

Forschungsbrücke Karlsruhe – Stuttgart

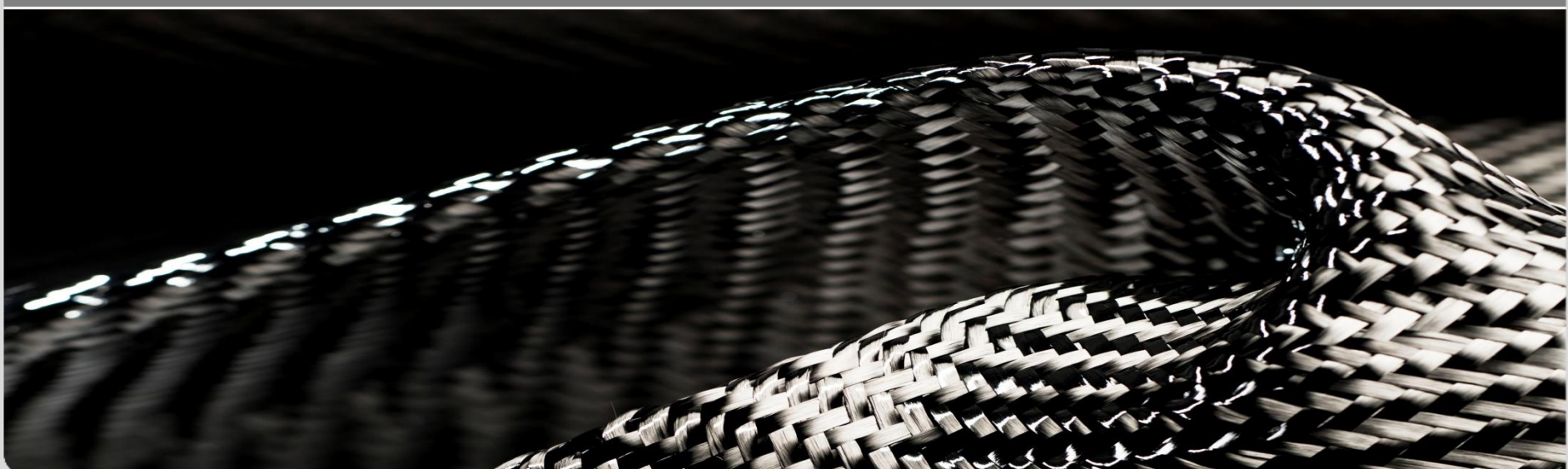


"Zeit- und kosteneffiziente Prozess- und Produktentwicklung für den Hochleistungs-Faserverbundleichtbau mittels Nasspresstechnologie"

Christian Poppe¹, Julian Fial², Luise Kärger¹, Stefan Carosella², Clemens Zimmerling¹, Fabian Albrecht¹, Milos Draskovic², Mathias Engelfried², Peter Middendorf², Frank Henning¹

¹Institut für Fahrzeugsystemtechnik – Teilinstitut für Leichtbautechnologie (Karlsruher Institut für Technologie)

²Institut für Flugzeugbau (Universität Stuttgart)



Gliederung des Vortrags

Forschungsbrücke Karlsruhe - Stuttgart

Vorstellung des Projektes

- Untersuchte Prozessrouten
- Methodischer Forschungsansatz

Auszug aus den Projektinhalten am FAST (KIT)

- Materialcharakterisierung & Prozess
- Makroskopische Drapiersimulation
- Optimierung & Meta-Modellierung



Auszug aus den Projektinhalten am IFB (Uni Stuttgart)

- Preforming
- Mesoskopische Drapiersimulation
- Fatigueuntersuchung



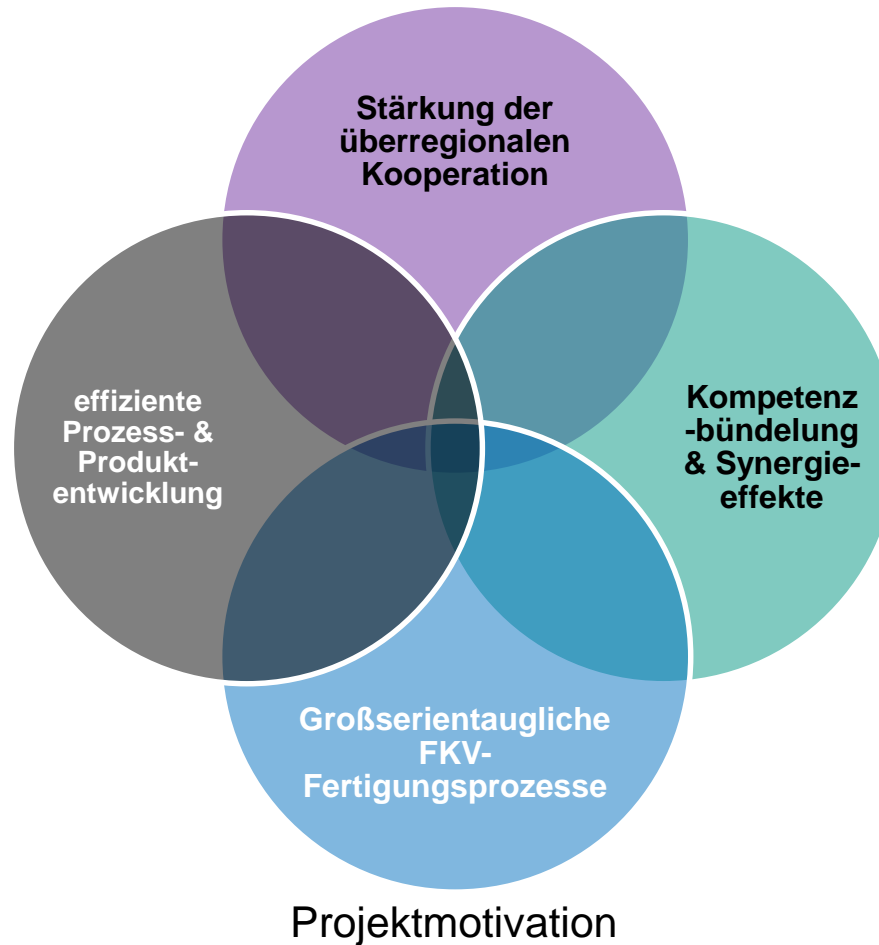
Zusammenfassung und Ausblick

Vorstellung des Projektes

Forschungsbrücke Karlsruhe - Stuttgart

Fachliche Ziele

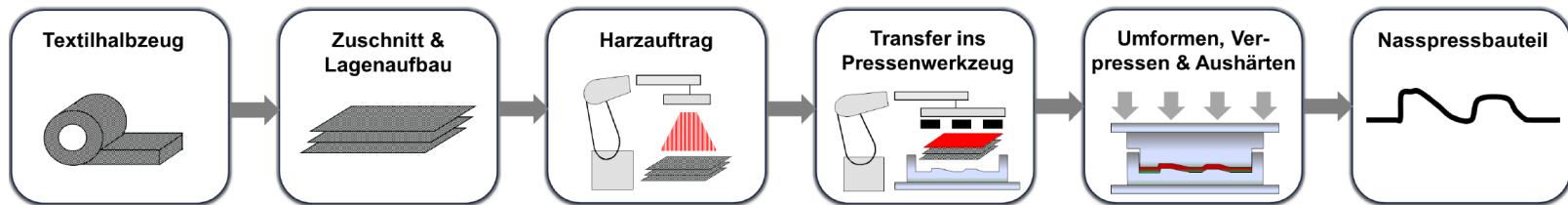
- physikalisch-basiertes Prozessverständnis
- Vergleich und Bewertung zweier Prozessrouten
- Methodenentwicklung zur kombinierten Umformungs- und Formfüllsimulation
- Ganzheitliche Prozess- und Produktoptimierung anhand einer CAx-Prozesskette
- Strukturauslegung inklusive Fatigue-Betrachtung



Strategische Ziele

- Kompetenz-bündelung für den Leichtbau in BW
- Synergien nutzen und Redundanzen vermeiden
- Stärkung der Industriekontakte
- Gemeinsame Drittmittelwerbung
- Potential des Nasspressens für effiziente Prozesse aufzeigen
- Nutzen der Erfahrungen aus dem RTM-Prozess

1. Variante – Infiltration bei gleichzeitigem Verpressen (FAST)



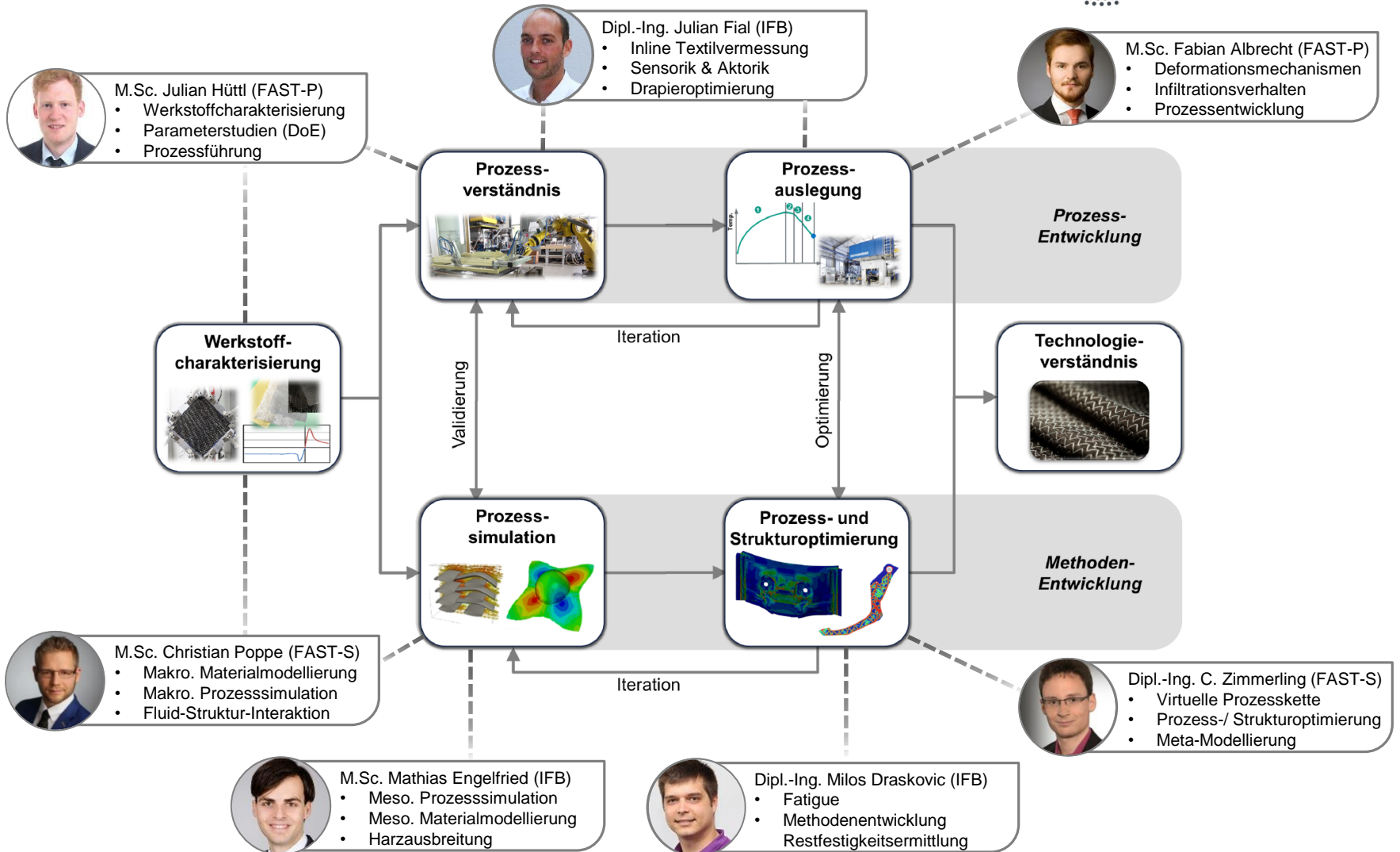
2. Variante – trockene Vorkonsolidierung mit anschließendem Harzauftrag und Verpressen (IFB)



- Bewertung & Vergleich der Prozessrouten anhand einer Double-Dome-Geometrie und eines Demonstrators
- Ableitung von Potentialen und Grenzen der Nasspresstechnologie

Methodischer Forschungsansatz

Forschungsbrücke Karlsruhe - Stuttgart



Auszug aus den Arbeitsinhalten am FAST

Übersicht

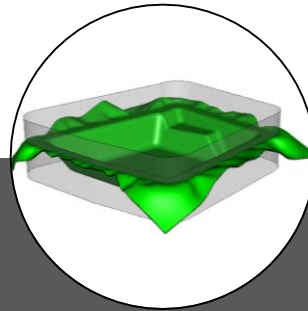


Materialcharakterisierung & Prozess*

Motivation

Vorgehen

Ergebnisse

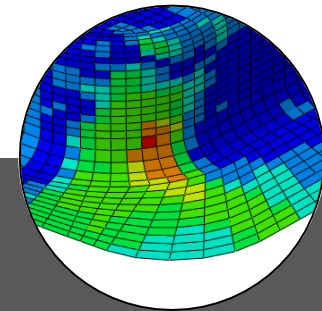


Makroskopische Drapiersimulation

Motivation

Vorgehen

Ergebnisse



Optimierung & Meta-Modellierung

Motivation

Vorgehen

Ergebnisse

*in Kooperation mit

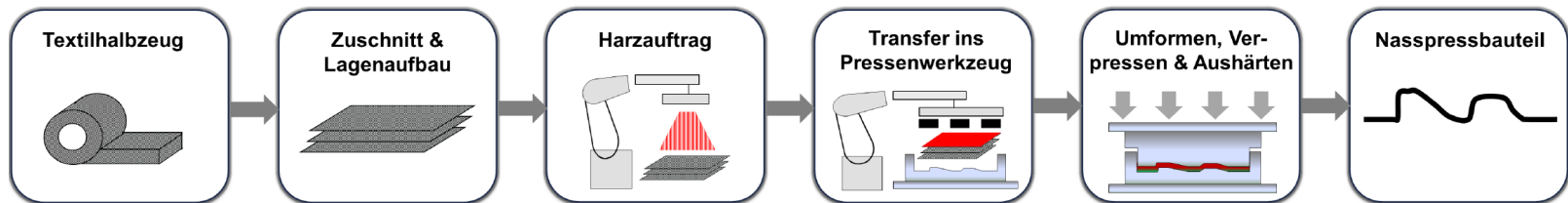


Auszug aus den Arbeitsinhalten am FAST

Materialcharakterisierung | Prozessvariante 1

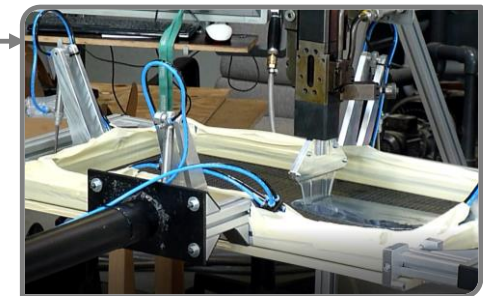
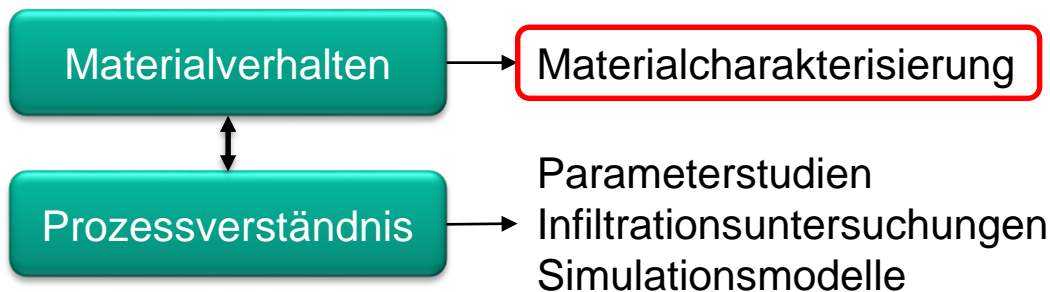
Untersuchte Prozessvariante charakterisiert durch:

1. Externen Auftrag von Harz, Härter und internem Trennmittel
2. Überführung des getränkten Stacks ins Pressenwerkzeug
3. Umformung bei gleichzeitiger Verpressung und Infiltration des Stacks
4. Aushärtung und Entnahme



Motivation

Ansatz:

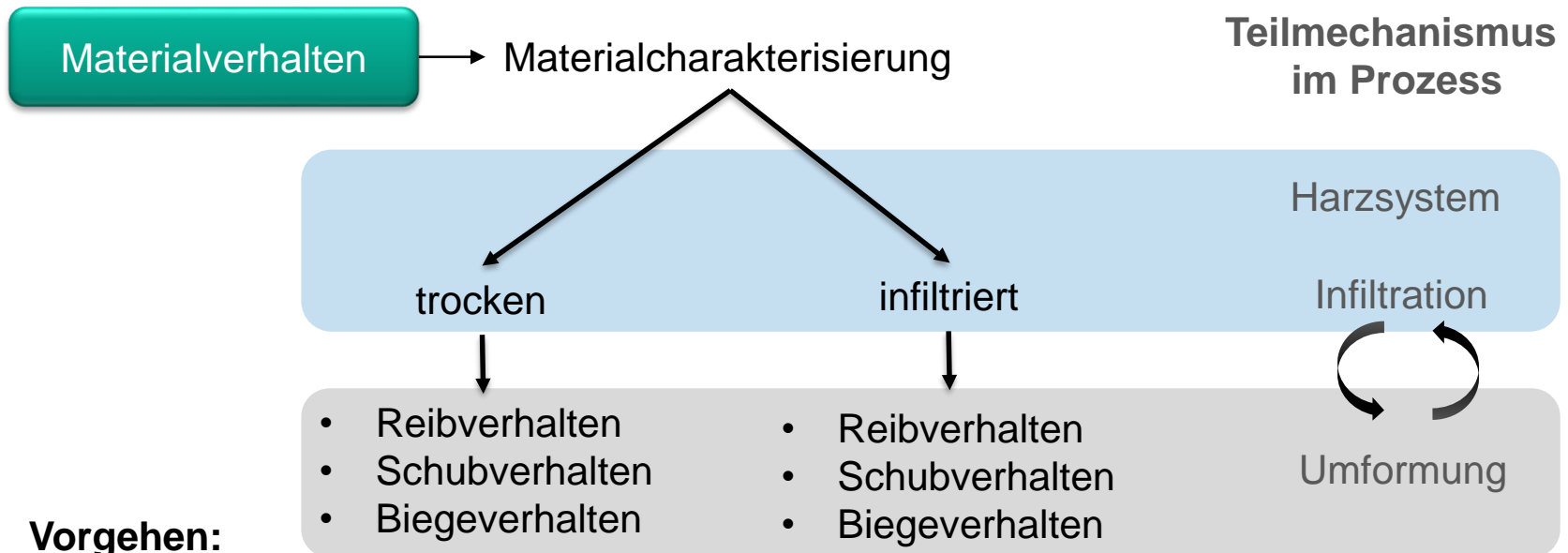


Harzauftrag Fraunhofer ICT

Auszug aus den Arbeitsinhalten am FAST

Materialcharakterisierung | Prozessvariante 1

Ansatz:



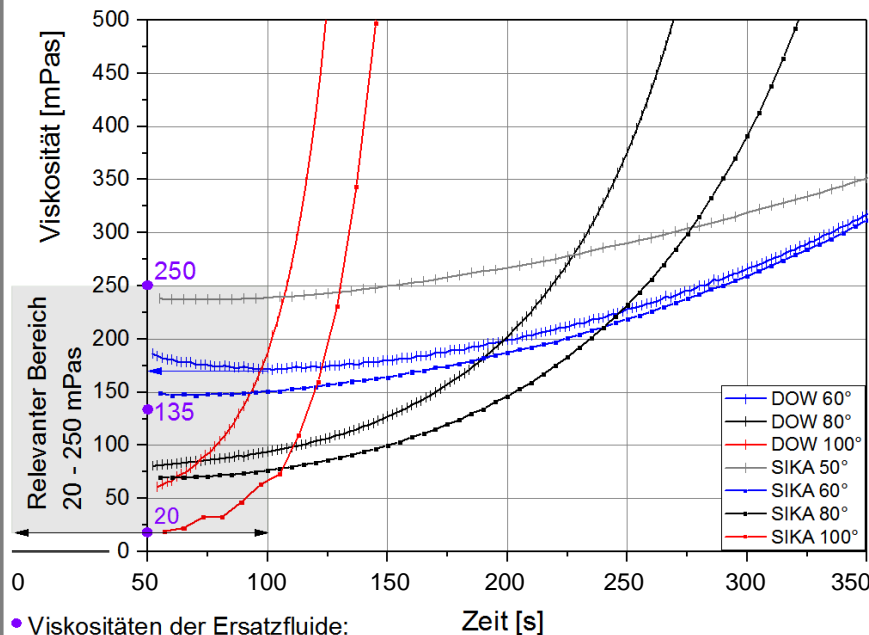
Vorgehen:

1. Entwicklung von Prüfständen für infiltrierte Halbzeuge
2. Charakterisierung des Matrixsystems
3. Festlegung der untersuchten Viskositätsbereiche
4. Charakterisierung des Umformverhaltens

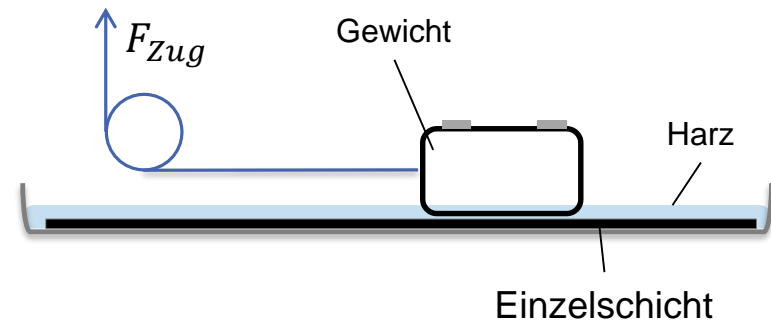
➤ Bewertung und Verständnis für den Harzeinfluss auf das Umformverhalten

*in Kooperation mit

➤ Festlegung der Viskositätsbereiche



➤ Prüfstand (schematisch)



Konzept des Reibprüfstands zur Ermittlung des imprägnierten Reibverhaltens

➤ Vollfaktorielle Versuchsmatrix (z.B. Kontaktpaare, Faserorientierungen, Ratenabhängigkeit etc.)

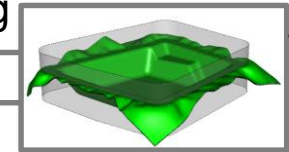
➤ Austausch und Vergleich der Charakterisierungsergebnisse mit dem IFB

Auszug aus den Arbeitsinhalten am FAST

Makroskopische Drapiersimulation (FEM)

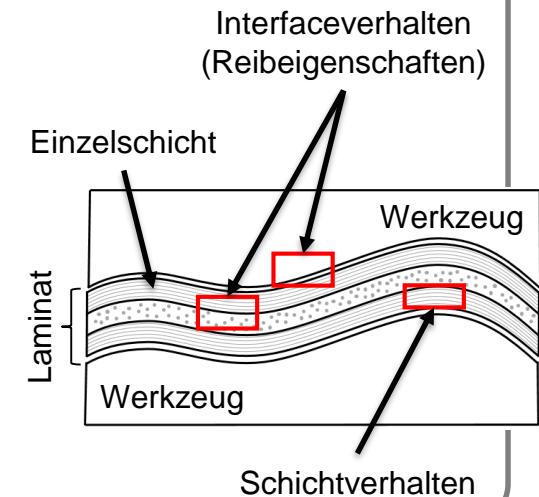
Motivation

- Methodenentwicklung zur Beschreibung des Materialverhaltens bei der gekoppelten Umformung und Infiltration
- Vorhersage von Prozesstauglichkeit & Drapiereffekten
- Verhinderung von unnötigen „Trial and Error“- Iterationsschleifen
- Teil der virtuellen Prozesskette zur Bauteil- und Prozessauslegung



Modellierungsansatz am FAST

- Modellierung der wesentlichen Deformationsmechanismen
- Implementierung makroskopischer, FE-basierter Konstitutivmodelle* auf Einzelschichtlevel für:
 - Membranverhalten
 - Biegeverhalten
 - Reibverhalten
- Erweiterung des kommerziellen FE-Solvers Abaqus um eigene Subroutinen
- Weiterentwicklung bestehender Formingmodelle* um eine gleichzeitige Infiltration

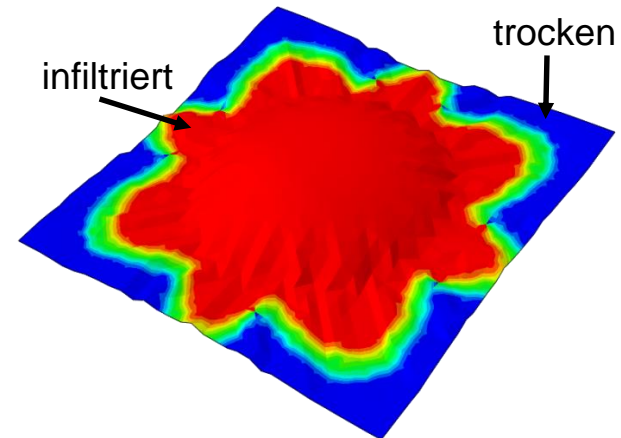


* Spencer 1972, 2000, Schirmaier 2017, Dörr 2016, 2017

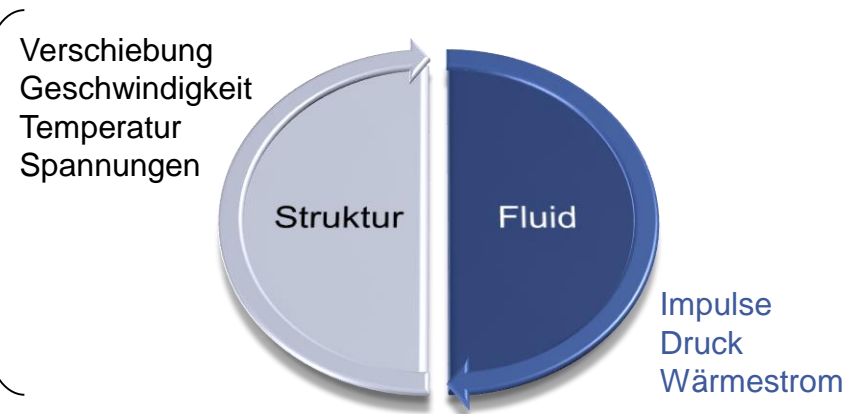
Auszug aus den Arbeitsinhalten am FAST

Makroskopische Drapiersimulation (FEM)

- Entwicklung infiltrationsabhängiger Materialmodelle für UD-Gelege und Gewebe auf Basis der:
 - Reibcharakterisierung
 - Schubcharakterisierung
 - Biegecharakterisierung
- Entwicklung von Ansätzen zur Fluidausbreitung während der Umformung
 - Mathematisch abstrahiert
 - Konstitutiv
- Ggf. Entwicklung von Fluid-Struktur-Interaktionsansätzen
- Vergleich der Makromodellierung mit Mesomodellierung am IFB



Umformung einer Hemisphäre mit abstrahierter Harzausbreitung

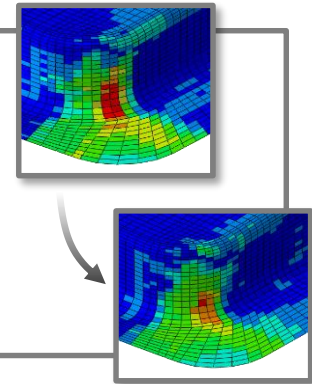


Auszug aus den Arbeitsinhalten am FAST

Prozess- und Strukturoptimierung

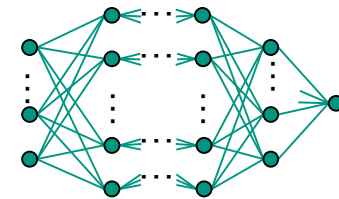
Motivation

- Strukturoptimierung unter Berücksichtigung von Fertigungseinflüssen
- Zeiteffiziente Optimierung der Prozessparameter (Greiferunterstützung, Temperatur- und Druckprofile,...)
- Einbettung der Optimierungsmethodik in eine ganzheitliche virtuelle Prozesskette

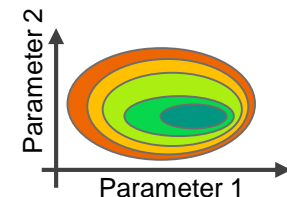


Modellierungsansatz am FAST

- Optimierung von wesentlichen Fertigungs- und Strukturzielgrößen
1. Identifikation und Sensitivität relevanter Prozessparameter
 2. Konzipierung von Meta-Modellen zur zeiteffizienten Prognose günstiger Prozessparameter
 3. Ableitung von geeigneten Prozessfenstern
 4. Ableitung potentielle Methoden für ähnliche Prozesse



Beispiel: Neuronales Netz zur Meta-Modellierung

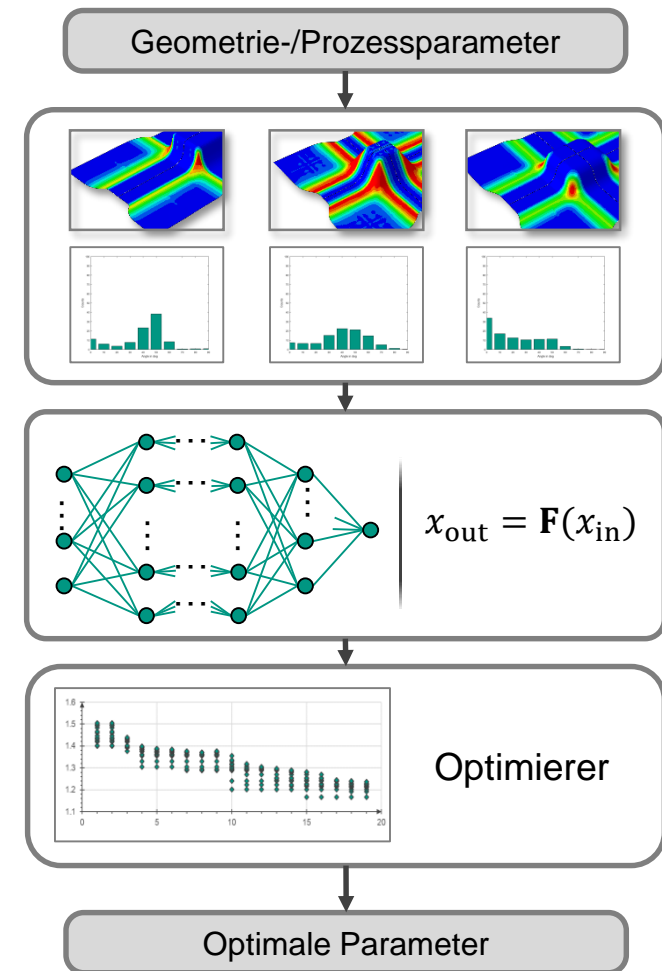


Beispiel-Prozessfenster

Auszug aus den Arbeitsinhalten am FAST

Meta-Modellierung in der Drapiersimulation

- Entwicklung von Meta-Modellen zur Prognose der Drapierqualität neuer Prozessparametervarianten mit Techniken des Machine Learnings
- Zeiteffiziente Optimierung auf dem Meta-Modell ermöglicht rasches Eingrenzen eines zielführenden Parameterkorridors
- Nutzen von Deep-Learning-Ansätzen und neuronalen Netzen zur Identifikation von Prozess-Struktur-Wechselwirkungen



Arbeitsinhalte IFB | Uni Stuttgart

Übersicht

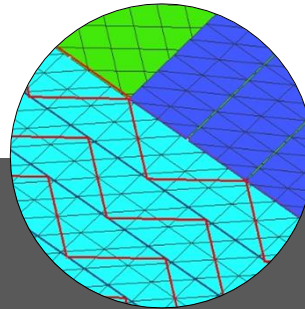


Preforming

Motivation

Vorgehen

Ergebnisse

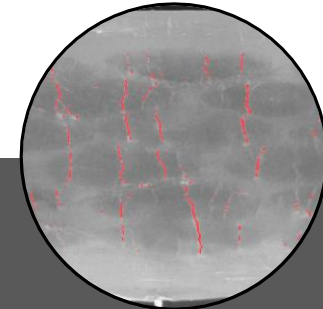


Drapiersimulation

Motivation

Vorgehen

Ergebnisse



Fatigueuntersuchungen

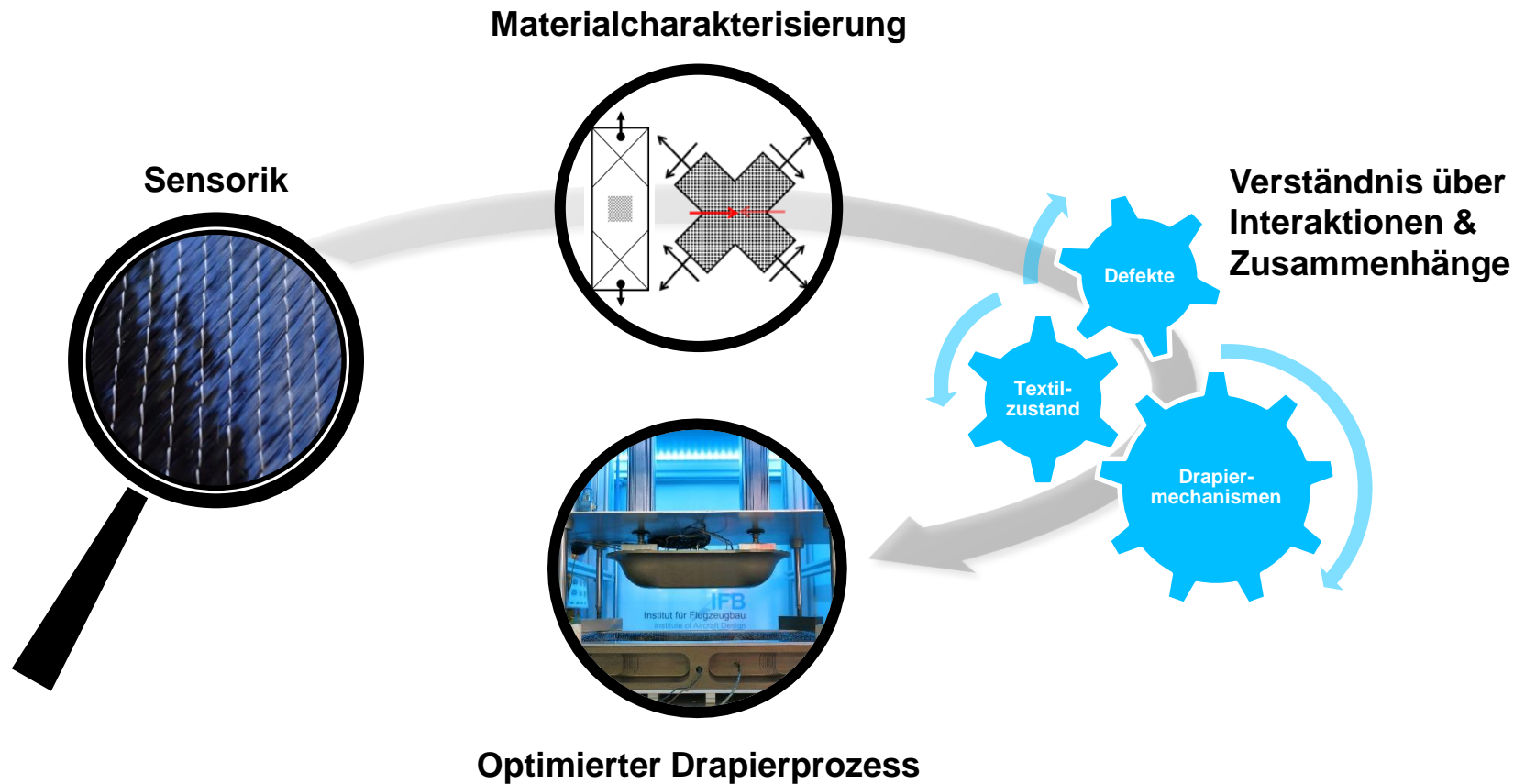
Motivation

Vorgehen

Ergebnisse

Auszug aus den Arbeitsinhalten am IFB

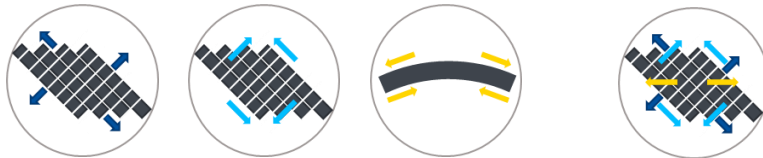
Preforming | Motivation



Auszug aus den Arbeitsinhalten am IFB

Preforming | Vorgehen

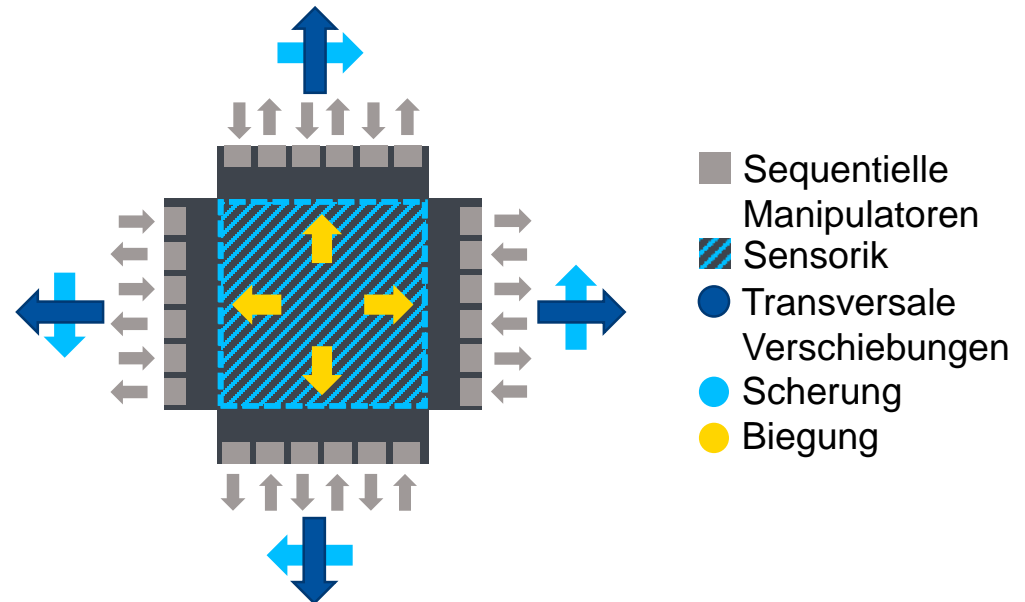
Materialverhalten: trockenes Zoltek PX35 UD Gelege



Translation Scherung Biegung Kombinationen

Komplexe Überlagerung von Verformungsmechanismen & Erfassung des Textilzustandes

- Zusammenhang Sensorgröße - Materialverhalten / Defektverhalten
- Datenbank / Logik
- Übertrag auf Drapierprozess
- Sequentielle Niederhalter
- Austausch und Vergleich der Charakterisierungsergebnisse mit dem FAST

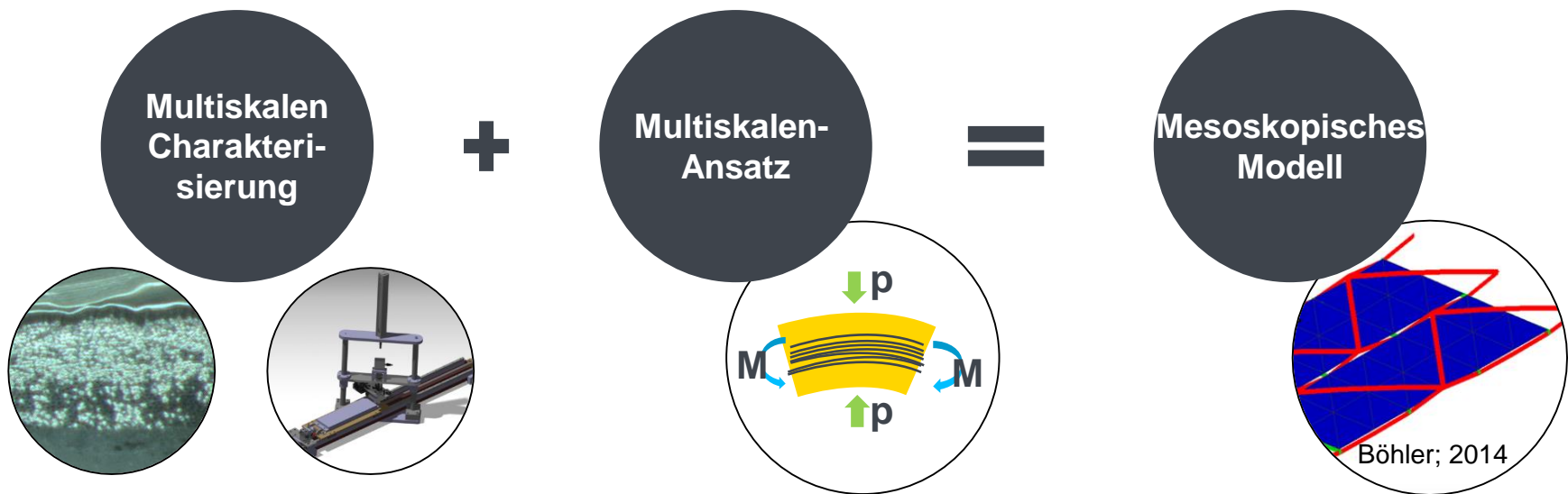
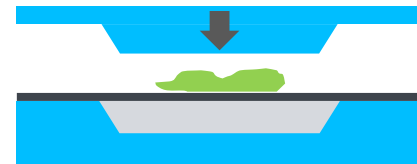


Auszug aus den Arbeitsinhalten am IFB

Drapiersimulation | Motivation

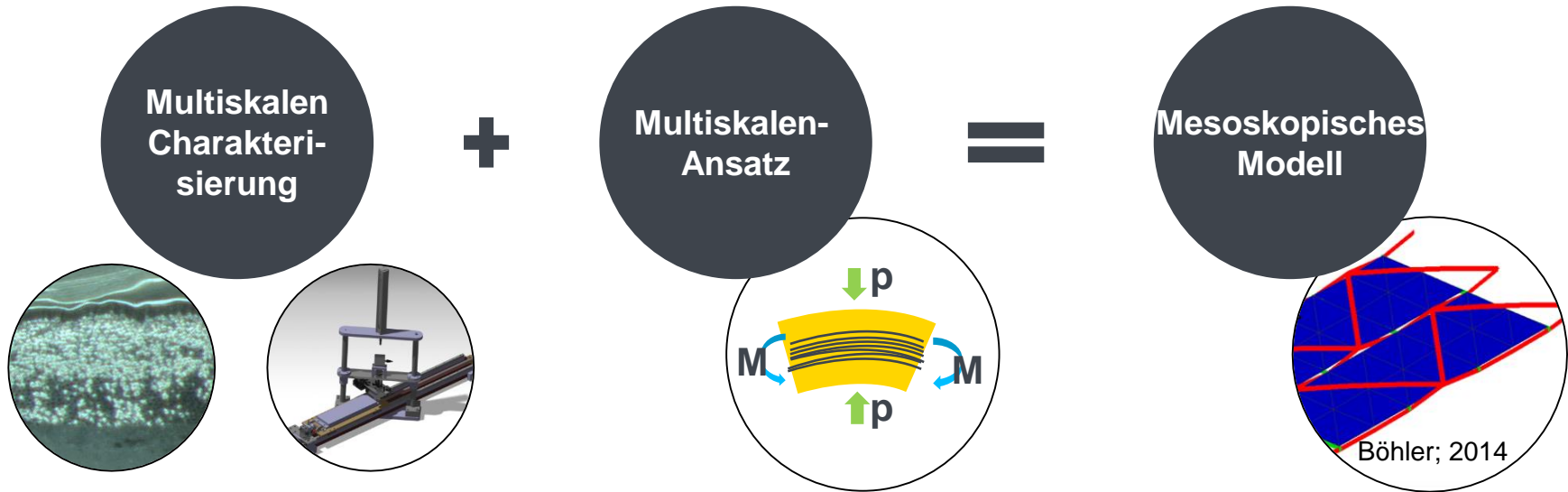
Nasspressen

- Unbekannte lokale Randbedingungen (Druck, Permeabilität, Harzgehalt, Lagendicke)
- Detailliertes physikalisches Modell erforderlich



Auszug aus den Arbeitsinhalten am IFB

Drapiersimulation | Vorgehen



μ CT + Schliffbilder

- FVG, Filamentpositionen

Reibung

- Filamente, Werkzeug, ...

Harzrheologie

RVE (μ -Simulation)

- mechanische Rovingeigenschaften
- Permeabilität

Einheitszelle (meso)

- Charakterisierung

Prozesssimulation auf Bauteilebene am gemeinsamen Demonstrator

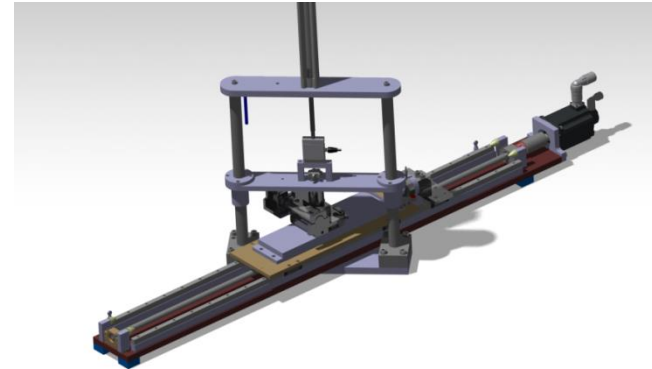
Vergleich mit der Modellierung mit FAST

Auszug aus den Arbeitsinhalten am IFB

Prefforming & Simulation | Erste Ergebnisse

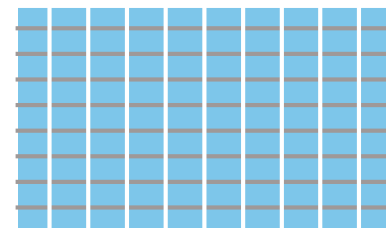
■ Neuer Teststand für Materialcharakterisierung

- variable Relativbewegung
- für trockene und getränkte Textilien
- Temperiert



■ Erste Umsetzung Dehnungssensorik

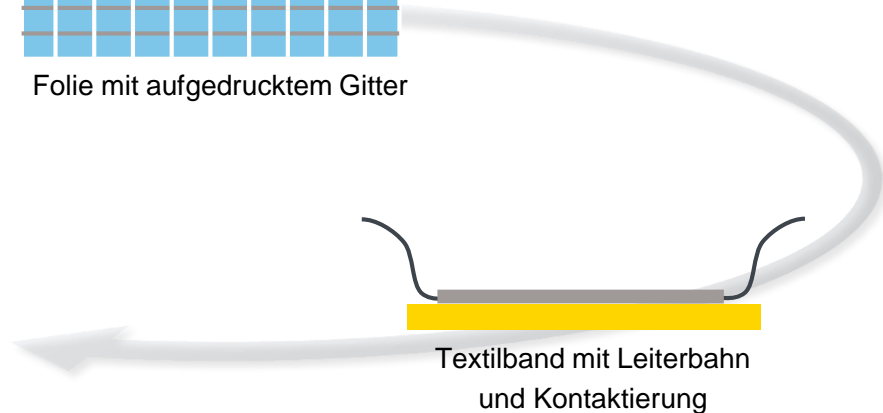
- Silikonbasierte, resistive Leiterbahnen
- Erprobung verschiedener Additive
- Herstellung vor Ort



Folie mit aufgedrucktem Gitter



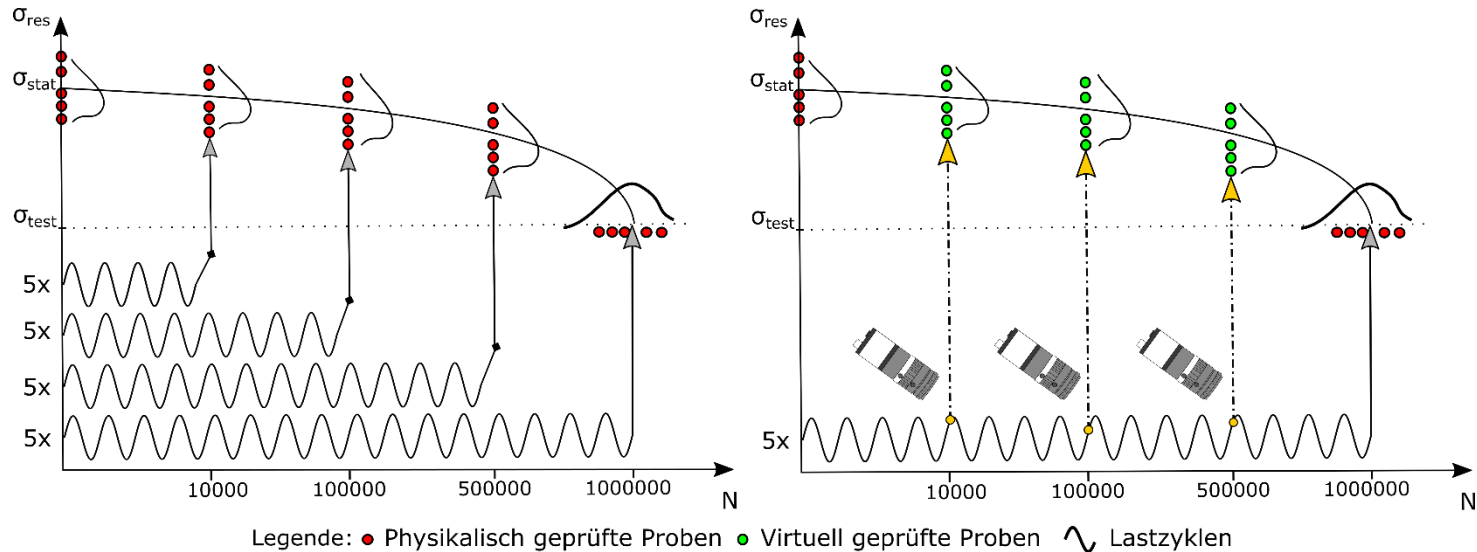
Zugproben der Dehnungssensorik



Textilband mit Leiterbahn und Kontaktierung

Auszug aus den Arbeitsinhalten am IFB

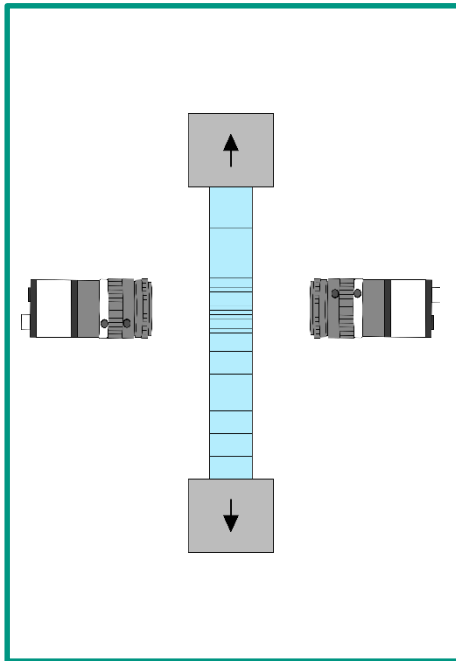
Fatigueuntersuchungen | Motivation



- Schnelle, automatisierte Fatigue Charakterisierung von Faserverbundwerkstoffen
- Restfestigkeitsbestimmung anstatt Wöhlerlinien
- Weniger Testing durch virtuelle Restfestigkeitsversuche
- Möglicher Ansatz: Implementierung der Ergebnisse in Produktoptimierung (FAST)

Auszug aus den Arbeitsinhalten am IFB

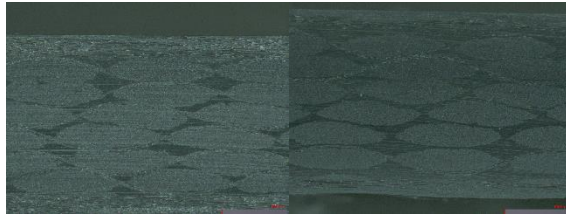
Fatigueuntersuchungen - Vorgehen



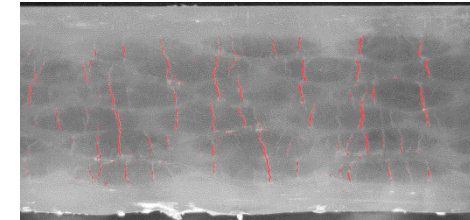
Versuch

Auszug aus den Arbeitsinhalten am IFB

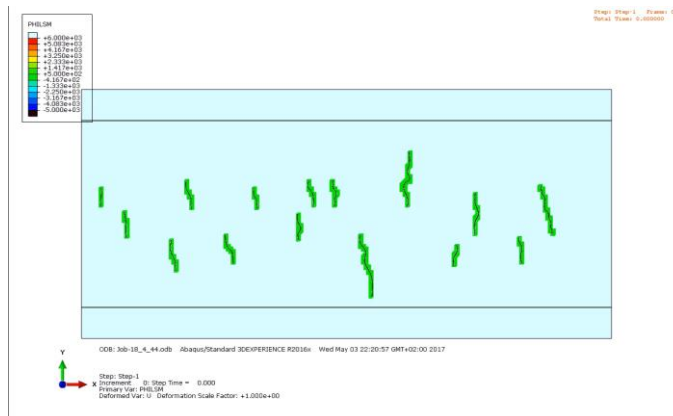
Fatigueuntersuchungen - Ergebnisse



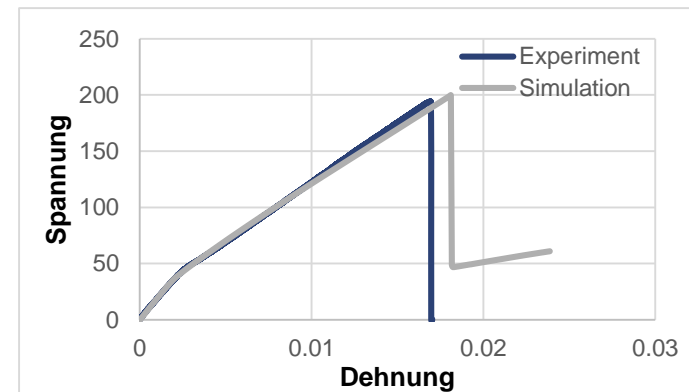
Zeit- und Kostenoptimierte Probenvorbereitung.
Qualitätsverbesserung für die Erkennungsalgorithmen



Entwicklung einer
automatisierten Risserkennung



XFEM Multicracking Simulation
basierend auf realen Rissen



Vergleich Restfestigkeit:
XFEM Simulation und Experiment

Zusammenfassung

- **Stärkung der überregionalen Kooperation FAST – IFB im Themenfeld Leichtbau:**
 - Einbindung KIT in Arena 2036
 - Einbindung Uni Stuttgart in KIT Forschungscampus
 - Koordinierte gemeinsame Aktivitäten zur Einwerbung von Drittmitteln
 - Stärkung der Spitzenforschung in Baden-Württemberg im Bereich Leichtbau

- **Ziele:**
 - Strategien zur Gewichtsreduktion von Bauteilen
 - kostengünstige Bauteilherstellung
 - kurze Taktzeiten
 - hoher Anspruch bezüglich Festigkeit und Komplexität
 - Serienfertigung in mittleren bis großen Serien

- **Potentielle Märkte:**
 - Automobilbau (E-Mobilität)
 - Luftfahrt
 - Maschinen- und Anlagenbau

Danke



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT,
FORSCHUNG UND KUNST



M. Sc. Christian Poppe

Email: christian.poppe@kit.edu
Telefon: 0721-608 45388
KIT | Karlsruher Institut
für Technologie
FAST | Institut für Fahrzeug-
systemtechnik
Rintheimer-Querallee 2
76131 Karlsruhe

Dipl.-Ing. Julian Fial

Email: fial@ifb.uni-stuttgart.de
Telefon: 0711-685 68324
Universität Stuttgart
IFB | Institut für Flugzeugbau
Pfaffenwaldring 31
70569 Stuttgart

