




2. Fachkongress Composite Simulation
28. Februar 2013 Schwabenlandhalle Fellbach, AFBW & VDC

„Unterstützung der numerischen Simulation
textilbasierter Werkstoffe mittels hochauflösender
Computertomographie“


Hermann Finckh, A. Dinkemann, F. Fritz,
Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denckendorf (ITV)
Bereich Automatisierung/Simulation

Leiter Hansjürgen Horter
Direktor: Prof.-Dr.-Ing. Heinrich Planck



Folie 1

Inhalt



INSTITUT FÜR TEXTIL- UND
VERFAHRENSTECHNIK
DENCKENDORF

1. Computertomographie (CT)
2. CT als Hilfsmittel für die numerische FE-Simulation
3. Anwendungsbeispiele faserbasierter Werkstoffe
4. Zusammenfassung und Ausblick

© DITF/ITV Computertomographie am ITV, Hermann Finckh

1. Computertomographie (CT)

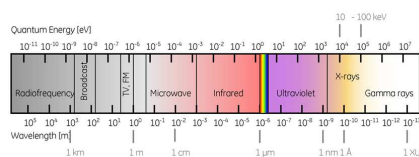


Computertomograph
nanotom m Phoenix |
X-Ray
Fa. GE Sensing &
Inspection
Technologies GmbH

beschafft über zwei BMBF-Projekte zur Analyse von faserverstärkten Composites und Oberflächenbeschichtungen :

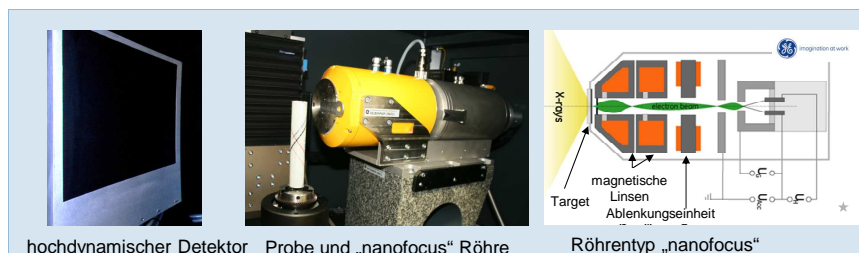
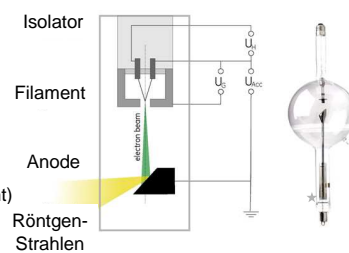
- *Energieeffizientes Pultrusionsverfahren zur Herstellung von Faserverbundbauteilen mit thermoplastischer Matrix in Serienanwendungen - TPult – (Okt. 2011-2014)*
- *Verbesserung der Energieeffizienz in der Textilveredlung durch den Ersatz trocknungsintensiver Tauchapplikationen durch wasserarme Veredlungsprozesse – ENTEX – (März 2010-2013)*

1. Computertomographie (CT) Grundlagen



- Röntgenstrahlen sind elektromagnetische Wellen (vgl. Licht)
- Wellenlänge liegt zwischen 0,001 bis 1 nm

★

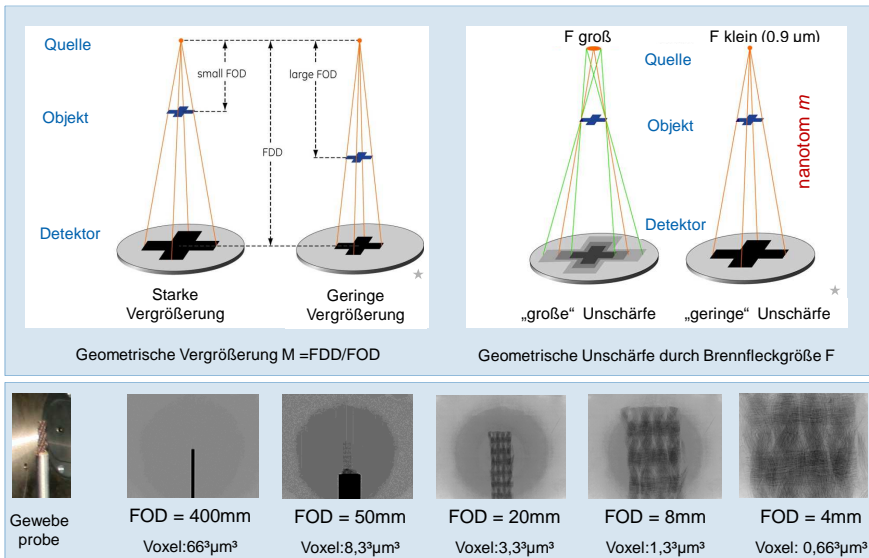


hochdynamischer Detektor

Probe und „nanofocus“ Röhre

Röhrentyp „nanofocus“

1. Computertomographie (CT) Vergrößerung und Unschärfe

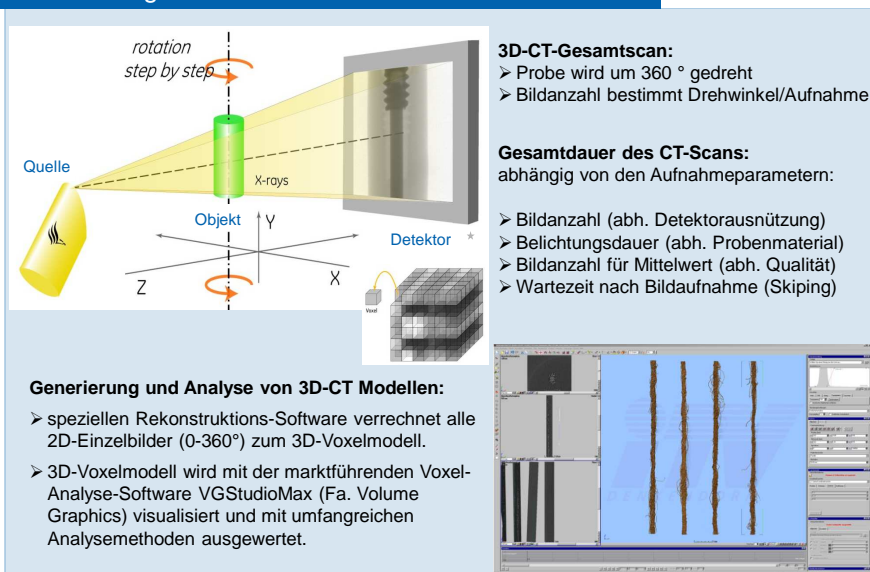


© DITF/ITV

Computertomographie am ITV, Hermann Finckh

★ Fundamentals of X-ray Inspection / Dr. H. Roth
2009-04-15

1. Computertomographie (3D-CT) Generierung von 3D-Voxelmodellen aus 2D-Bildern



© DITF/ITV

Computertomographie am ITV, Hermann Finckh

1. Computertomographie (CT) Einsatzbereiche

Einsatz der Computertomographie:

- Zerstörungsfreie Untersuchung von Proben - Hineinschauen und Analysieren

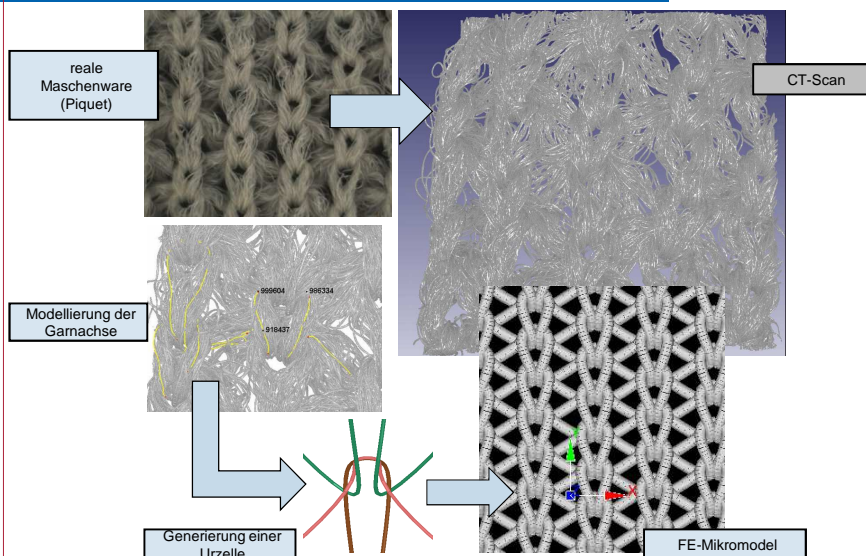
Im industriellen Bereich:

- Qualitätskontrolle (z.B. Maßhaltigkeit von Bauteilen, Soll- ist Vergleich mittels 3D CAD-Modellen, Lunker- und Porositätsbestimmung, Fehleranalyse etc.)

In Forschung und Entwicklung:

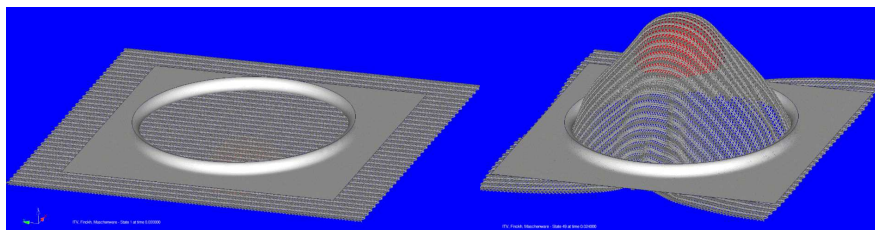
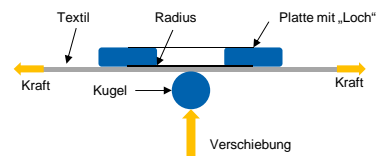
- Neue Möglichkeiten durch hochaufgelöste CT-Scans von μ bis zum nano-Bereich. Jede Probe hat aufgrund ihres Materials und Aufbaus ihre eigenen optimalen Aufnahmeparameter, die es zu finden gilt.
- Wichtiges Hilfsmittel zur Entwicklung textilbasierter High-Tech-Produkte.
- Die CT bietet die Möglichkeit – wenn auch mit hohem zeitlichen Aufwand – ganz neue Informationen/Erkenntnisse zu gewinnen.
- Wichtiges Hilfsmittel zur Generierung von FE-Simulationsmodellen und Verifizierung Verbesserung der numerischen Simulation

2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation – Generierung realitätsnaher FE-Mikro/Mesomodelle



2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation – Verifizierung von FE-Mikromodellen

- Drapiersimulation von einer Maschenware (Piqué) mittels einer Kugel (15 mm Ø)
- Experimentelle Drapierprüfung mit definiert vorgespanntem Textil, Kugel und Lochplatte (30 mm Ø)
- Vergleich Simulation mit der experimentellen Prüfung

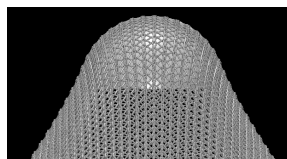


© DITF/ITV

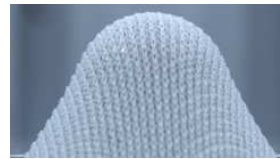
Computertomographie am ITV, Hermann Finckh



2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation – Verifizierung von FE-Mikromodellen



a) Simulation



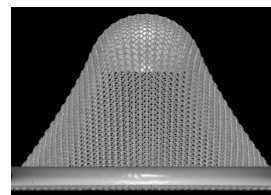
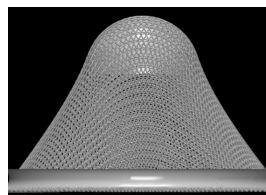
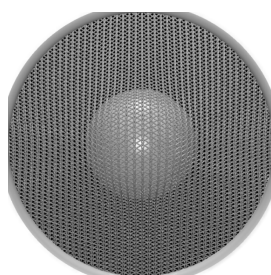
b) Experimentelle Prüfung (Bildokumentation)

Vergleich zwischen der experimentellen und der simulierten Bezugsprüfung (30 mm Eindrücktiefe)

Draufsicht

Frontansicht

Seitenansicht



Alle Fadensysteme grau eingefärbt

- Ziel: CT-Analyse für unterschiedliche Drapierzustände

© DITF/ITV

Computertomographie am ITV, Hermann Finckh

2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation Verifizierung von FE-Mesomodellen

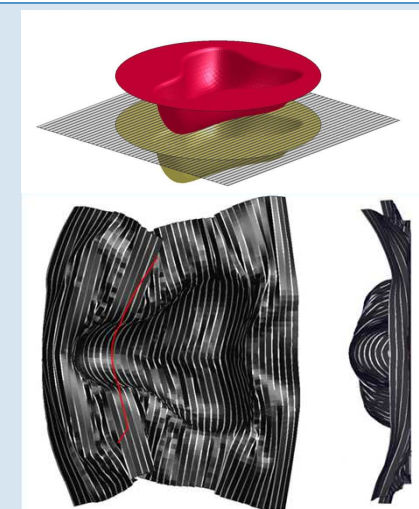


Drapieren eines unidirektionalen Geleges über eine komplex geformten Sattel-Geometrie
(starke Änderungen in der Faserorientierung und Faserverteilung)

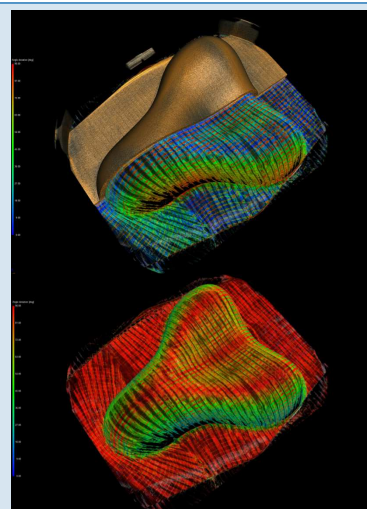


Vorbereitung des CT-Scans des drapierten Carbon Geleges

2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation Verifizierung von FE-Mesomodellen



Berechnet mittels FE-Mesomodel & LS-DYNA



Analysierte Faserorientierung aus 3D-CT Scan

2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation: TPult: Modellgenerierung / Prozesssimulation / Verifizierung

BMBF-Projekt :

Energieeffizientes Pultrusionsverfahren zur Herstellung von
Faserverbundbauteilen mit thermoplastischer Matrix in
Serianwendungen – TPult -

Produktion

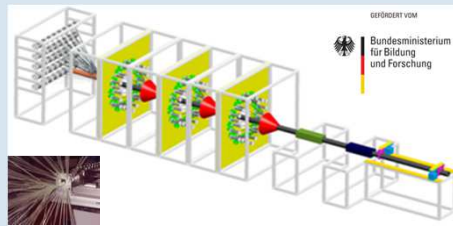


Composite Technologie
und Produktion



thomas
Technik + Innovation
Anlagenbau Pultrusion

Heraeus
Infrarot-Technology



Simulation (FEM) & CT



FE-(Prozess)Simulation,
CT-Aufnahmen und Auswertung



Auftragnehmer



Fa. Motion Safety
Technische Spezialanfertigung

Schwingungs-Technologie Anwender Steuerungstechnik

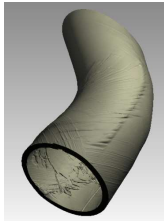
© DITF/ITV

Computertomographie am ITV, Hermann Finckh

2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation – Aufgaben im BMBF Projekt „TPult“



banded fibre reinforced tube
(thermoplastic matrix)



Projektaufgaben bzgl. FE-Simulation & CT-Analyse:

- Optimierung der CT-Scans zur Extraktion der Faserorientierung und Faserverteilung von flechtpultrudierten Rohren
- Mikromodellierung der faserverstärkten Bauteile (Glas- und Carbonfasern, thermoplastische Matrix) auf Basis hochauflösender CT-Scans
- Methodenentwicklung zur Abstraktion der ermittelten Faserinformationen für große faserverstärkte Bauteile (Homogenisierung / Composite-Mapping-Strategie)
- Prozess-Simulation (Flechten / Nachverformen)
- Belastungssimulation / Vorhersagefähigkeit
- Verifizierung der Simulationen mittels CT
- Qualitätsanalyse der hergestellten Faserverbundbauteile

© DITF/ITV

Computertomographie am ITV, Hermann Finckh

2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation

Zentrale Aufgabe „Ermittlung der Faserinformationen“



Hochauflösender 3D-CT-Scan:
mehrlagig flechtpultrudiertes
Rohr aus Glasfasern mit
thermoplastischer Matrix



Analyse der Faserorientierung

© DITF/ITV

Untersuchungen zur erforderlichen CT-Qualität & Auflösung zur bestmöglichen Extraktion der Faserorientierung und – Verteilung in Faserverbundbauteilen:

Durchführung der CT-Analysen mit max. Leistungsfähigkeit:

- Ausnutzung des kompletten Detektors (14,5 MB/Bild, ~ 4800 Bilder)
- Ausnutzung der max. Vergrößerung der Probe
- Geringe Röhrenspannung (Faser und Matrix haben geringe Dichte)
- Max. Filamentstrom für hohen Kontrast
- Lange Belichtungszeit (einige s für viele Grauwerte, hoher Kontrast)

Jedoch die extremen Scanparameter führen zu langen CT-Scanzeiten:
max. 8h (4800 Bilder, $t=3s$, Bildmittelung über 2 Bilder)

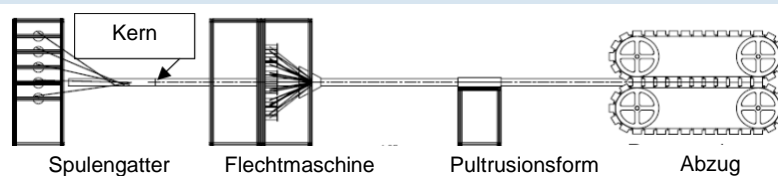
- 70 GB an Bilddateien (14,5 MB pro Bild)
- + ~60-70 GB für das rekonstruierte 3D-Voxelmodell

Intensive Kooperation mit der Herstellungsfirma GE mit dem Ziel der Optimierung des CTs bzgl. faserbasierte Werkstoffe

Computertomographie am ITV, Hermann Finckh

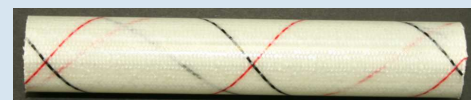
2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation

Bsp. flechtpultrudiertes GFK-Rohr (TPult)



Flechtpultrudiertes Rohr
aus 3 Lagen Glasfasern :

1. Lage: Geflecht mit Flechtwinkel 1
2. Lage: unidirektionale Verstärkungsfäden
3. Lage: Geflecht mit Flechtwinkel 2



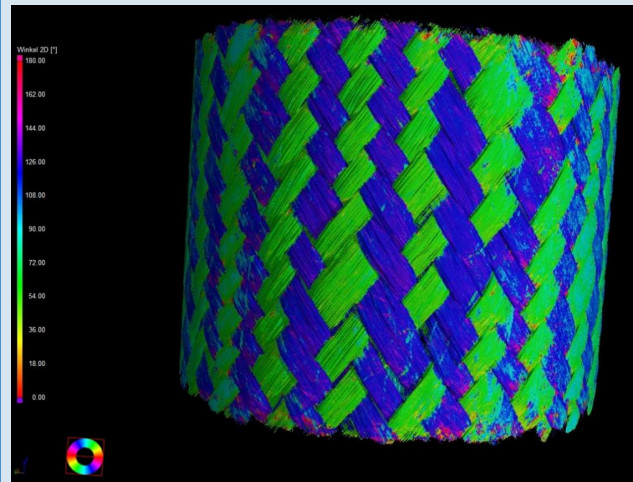
(Dichte Matrix: EP 1,2 g/cm³, Dichte Glasfaser: 2,6 g/cm³)

- Gut geeignet für „TPult“ Entwicklungsarbeiten Faserorientierung / FE-Simulation / Abstraktion
- Glasfasern/Matrix/Geometrie führen auch mit „kurzen“ 4 h CT-Scans zu guten Ergebnissen
- Probe besitzt unregelmäßig verteilte, unidirektionale Verstärkungsfäden

© DITF/ITV

Computertomographie am ITV, Hermann Finckh

2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation Bsp. flechtpultrudiertes GFK-Rohr (TPult)



3 lagiges, flechtpultrudiertes GFK-Rohr:

Extraktion und Darstellung der Faserorientierung (Winkel relativ zur Bildebene dargestellt)

➤ Einsatz des von
Volume Graphics
neu entwickelten
Softwaremoduls
„Fibre Composite
Material Analysis“

➤ Am ITV verfügbar

2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation Bsp. flechtpultrudiertes GFK-Rohr (TPult)



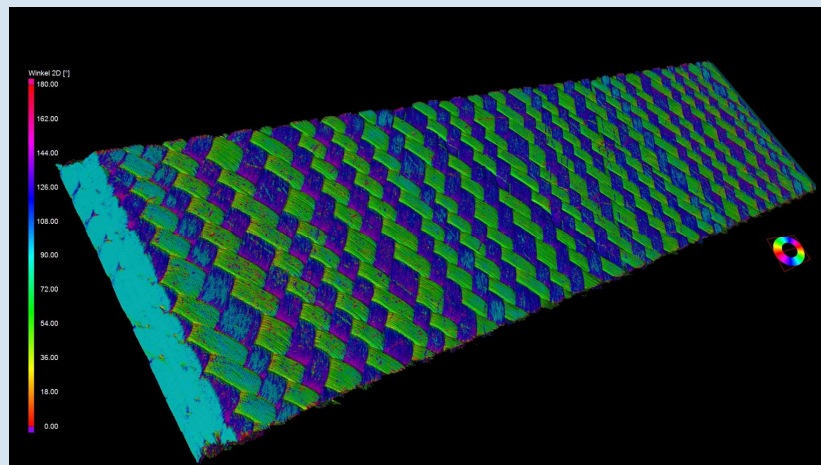
Erste Lage

Zweite Lage

Enthält
unregelmäßig
verteilte
uniaxiale
Verstärkungs-
äden

Abwicklung des GFK-Rohrs

2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation Bsp. flechtpultrudiertes GFK-Rohr (TPult)

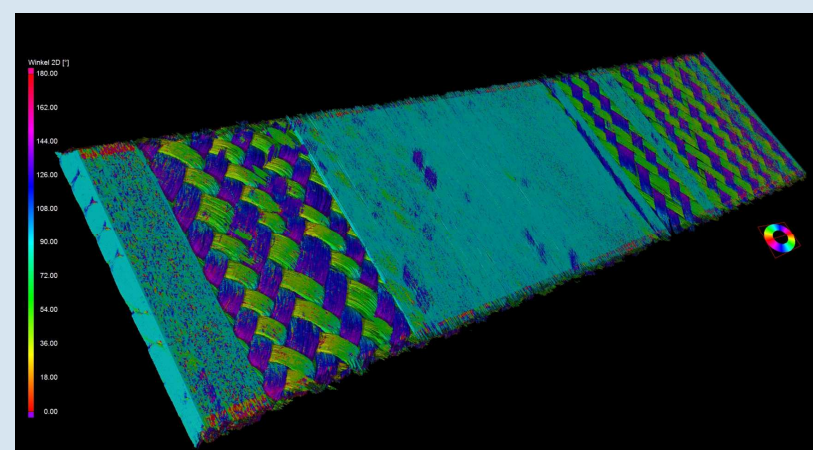


Darstellung der lokalen Orientierung
Erste Lage des abgewickelten GFK-Rohrs

© DIT/ITV

Computertomographie am ITV, Hermann Finckh

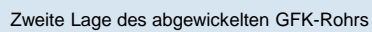
2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation Bsp. flechtpultrudiertes GFK-Rohr (TPult)



Darstellung der lokalen Orientierung
Zweite Lage des abgewickelten GFK-Rohrs

© DIT/ITV

Computertomographie am ITV, Hermann Finckh



Computertomographie am ITV , Hermann Finckh

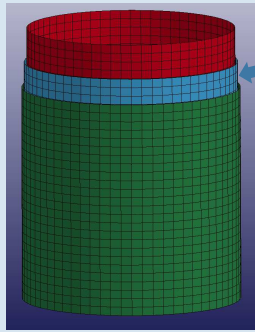
Zweite Lage mit unregelmäßig verteilten uniaxialen Verstärkungsfäden

Computertomographie am ITV , Hermann Finckh

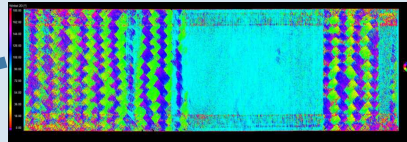
2. CT als Hilfsmittel für die FE-Simulation Bsp. flechtpultrudiertes GFK-Rohr (TPult)

Entwicklung Homogenisierungsstrategie:

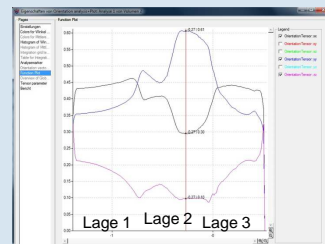
- Abstraktion der exakten Faserinformationen auf FE-Ersatzmodelle
- Zur Berechnung großer Bauteildimensionen



Jede einzelne Lage wird durch ein Rohrmodell aus Flächenelementen abgebildet (Projektpartner Fa. DYNAmore)



Abgewinkelte 2. Lage (Pos. rote Line im Diagramm)

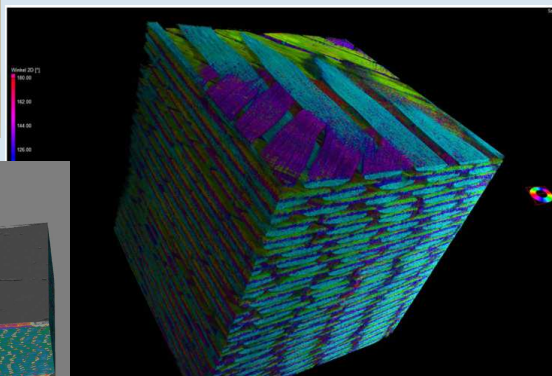
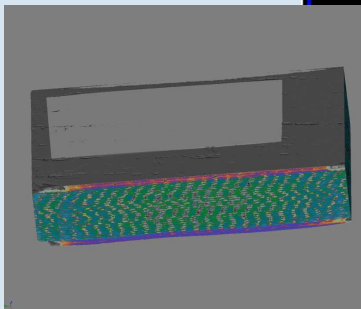


Faserorientierung in 3 Hauptrichtungen (x, y, z) über der Wanddicke

4. Anwendungsbeispiele textilbasierter Werkstoffe Sandwichplatte aus CF und GFK-Schichten



- Deckplatten aus Carbongelege
- Zwischenschichten aus Glasfasergelegen

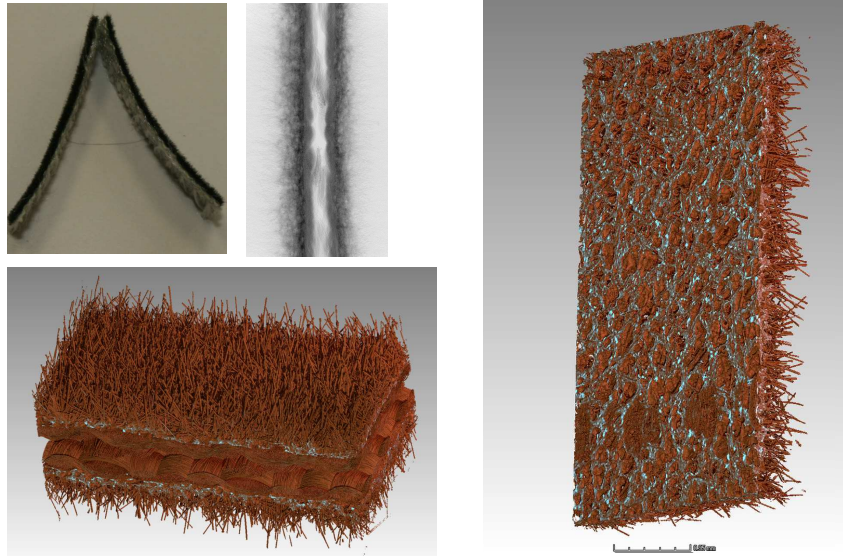


Faserschichten aus 3D CT-Scan analysiert

4. Anwendungsbeispiele textilbasierter Werkstoffe

Beflocktes Gewebe

INSTITUT FÜR TEXTIL- UND
VERFAHRENSTECHNIK
DENKENDORF



© DITF/ITV

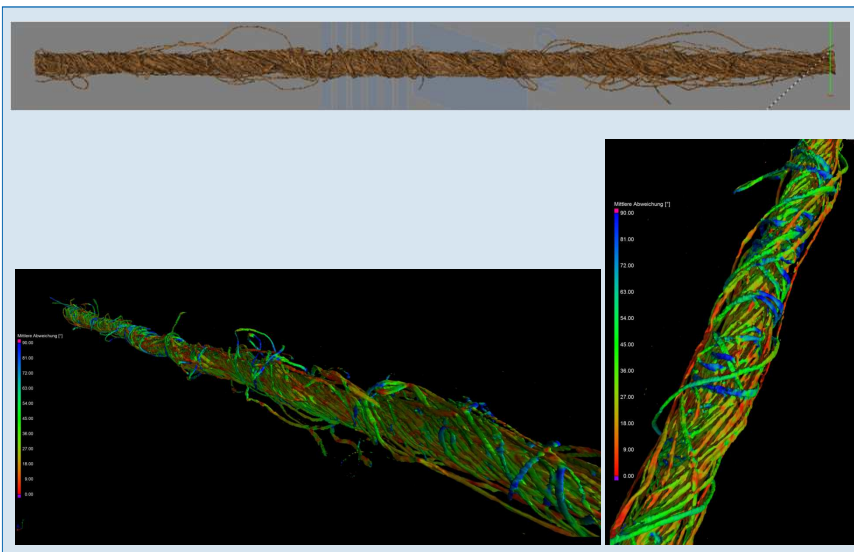
Computertomographie am ITV, Hermann Finckh



4. Anwendungsbeispiele textilbasierter Werkstoffe

Stapelfasergarn - Faserorientierungsanalyse

INSTITUT FÜR TEXTIL- UND
VERFAHRENSTECHNIK
DENKENDORF



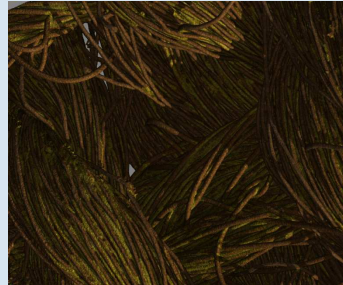
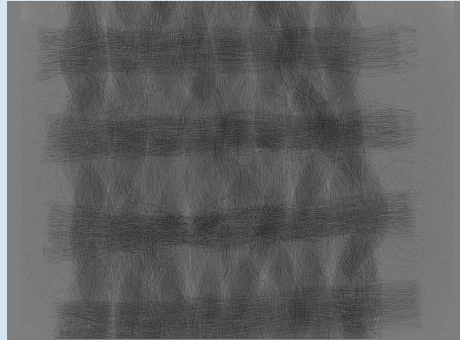
© DITF/ITV

Computertomographie am ITV, Hermann Finckh



4. Anwendungsbeispiele textilbasierter Werkstoffe

Beschichtetes PES-Gewebe



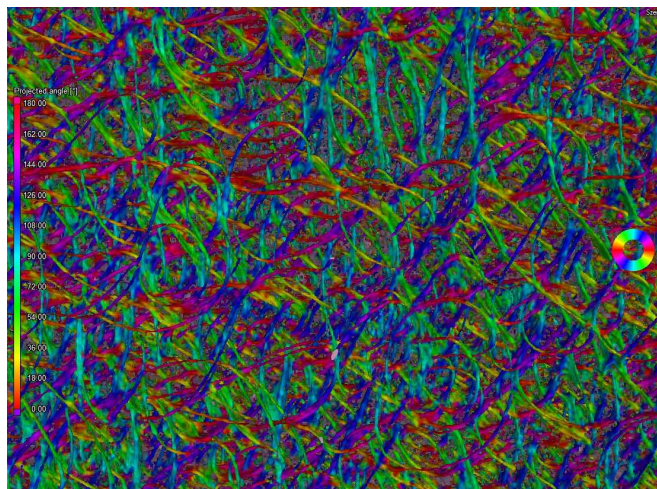
PES-Gewebe ausgerüstet mit einer Beschichtung zur Verbesserung der Abriebsfestigkeit (BMBF Projekt ENTEx)



- Beschichtung ist gut erkennbar

4. Anwendungsbeispiele textilbasierter Werkstoffe

Vliesstoff



5. Zusammenfassung und Ausblick

- Die Computertomographie ist ein wichtiges Hilfsmittel für die numerische Berechnung, insbesondere für faserverstärkte Kunststoffe.
- Faserorientierungs-Analysen geben essentielle Informationen zur Generierung von FE-Berechnungsmodellen:
 - genaue Mikro/Meso-Modelle für Berechnungen kleiner Dimensionen
 - Abstrahierte Ersatzmodelle für große Bauteilberechnungen.
- Hochauflösende Computertomographie führt zu ganz neuen Möglichkeiten in Forschung und Entwicklung.
- Faserorientierungsmodul am ITV verfügbar.
- Generelle Probleme :
 - Hochauflösende CT-Scans benötigen lange Scandauer
 - Große Datenmengen & hoher Auswertungsaufwand
 - Scanparameter müssen für jede Probe optimiert werden

© DITF/ITV

Computertomographie am ITV, Hermann Finckh



Vielen Dank !

Hermann Finckh
Tel.: (0711) 9340-401
Email: hermann.finckh@itv-denkendorf.de



"Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt TPult wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ (02PJ2180) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor."



Folie 30