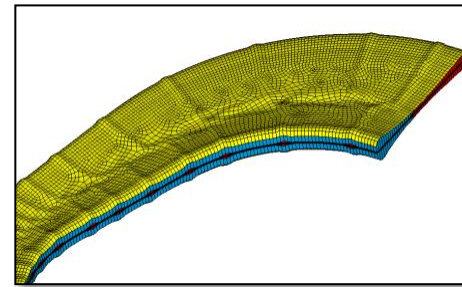
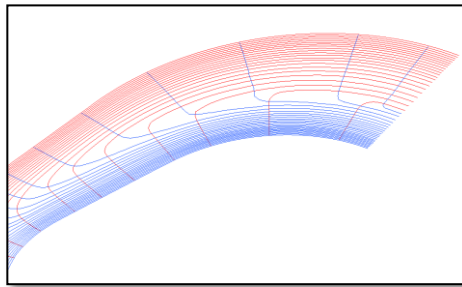


Möglichkeiten zur Struktursimulation variabelaxialer Faser-Kunststoff- Verbundbauteile am Beispiel der TFP-Technologie



3. Fachkongress Composite Simulation

20. März 2014 Schwabenlandhalle, Fellbach

Axel Spickenheuer^{1,2}, Lars Bittrich^{1,2}, Kai Uhlig¹, Emanuel Richter¹, Gert Heinrich^{1,3}

¹ **Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.**

Institut für Polymerwerkstoffe
Hohe Straße 6, D-01069 Dresden
www.ipfdd.de/tfp-technologie

² **Complex Fiber Structures GmbH**

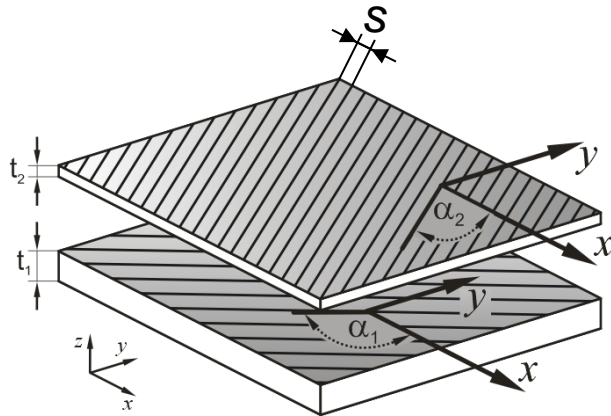
³ **Technische Universität Dresden**

Institut für Werkstoffwissenschaft
Professur für Polymerwerkstoffe und Elastomertechnik

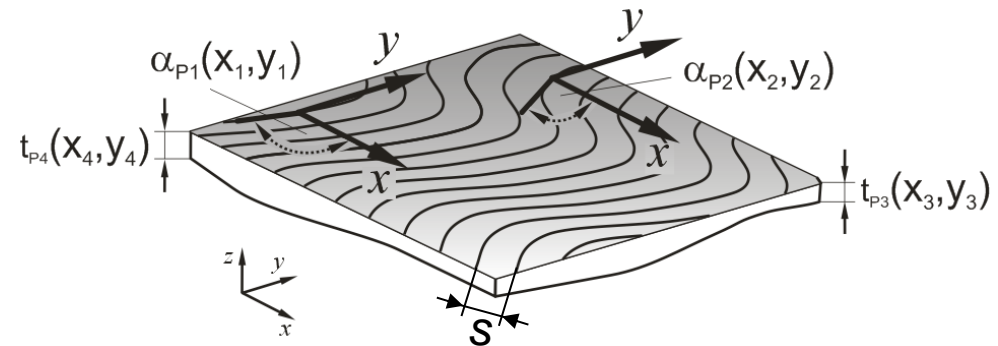


- Variableaxiale Faserverbundstrukturen
- Tailored Fiber Placement (TFP) - Technologie
- Auslegung variableaxialer Faser-Kunststoff-Verbunde
- Bauteilmodellierung mit der Software *AOPS*
- Zusammenfassung und Ausblick

Multiaxiale Faserverbunde



Variableaxiale Faserverbunde



Orientierungswinkel innerhalb einer Lage

$\alpha = \text{const.}$

$\alpha \neq \text{const.}$

Abstand benachbarter Verstärkungsfäden

$s = \text{const.}$

$s \neq \text{const.}$

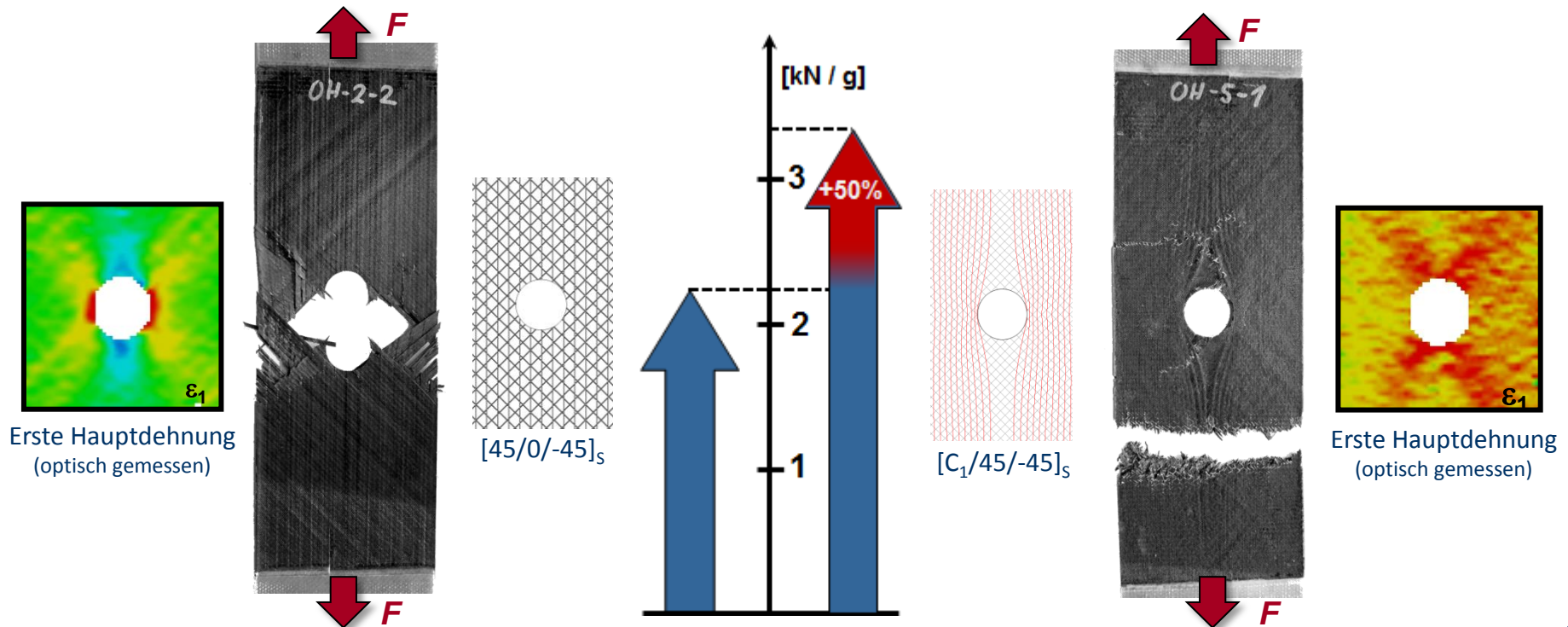
Lagendicke

$t = \text{const.}$

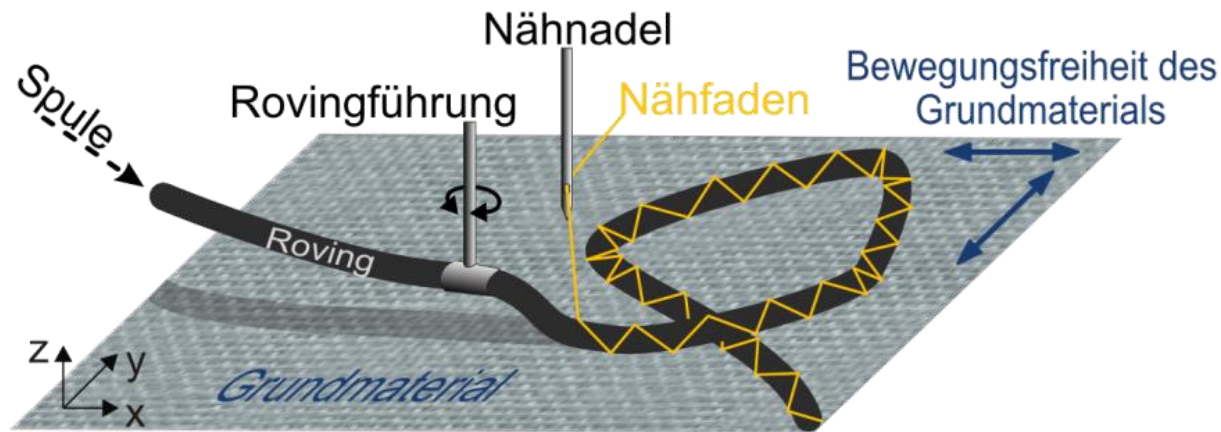
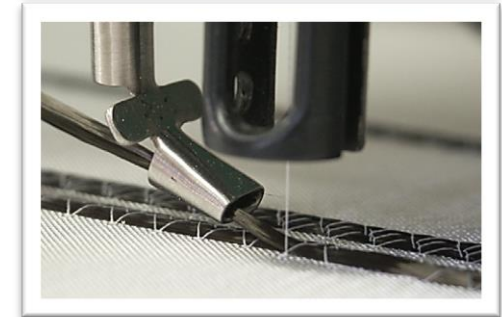
$t = f(s)$

- Bestmögliche Ausnutzung des anisotropen Materialverhaltens für Faser-Kunststoff-Verbund (FKV) Bauteile
- Für gewisse Bauteiltypen liegt das Leichtbaupotential weit über dem multiaxialer FKV-Strukturen

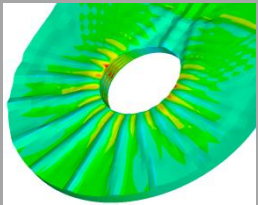
Beispiel: Steigerung der massebezogenen Bruchlast an *open-hole* CFK-Zugproben um 50 %



- Textile, endkonturnahe variabelaxiale Preformtechnologie
- Verstärkungsfäden (Kohlenstoff, Glas, Natur & Thermoplasthybrid, mit 1 K - 50 K) mit Basismaterial (Folie, Gewebe, MAG) nahezu beliebig kombinierbar
- Ablagegeschwindigkeit bis 5 m/min pro Kopf, industrielle Mehrkopfsticktautomaten (≥ 10 Köpfe)
- Rahmengröße begrenzt (Sub-)Preformen, Dicke $t \leq 6$ mm
- Ablageradius $R \geq 5$ mm

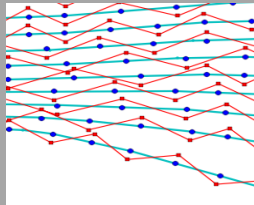


Bauteil- Auslegung



Computer gestützte
Verfahren zur
BauteilAuslegung
benötigt

Erstellung Ablagemuster



Automatisierter
Punchprozess
komplexer
Linienmuster
wünschenswert

Fertigung der Preform



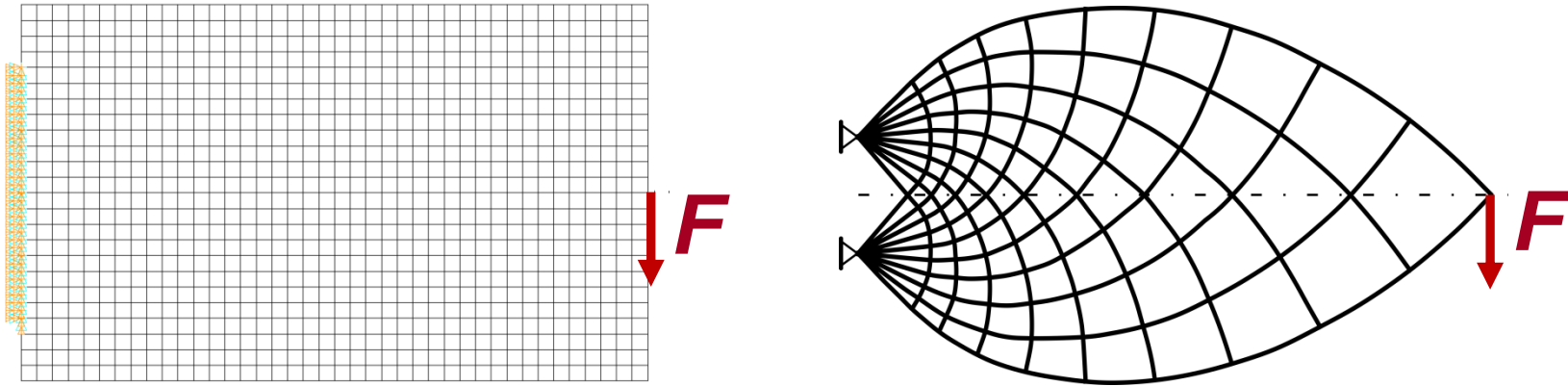
Tailored
Fibre
Placement
Automaten

Fertigung FKV-Bauteil



Ableitung
komplexe
Werkzeug-
topographien
für Injektions-
Werkzeuge
notwendig

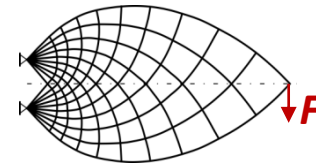
Beispiel: Steifigkeitsoptimierung einer biegebelasteten Scheibe



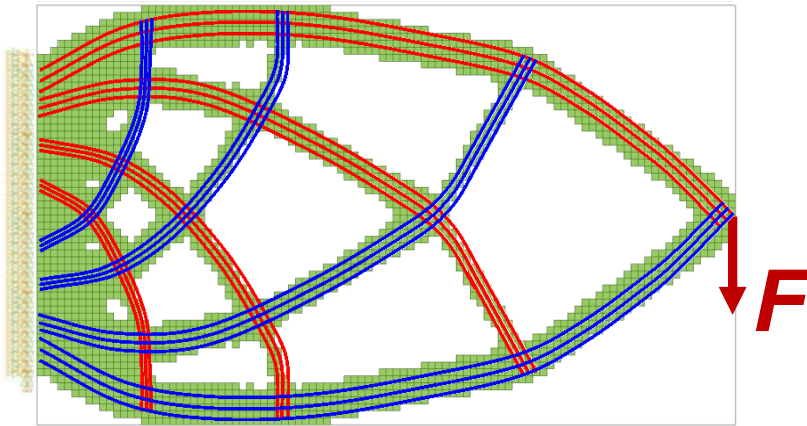
- Analytische Lösung einer masseminalen und steifigkeitsmaximierten Tragwerksstruktur bereits von MICHELL (1904) vorgestellt
- Einschränkungen:
 - Nur geeignet für besondere Strukturfälle!
 - Nicht anwendbar bei multiplen Lastfällen!
 - **Keine praktische Anwendung möglich!**

Allgemeingültige Verfahren zur Bauteilauslegung notwendig!

Beispiel: Steifigkeitsoptimierung einer biegebelasteten Scheibe

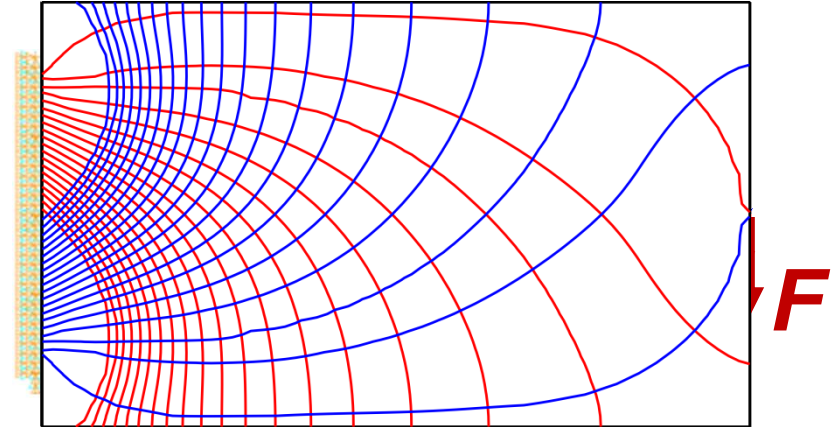


■ Topologieoptimierung



- Diskrete Tragswerksstruktur (basierend auf isotropen Materialverhalten)
- Sinnvolle Ergebnisse für multiple Lastfälle möglich
- Kommerzielle Softwareprodukte verfügbar
- Manuelle TFP-Mustererstellung nötig

■ Materialoptimierung

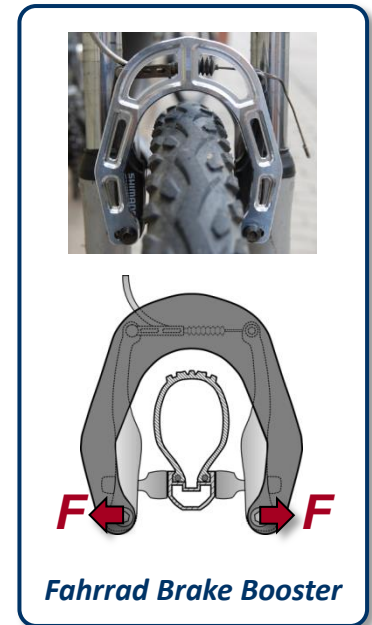
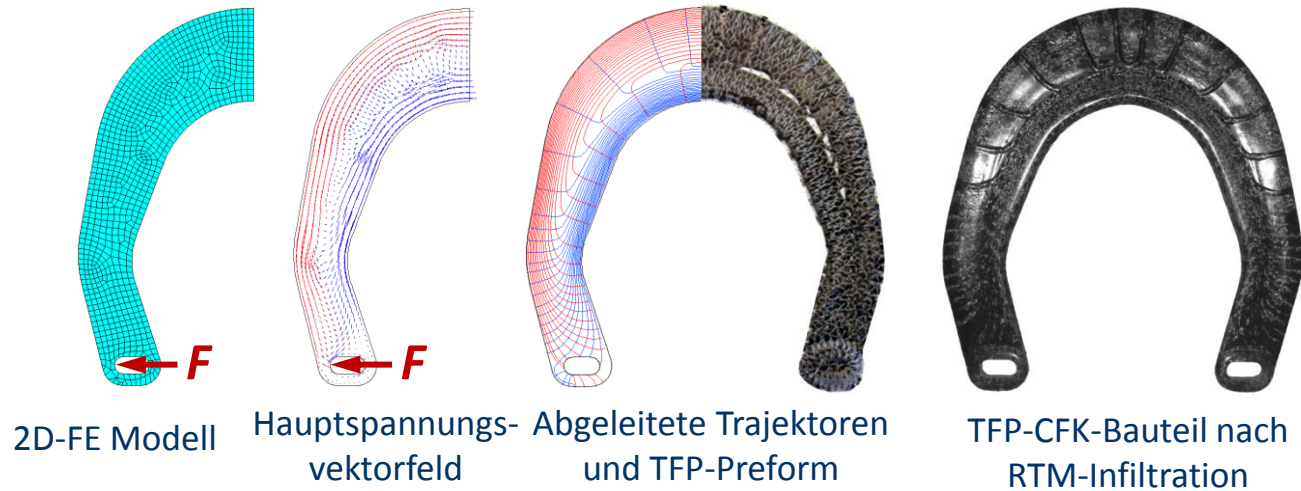


- Trajektorienmuster basiert auf isotrop berechnetem Hauptspannungsfeld
- Eingeschränkt auf Einzellaststrukturen
- Keine kommerzielle Software verfügbar
- Problematische Überführung der theoretischen Muster für reale Bauteilfertigung

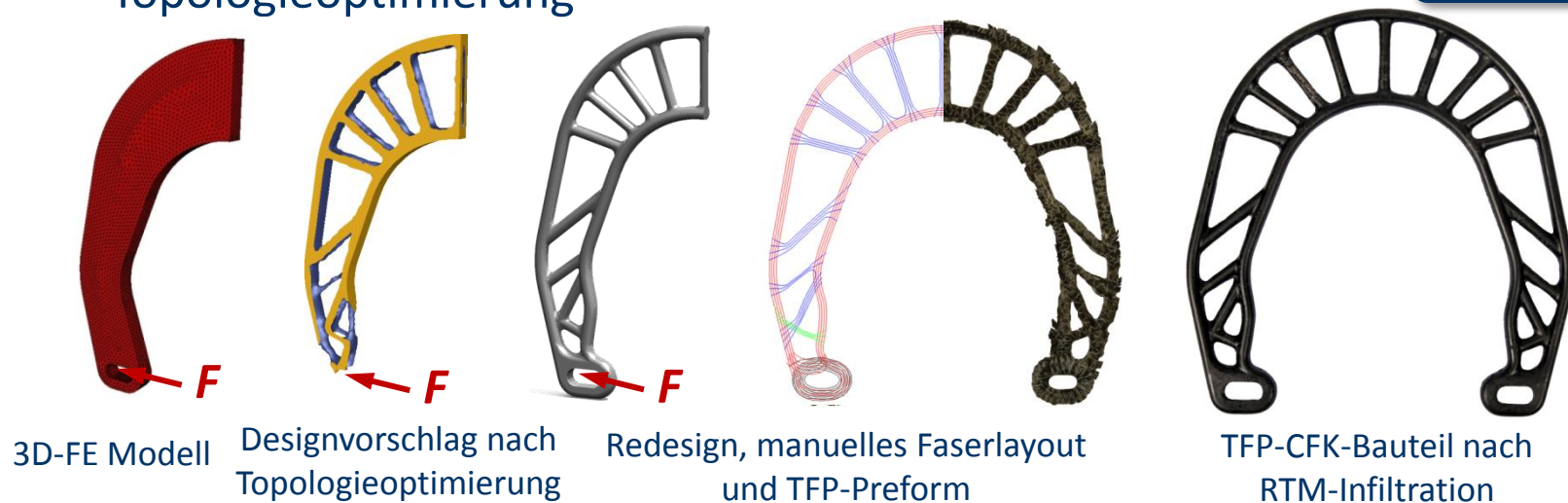
Beide Verfahren helfen derzeit nur einen Design-Vorschlag zu erstellen!

Beispiel: Steifigkeitsoptimierung eines Fahrrad Brake Boosters

Materialoptimierung

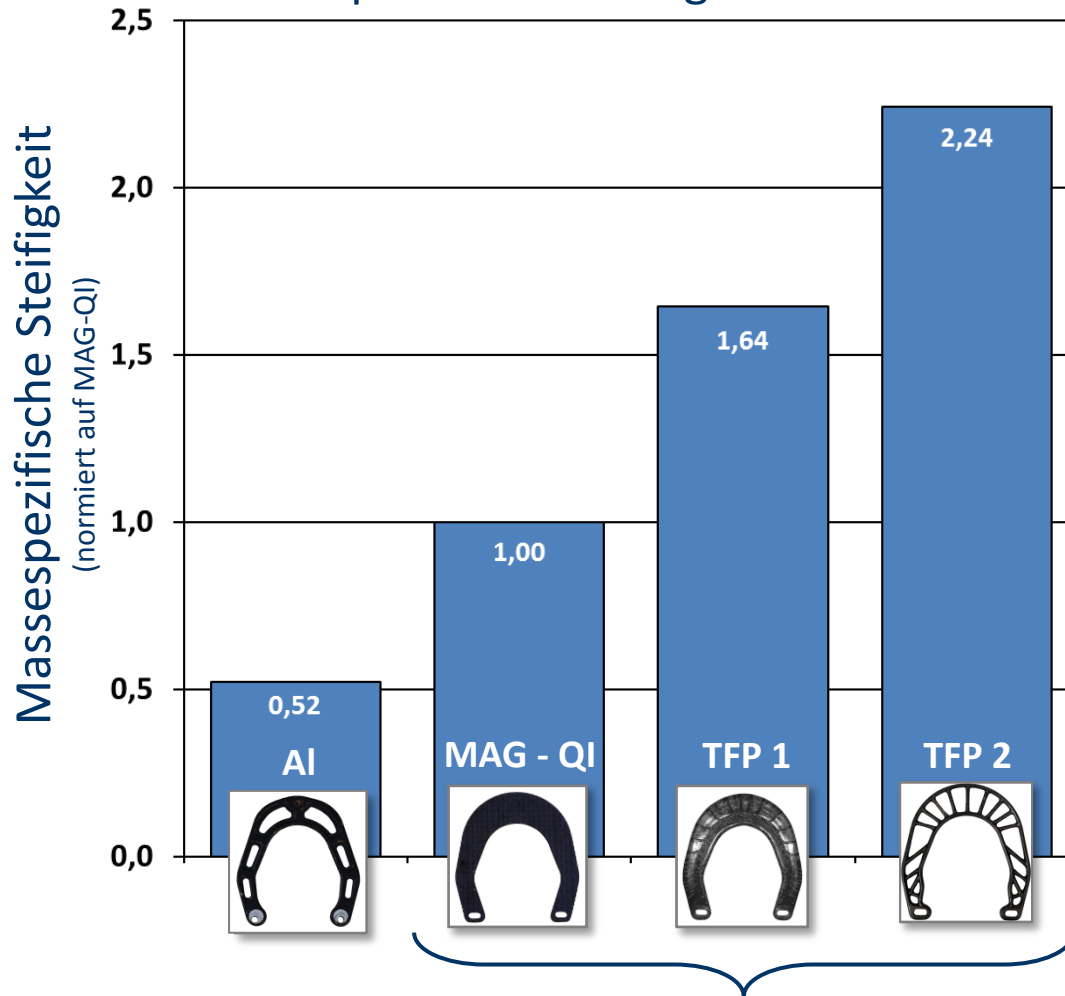


Topologieoptimierung

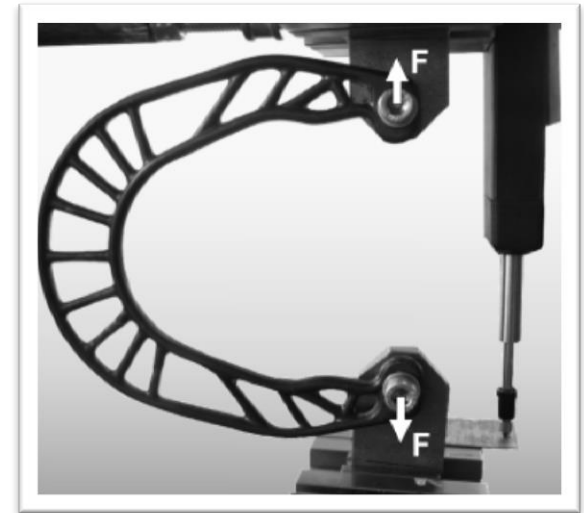


Beispiel: Steifigkeitsoptimierung eines Fahrrad Brake Boosters

Experimentelle Ergebnisse

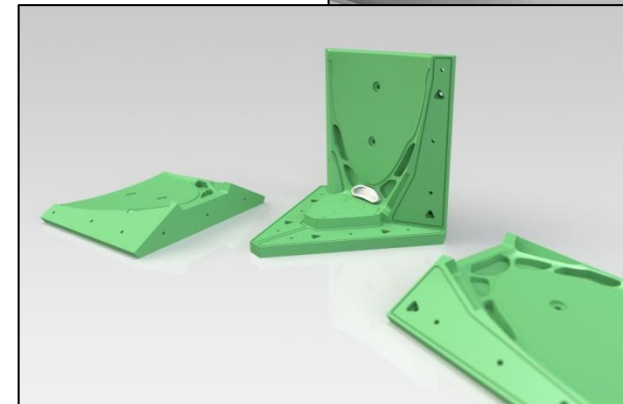
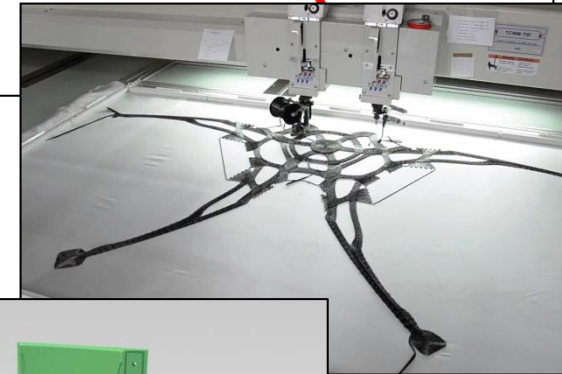
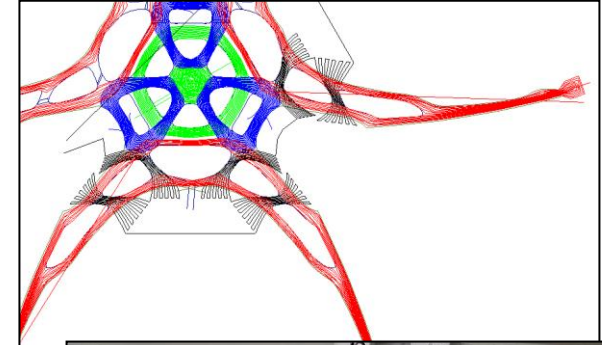
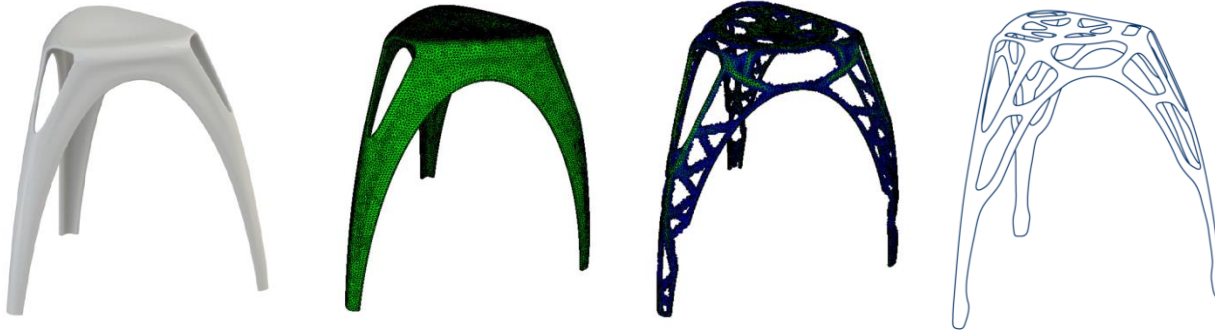


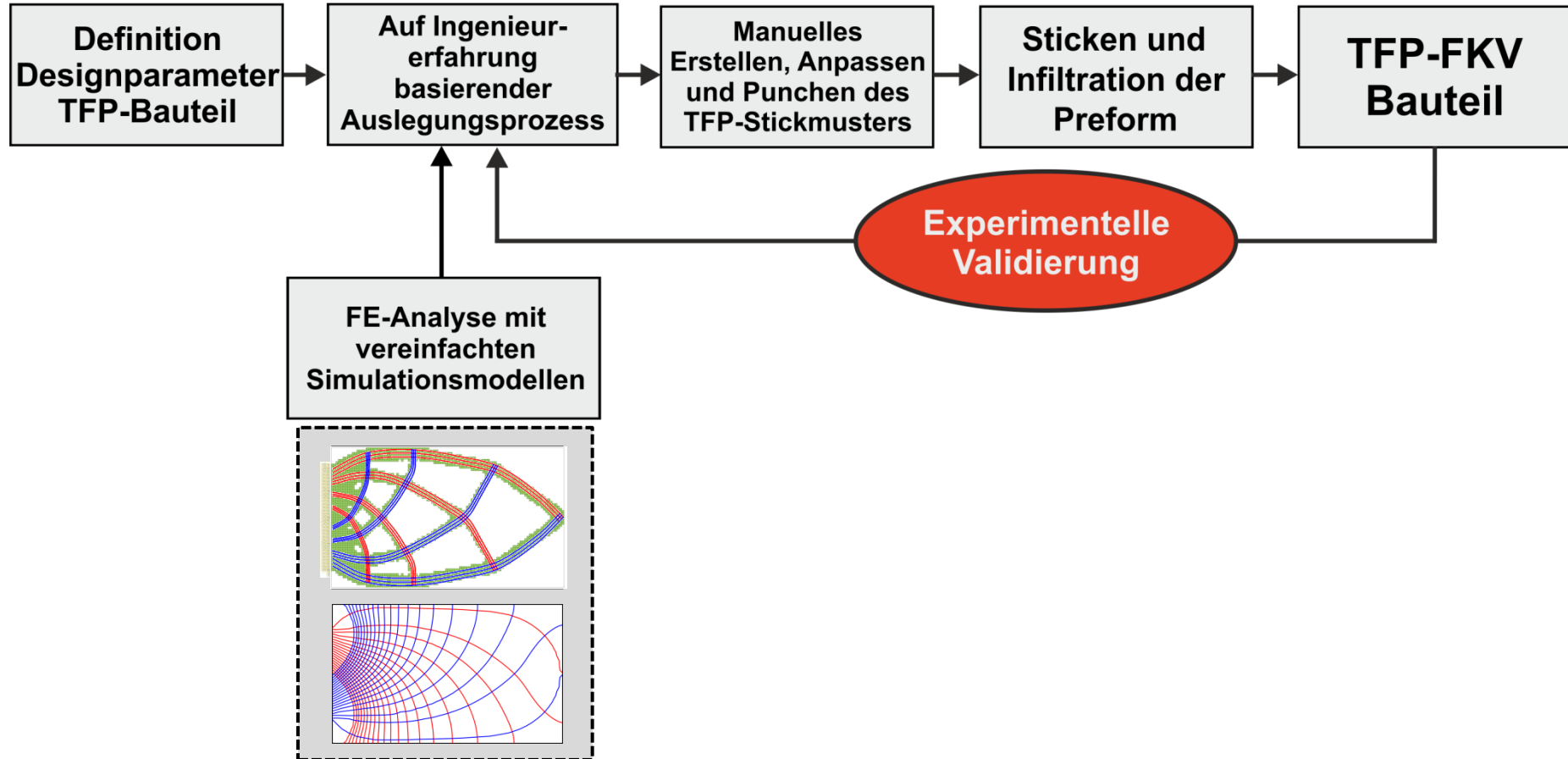
CF Material: Toho-Tenax HTS (800 tex)

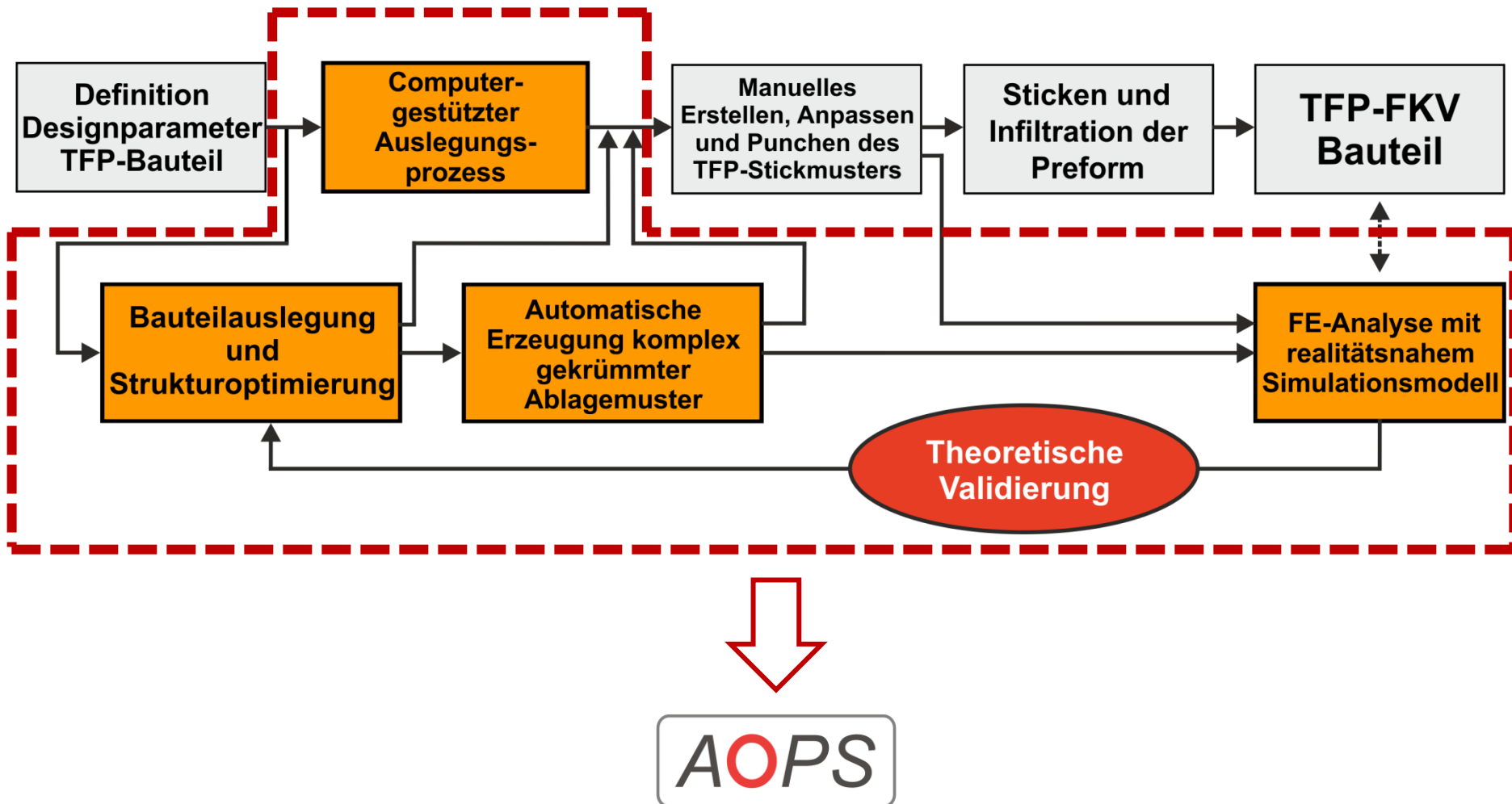


- AI** : Aluminiumlegierung
- MAG-QI** : Multiaxiallege, quasiisotrop
- TFP 1** : TFP, materialoptimiert
- TFP 2** : TFP, topologieoptimiert

Beispiel: Topologisch optimierter Leichtbauhocker - L1



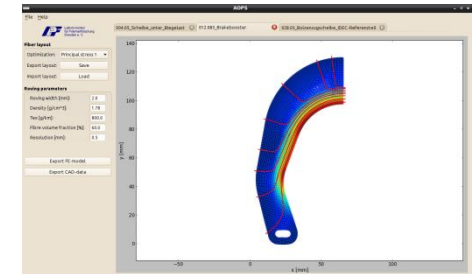


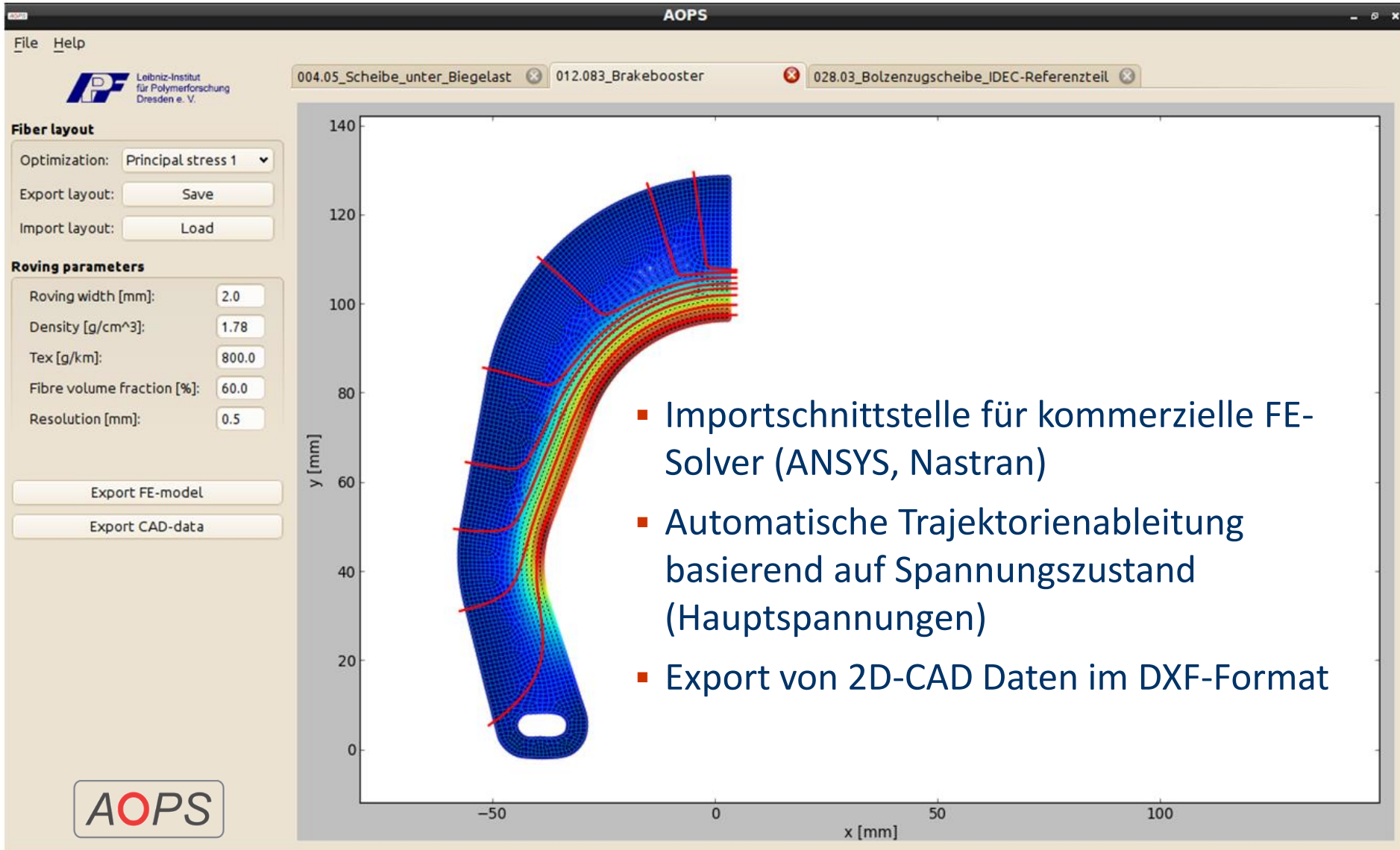




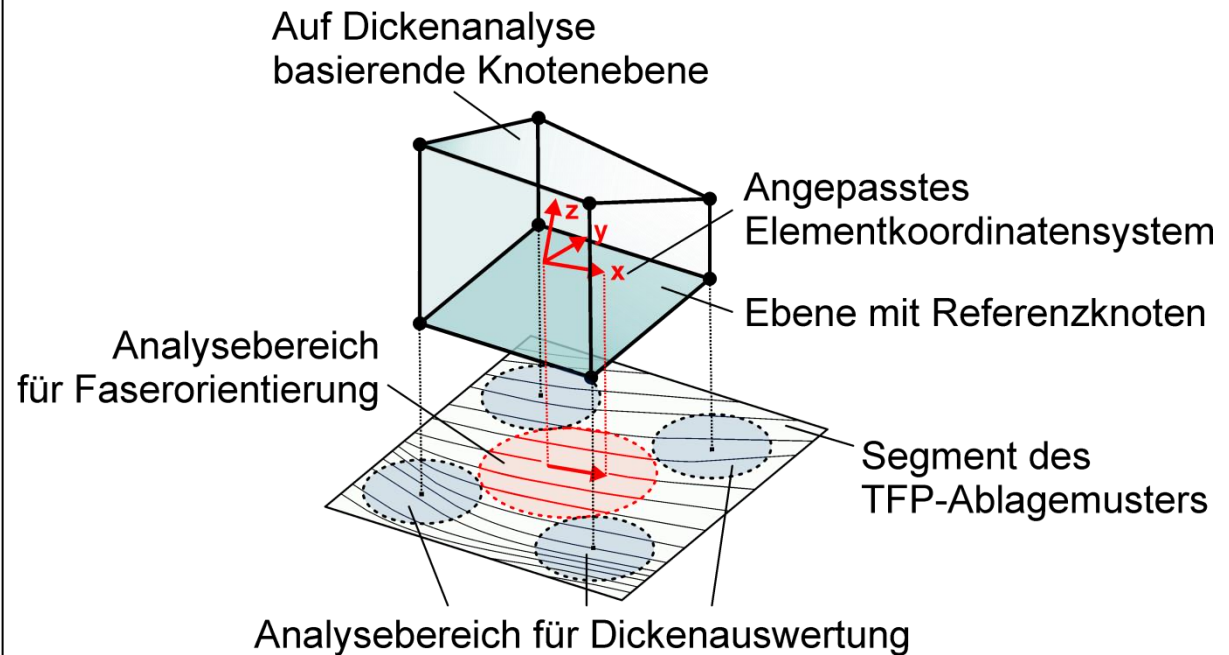
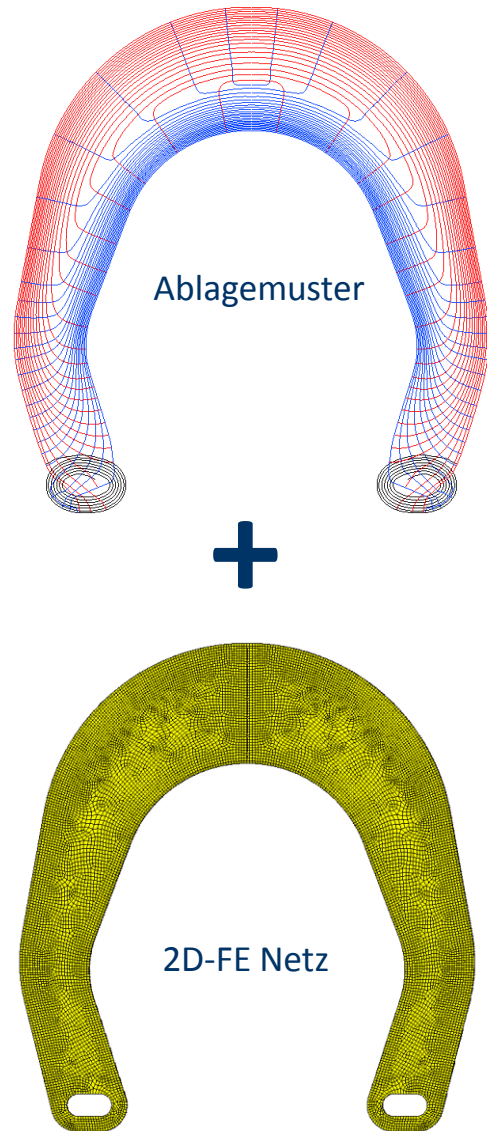
Advanced Optimization for Principal Stress

- Entwickelt im Rahmen des EU-Projekts *Embroidery* (2011-2012)
- Designtool zur Stickmustersauslegung, z.B. Ableitung von Hauptspannungsverläufen aus FEA-Ergebnissen
- Erstellung von 3D-FE-Modellen auf Basis beliebiger TFP-Ablagemusterdaten





- Verwendung beliebiger 2D-Ablagemuster
- FE-Modelle mit konventionellen Shell/Solid Elementen
- Export in *ANSYS*, *NASTRAN* Datenformat implementiert



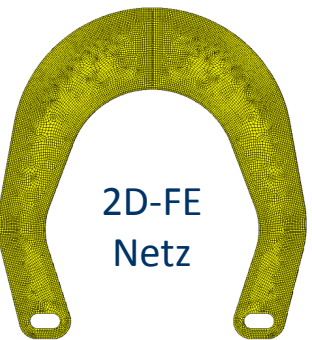
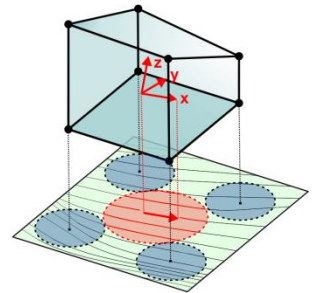
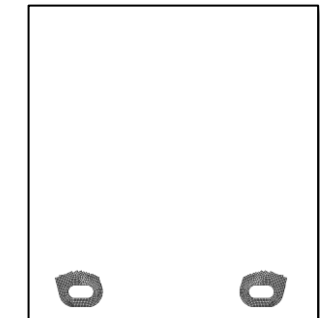
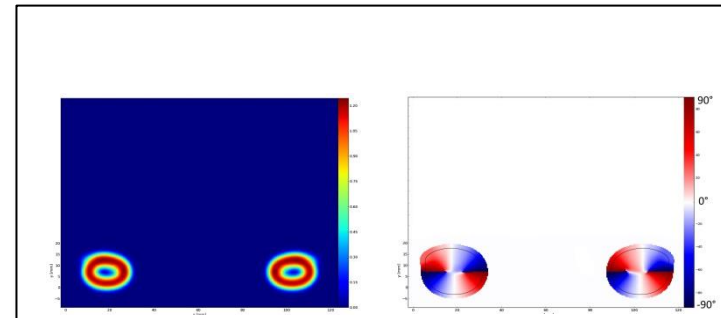
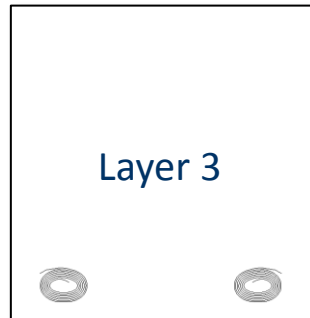
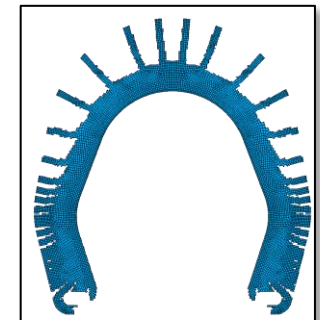
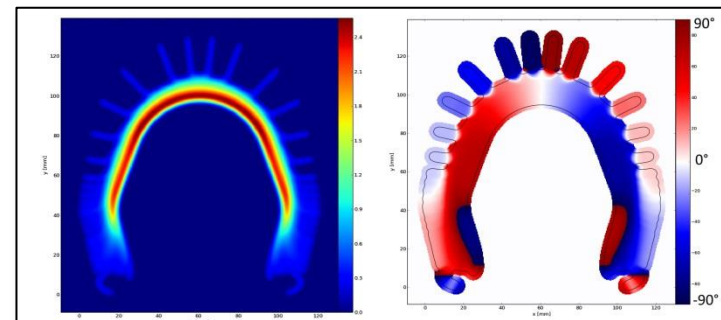
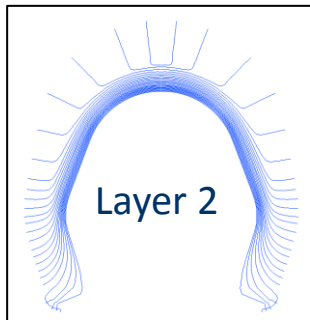
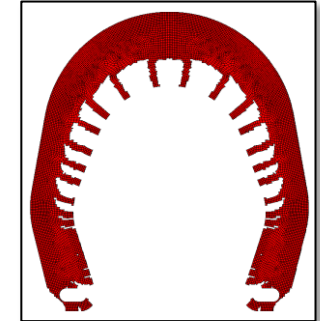
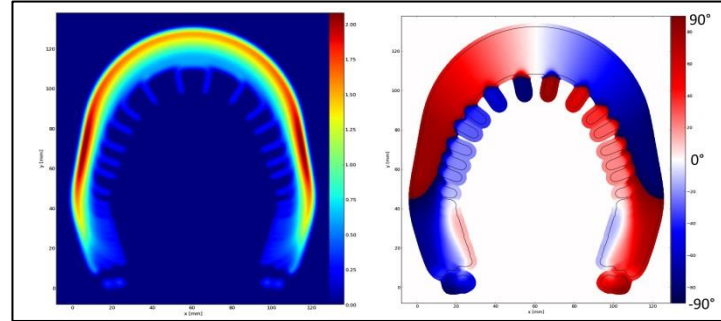
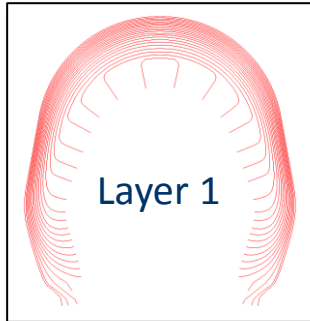
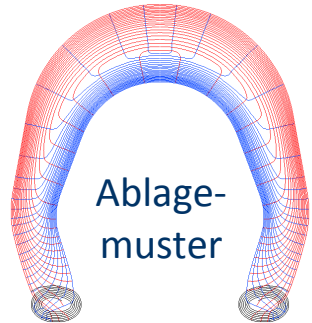
Nicht selbstschnei-
dende Segmente
des Ablagemusters



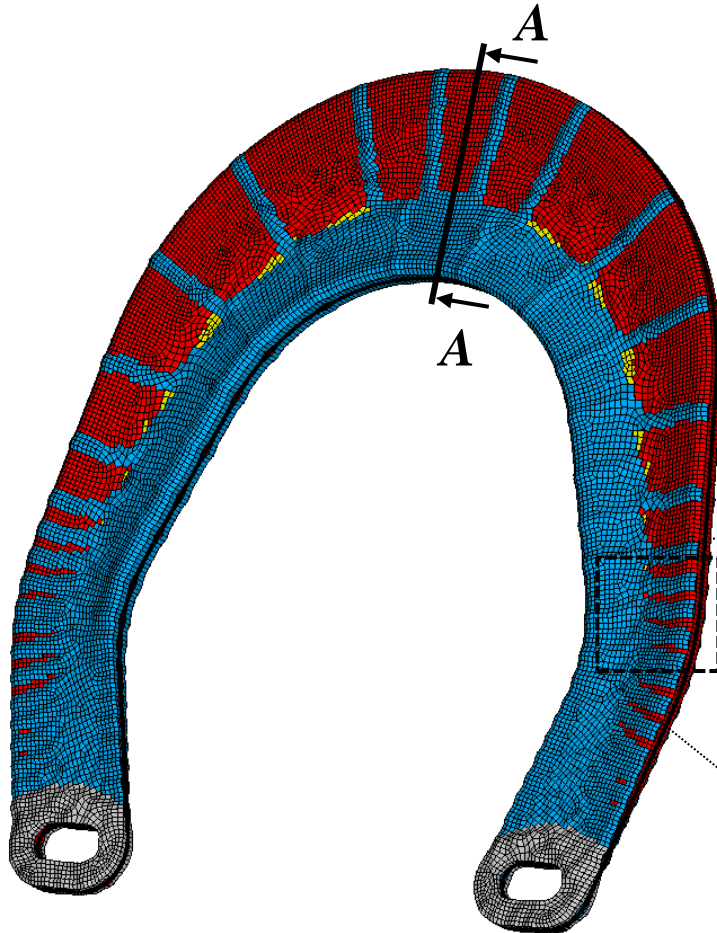
Numerische Analyse der
Dickenverteilung und Faserorientierung



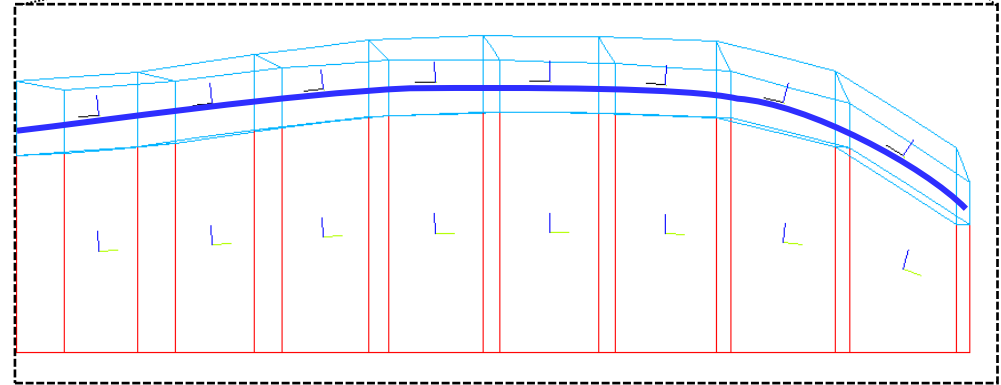
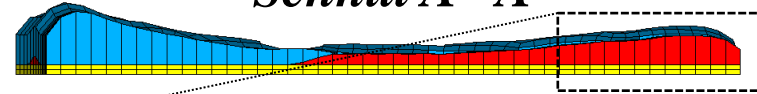
3D-FE Layer



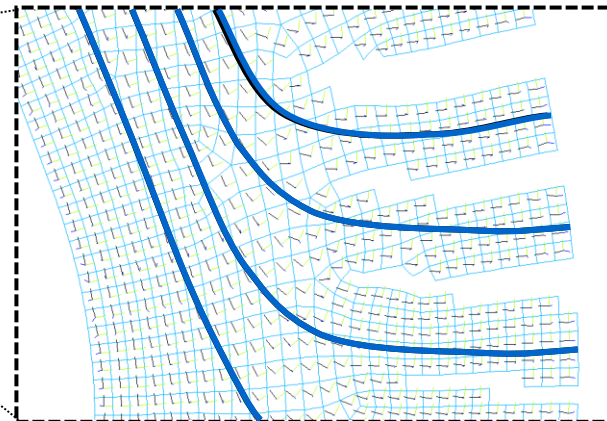
- Adäquate Dickenrepräsentation
- Angepasste vertikale and horizontale Elementorientierung



Schnitt A - A

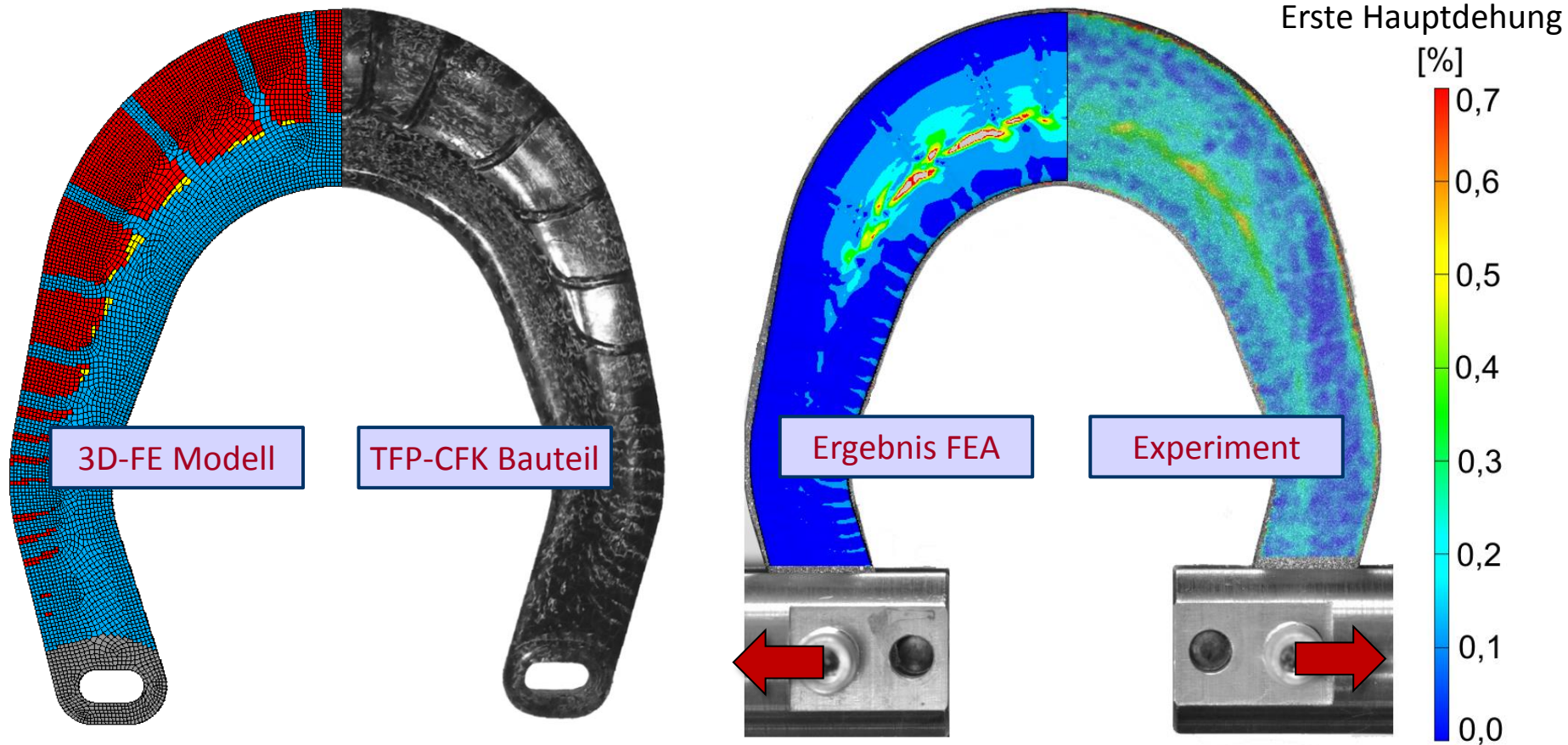


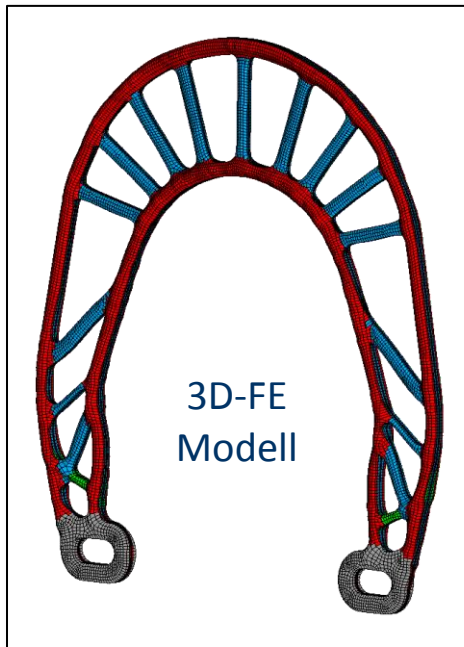
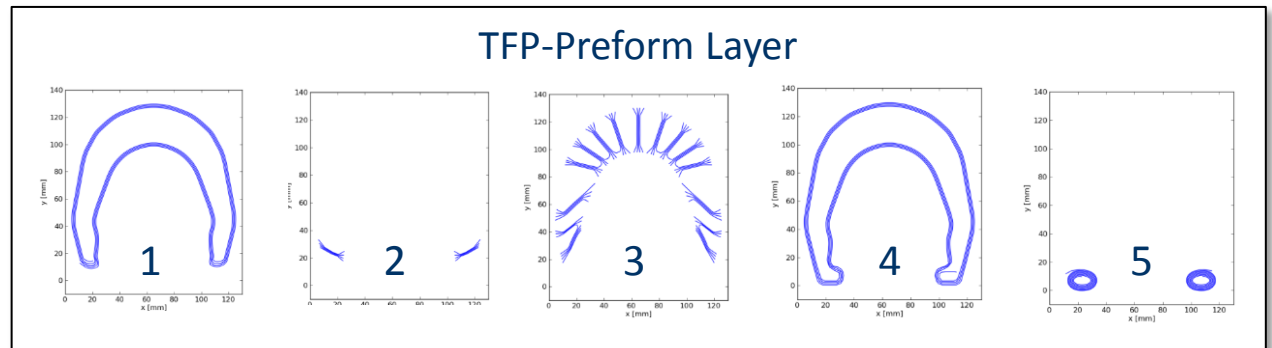
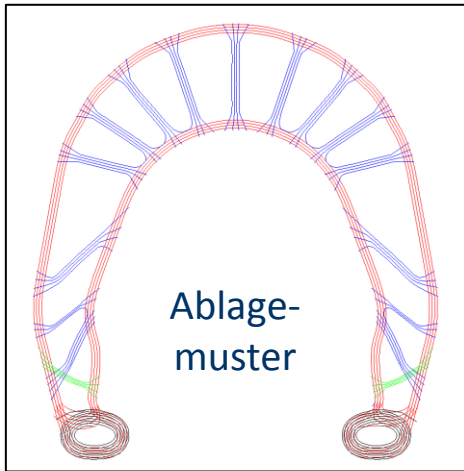
Elementorientierung entlang lokaler Dickenverteilung



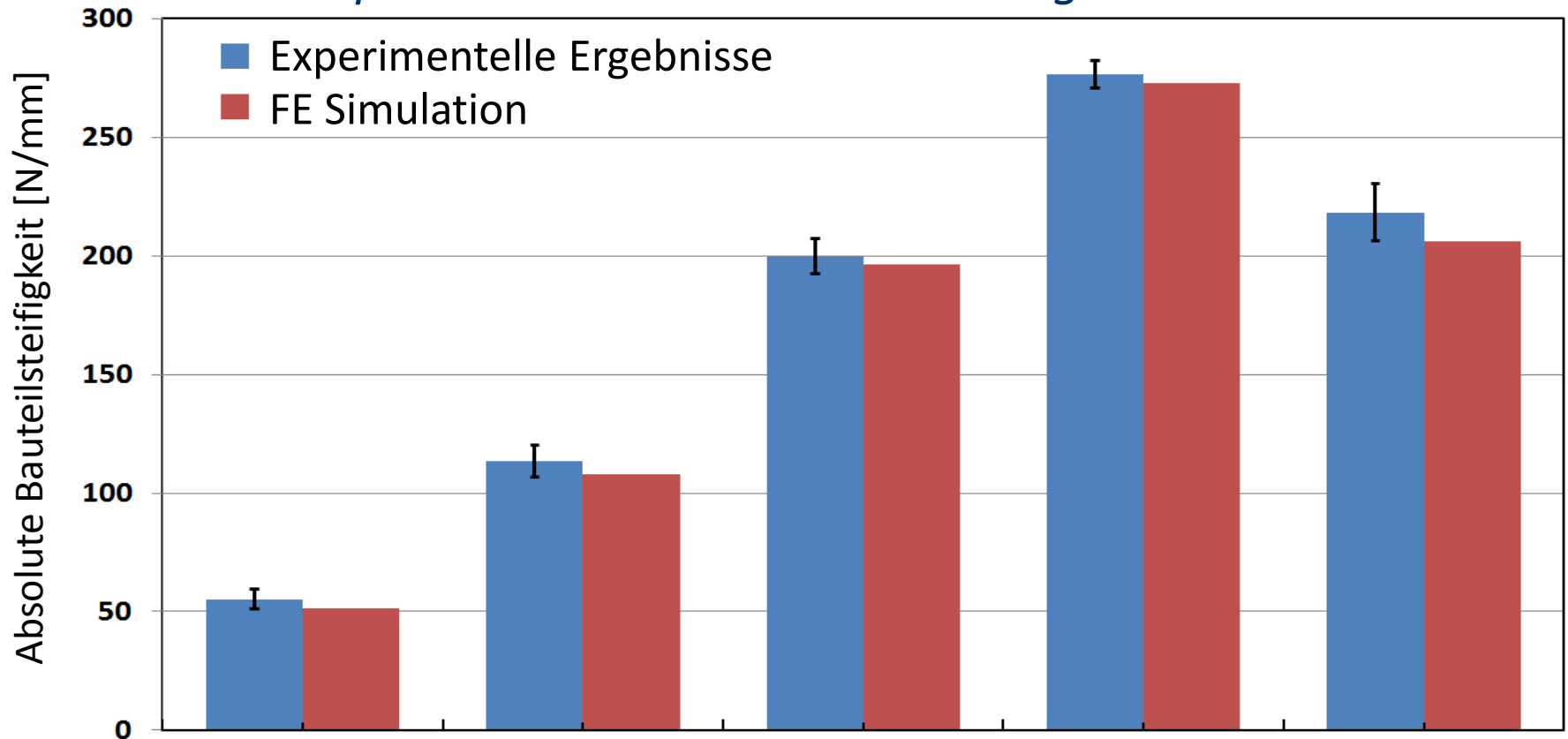
In-plane Faserorientierung

Experimentelle vs. numerische Ergebnisse





Experimentelle vs. numerische Ergebnisse



Designtyp

(CFK-HT, 800 tex)



Papier

Carbon-
gewebe

Basismaterial



Papier



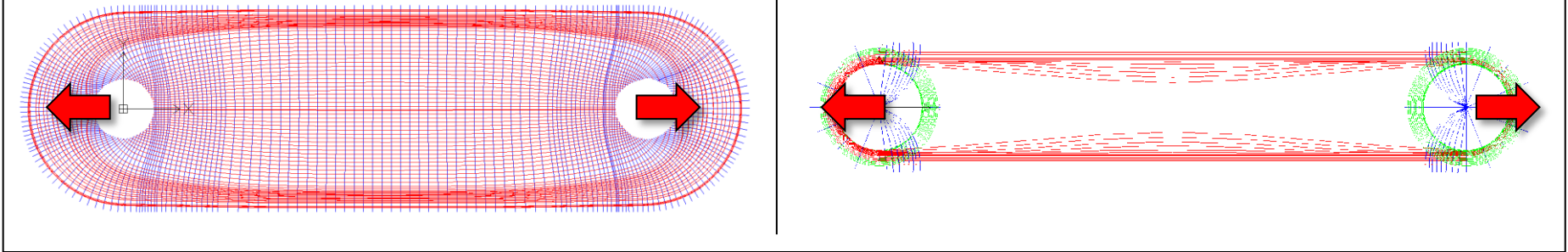
Papier



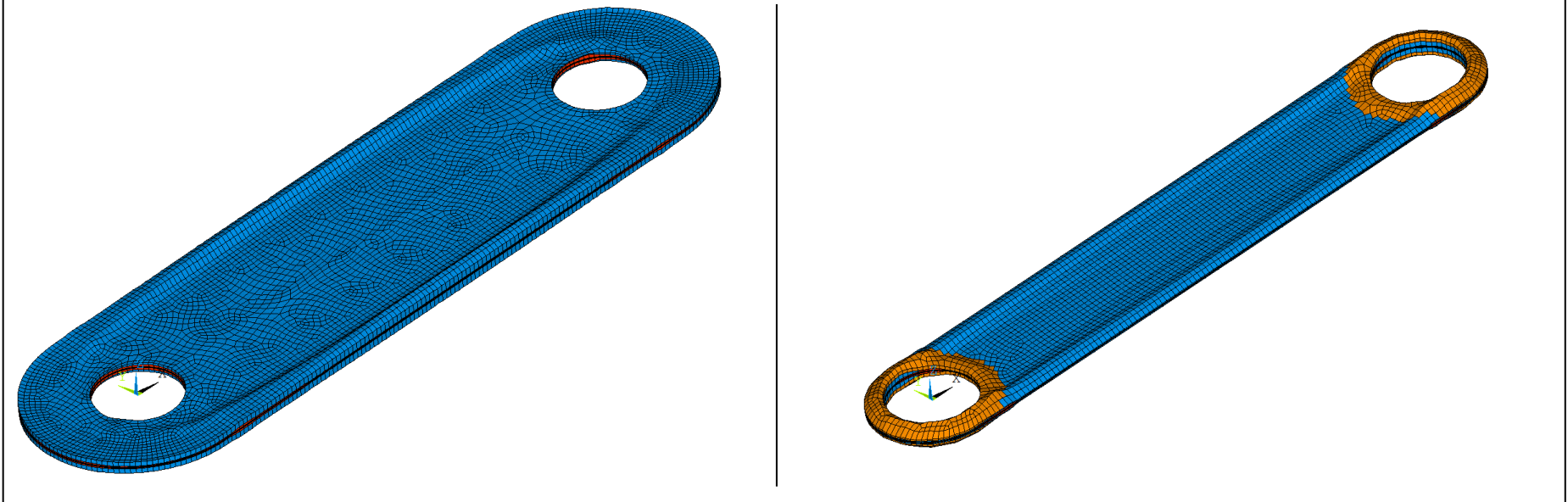
Glassgewebe

Zugstrebe: Hauptspannungsorientiert vs. manuell erstellt

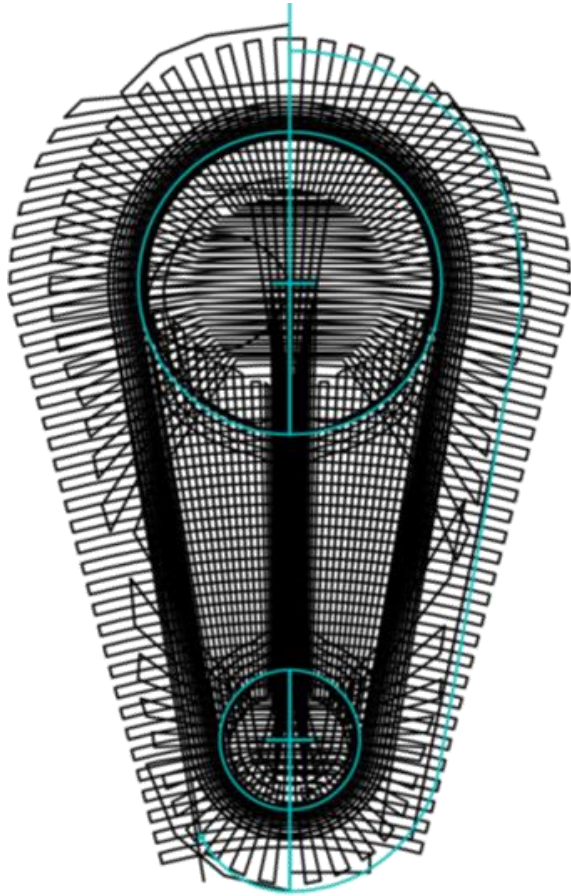
TFP-Ablagepfad



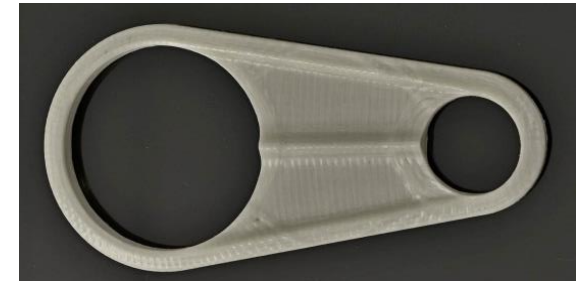
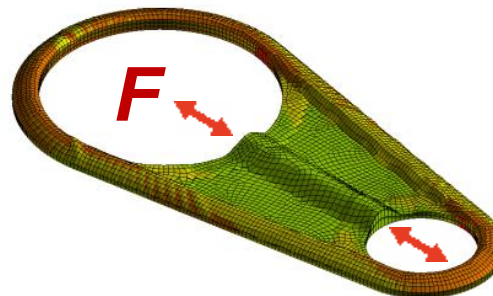
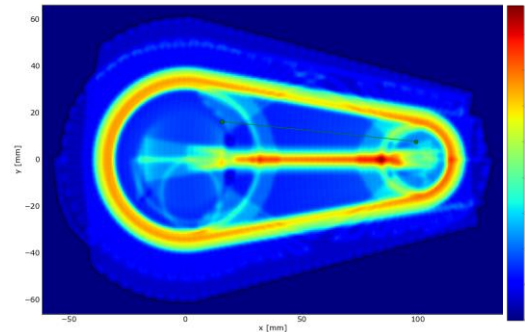
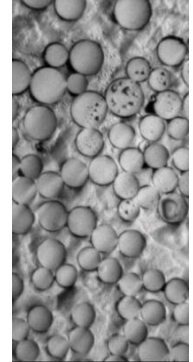
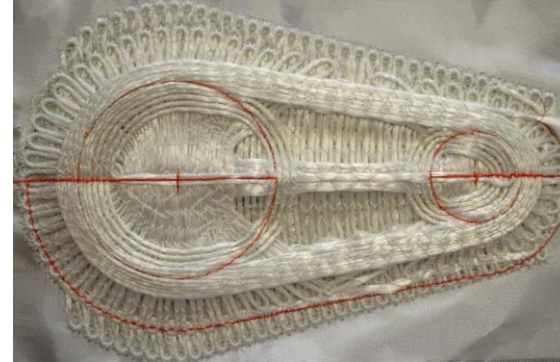
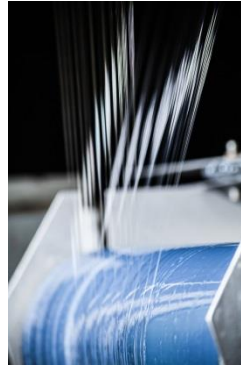
Angepasstes 3D-FE-Modell



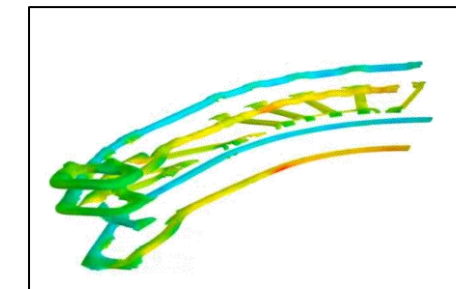
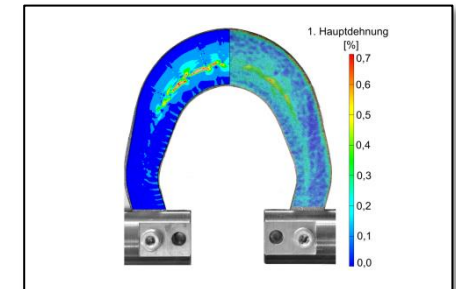
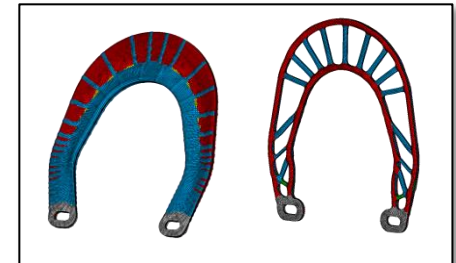
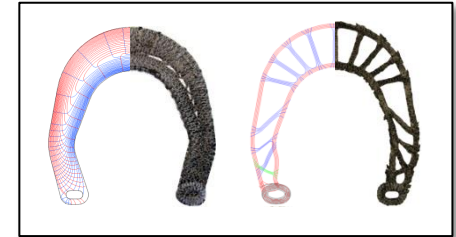
Drehmomentstütze auf Basis eines GF + PA Hybridgarns



TFP-Ablagepfad der
Drehmomentstütze



- Variableaxiale FKV-Strukturen zeigen ein sehr hohes Potential für künftige Leichtbauanwendungen - dabei spielt das Bauteildesign jedoch eine entscheidende Rolle
- Softwaretool AOPS erfolgreich für automatische Ableitung von Fadenablagemustern und zur Erstellung von 3D-FE Modellen entwickelt
- Sehr gute Übereinstimmung zwischen experimentellen und numerischen Ergebnissen bei der Analyse der Stuktursteifigkeit
- Zukünftige Arbeiten konzentrieren sich auf die Validierung von Festigkeitskriterien und Optimierung variabelaxialer FKV-Strukturen (DFG-Projekt *OptiTex*)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

