

Proceedings

# **Industrielle Computertomografie Tagung**



Proceedings

# **Industrielle Computertomografie Tagung**

**27.-29. September 2010**

Sessions:

Einführung

Zerstörungsfreie Charakterisierung von Faserverstärkten Werkstoffen  
CFK/GFK

Zerstörungsfreie Prüfung von Polymeren und Verbundwerkstoffen

Zerstörungsfreie Charakterisierung von Metallen

Spezialbeiträge

Alternative tomografische Verfahren

Geometriebestimmung

Einflüsse auf die CT-Messgenauigkeit

Spezielle tomografische Verfahren

Programmausschuss:

Prof(FH). DI Dr. Johann Kastner

KR Ing. Gerhard Aufricht

Dr. Markus Bartscher

Prof. DI Dr. Hans-Peter Degischer

DI Alexander Flisch

Dr. Jürgen Goebbels

Prof. Dr. Eduard Gröller

Dr. Stefan Kasperl

Prof. Dr. Frank Mücklich

DI(FH) Reinhold Oster

Dr. Jens Reussner

Dr. Hannes Traxler

Shaker Verlag  
Aachen 2010

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

#### Kontaktadresse:

FH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH  
Franz-Fritsch-Straße 11/TOP 3  
4600 Wels/Austria  
Tel.: +43 (0)7242 44808-43  
Fax: +43 (0)7242 44808-77  
E-Mail: [research@fh-ooe.at](mailto:research@fh-ooe.at)  
<http://www.fh-ooe.at>  
<http://www.3dct.at>

Herausgeber: Prof(FH). DI Dr. Johann Kastner

Layout: Mag. Elena Spitzer  
DI(FH) Michael Reiter

Copyrights Shaker Verlag 2010

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany

ISBN 978-3-8322-9418-2  
ISSN 1610-4773

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen  
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9  
Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Vorwort

Die industrielle Röntgen-Computertomografie ist eine Methode, die wegen ihrer großen Vorteile in den vergangenen Jahren immer mehr Bedeutung erlangt hat. Die hohen Wachstumsraten der industriellen CT zeigen sich sowohl an der Tatsache, dass einerseits immer mehr CT-Gerätehersteller auf den Markt drängen und es andererseits immer mehr CT-Anwender in Wirtschaft und Wissenschaft gibt. Derzeit gibt es über 30 CT-Hersteller weltweit, die für diverse Anwendungen CT-Geräte in Preisklassen zwischen 60.000 € und über 1 Million € anbieten. Einen Überblick über CT-Hersteller finden sie unter [www.3dct.at](http://www.3dct.at). Hier einige Beispiele:

- Carl Zeiss IMT GmbH
- Comet AG
- GE Sensing and Inspection Technologies
- Hitachi, Ltd.
- MacroScienceTechnology GmbH
- Nikon Metrology NV (früher X-Tek Systems Ltd)
- ProCon X-Ray GmbH
- Rapiscan Systems (früher Aracor)
- RayScan Technologies GmbH (früher Hans Wälischmiller GmbH)
- SCANCO Medical AG
- Shake GmbH
- Shimadzu
- SkyScan
- Toshiba IT & Control Systems Corporation
- Varian Medical Systems, Inc. (früher BIR Inc)
- Viscom AG
- Wenzel Volumetrik GmbH
- Werth Messtechnik GmbH
- XAVIS Co, Ltd
- Xradia, Inc.
- YXLON International X-RAY GmbH

Darüber hinaus gibt es Softwarehersteller, die Speziallösungen für CT-Datenvisualisierung und Auswertungen wie etwa Geometrie-Soll-Ist-Vergleich oder Porositätsanalyse anbieten. Hier seien nur die Anbieter Volume Graphics GmbH, Visualization Sciences Group und Fraunhofer Institut Techno- und Wirtschaftsmathematik genannt.

Die starke industrielle Basis der Röntgen-Computertomografie zeigt sich am Industrienachmittag, der vor der CT-Tagung am 27. Sep. veranstaltet wird. Hier werden im Rahmen von 14 CT-Hersteller-, SW-Anbieter- und Anwendervorträgen die Möglichkeiten und Potenziale der CT erläutert und diskutiert.

Als Co-Veranstalter konnten folgende Organisationen gewonnen werden:

- ÖGfZP (Österreichische Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung)
- DGZfP (Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung)
- SGZP (Schweizer Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung)
- DGM-Arbeitskreis Tomografie (Deutsche Gesellschaft für Materialkunde)

Das Programm für die Industrielle CT-Tagung am 28.+29. Sep. wurde durch einen 12-köpfigen Programmausschuss auf Basis eingereicherter Abstracts zusammengestellt, wobei im endgültigen Tagungsprogramm 38 Vorträge mit Beiträgen aus der Industrie und der Wissenschaft berücksichtigt werden konnten. Im Programmausschuss sind folgende Personen vertreten:

- Prof(FH). DI Dr. J. Kastner (FH OÖ Fakultät für Technik und Umweltwissenschaften, Wels/A)
- KR Ing. G. Aufricht (ÖGfZP, Wien/A)
- Dr. M. Bartscher (PTB, Braunschweig/D)
- Prof. Dr. H.-P. Degischer (TU Wien/A)
- DI A. Flisch (EMPA, Dübendorf/CH)
- Dr. J. Goebbels (BAM, Berlin/D)
- Prof. Dr. E. Gröller (TU Wien/A)
- Dr. S. Kasperl (FHG-EZRT, Fürth/D)
- Prof. Dr. F. Mücklich (Uni Saarbrücken/D)
- DI (FH) R. Oster (Eurocopter Deutschland GmbH, Ottobrunn/D)
- Dr. J. Reussner (Borealis, Linz/A)
- Dr. H. Traxler, (Plansee SE, Reutte/A)

Die Industrielle Computertomografie Tagung - Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, 3D-Materialcharakterisierung und Geometriebestimmung wird nach 2008 heuer zum zweiten Mal veranstaltet. Die 38 Vorträge geben sowohl einen Überblick über die neuesten Entwicklungen als auch über die etablierten Verfahren. Im Rahmen dieser Tagung werden der aktuelle Stand der Technik und Neuentwicklungen in folgenden Bereichen vorgestellt:

- CT für die zerstörungsfreie Prüfung von Metallen, Kunststoffen, Verbundwerkstoffen, Keramiken und anderen Materialien
- Anwendungen von CT in der Automobil-, Flugzeug- und Werkstoffindustrie
- CT als Werkzeug für die Entwicklung neuer Werkstoffe und Bauteile
- CT für die 3D-Materialcharakterisierung
- Geometriebestimmung mit CT im Makro- und Mikrobereich
- Erstmusterprüfung und Reverse Engineering
- Auswertung und Visualisierung von CT-Daten
- CT: Vom bildgebenden Prüfmittel zum kalibrierten Messmittel
- Neue Algorithmen und Softwarewerkzeuge für die Auswertung und Visualisierung von CT-Daten
- Korrektur- und Filterverfahren für bessere CT-Ergebnisse
- Quantitative Auswertung von CT Daten
- Normungswesen im CT-Bereich (z. B. VDI/VDE-GMA: Fachausschuss Computertomografie für die dimensionale Messtechnik)

- Neue CT-Verfahren, insbesondere hochauflösende und energiedispersive Verfahren sowie schnelle CT-Verfahren
- Synchrotron-CT-Verfahren
- Neuentwicklungen in der CT-Gerätetechnik

Die CT-Tagung wurde durch das COMET-Programm und zwar insbesondere durch das K-Projekt für zerstörungsfreie Prüfung und Tomografie unterstützt. Wir bedanken uns sehr herzlich bei den Fördergebern FFG – Österreichische Forschungsförderungs GmbH und Oberösterreichische Landesregierung.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei den beiden Mitarbeitern des Organisationskomitee DI(FH) Michael Reiter und Mag. Elena Spitzer, die sich sehr intensiv um die Proceedings und die operative Abwicklung der CT-Tagung kümmerten.

Nach dieser bereits zum zweiten Mal veranstalteten Industriellen CT-Tagung ist es geplant, diese Tagung in zwei Jahren wieder zu veranstalten und weiterzuentwickeln. Es würde uns sehr freuen, Sie in zwei Jahren wieder als Vortragender, Aussteller oder Besucher begrüßen zu dürfen.



Prof.(FH) DI Dr. Johann Kastner  
FH OÖ Campus Wels



# Inhalt

<b>Einführung.....</b>	<b>13</b>
<i>F. Mücklich, M. Engstler</i> Gefüge-Tomographie in der Mikro-, Nano- und atomaren Skala.....	15
<b>Zerstörungsfreie Charakterisierung von Faserverstärkten Werkstoffen CFK/GFK.....</b>	<b>21</b>
<i>R. Oster, T. Günther</i> Computertomographie und Bildverarbeitung ZFP an faserverstärkten Hubschrauberbauteilen	23
<i>B. Plank, J. Sekelja, G. Mayr, J. Kastner</i> Porositätsbestimmung in der Flugzeugindustrie mittels Röntgen-Computertomografie.....	25
<i>U. Hafßler, A. Müller, M. Khabta, R. Hanke</i> Erkennung von Mikrorissen in CFK-Proben mittels CT.....	35
<b>Zerstörungsfreie Prüfung von Polymeren und Verbundwerkstoffen.....</b>	<b>41</b>
<i>R. Glöckner, J. Wieser</i> Modellbasierte Fasererkennung mittels CT.....	43
<i>K.A. Kannappan; C. Heinzl; D. Salaberger; J. Kastner</i> Methode zur 3D-Charakterisierung von Fasern in verstärkten Polymeren.....	51
<i>I. Vecchio; M. Heneka, K. Schladitz</i> Partikelcharakterisierung in 3D.....	59
<i>G. Standfest, S. Kranzer, B. Plank, A. Petutschnigg, M. Dunky</i> Anwendung der Sub- $\mu\text{m}$ CT zur Charakterisierung von Holzwerkstoffen.....	65
<i>G. Pittino, L. Fritz, M. Hadwiger, G. Geier, J. Rosc, D. Habe, T. Pabel</i> Stahlfaserbewehrter Spritzbeton - CT basierende Visualisierung und Berechnung der Orientierung von Stahlfasern.....	71
<b>Zerstörungsfreie Charakterisierung von Metallen.....</b>	<b>77</b>
<i>A. Staude, T. Krah, J. Goebels, S. Büttgenbach</i> Ein dreidimensionaler Prüfkörper für die Lunkererkennung in Gussteilen mittels Computertomographie.....	79
<i>J. Rosc, G. Geier, D. Habe, T. Pabel, P. Schumacher</i> Methode für die Bewertung von Porositätsanalysen von CT Daten.....	85
<i>M. Hochegger, B. Harrer, S. Ilie, H.P. Degischer</i> Darstellung von Schädigungsmechanismen in Baustahlbrammen mittels Röntgen-Computertomografie.....	93

<i>J. Crespo-Casanova, H.P. Degischer, C. Ladron, E. Maire, K. Track, B. Harrer</i> In-situ Zugversuche an Sphärogussproben im Synchrotron-Strahl.....	101
<b>Spezialbeiträge.....</b>	<b>107</b>
<i>S. Ucsnik, M. Krumm, J. Hiller, S. Kasperl</i> Bestimmung des Schädigungsverlaufes einer zugbelasteten hybriden Metall-CFK- Verbindung mittels Computertomographie.....	109
<i>H. Behnsen, T. Fröba</i> Anforderungen an Röntgen-CT-Spezialröhren und die technische Umsetzung.....	115
<i>A. Wiegmann, J. Becker, L. Cheng, E. Glatt, S. Rief, K. Schmidt</i> Werkstoffmodellierung und Werkstoffeigenschaftenberechnung auf Basis von CT- Aufnahmen.....	117
<b>Alternative tomografische Verfahren.....</b>	<b>123</b>
<i>A. Hochreiner, T. Berer, P. Burgholzer</i> Remote Contactless Photoacoustic Imaging for Non Destructive Testing.....	125
<i>M. Wurm, Ch. Hofer, H. Traxler, A. Zabernig, B. Harrer</i> Vermessung der Laserbohrungen in faserverstärktem Graphit mittels Optischer Kohärenz Tomographie.....	133
<i>C. Grünzweig, E. Lehmann, A. Kaestner, P. Vontobel, S. Hartmann</i> Neutronen-Tomographie als Option für die zerstörungsfreie Prüfung.....	141
<b>Geometriebestimmung.....</b>	<b>143</b>
<i>A. Flisch, I. Jerjen, P. Hanimann</i> Einfluss wichtiger Kenngrößen auf die Messunsicherheit bei der Datenerfassung mit Com- putertomographie.....	145
<i>J. Hiller, S. Kasperl</i> Zum Verhältnis von Bildqualität und Messgenauigkeit in der CT-Metrologie .....	155
<i>M. Reiter, C. Heinzl, D. Salaberger, D. Weiss, C. Kuhn, J. Kastner</i> Simulative Parameteroptimierung für Metrologie an Multi-Materialbauteilen mit industri- eller Röntgen Computertomografie.....	163
<i>M. Kachelrieß</i> Selbstkalibrierende Computertomografie.....	175
<i>K. Ehrig, A. Staude, J. Goebbels, M. Bartscher, M. Koch, M. Neukamm</i> Evaluierung von Testkörpern zur Strahlauflösungskorrektur beim dimensionellen Messen mit Computertomographie.....	181
<i>R. Schmitt, S. Pollmanns, C. Niggemann, P. Fritz, M. Yildirim</i> Dimensionelles Messen mittels CT zur Bewertung neuer Implantologieverfahren in der Zahnmedizin.....	187

<i>J. Kroll, O. Refle, R. Becker</i> Industrielle Computertomographie im Produktentstehungsprozess.....	193
<i>L. Hagner, F. Mnich</i> Inline-Computertomographie als Qualitätstool in der Serienfertigung.....	201
<i>R. Christoph, I. Schmidt</i> Dimensionelle Vielpunktmessung an Mikrostrukturen – Vergleich zwischen Computertomografie und taktill-optischer Messung.....	211
<b>Einflüsse auf die CT-Messgenauigkeit.....</b>	<b>219</b>
<i>R. Schmitt, C. Niggemann</i> Einfluss der Bauteilorientierung auf die Messunsicherheit bei dimensionellen Computertomografie Messungen.....	221
<i>D. Weiss, A. Deffner, C. Kuhn</i> Einfluß der Quellungsbewegung auf Reproduzierbarkeit und Antastabweichung im Röntgen-Computertomographen.....	227
<i>K. Schörner, M. Goldammer, J. Stephan</i> Streustrahlenmessung und -korrektur durch Beamhole-Array und Beamstop-Array.....	235
<i>P. Krämer, A. Weckenmann</i> Simulative Abschätzung der Messunsicherheit von Messungen mit Röntgen-Computertomographie.....	243
<b>Spezielle tomografische Verfahren.....</b>	<b>249</b>
<i>C. Maaß, M. Knaup, S. Sawall, M. Kachelrieß</i> ROI-Tomografie (Lokale Tomografie).....	251
<i>M. Maisl, C. Schorr, F. Porsch, U. Haßler</i> Computerlaminographie, Grundlagen und technische Umsetzung.....	261
<i>O. Brunke, S. Becker</i> Vergleich zwischen Labor-CT und Synchrotron-basierter Computertomographie mit sub-Mikrometer-Auflösung.....	267
<i>I. Jerjen, V. Revol, C. Kottler, Th. Luethi, U. Sennhauser, R. Kaufmann, C. Urban</i> Differentielle Phasenkontrasttomographie: Eine vielversprechende Methode für die zerstörungsfreie Prüfung.....	271
<b>Autoren-Index.....</b>	<b>278</b>