
3D-Analysemethoden zur Bestimmung von Porosität, Defekten und Faserorientierung in Faserverbundkunststoffen auf Basis von Computertomographie

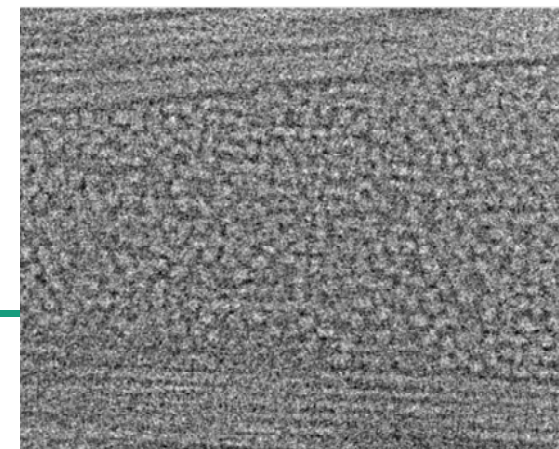
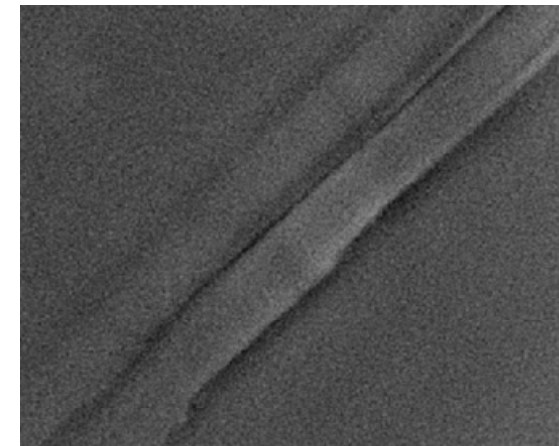
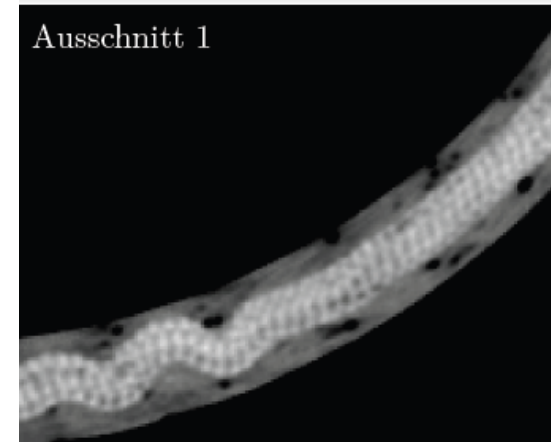
CONTROL 2014

**QUALITÄTSSICHERUNG FÜR DEN LEICHTBAU: MESSEN UND PRÜFEN
ENTLANG DER GESAMTEN PROZESSKETTE**

Andreas Frommknecht
Dr. Julia Kroll

Gliederung

- BMBF Projekt FaserInspekt
- Computertomographie zur Analyse von Faserverbundkunststoffen
- Porositätsanalyse
- Texturanalyse
 - Defekterkennung
 - Analyse der Faserorientierung
- Fortsetzung der Arbeit im EU Projekt QualiFibre
- Quellen



BMBF Projekt FaserInspekt

KMU-Innovativ: Produktionsforschung

Zielsetzung:

Zerstörungsfreie Inspektion von Faserverbundwerkstoffen mit kombinierter Prüftechnik aus hochauflösender Computertomographie (CT) und Thermographie

Projektpartner: RayScan Technologies GmbH

Zeitraum: 01.11.10 - 28.02.13

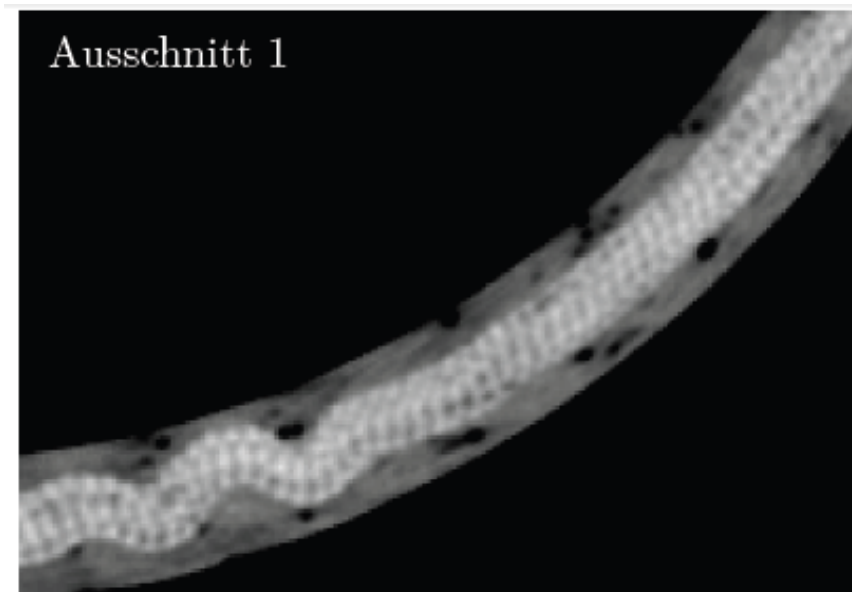
Computertomographie zur Analyse von Faserverbundkunststoffen

- Eignung:
 - Fehler von Faserverbundkunststoffen treten oft im Inneren auf und sind von außen nicht sichtbar
 - Nur Computertomographie ermöglicht die umfassende Darstellung der inneren Struktur
 - Notwendige Voraussetzung:
 - hochauflösende Aufnahmen
 - Vorteile:
 - innere Fehler und innere Struktur werden sichtbar
 - zerstörungsfrei
 - Nachteile:
 - zeitintensiv sowohl bei der Aufnahme, wie bei der Analyse
- ⇒ Insbesondere bei der Entwicklung neuer komplexer Bauteile ist die Computertomographie die geeignete Untersuchungsmethode

Poren von Faserverbundkunststoffen

Porositätsanalyse

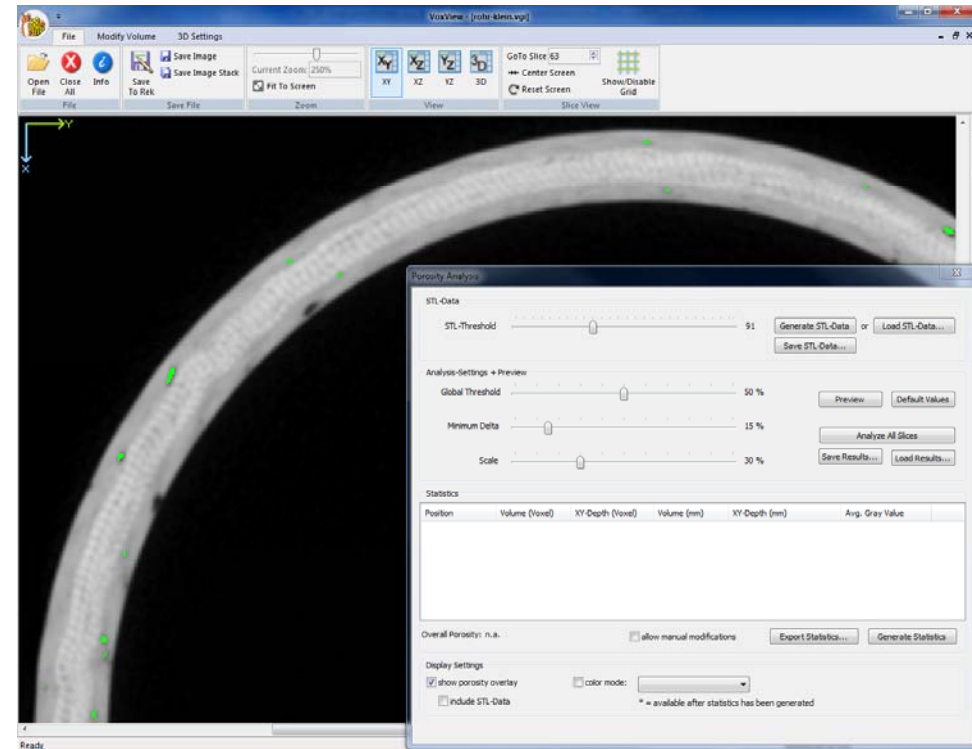
- Komplexe Zusammensetzung aus Fasern und Harz erschwert automatisiertes Auffinden aller Poren
 - Keine Standardlösung speziell für Faserverbundkunststoffe am Markt
- ⇒ Entwicklung einer adaptiven 3D-Porositätsanalyse für Faserverbundkunststoffe



Merkmale

Porositätsanalyse

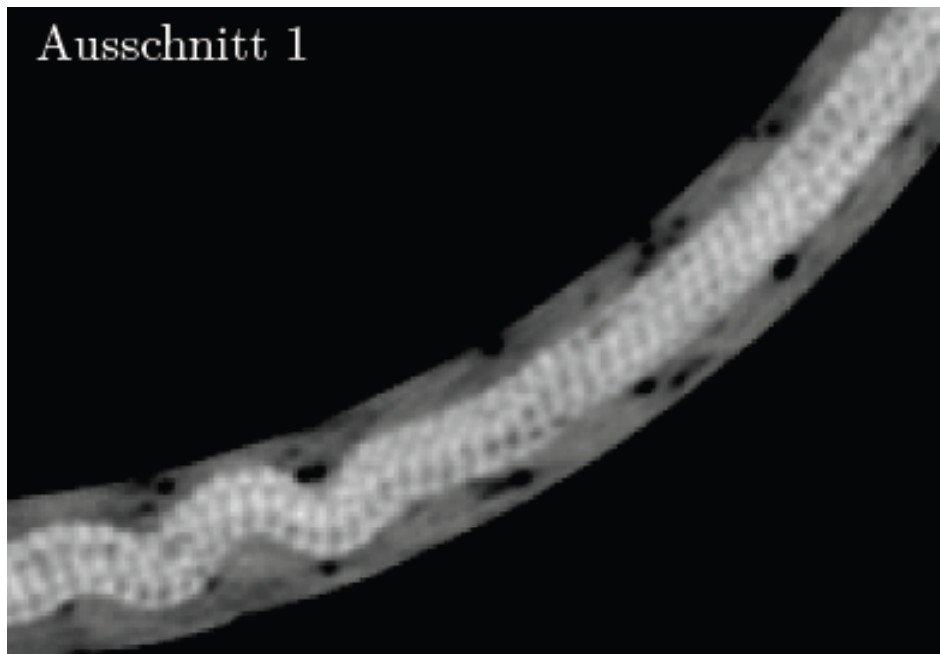
- Lokale Untersuchung statt globaler Schwellwert
- Manuelle Korrekturmöglichkeit
- Nutzerfreundlichkeit der Parameterbestimmung
- Eingebaut in hausinterne Visualisierungssoftware
- Preview Fenster zur Einstellung der passenden Parameter



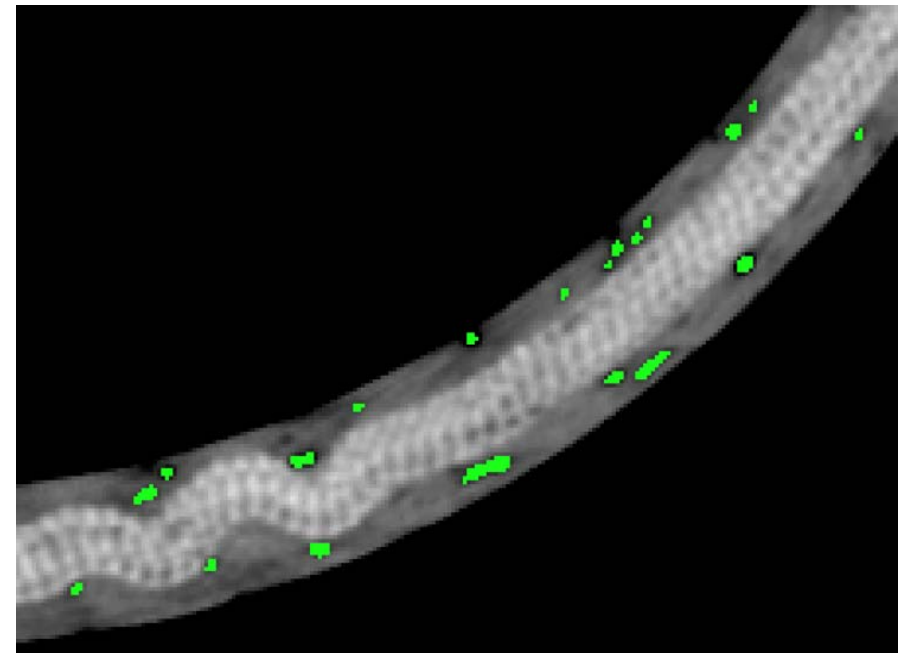
Analyseergebnis

Porositätsanalyse

Schnitt durch
Volumendatensatz



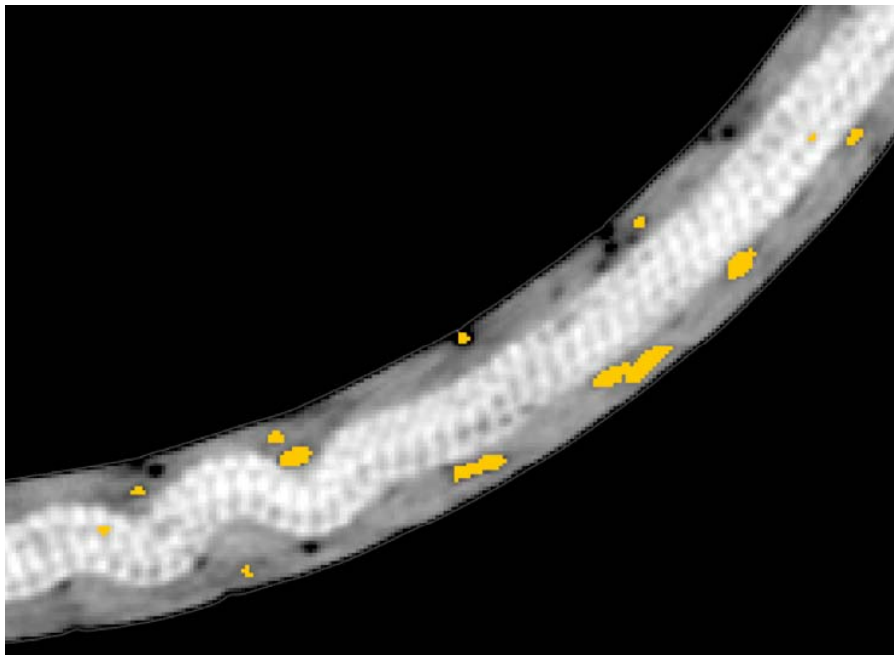
Schnitt durch analysierten
Volumendatensatz



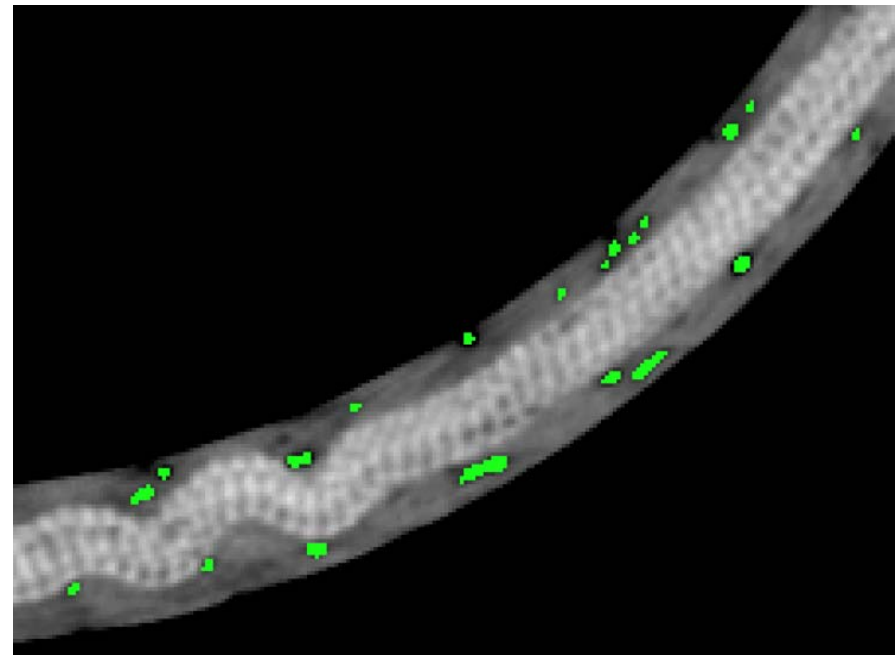
Vergleich mit VGStudio

Porositätsanalyse

Schnitt durch Analyseergebnis mit VGStudio



Schnitt durch analysierten Volumendatensatz

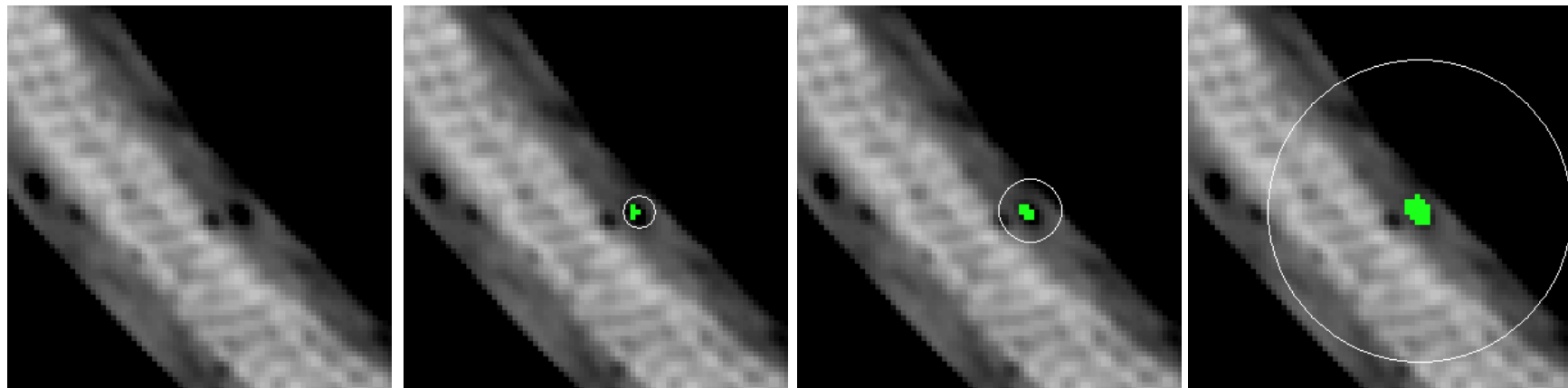


Manuelle Korrektur

Porositätsanalyse

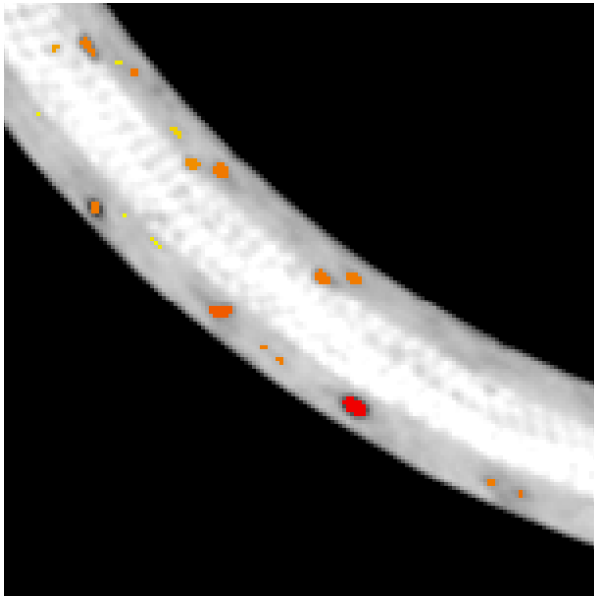
Möglichkeit zum manuellen

- Einfügen einer Pore durch Mausklick und Ziehen: lokale, automatische Analyse
 - Löschen einer Pore durch Mausklick
- ⇒ Benutzerfreundliche Ergebnisoptimierung mit direktem visuellem Feedback

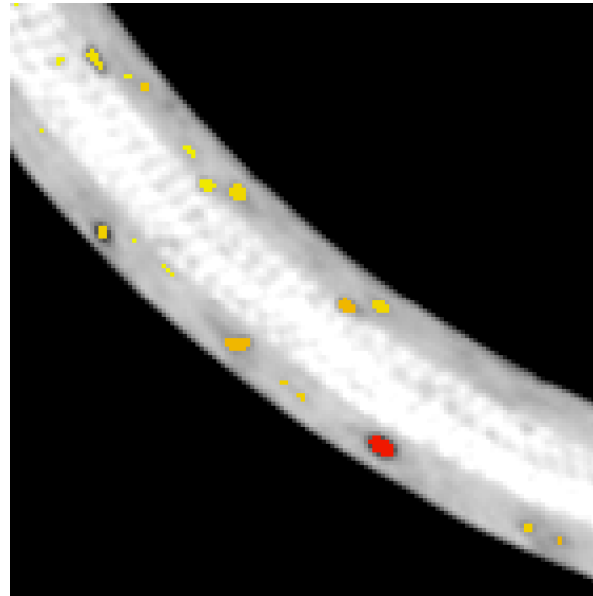


Verschieden farbkodierte Visualisierungen

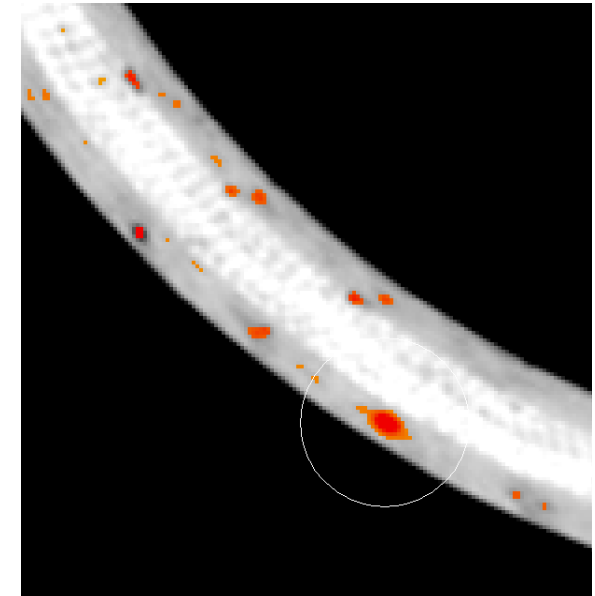
Porositätsanalyse



Abhängig vom Volumen
der Pore



Abhängig von Porentiefe
über die Voxelschichten

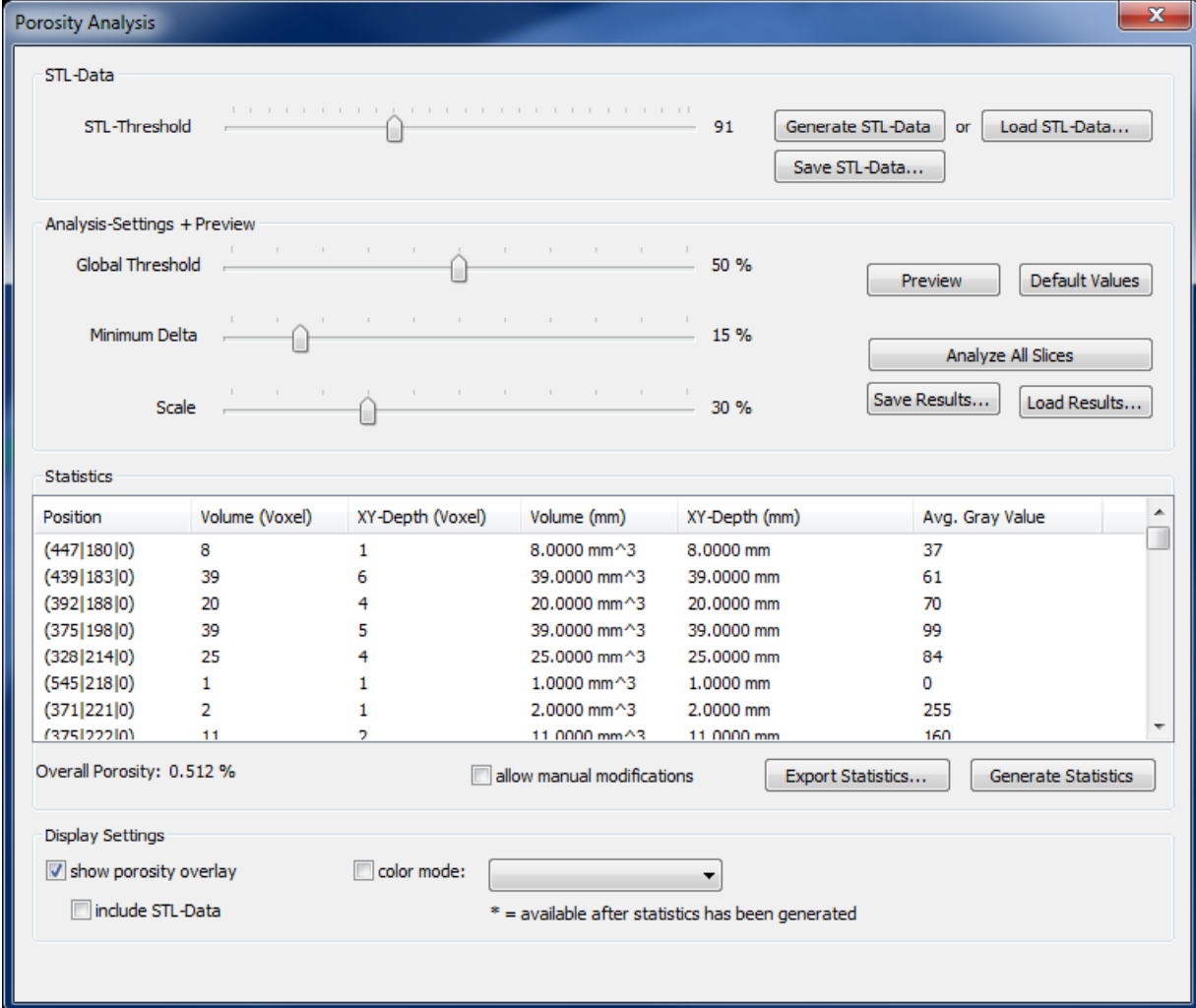


Abhängig vom
darunterliegenden
Grauwert

Quantitative Ergebnisse

Porositätsanalyse

- Statistik über:
 - Lokalisation (x-, y- und z-Koordinate)
 - Volumen
 - Tiefe
 - mittleren Grauwert



The screenshot shows the 'Porosity Analysis' software interface. It features several control panels and a data table.

STL-Data: Includes a slider for 'STL-Threshold' set to 91, and buttons for 'Generate STL-Data', 'Load STL-Data...', and 'Save STL-Data...'.

Analysis-Settings + Preview: Includes sliders for 'Global Threshold' (50%), 'Minimum Delta' (15%), and 'Scale' (30%). Buttons for 'Preview', 'Default Values', 'Analyze All Slices', 'Save Results...', and 'Load Results...' are also present.

Statistics: A table with the following data:

Position	Volume (Voxel)	XY-Depth (Voxel)	Volume (mm)	XY-Depth (mm)	Avg. Gray Value
(447 180 0)	8	1	8.0000 mm ³	8.0000 mm	37
(439 183 0)	39	6	39.0000 mm ³	39.0000 mm	61
(392 188 0)	20	4	20.0000 mm ³	20.0000 mm	70
(375 198 0)	39	5	39.0000 mm ³	39.0000 mm	99
(328 214 0)	25	4	25.0000 mm ³	25.0000 mm	84
(545 218 0)	1	1	1.0000 mm ³	1.0000 mm	0
(371 221 0)	2	1	2.0000 mm ³	2.0000 mm	255
(375 222 0)	11	2	11.0000 mm ³	11.0000 mm	160

Overall Porosity: 0.512 %

Display Settings: Includes checkboxes for 'show porosity overlay' (checked), 'include STL-Data', and 'allow manual modifications'. A 'color mode' dropdown menu is also present.

* = available after statistics has been generated

Fazit

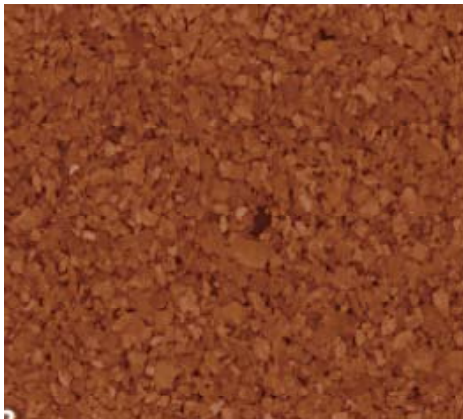
Porositätsanalyse

- Es werden sehr gute qualitative und quantitative Ergebnisse erzielt
- Poren werden automatisch gefunden und dargestellt
- Direkte Visualisierung bei Parameteränderung in aktueller Schicht
- Parameter schnell und einfach anpassbar
- Manuelle Nachbearbeitung möglich

Definition und Beispiele

Texturanalyse

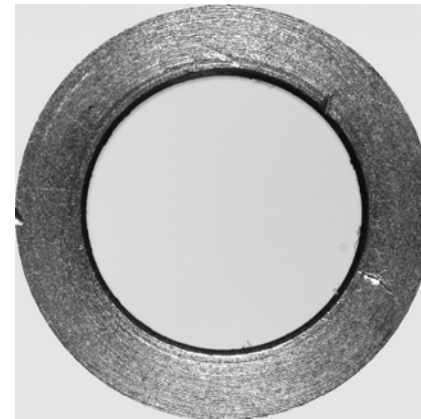
„Der Begriff der Textur bezeichnet eine Struktureigenschaft eines Musters oder Bildbereiches. Typische Texturen sind durch periodisch wiederkehrende Variationen von Grauwerten bzw. Mustern gekennzeichnet.“
(Handels 2009, S. 162)



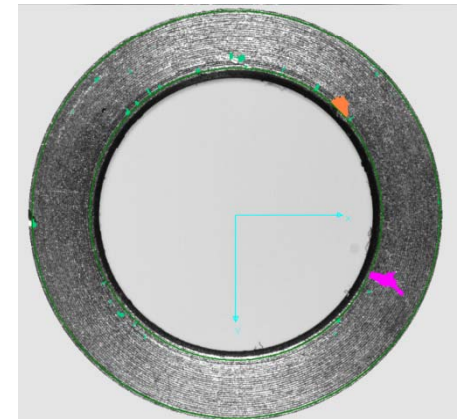
Korkfließ



Detektierter Fehler



Bauteil mit Schlagstellen

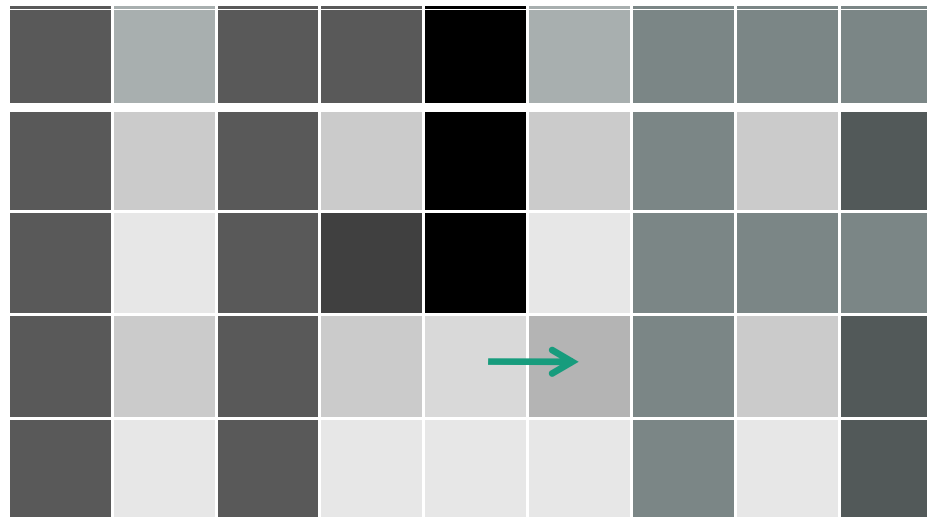


Detektierte Schlagstellen

Grauwertmatrizen

Texturanalyse

„Die relativen Häufigkeiten des Auftretens zweier Grauwerte in einer festen geometrischen Anordnung werden in Cooccurrence-Matrizen, auch Grauwertübergangsmatrizen [...] genannt, gespeichert [...] .“ (Handels 2009)

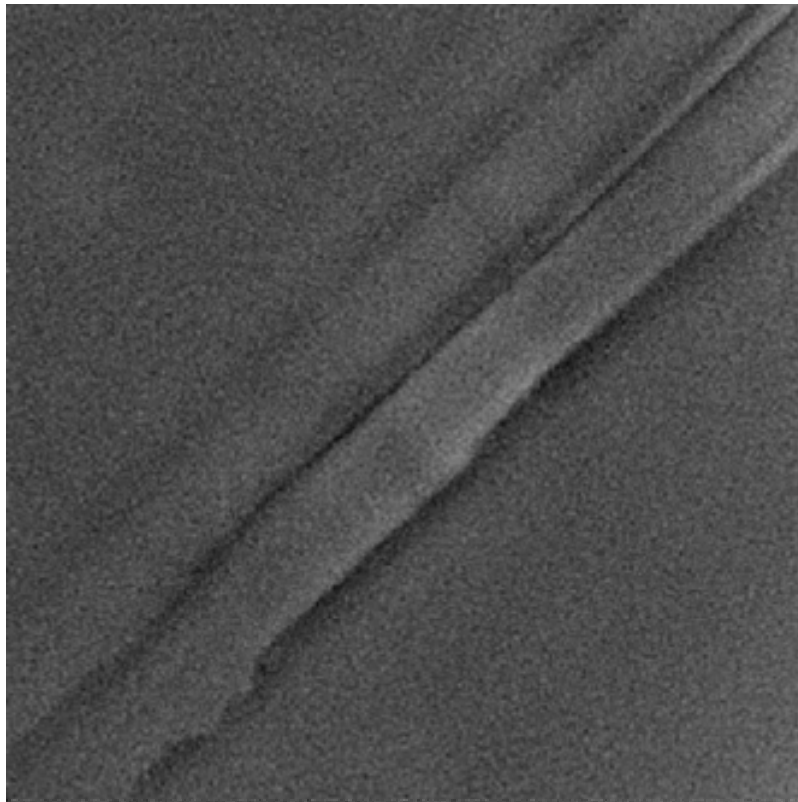


Umsetzung Texturanalyse

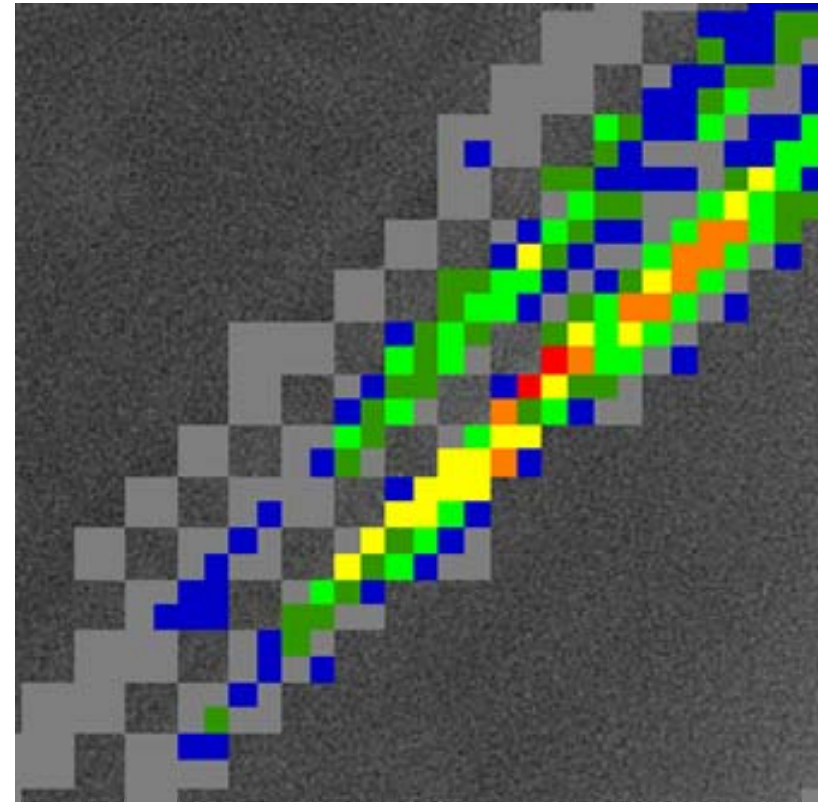
- Verwendung eines Split and Merge Verfahrens
- Volumen wird in Teilvolumina separiert und entsprechend der Textur wieder zu neuen Segmenten zusammengesetzt
- Defektanalyse: Kleine Segmente mit intern homogener und extern heterogener Textur werden als Fehlstellen markiert
- Analyse Faserorientierung: Orientierung der Segmente entspricht Orientierung der Fasern
- Visualisierung der Analyseergebnisse mit VGStudio

Defekterkennung Texturanalyse

Schnitt durch
Volumendatensatz



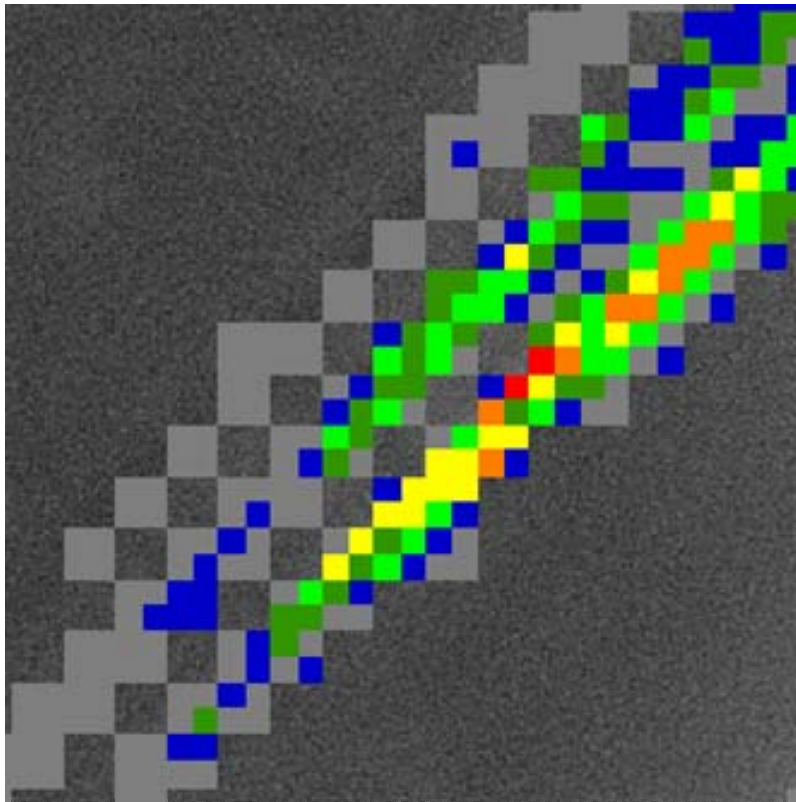
Schnitt durch analysierten
Volumendatensatz



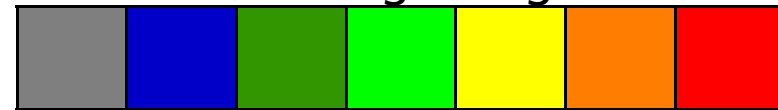
Defekterkennung

Texturanalyse

Defektanalyse



Anzahl der Texturübergänge
in Umgebung



0 1 2 3 4 5 6

Farbskala stellt Texturdifferenz von
niedrig nach hoch dar

Klassische Analyse der Faserorientierung

Texturanalyse

Vorgehen nach Salaberger 2011:

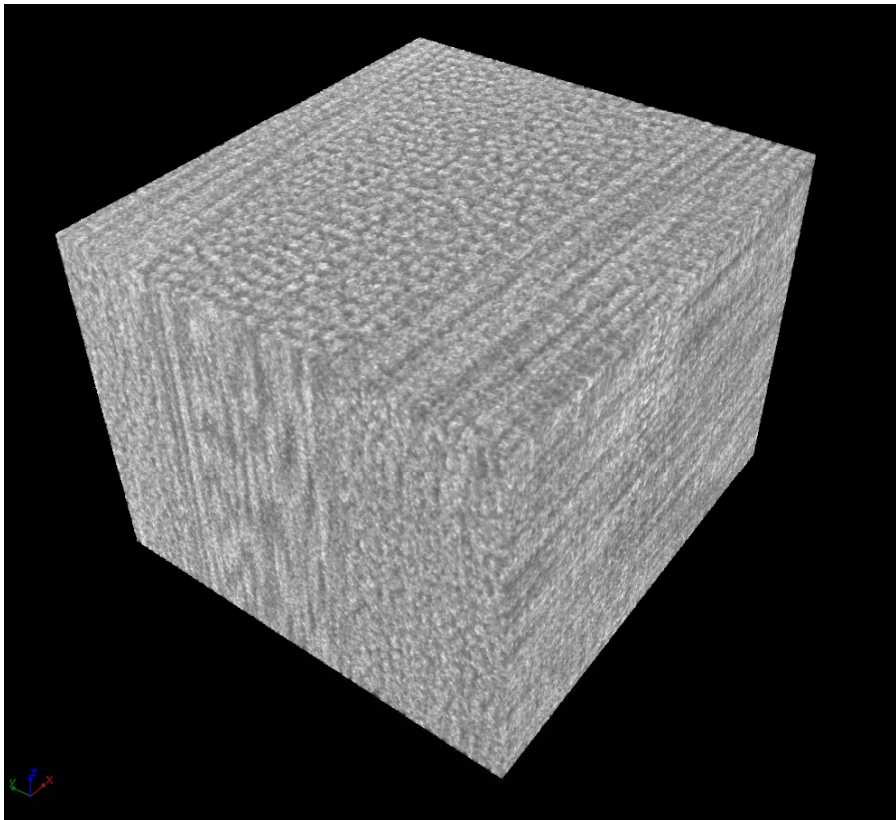
- Für jedes Voxel Berechnung der Hesse Matrix
- Berechnung der Eigenwerte der Hesse Matrix
- Analyse der Eigenwerte liefert Orientierung

Unterschied zur texturbasierten Analyse der Faserorientierung:

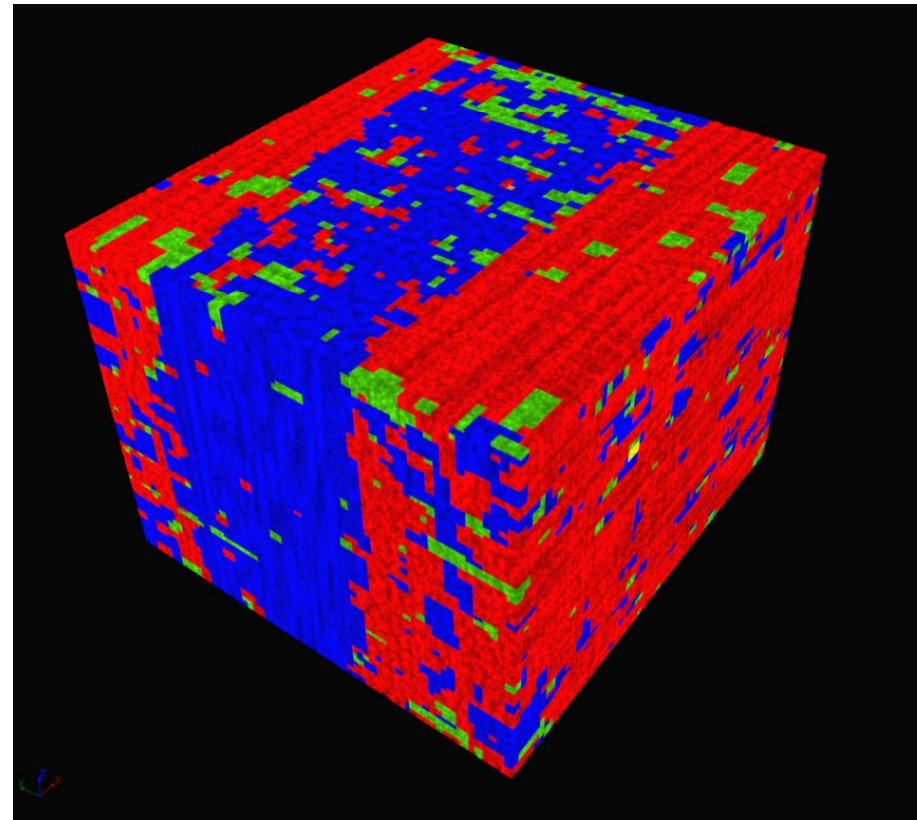
- Es ist nicht notwendig einzelne Voxel zu betrachten
- Keine Eigenwerte werden berechnet
- Orientierung der Fasern ergibt sich aus Orientierung der Segmente

Faserorientierung Texturanalyse

Volumendatensatz

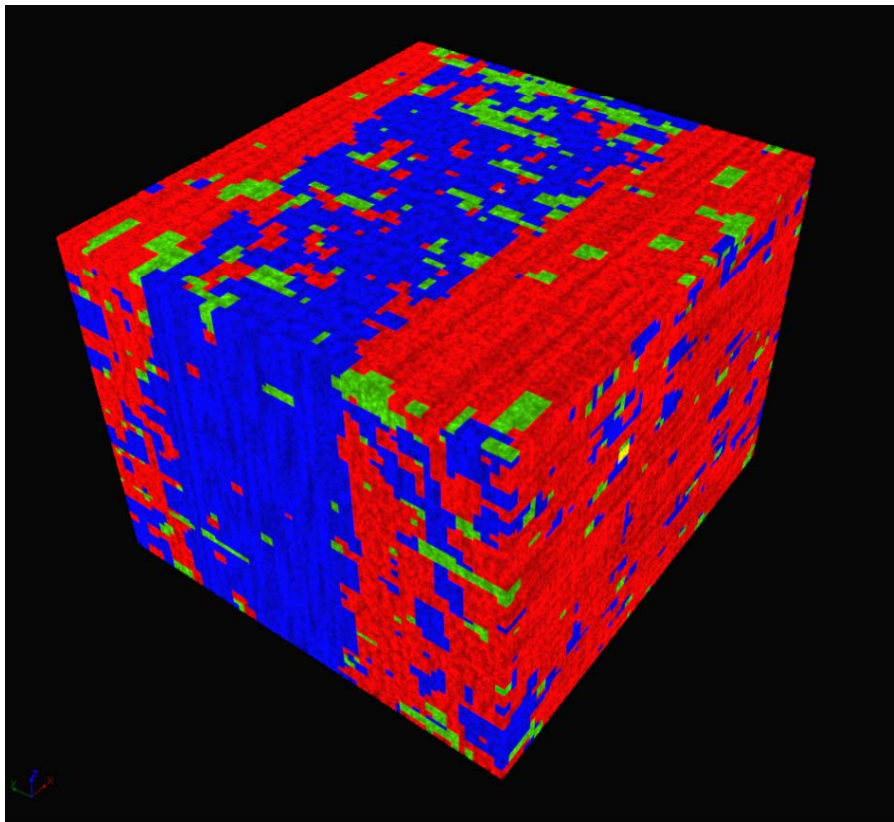


Analysierte Faserorientierung

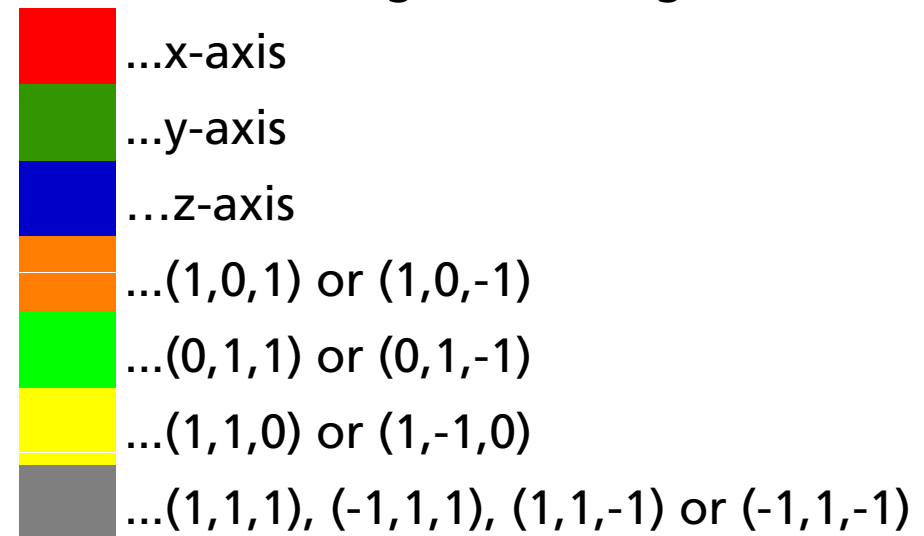


Faserorientierung Texturanalyse

Analysierte Faserorientierung

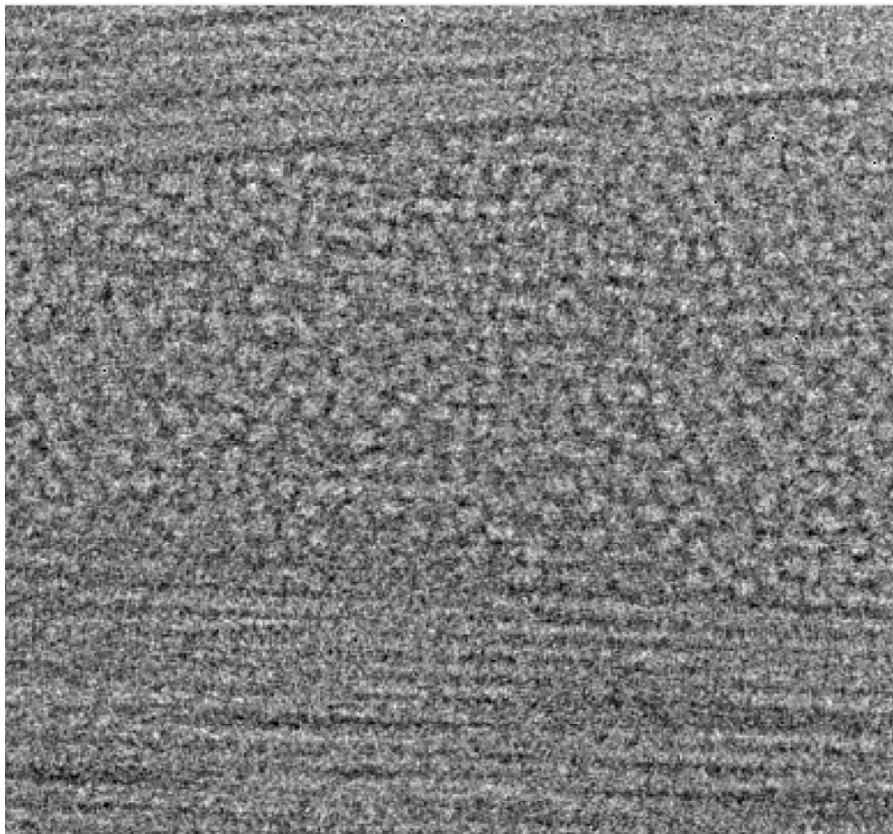


Orientierung in Richtung ...

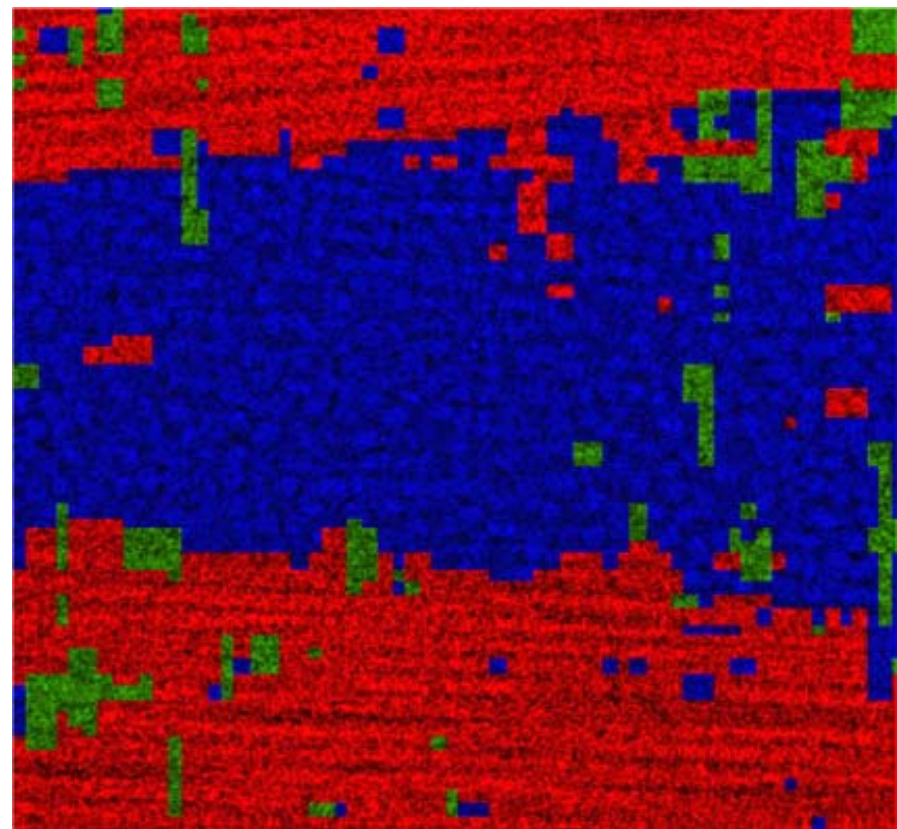


Faserorientierung Texturanalyse

Schnitt durch
Volumendatensatz



Schnitt durch analysierten
Volumendatensatz



Laufzeit Faserorientierung Texturanalyse

Dateiname	Größe in MB	Laufzeit in min
FaserInspektTestDatenUA.vgi	81	4
ROI_BlackPlate_15d_1_20050727094822.vgi	724	11

Getestet auf: Windows 7, 64 bit, Intel Core i7-2620m, 2,7GHz, 4 Gigabyte Ram

Fortsetzungen der Arbeiten im EU Projekt QualiFibre

Projektträger: EU (Research for the benefit of SMEs)

Projektpartner:

- Empa (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt), Dübendorf, CH
- Sonotec Ultraschallsensorik GmbH, Halle, D
- Steinbeis GmbH und Co. KG für Technologietransfer, Heidenheim, D
- Tomo Adour S.A., Pau, F
- RayScan Technologies GmbH, Meersburg, D
- Winterthur Instruments AG, Winterthur, CH

Projektbeginn: 01.12.2012

Laufzeit: 24 Monate

Ziel: Entwicklung eines vergleichbaren und messbaren Qualitätsstandards für CFK und GFK mittels CT, Darkfield Imaging, Thermographie und Ultraschall

Umsetzung: Softwareframework zu Demonstrationszwecken der unterschiedlichen Daten und ihrer Fusion

Quellen

Handels 2009

Handels, Heinz: Medizinische Bildverarbeitung. Aufl. 9.
Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009

Salaberger 2011

Salaberger, D.; Kannappan K. A.; Kastner J.; Reussner J.;
Auinger: Evaluation of Computed Tomography Data from
Fibre Reinforced Polymers to Determine Fibre Length
Distribution. In: International Polymer processing (26), S. 283-
291, 2011

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!