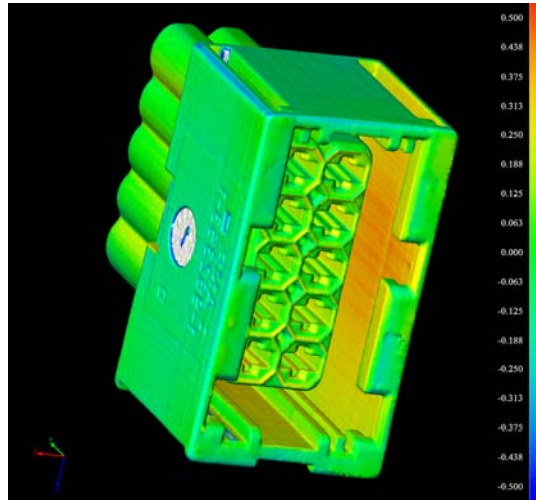
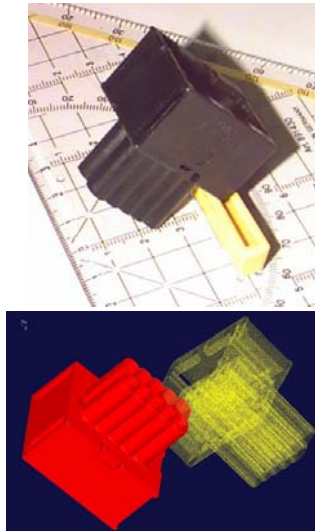
Prüfung der AUDI
A8-Karosserie
(Schweisnaht-
prüfung – CT der
Fa. RayScan)



▣ Serienprüfung von Rotorblättern mit CT



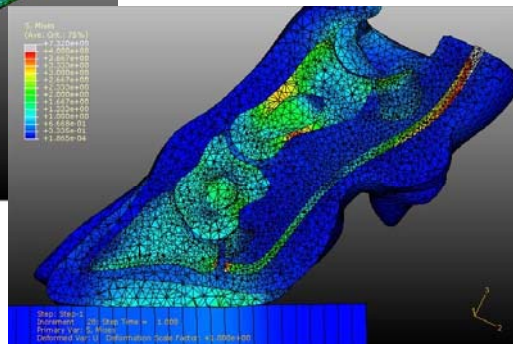
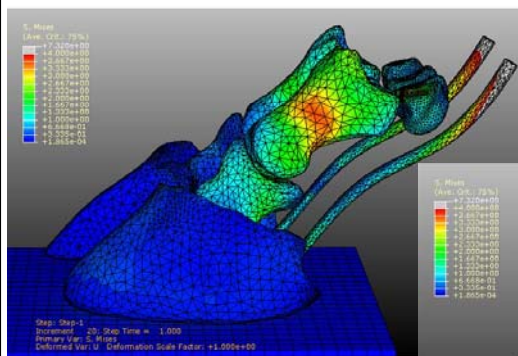
▮ Geometrievermessung/Soll-/Ist- Vergleich



J. Kastner, 2004, p.15

ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAFIE

▮ FEM-Simulation eines Rinderbeines aus CT-Daten



Ch. Hinterhofer et al.
Vet-Med. Universität Wien

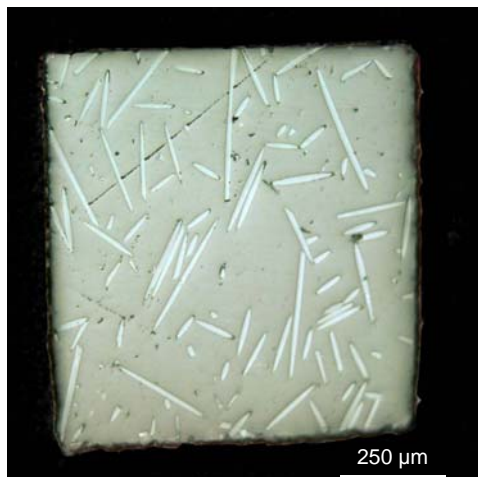
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAFIE



1. Röntgen-Computertomografie: Messprinzip und Allgemeines
- 2. Anwendungsbeispiele Kunststoffe und Verbundwerkstoffe**
3. Anwendungsbeispiele Metalle
4. Zusammenfassung

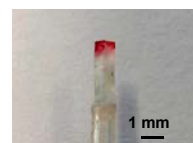


▶ Vergleich von CT und Schliffbild von glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK)

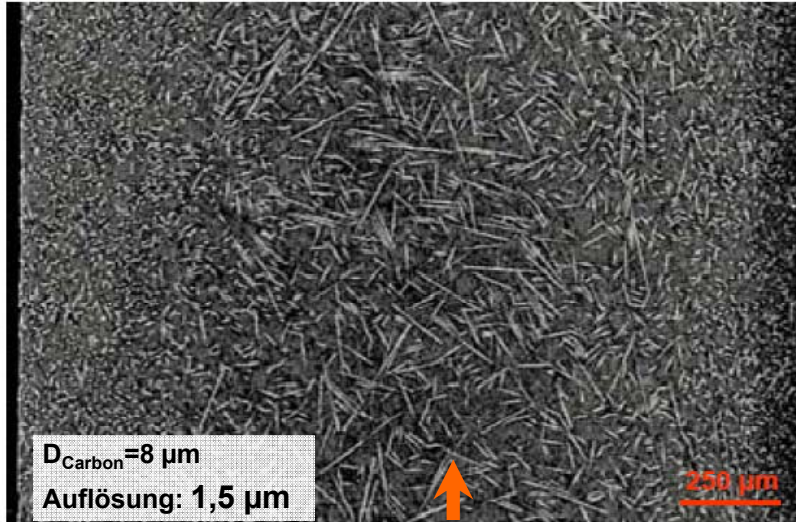


CT-Auflösung: 5,28 μm

Die CT-Ergebnisse stimmen gut mit den optischen Bildern der Schliffe überein.

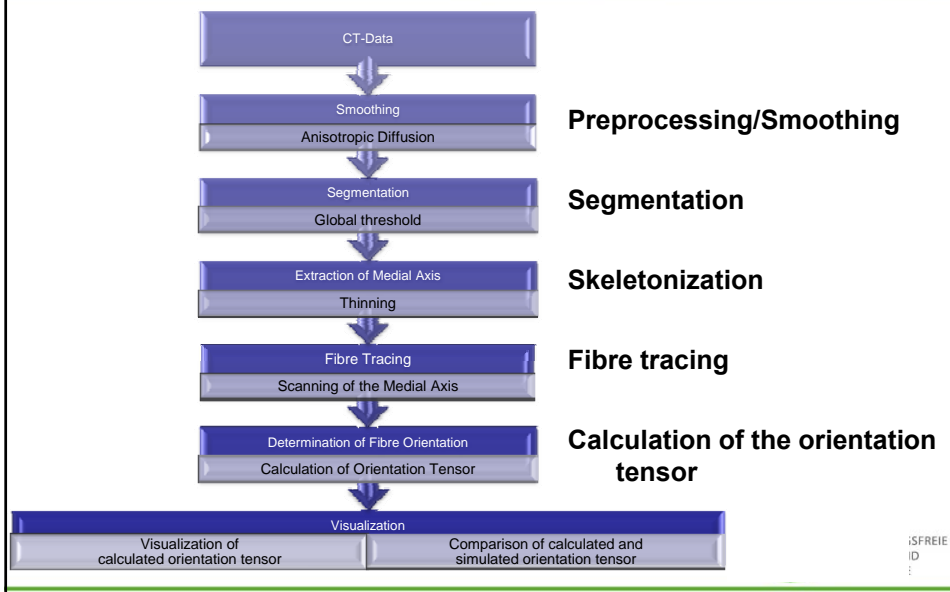


▶ CT von kohlefaserverstärktem Kunststoff PA66 (CFK)

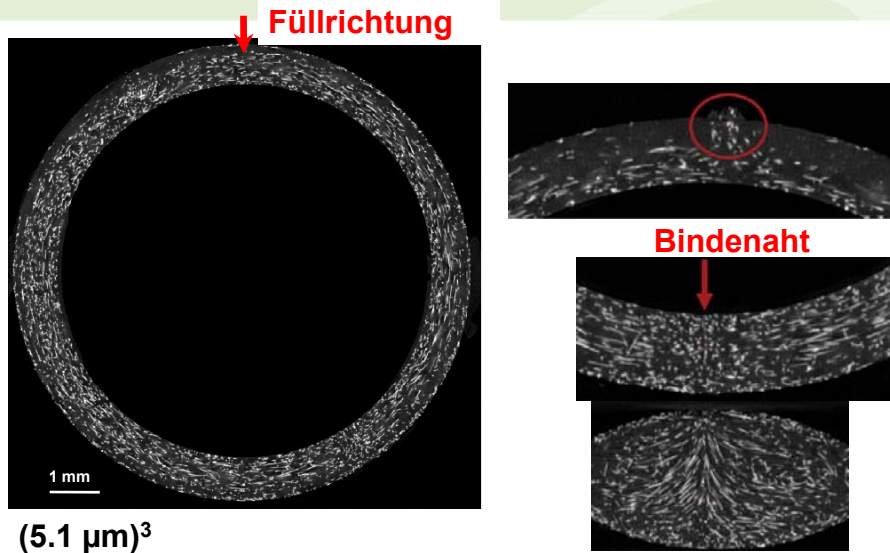


ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAFIE

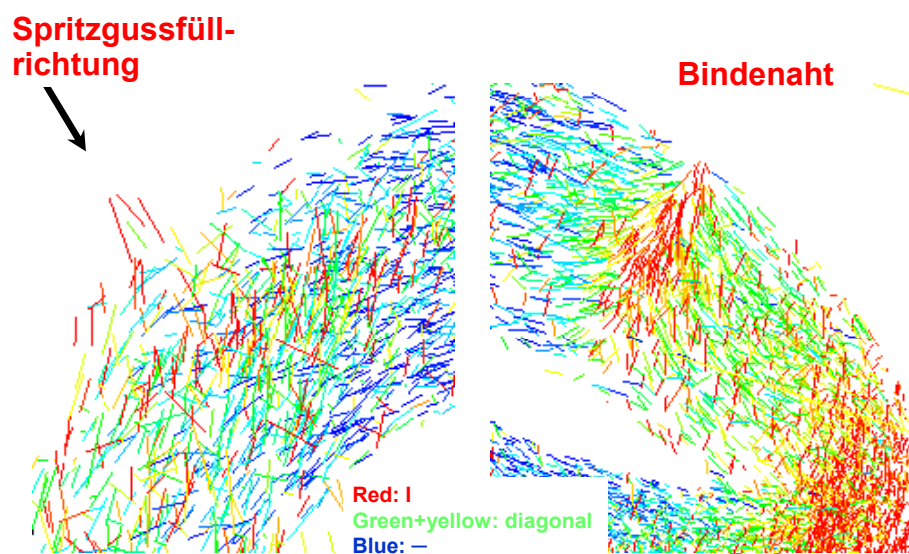
▶ 3D-Bildverarbeitung – Berechnung von Faserverteilung und Orientierungstensor



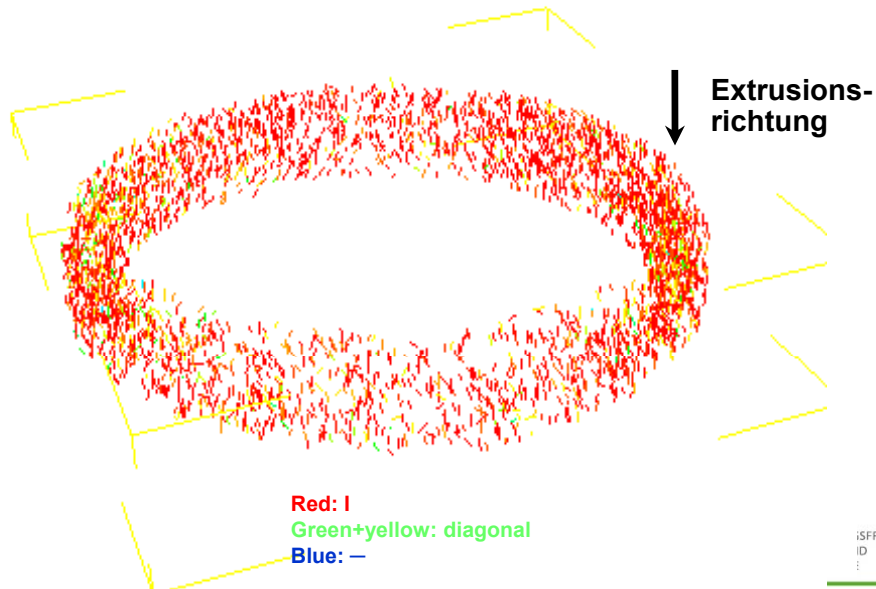
▣ Beispiel: GFK-Spritzgussring



▣ Ergebnisse GFK-Spritzgussring



Ergebnisse gedrehter/extrudierter GFK-Ring



▣ Vergleich der Orientierungstensenoren: Spritzguss- und Extrudierter Ring

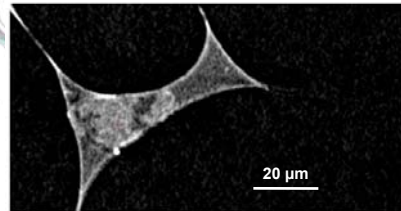
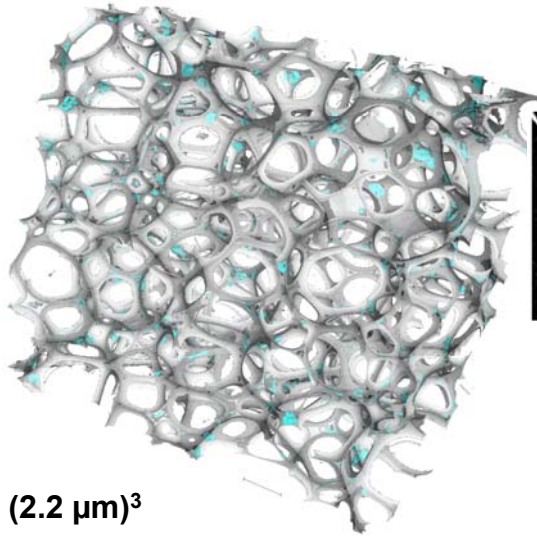
▣ Orientierungstensor des GFK-Spritzgussringes:

$$\begin{pmatrix} 0.3975 & 0.0184181 & 0.00569527 \\ . & 0.411463 & 0.00443047 \\ . & . & 0.191008 \end{pmatrix}$$

■ Orientierungstensor des extrudierten GFK-Ringes: Ausrichtung der Fasern entlang der z-Achse

$$\begin{pmatrix} 0.05289 & -0.000741 & -0.008351 \\ . & 0.0630516 & -0.000002 \\ . & . & 0.884053 \end{pmatrix}$$

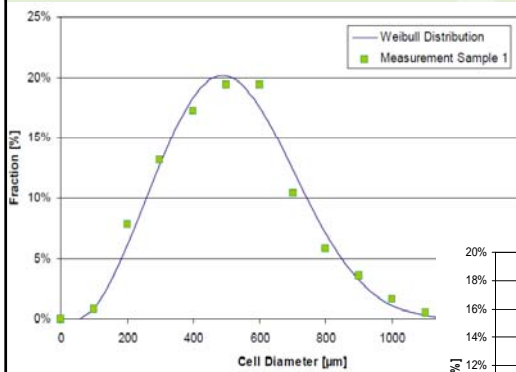
CT von Schaum mit Tencelpartikel



$(0.7 \mu\text{m})^3$

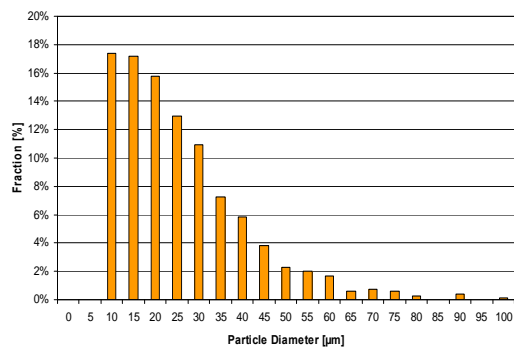


CT von Schaum mit Tencelpartikel



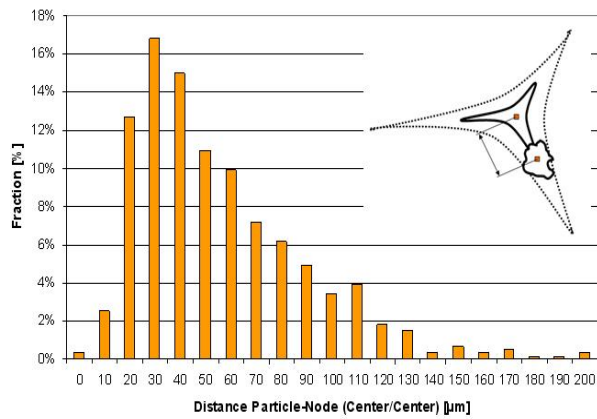
Schaumzellengrößenverteilung

Partikelgrößenverteilung



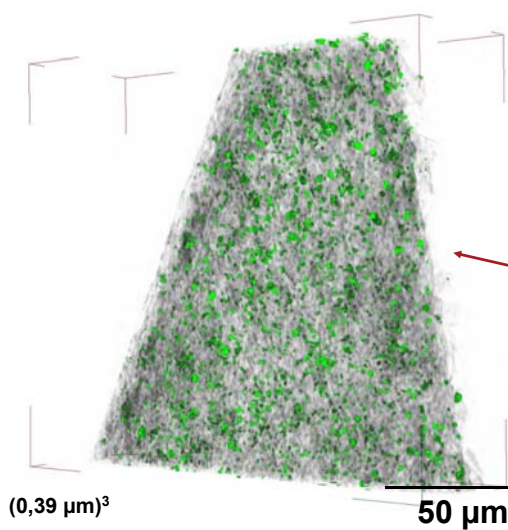
CT von Schaum mit Tencelpartikel

Abstand Tencelpartikel zu Knoten des Schaumes



ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAFIE

CT von Papier: Darstellung der Fasern und der Füllstoffe



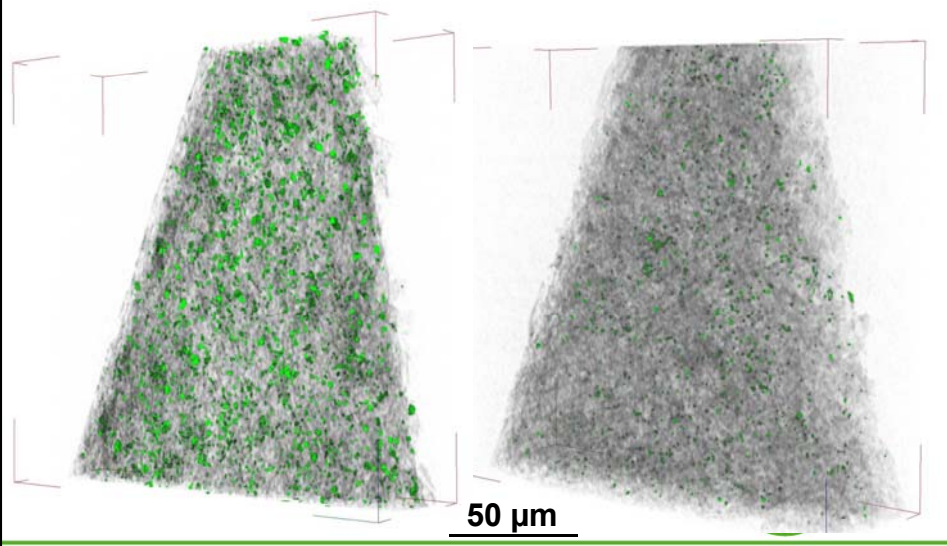
Papier besteht im wesentlichen aus einem dreidimensionalen Netzwerk von Zellulosefasern (Durchmesser 10-30 µm) und aus Füllstoffen mit höherer Dichte.

Papierprobe; niedrige Dichte halbtransparent dargestellt

Die grünen Bereiche haben eine höhere Dichte, es sind die Füllstoffe.

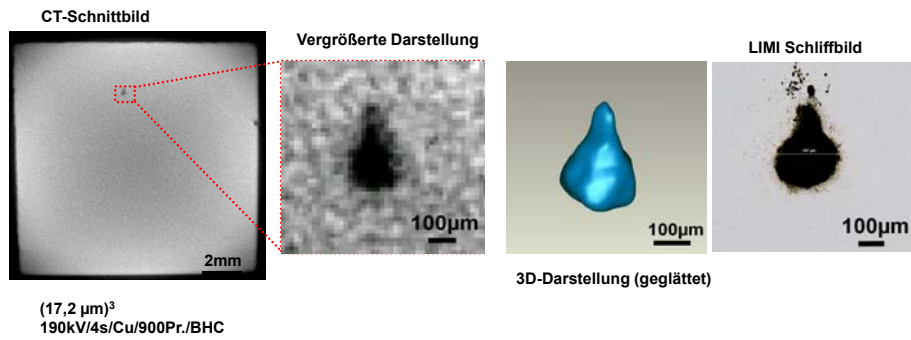
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAFIE

▶ **CT von Papier mit hohem und geringem Füllstoffanteil**



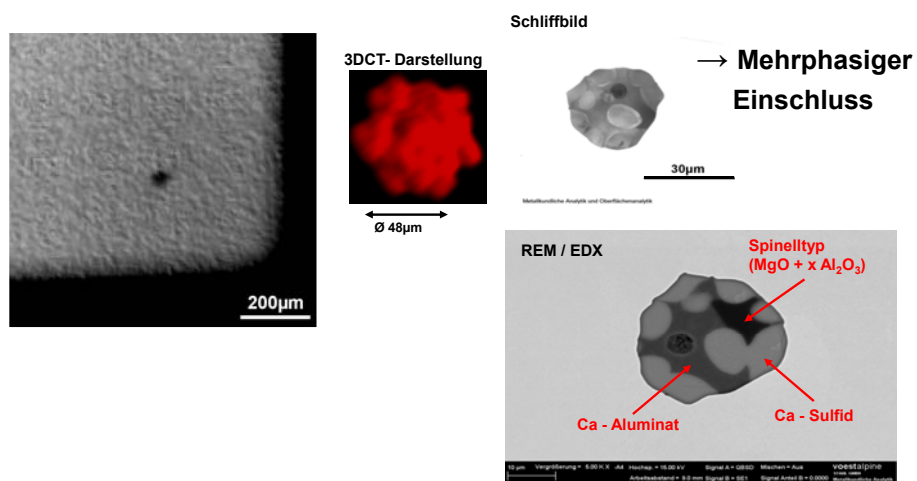
1. Röntgen-Computertomografie – „Nano-CT“:
Messprinzip und Allgemeines
2. Anwendungsbeispiele Kunststoffe und
Verbundwerkstoffe
- 3. Anwendungsbeispiele Metalle**
4. Zusammenfassung

▶ Gasporen in einer Fe-Stranggussbramme



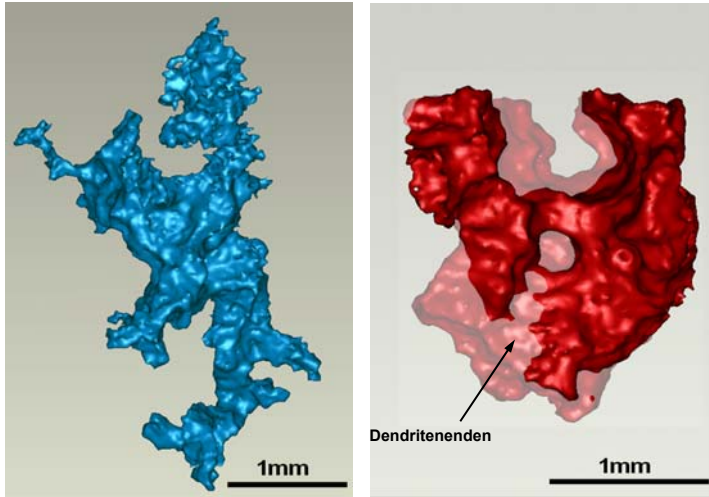
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAPHE

▶ Einschlüsse in Stranggussbrammen

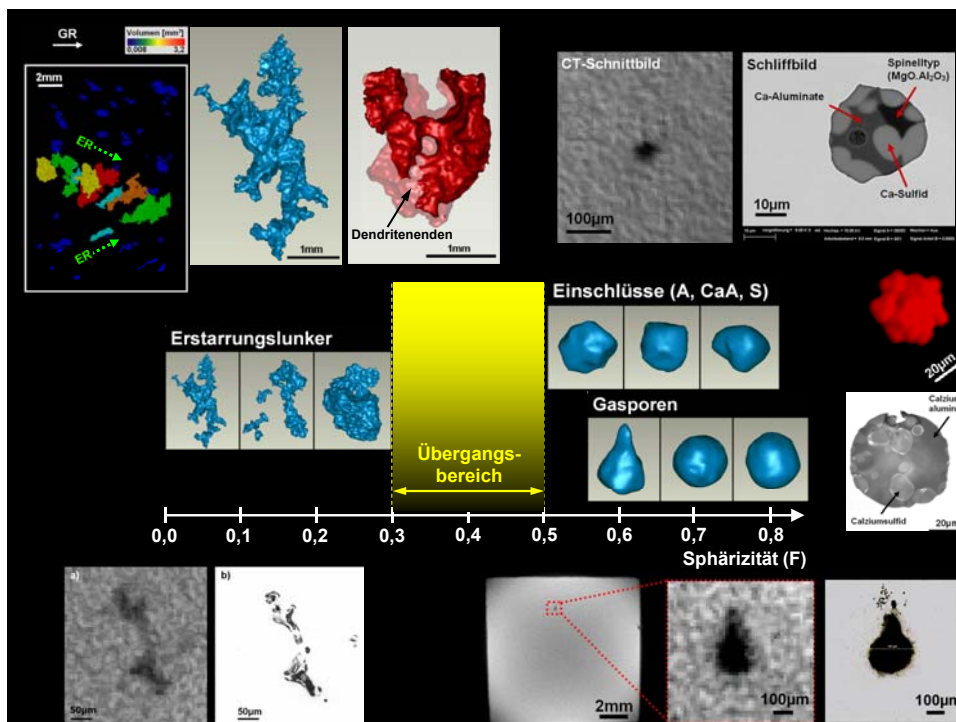


ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAPHE

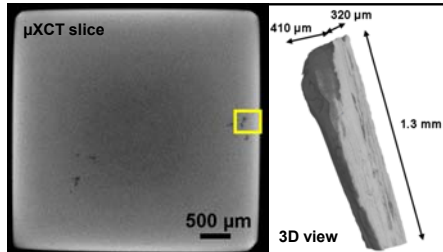
▣ Lunker in Stranggussbrammen (Erstarrungslunker, Schwindungshohlräume, Mittenlunker)



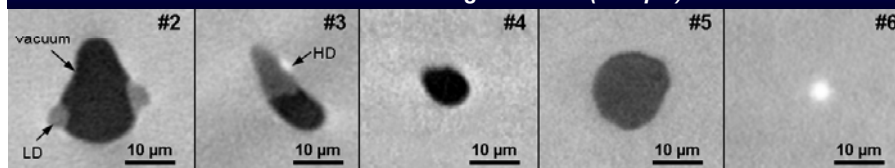
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAFIE



▣ Mikro-Einschlüsse (<math><10\ \mu\text{m}</math>) in Stranggussbrammen



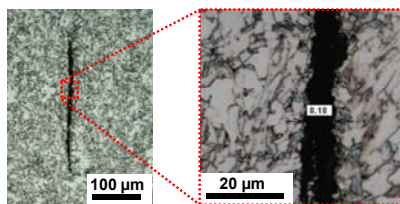
CT-Schnittbilder von verschiedenen Inhomogenitäten ($0.28\ \mu\text{m}^3$)



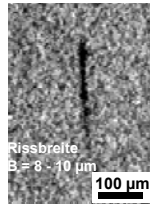
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAPHE

▣ Detektion von Rissen

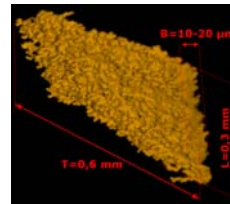
Metallographie:



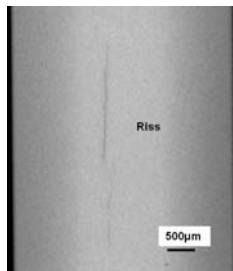
Tomogramm:



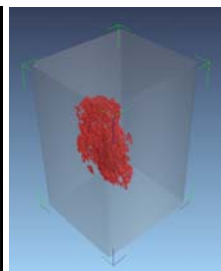
3D Darstellung



Tomogramm:



3D Darstellung:

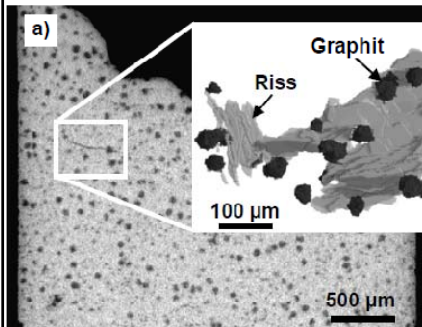


Sehr gute Korrelation mit Metallographie!

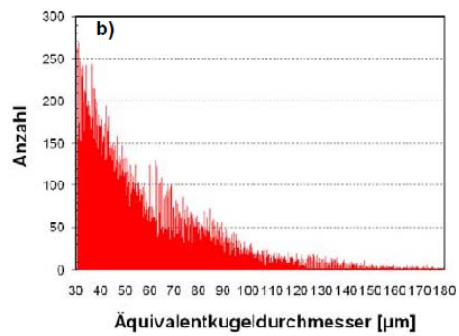
Rissbreite: 8-10 μm

ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG UND
TOMOGRAPHE

▣ Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS 500)



a.) CT-Schnittbild (5 µm)³ mit Graphitpartikeln und vergrößerter Darstellung eines Risses

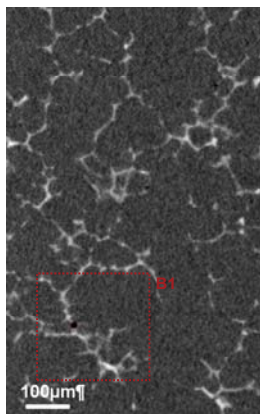


b.) Größenhistogramm der segmentierten Graphitpartikel



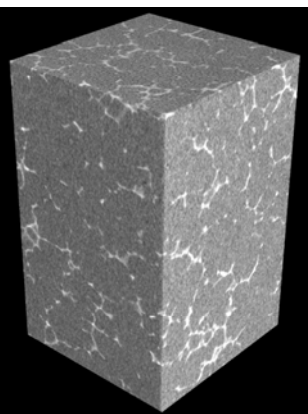
▣ Entmischungen einer AlCu4Mg1-Legierung

CT-Schnittbild



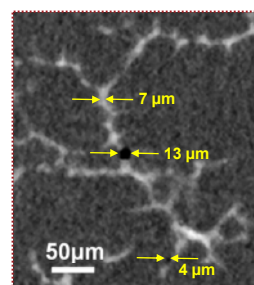
Voxelgröße=(1,1 µm)³
100 kV

3D-Bild CT



Querschnitt 3,5 x 4,0 mm²

Vergrößerte Darstellung



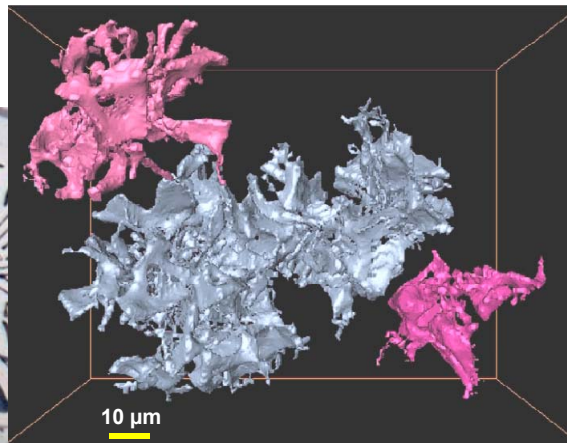
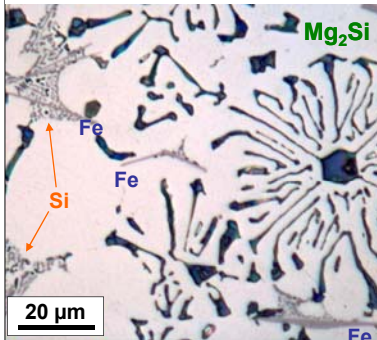
Darstellung der Cu-Verteilung und Poren



▣ s-CT einer Al-Mg-Si-Legierung

3 Mg_2Si Partikel aus den
Synchrotron-CT-Daten segmentiert

Al-Mg-Si Legierung
Mikroskopiebild: Mg_2Si , Si,
 $AlFeSi$, α -Al



Seite 39

J. Kastner

19.03.2010



▣ Zusammenfassung

- CT eine mächtige Methode.
- CT wird immer häufiger in Industrie und Forschung eingesetzt. Es gibt immer mehr CT-Hersteller und Anwender.
- Anwendungsbeispiele:
 - Charakterisierung von faserverstärkten Kunststoffen (Faserlänge und Faserorientierung)
 - Charakterisierung von Papier und Schaum
 - 3D-Analyse von Inhomogenitäten in Stahl (Gasporen, Erstarrungslunker, Einschlüsse, Risse)
 - 3D-Verteilung von Graphitpartikeln in Sphäroguss
 - 3D-Analyse von interdendritischen Eutektika in Al-Cu-Legierungen



▣ Kontakt

Prof.(FH) DI Dr. Johann Kastner
DI(FH) Dr. B. Harrer
DI(FH) Dr. C. Heinzl
DI(FH) M. Reiter, DI D. Salaberger
Mag. Elena Spitzer, DI M. Allerstorfer
Kana Arunachalam, MSc, R. Kickingner, BSc
DI(FH) B. Plank, S. Spachinger



FH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH, FH OÖ-Wels

Stelzhammerstrasse 23, A-4600 Wels

Tel.: ++43-7242-72811-3445 oder 4445 (CT-Labor)

j.kastner@fh-wels.at, www.fh-wels.at und www.3dct.at

Industr. CT-Tagung, Wels, 27.–29. Sep. 2010



**▣ DANKE FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT**

Mit Unterstützung von  