

Institut für Textil- und Verfahrenstechnik

Simulation textiler Prozesstechnologien für den Leichtbau

5. Fachkongress Composite Simulation,
ZAL TechCenter, Hamburg, 25. Februar 2015

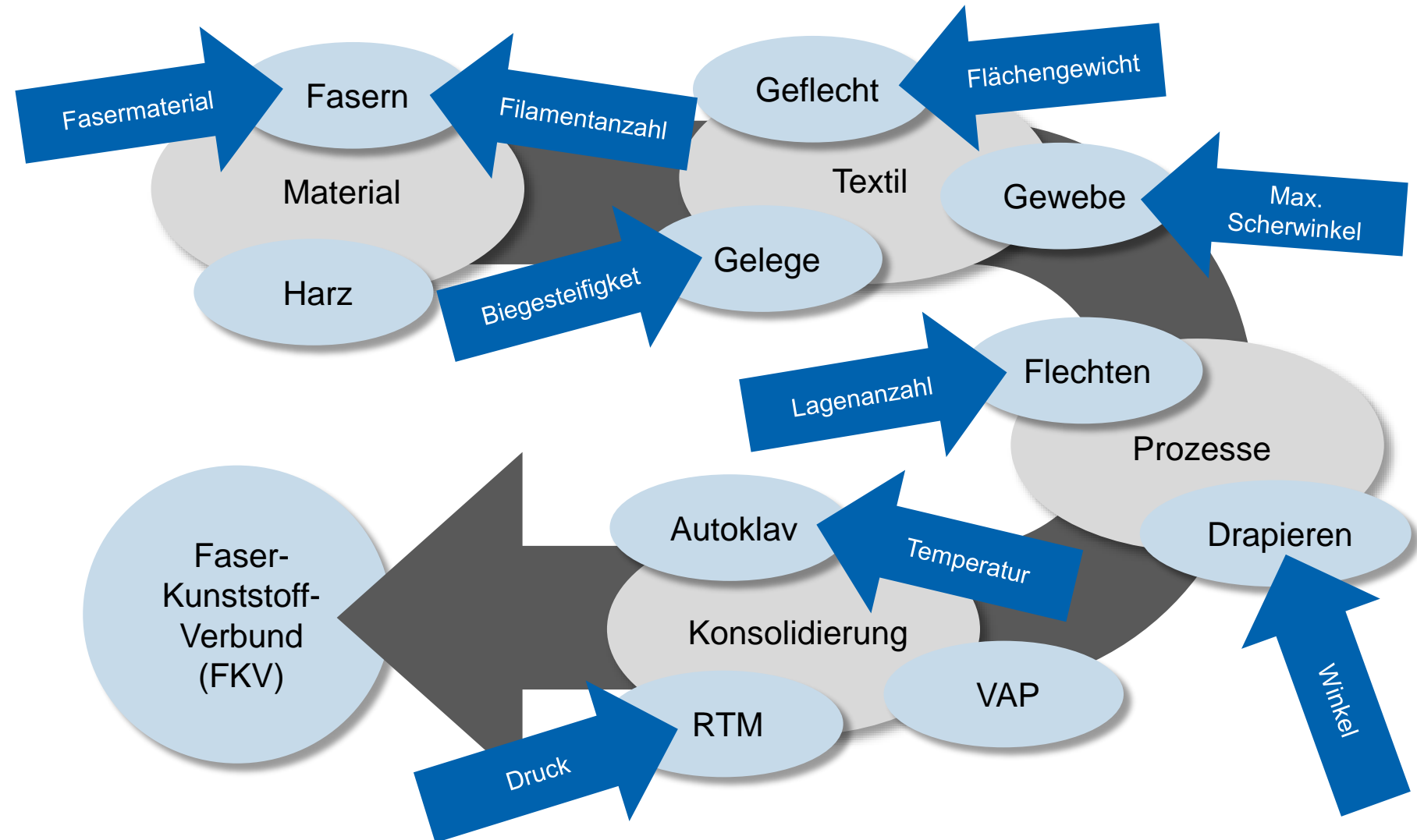
Hermann Finckh, Florian Fritz, Albrecht Dinkelmann

Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Götz T. Gresser

1. Einleitung/Motivation
2. Prozesssimulation „Drapieren“: Mehrlagig & komplexe Geometrien
3. Prozesssimulation „Flechten“: Ein- & mehrlagig & komplexe Geometrien
4. Prozesssimulation „Infiltration“: Kennwertermittlung mittels μ -CT
5. Prozesssimulation „Weben“: Neue „Open-Reed-Weaving“ Technologie
6. Zusammenfassung und Ausblick

1. Motivation

Vielzahl von Einflüssen bei der Herstellung von FKV

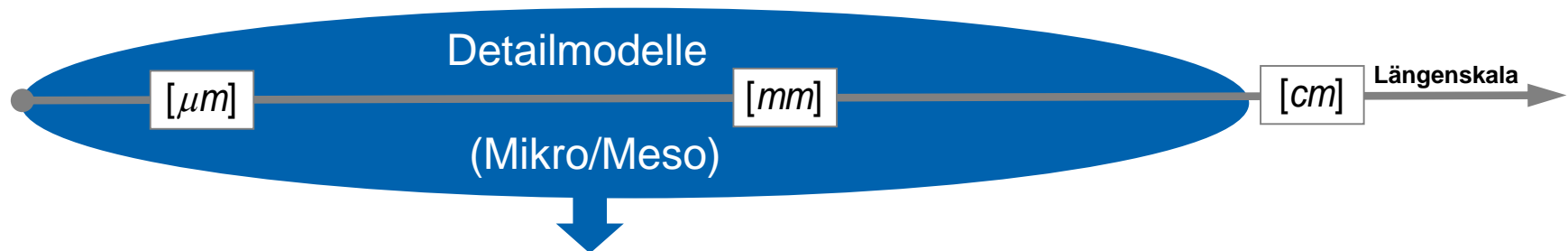
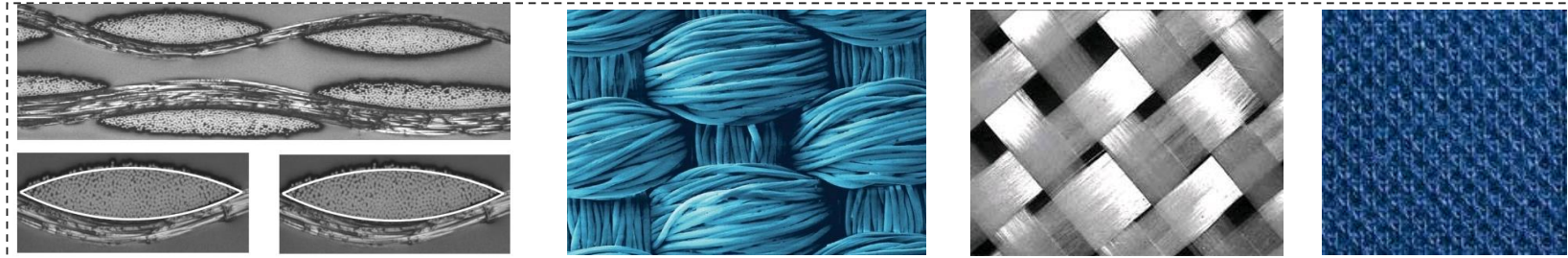


1. Motivation

- Systematische Analyse aller denkbaren Randbedingungen und Materialeigenschaften ist möglich.
- Gezielte Untersuchung nur eines Parameters.
- Besseres Verständnis phänomenologischer Zusammenhänge.
- Die Eignung/Grenzen des virtuelles Halbzeugs kann bzgl. seines Einsatzes analysiert werden, ohne dass sehr teurere und extrem zeitaufwendige Halbzeuge zuvor hergestellt werden müssen.
- Gezielte Halbzeugauswahl entsprechend spezifischen Bauteilanforderungen.
- Mehr Funktionalität erreichbar z.B. höhere Drapierbarkeit.
- Produktentwicklung/Optimierung wird verkürzt.
- Anstatt teure Gesamtbauteilprüfungen günstige Einzelprobenprüfung.
- Integration in der Fertigung – durchgängige Prozesskette ...
- Simulationsfähigkeit von FVK-Bauteilen

1. Motivation

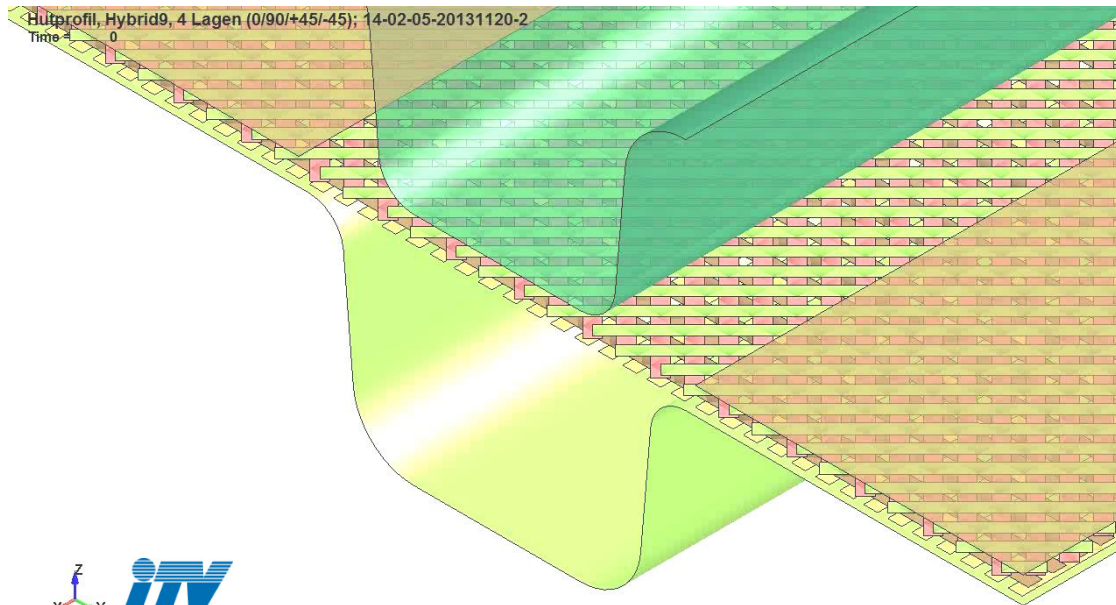
Wie generiert man Berechnungsmodelle, die realitätsnahe Aufbau/Faserorientierungen/Faserdichten abbilden ?



1. Modellgenerierung textiler Flächen mit einfacher Struktur:
 - Mittels CAD-Funktionen in FE-Programmen / spezieller Software
2. Modellgenerierung komplexer Bindungen:
 - mit Hilfe von CT-Aufnahmen
 - durch Prozesssimulationen

Eingesetzter FE-Code
LS-DYNA

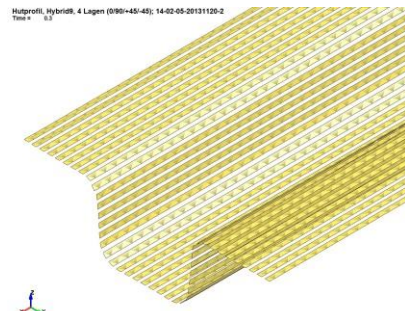
2. Mehrlagiges Drapieren Vier UD-Lagen Kohlenstoff zum Hutprofil



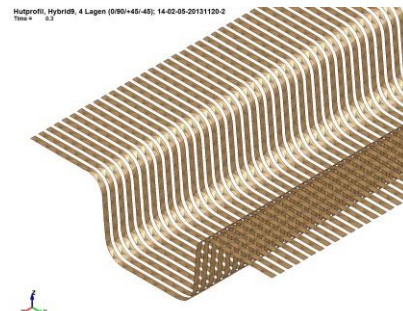
Drapiersimulation eines Hutprofils

- Lagen: 4 (0/90/+45/-45)
- Textilgröße: 800x262 mm
- Formtiefe: 50 mm
- Hybrid-Materialmodell aus Beam- und Shell-Elementen

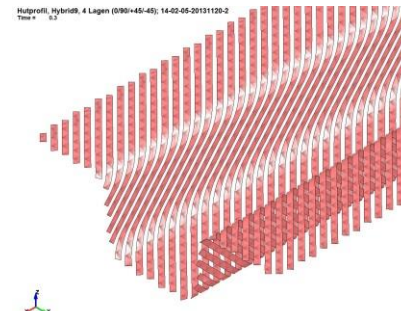
UD-Lagen auf Basis
geometrischer Daten erstellt



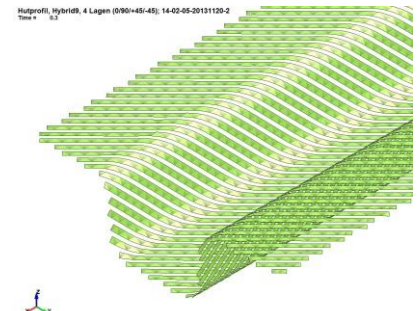
Lage 1: 0°



Lage 2: 90°



Lage 3: +45°



Lage 4: -45°

2. Mehrlagiges Drapieren Vier Lagen Kohlenstoff UD-Lagen zum Hutprofil

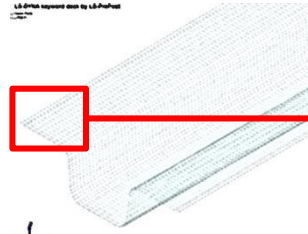
Ergebnis der
Drapiersimulation

Extraktion der
Faserorientierungen

Mapping der
Faserorientierungen



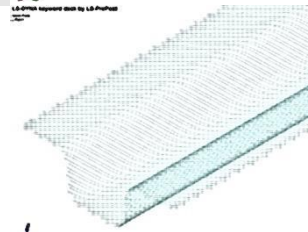
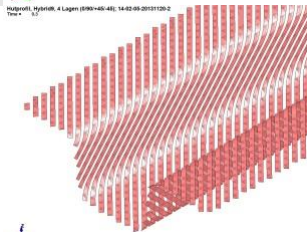
Layer 1: 0°



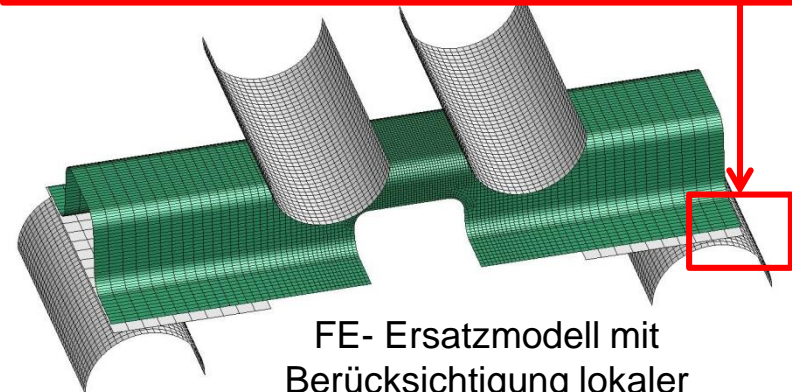
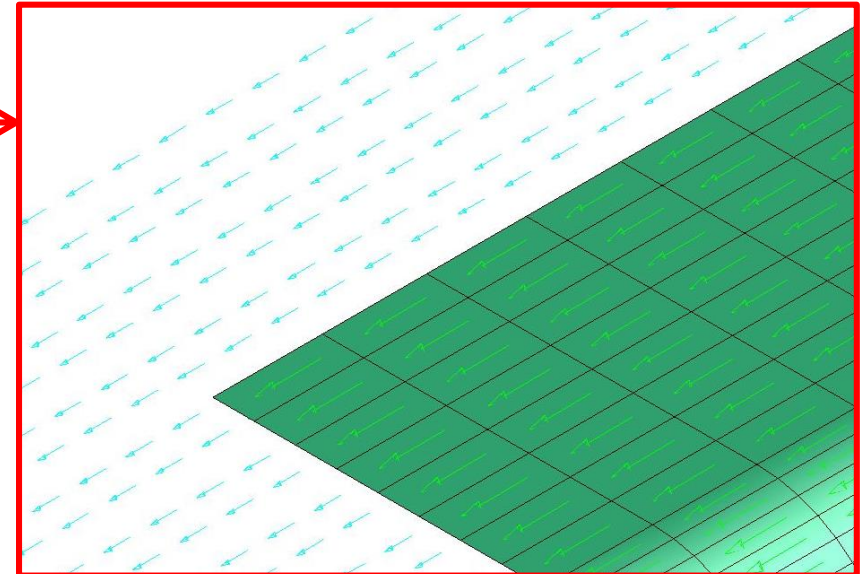
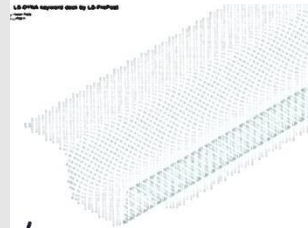
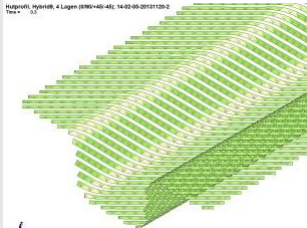
Layer 2: 90°



Layer 3: +45°



Layer 4: -45°



FE- Ersatzmodell mit
Berücksichtigung lokaler
Faserorientierungen

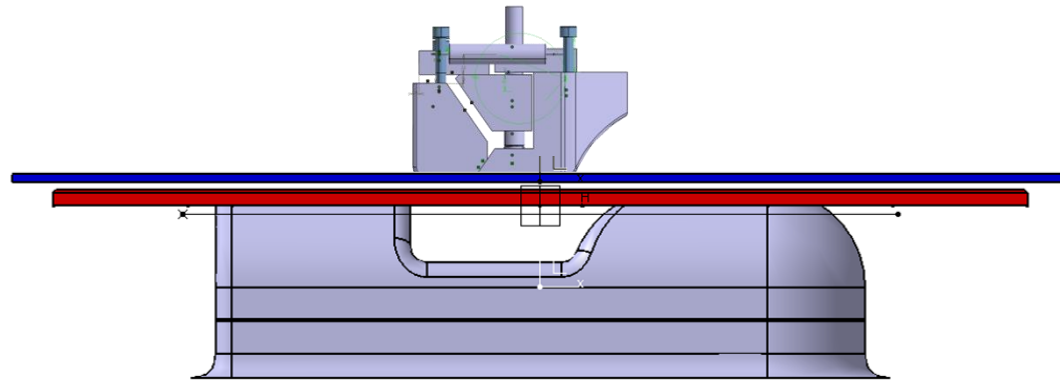
2. Mehrlagiges Drapieren

Vier UD-Lagen Kohlenstoff zur „KK“-Form

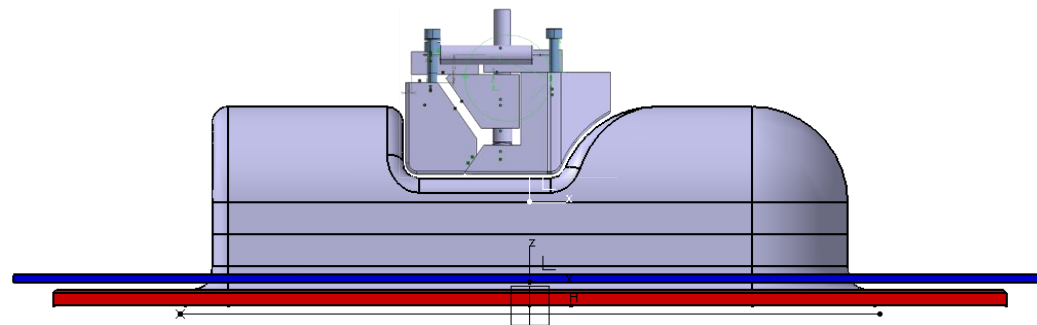
KK-Form (konvex-konkav):
Demonstrator-Form mit hohen
Drapieranforderungen

Anfangsposition:

- Weg 116 mm
- Je 4 Lagen pro Umformungsschritt

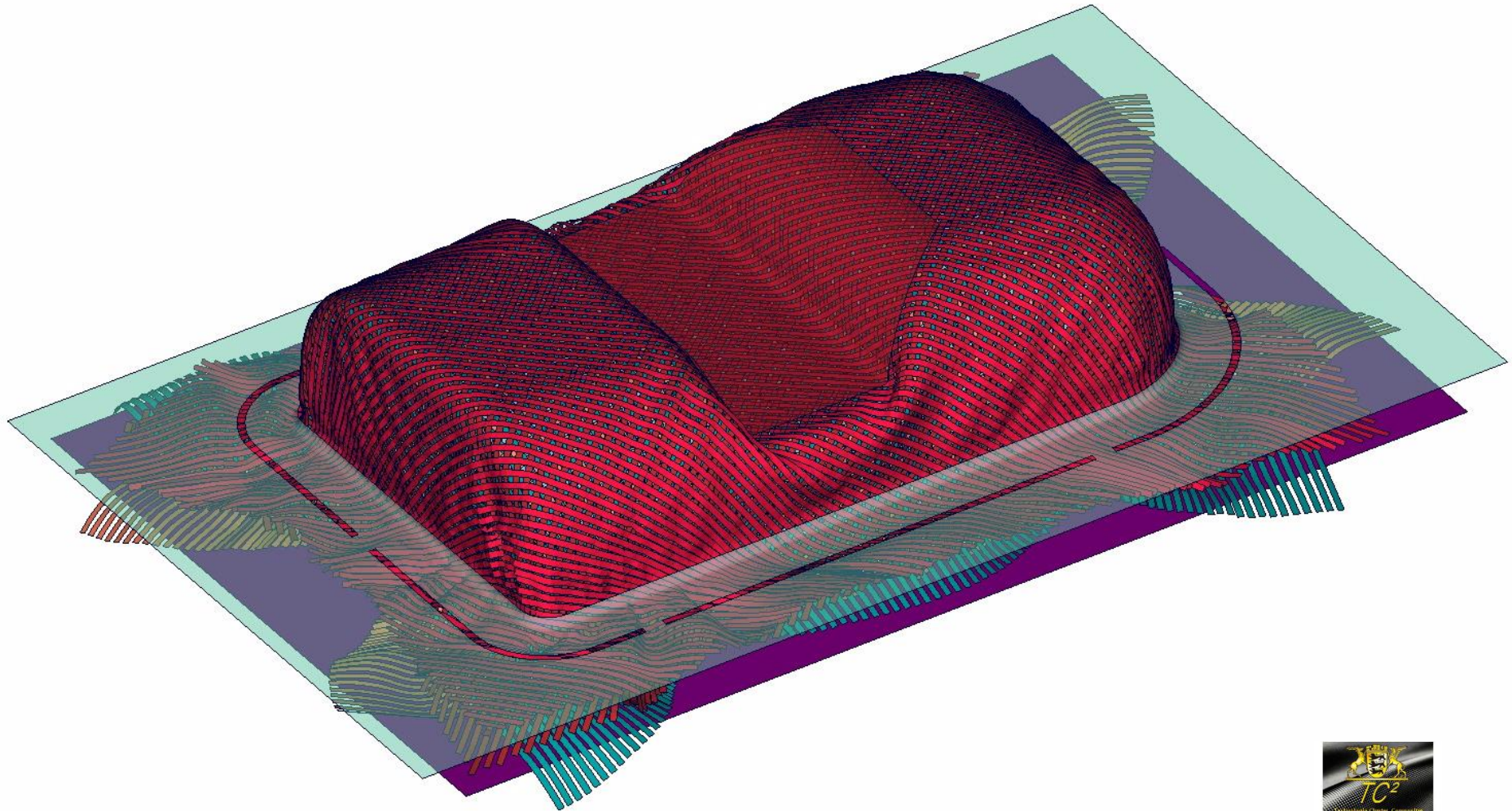


Endposition:

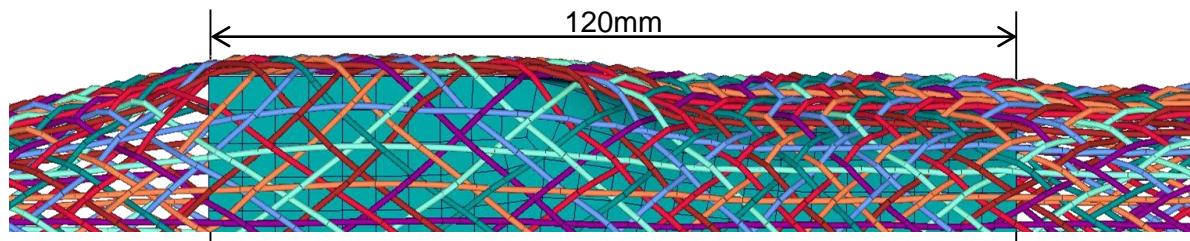
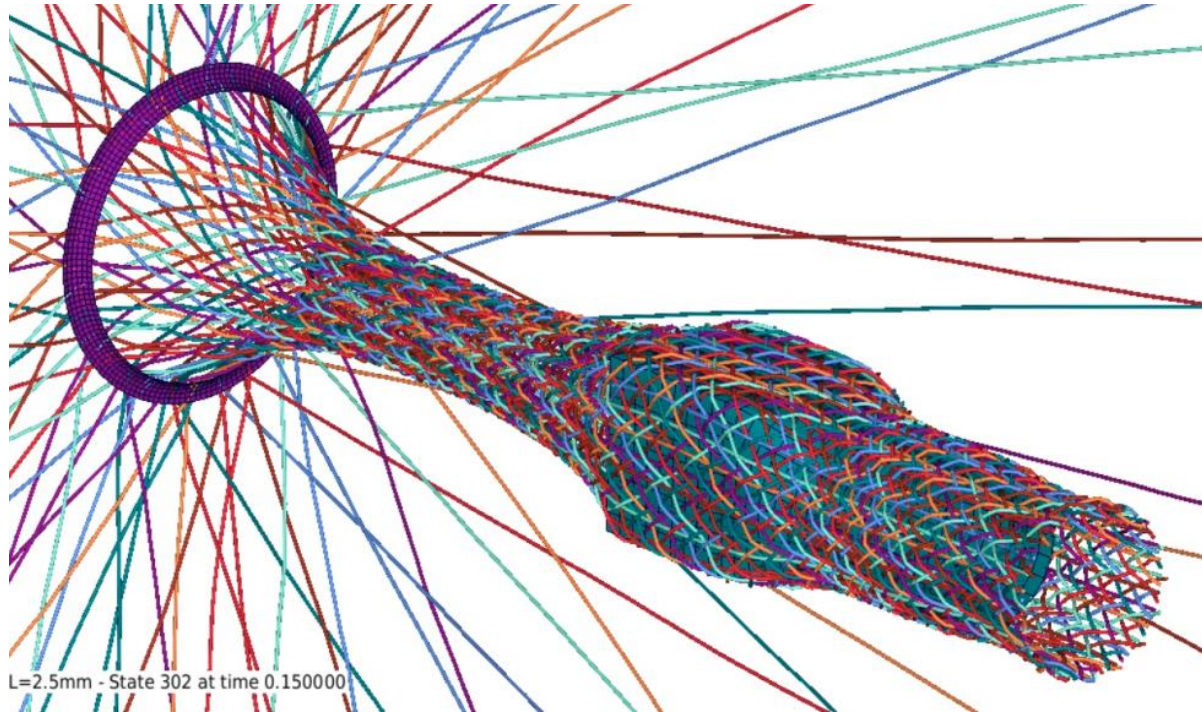


Quelle: IFB Stuttgart

2. Mehrlagiges Drapieren Vier UD-Lagen Kohlenstoff zur KK-Form



3. Flechten Umflechten eines dreidimensionalen Körpers

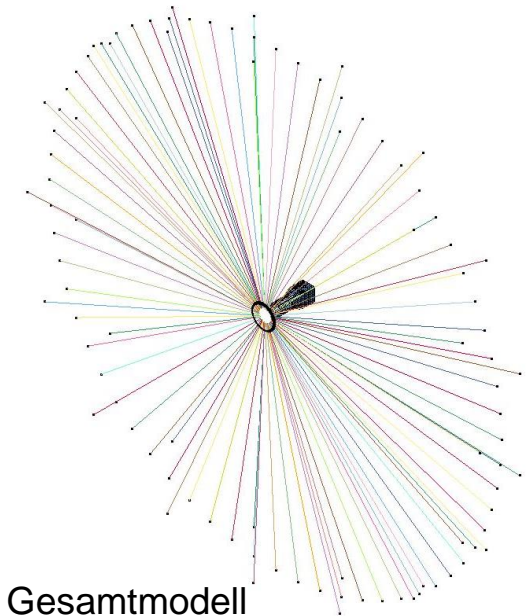


Triaxial-Geflecht, Detail

ARENA2036 DigitPro

Flechtsimulation eines Probekörpers mit LS-Dyna

- Klöppel: 64
- Stehfäden: 32
- Durchmesser: 1646 mm
- Bauteillänge: 120 mm
- Faden als Beam-Elemente

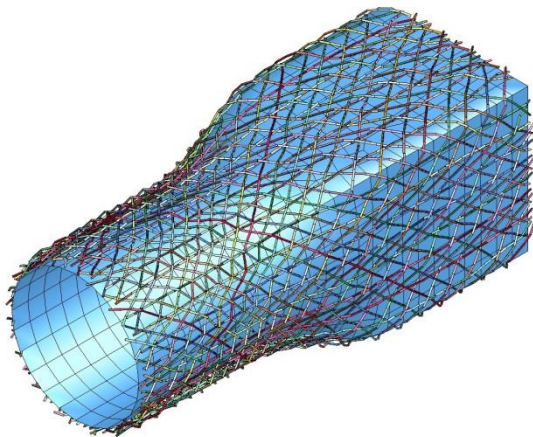


Gesamtmodell
„Mikro/Meso-Bereich“

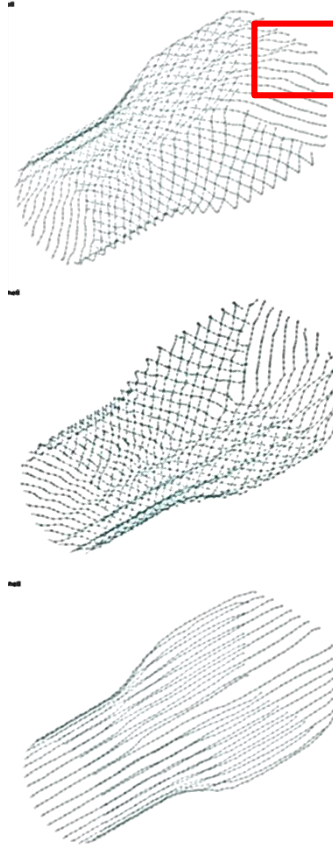


3. Flechten Extraktion und Mapping der Faserorientierung

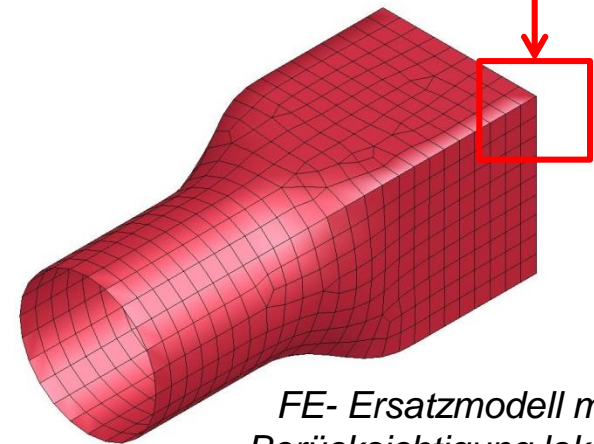
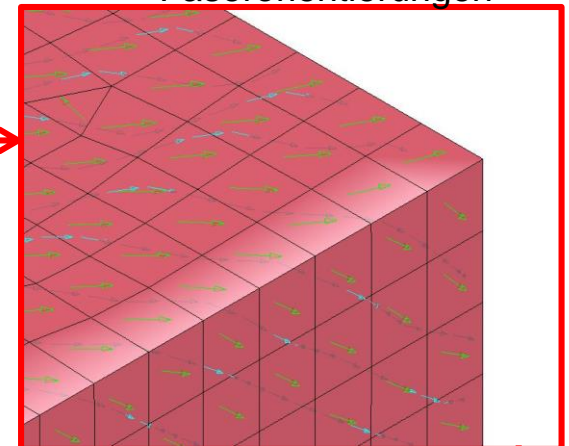
Ergebnis der
Flechtsimulation



Extraktion der
Faserorientierungen



Mapping der
Faserorientierungen

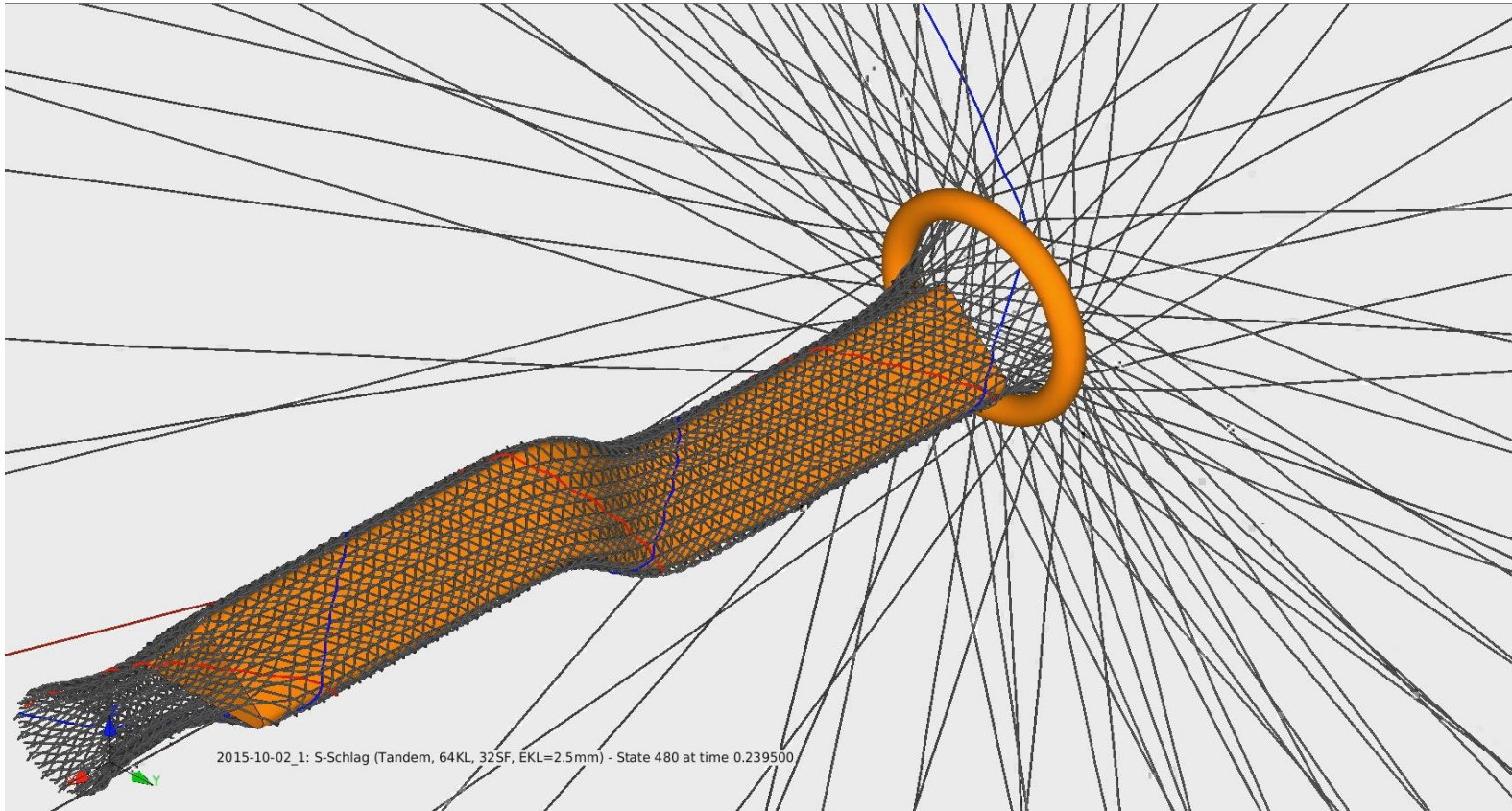


*FE- Ersatzmodell mit
Berücksichtigung lokaler
Faserorientierungen*

ARENA2036 DigitPro

3. Flechten

Realitätsgetreue Simulation komplexer Flechtbauteile



➤ Einsatz von Seatbelt-Elementen
Berechnungsdauer > 3 Tage

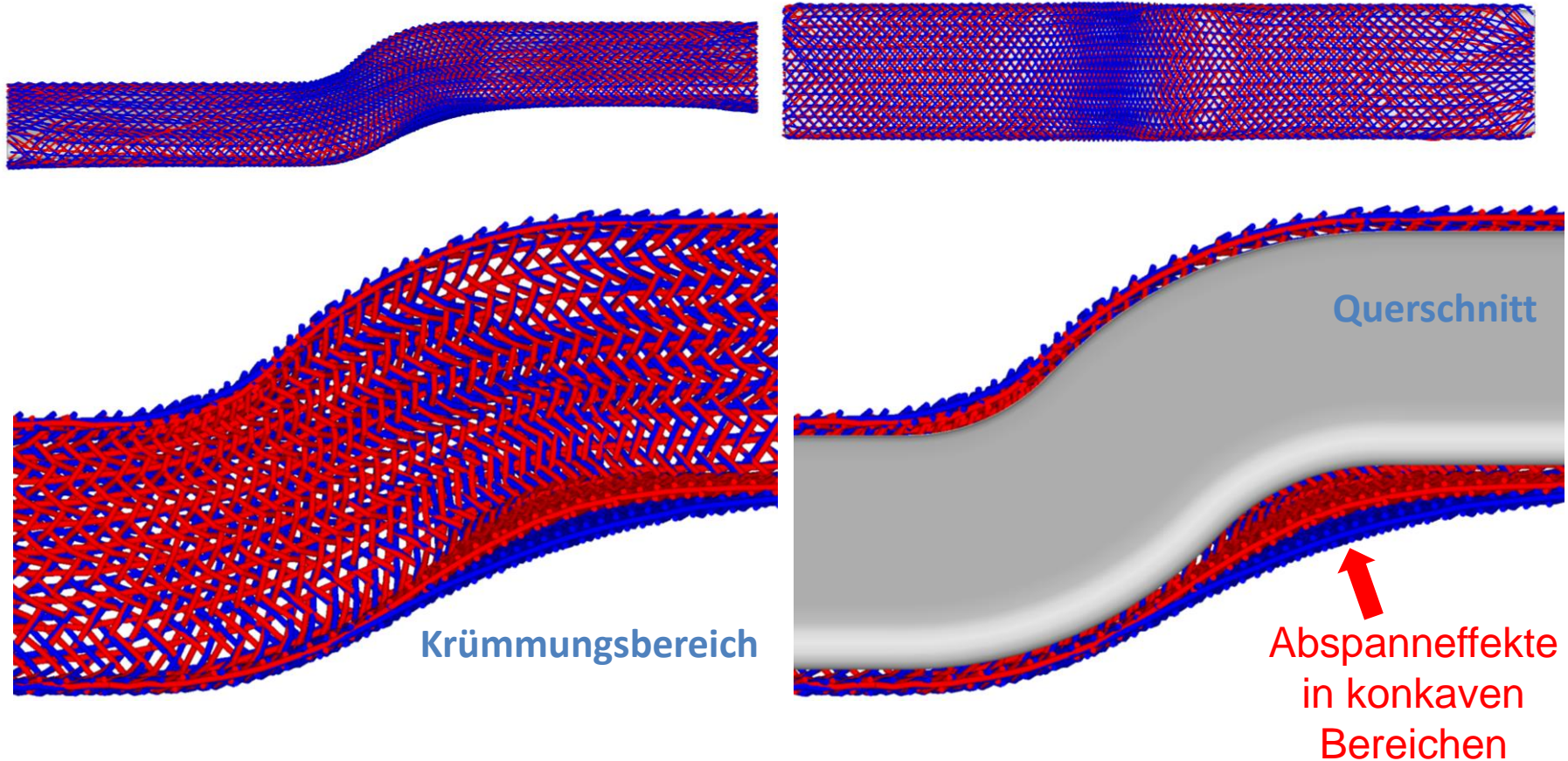
➤ Einsatz neuer Beam-Source-Elemente
Berechnungsdauer < 1 Tag

Jeweils 12 Kerne mit 2,7GHz

ARENA2036 DigitPro

3. Flechten

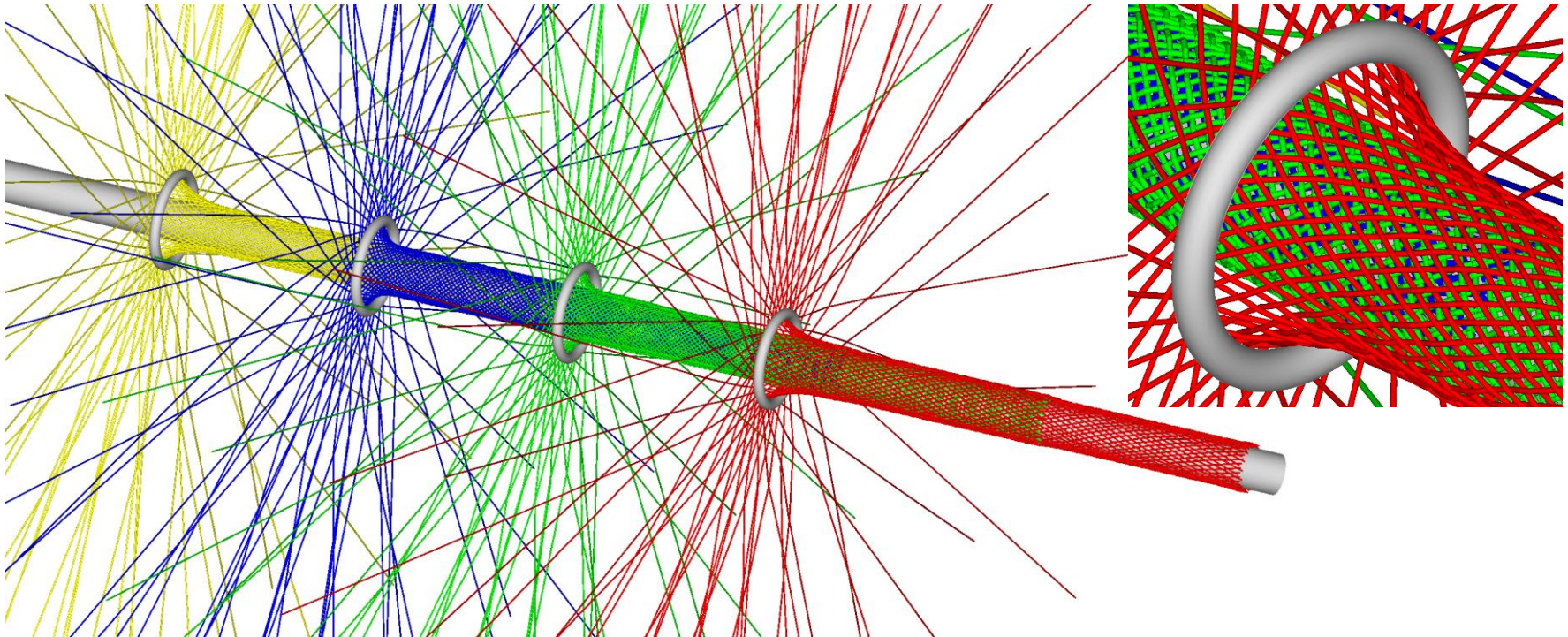
Realitätsgetreue Simulation komplexer Flechtbauteile



- Überlagerung der Simulationsergebnisse bei Verwendung von Seatbelt-Elementen (blau) und von den neuen Beam-Source-Elementen (rot)

3. Flechten

4 lagiger kontinuierlicher Flechtvorgang



BMBF-Projekt TPult

- Simulation der vierlagigen simultanen Überflechtung in einer Prozesslinie mit Einsatz neuer Beam-Source-Elemente



4. Infiltration

Kennwertermittlung mittels μ -CT



μ -Computertomograph am ITV

nanotom m

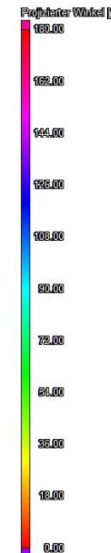
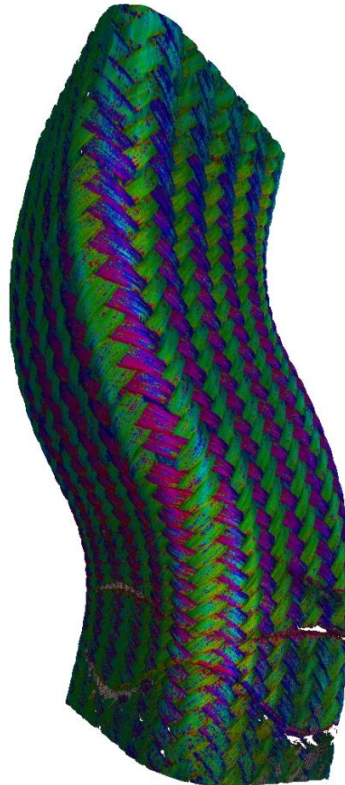
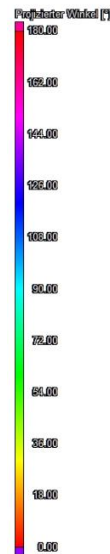
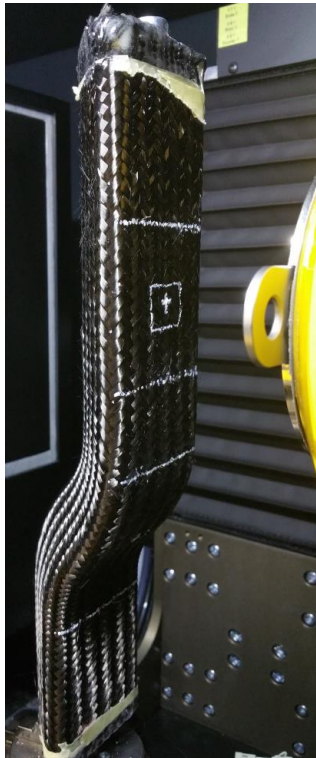
Phönix | X-Ray
Fa. GE Sensing & Inspection
Technologies GmbH

- 180kV/15W nanofocus-Röntgenröhre mit **interner Röhrenkühlung**
- Temperrastabilisierter digitaler Detektor:
 - DXR-Flächendetektor mit **3072 x 2400 Pixel**, Pixelgröße: **100 μ m**
 - Minimale Voxelgröße von 300 nm
 - 14bit Detektordynamik ($2^{14} = 16384$ Grauwerte)
- Granitbasierter 5-Axen Manipulator mit luftgelagerter Präzisionsdreheinheit
- Probendimensionen **250 mm x 240 mm**
- Einsatz der marktführenden Analysesoftware VGStudioMax
- **Optimal geeignet für textil- und kunststoffbasierte Werkstoffe**

4. Infiltration Faserorientierung

Untersuchungen zur Bestimmung der Permeabilität an einem Flechtbauteil*:

(* Hergestellt vom IFB, Universität Stuttgart)



CT-Scan des Flechtbauteils

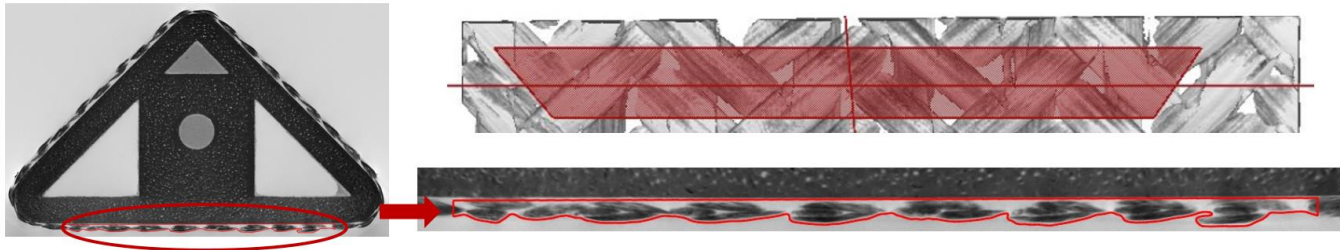
Ergebnis der Faserorientierungsanalyse des
hochauflösten CT-Scans

ARENA2036 DigitPro

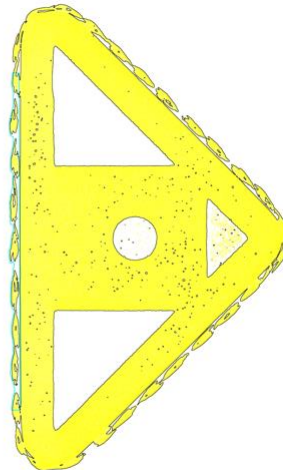
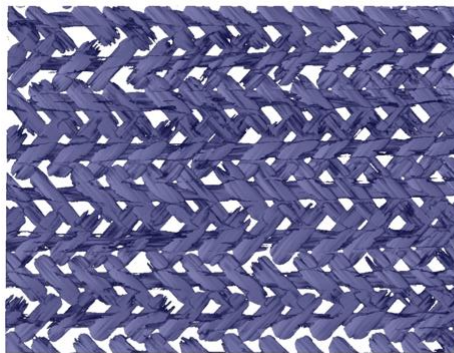
4. Infiltration

Permeabilitätsbestimmung durch Strömungsberechnung

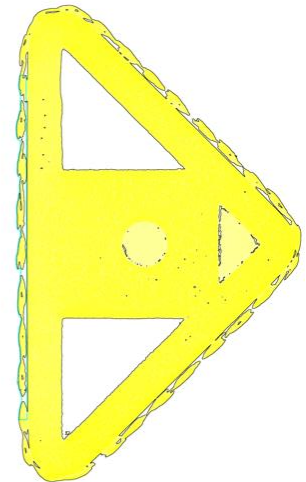
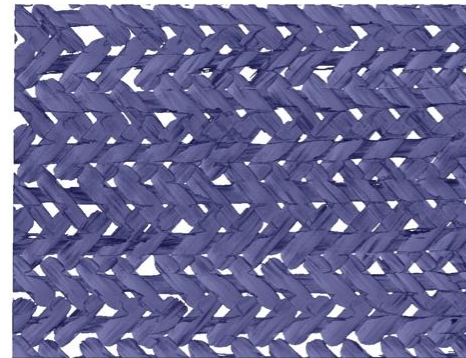
Untersuchungen zur Bestimmung der Permeabilität an einem Flechtbauteil*:



Festlegung der Bereichs, der in der Strömungsberechnung berücksichtigt wird



Scharfe Oberflächenermittlung

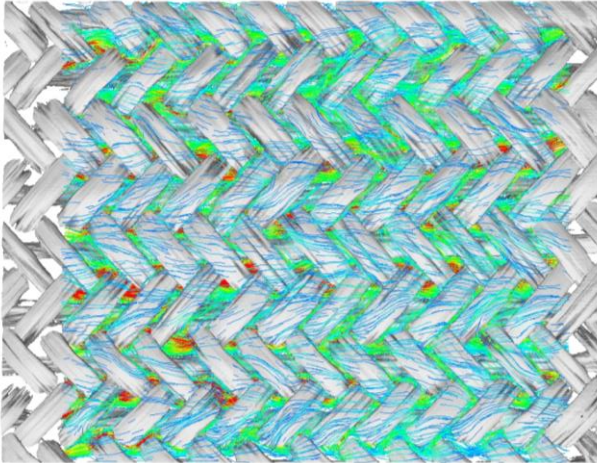


Ausgewogene Oberflächenermittlung

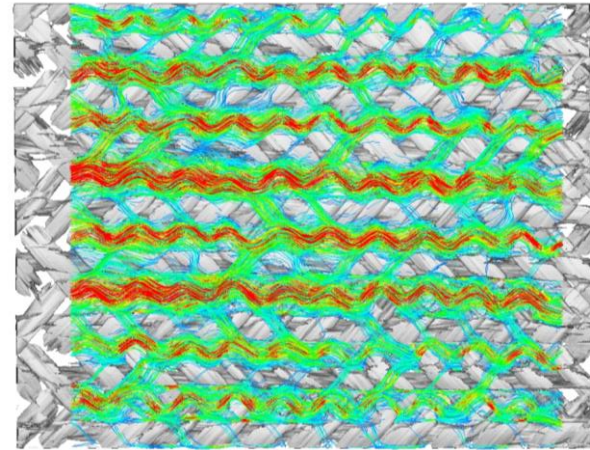
4. Infiltration

Permeabilitätsbestimmung durch Strömungsberechnung

Untersuchungen zur Bestimmung der Permeabilität an einem Flechtbauteil*:



Außenseite

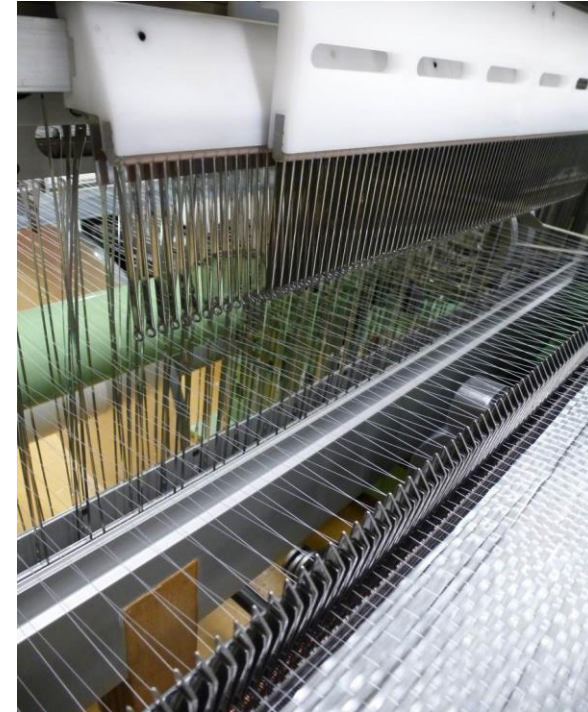


Innenseite

Ergebnis der stationären Strömungsberechnung
eines Ausschnitts an der Grundseite des Geflechts

	absolute permeability (10^{-9} m^2)	absolute permeability (10^{-9} m^2)
Zellen des Simulationsgitters	60 μm	48 μm
scharfe Oberfläche	1,99	2,03
ausgewogene Oberfläche	0,88	0,91

5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie ORW-Webmaschine am ITV



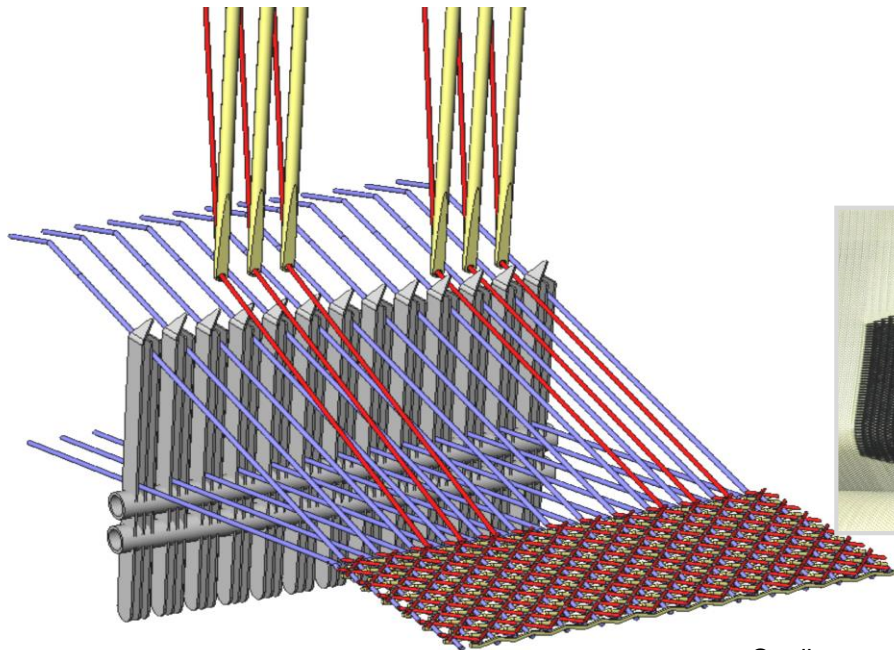
- Herstellung von Multiaxialgeweben oder partiell verstärkten Geweben

5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie

Grundprinzip des ORW-Multiaxialwebens

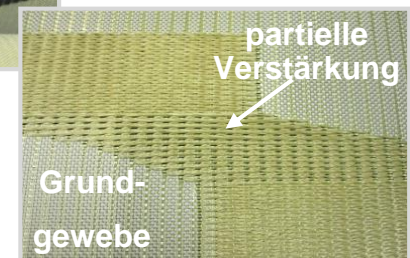
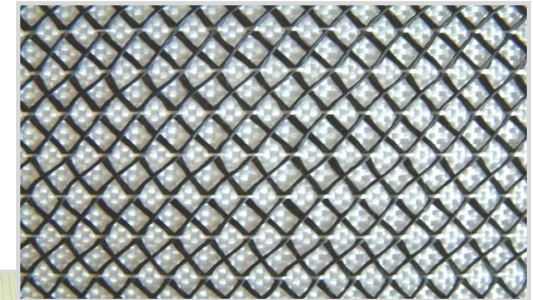
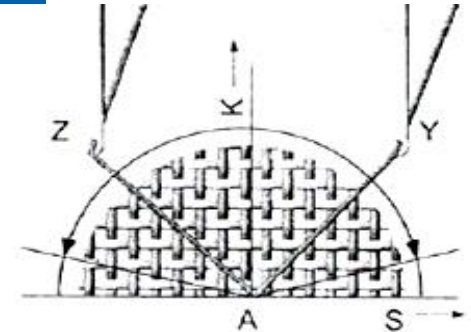
Multiaxialweben

- Faden taucht in freie Webblattlücke ein
- oben offenes Webblatts mit gekröpften Stäben



Quelle:
DORNIER

zur 0°/90°-Orientierung
diagonale Verstärkung
(4-axial)



5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie

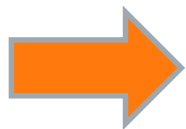
Entwicklung der ORW-Gewebeprozesssimulation

Ziel: Erarbeitung der Open-Reed-Weaving-Prozesssimulation anhand eines sinnvollen und aussagekräftigen ORW-Demonstrators.

ORW-Simulationen sind deutlich komplexer als Flechtsimulationen oder „normale“ Gewebeherstellungssimulationen

Die FE-Entwicklungsarbeiten erfordern:

- Auswahl eines geeigneten Grundgewebe
- Kleine Gewebedimensionen
- Geringe Anzahl über die ORW-Technologie eingebrachter Multiaxialfäden

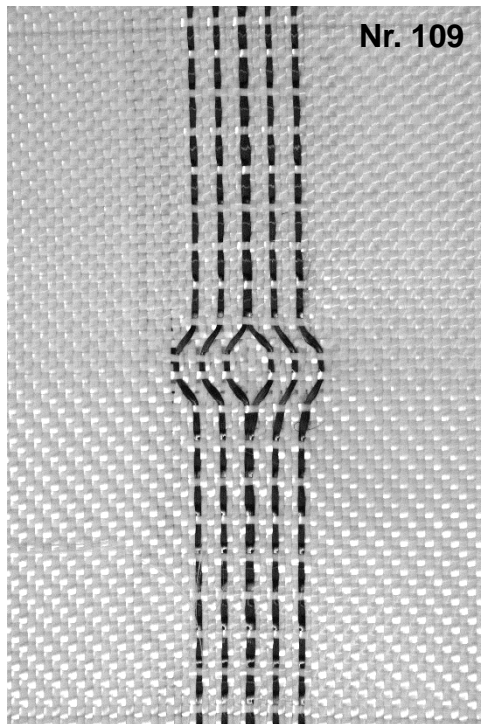


Sinnvoller Demonstrator, der diese Anforderungen erfüllt, ist die
„ORW-Verstärkung bei Lochleibungsbeanspruchung“
(kurz ORW-Lochverstärkung)

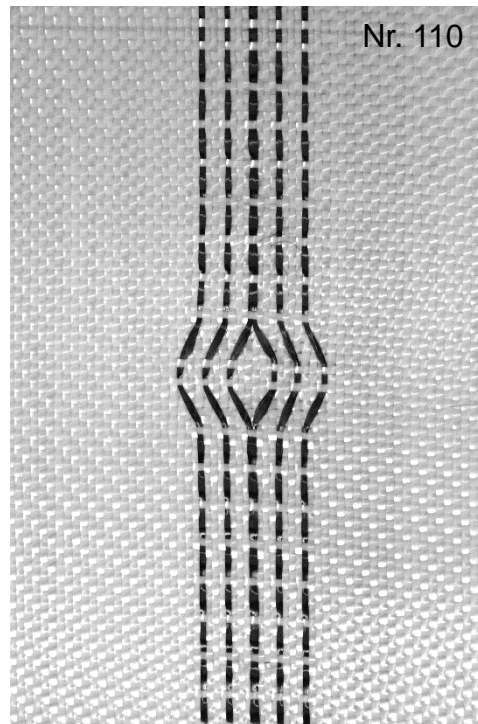
5. Weben: Open-Weave-Technologie ORW-Gewebe mit „Lochverstärkung“

Unterschiedliche Lochverstärkungsvarianten:

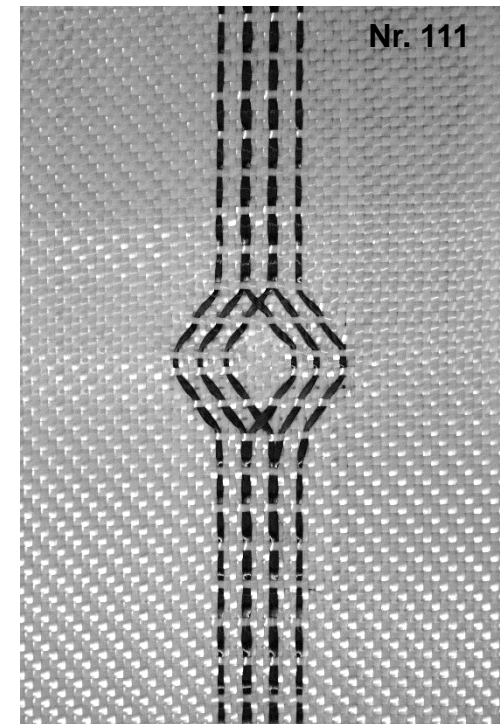
- Grundgewebe aus Glasfaserrovings
- ORW-Faden (Multiaxialfaden) aus Glasfaser oder Kohlenstoff



6 ORW-Fäden
O-Typ, 41°



6 ORW-Fäden
O-Typ, 28°



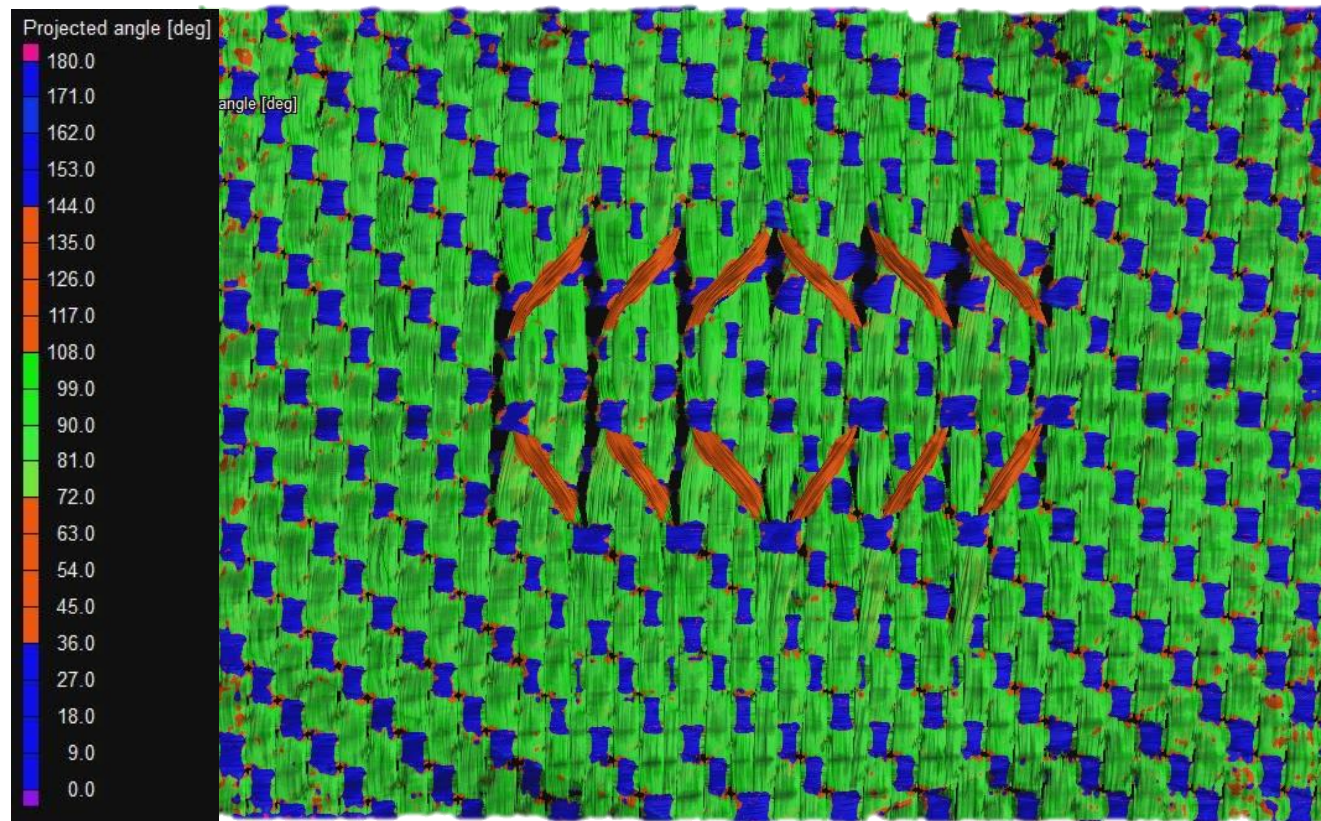
6 ORW-Fäden
X-Typ, 41°

ARENA2036 DigitPro

5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie

CT-Analyse eines ORW-Gewebes mit „Lochverstärkung“

CT- Orientierungsanalyse der **einlagigen, trockenen** Lochverstärkung Nr. 109
Typ O, 2 x 3 ORW-Fäden, 41° Verlegewinkel



ARENA2036 DigitPro

CT-Analyse, Farben zeigen Faserrichtung


trocken

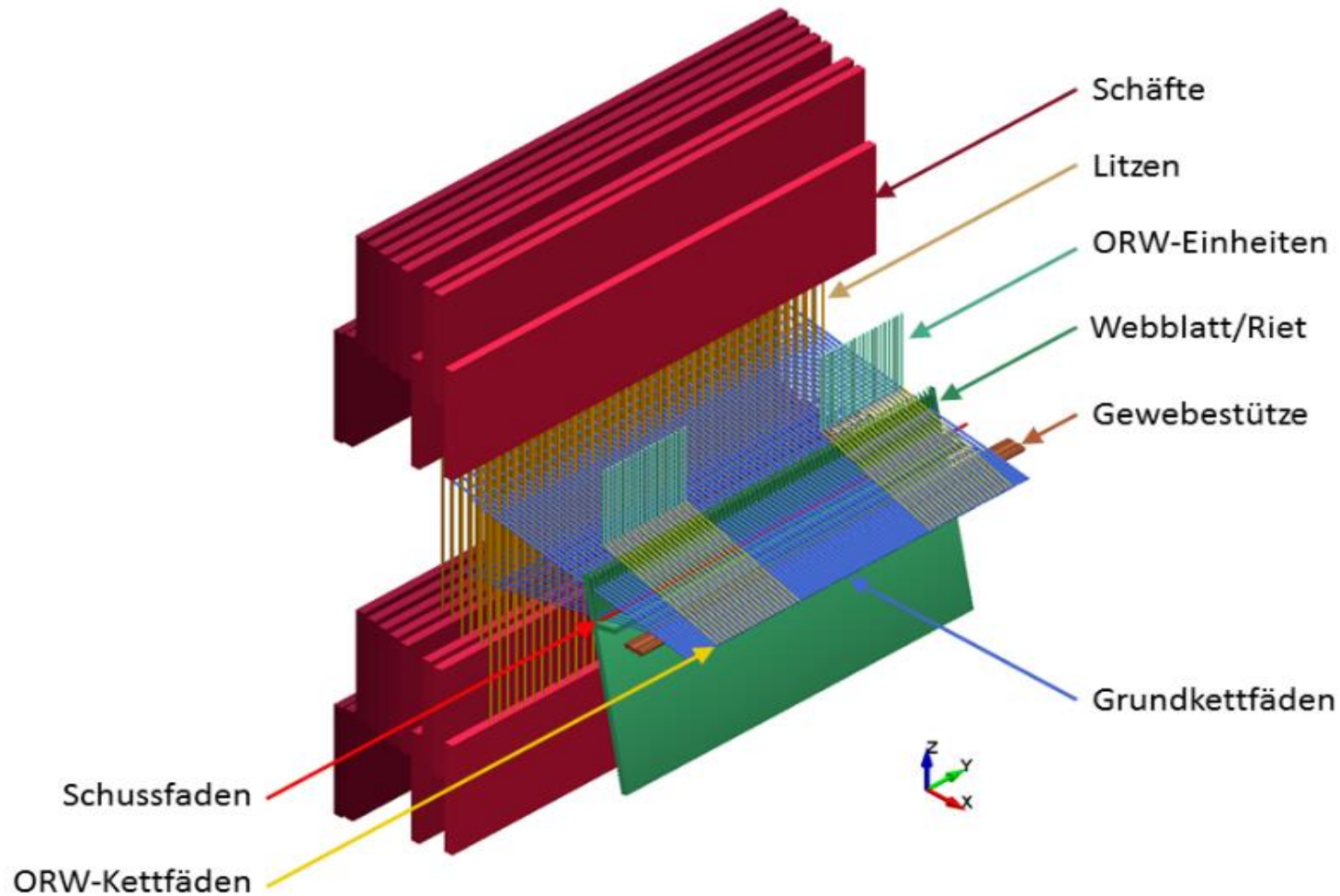

konsolidiert

5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie

Entwicklung der ORW-Gewebeprozesssimulation

- Die ORW-Webmaschine wurde geometrisch und bzgl. der Bewegungsabläufe genau analysiert.
- Darauf aufbauend wurde eine Software entwickelt, die es ermöglicht, Modelle für die ORW-Prozesssimulation automatisch zu generieren.
- Die Entwicklungsarbeiten sollten so durchgeführt werden müssen, dass gewünschte Bindungen bei der Modellgenerierung berücksichtigt wird:
- **Vorgabe der „Bindungspatrone“ als Modellparameter**

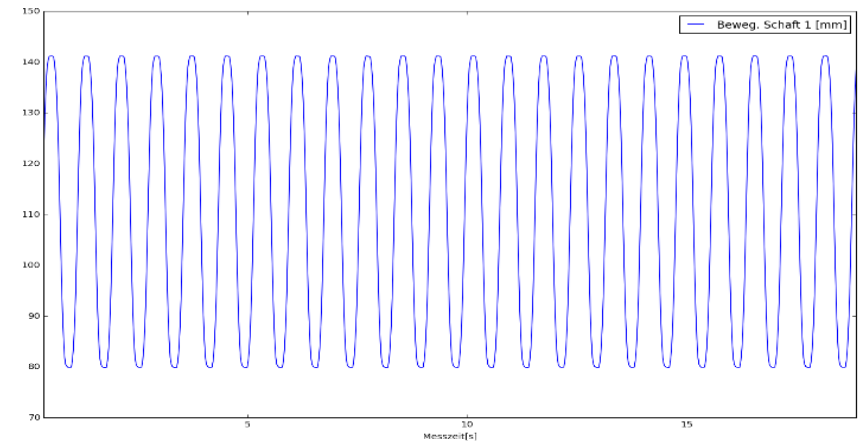
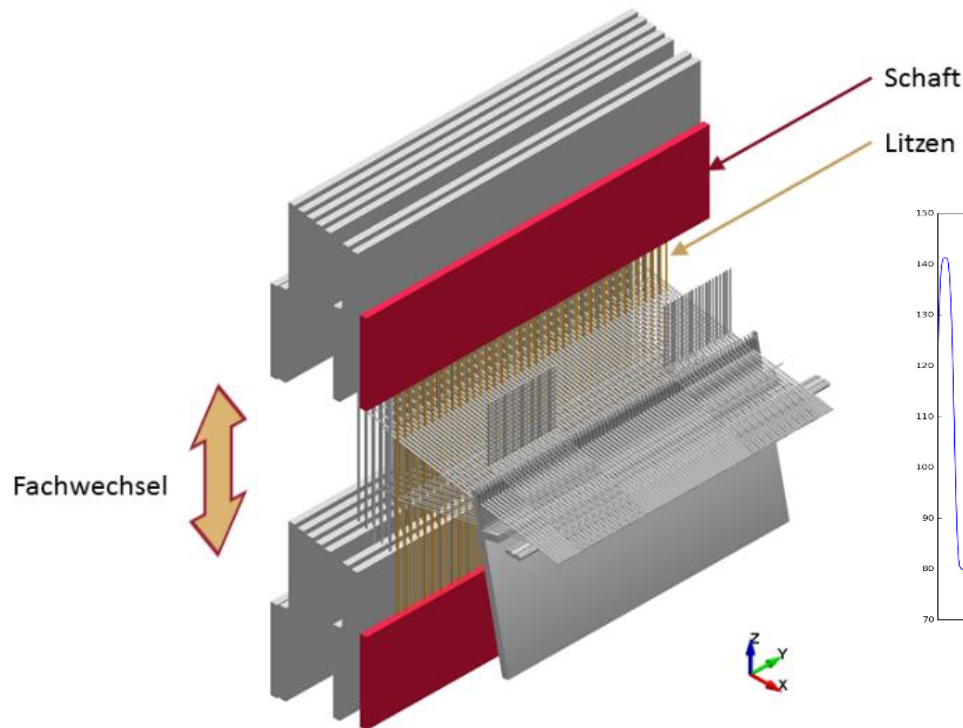
5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie Aufbau Schachtwebmaschine mit ORW-Einheiten



ARENA2036 DigitPro

5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie Aufbau einer ORW-Maschine

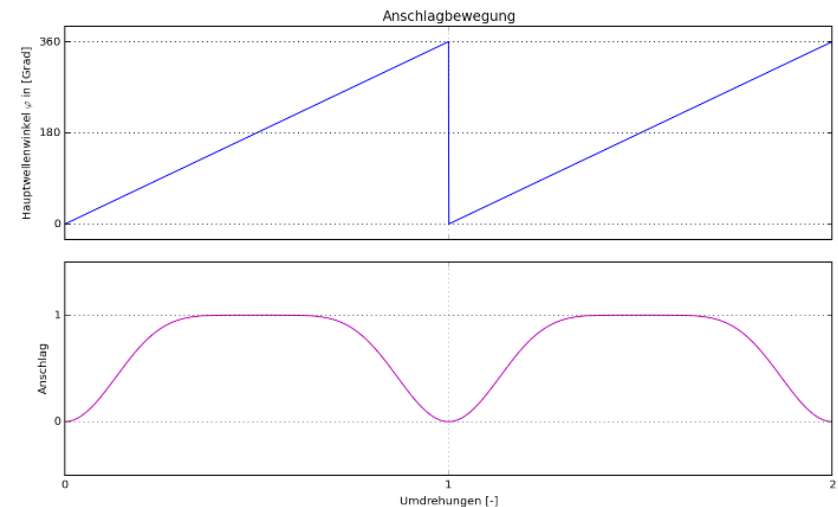
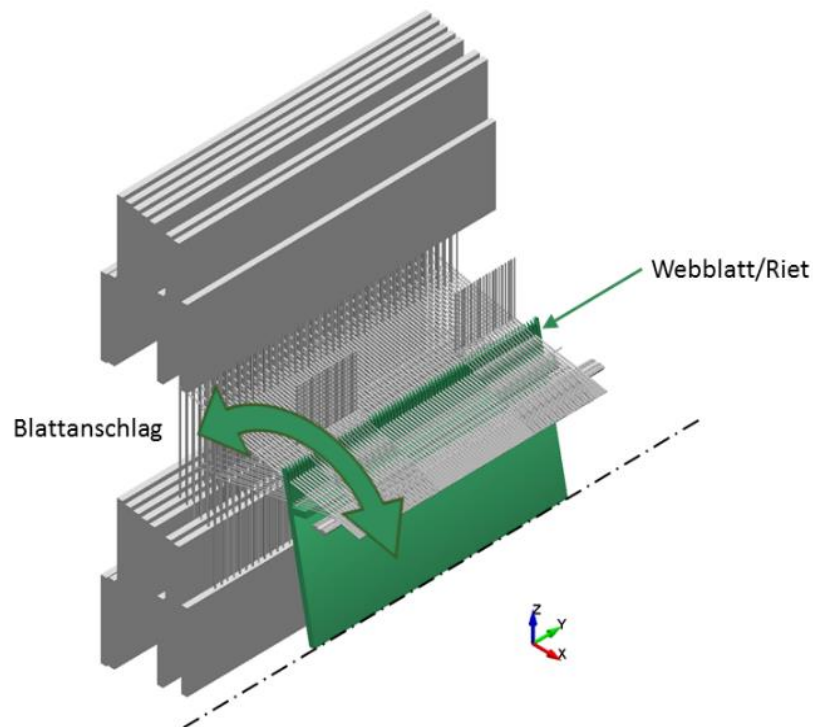
Schematische Darstellung eines Schaftes und der Schafsbewegung



Messung der Schafsbewegung an
Schaft #1 der ORW-Maschine

5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie Aufbau einer ORW-Maschine

Schematische Darstellung des nach oben offenen Webblattes

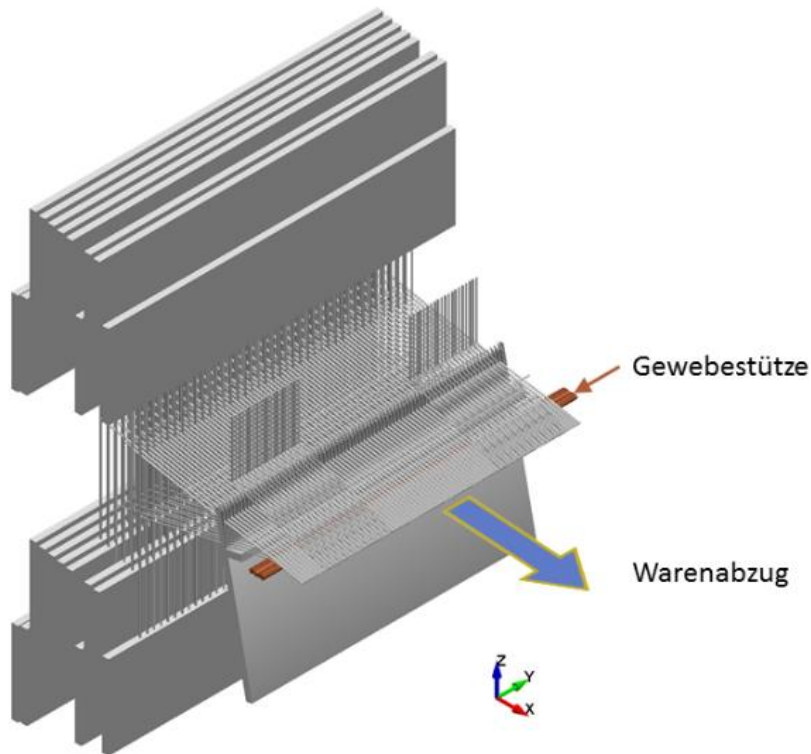


Anschlagbewegung des Webblattes als
Funktion des Hauptwellenwinkels

5. Weben: Open-Weave-Technologie

Aufbau einer ORW-Maschine

Gewebestütze und Warenabzug

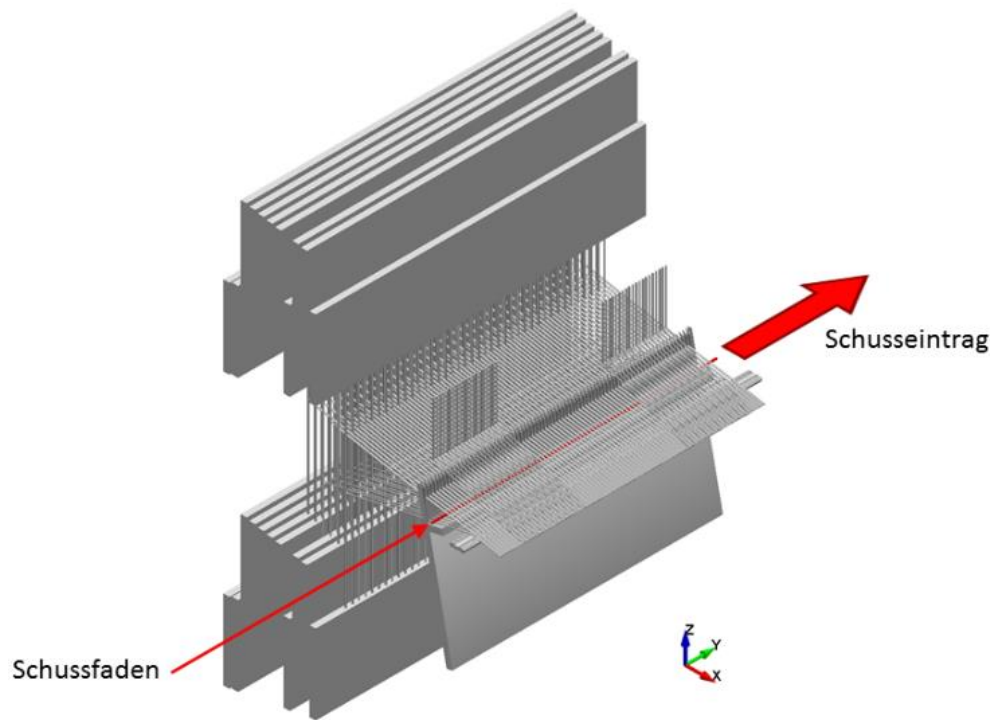


- Warenabzug erfolgt unter einem Winkel gegenüber der Kettfadenebene
- Gewebe wird beim Abziehen auf die Gewebestütze gepresst
- dämpft Schwingungen im Gewebe
- erhöht die Prozessstabilität

5. Weben: Open-Weave-Technologie

Aufbau einer ORW-Maschine

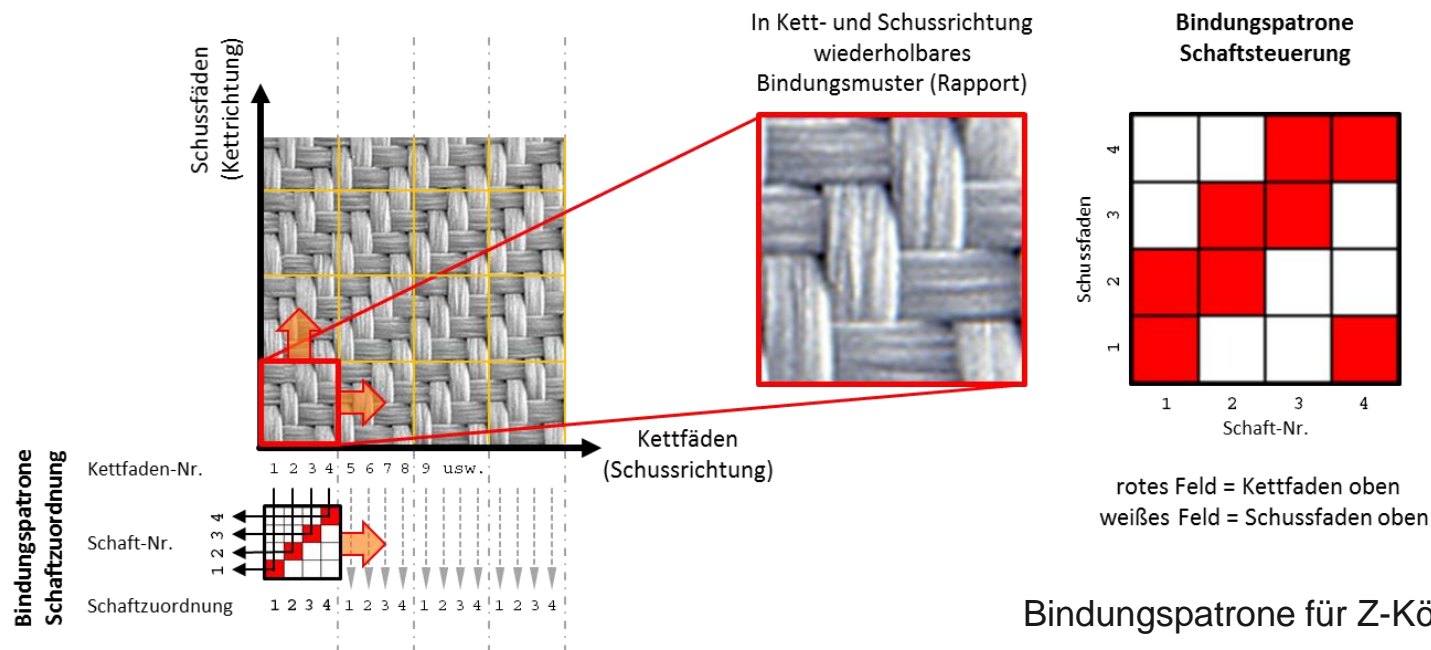
Schusseintrag



- In das geöffnete Fach wird ein Schussfaden „eingetragen“
- ORW-Maschine am ITV ist ein Greifersystem
- Schuss wird in Simulation platziert
- Fadenspannung als Randbedingung aufgebracht

5. Weben: Open-Weave-Technologie Gewebemuster durch Bindungspatrone

- Mit der „Bindungspatrone“ wird das Gewebemuster definiert
- Die Steuerung der Schäfte erfolgt durch die Bindungspatrone
- In der Modellgenerierungssoftware sollen die Eingabedaten entsprechend der realen Webtechnologie als „Bindungspatrone“ eingegeben und daraus die Werkzeugbewegungen automatisch generiert werden.

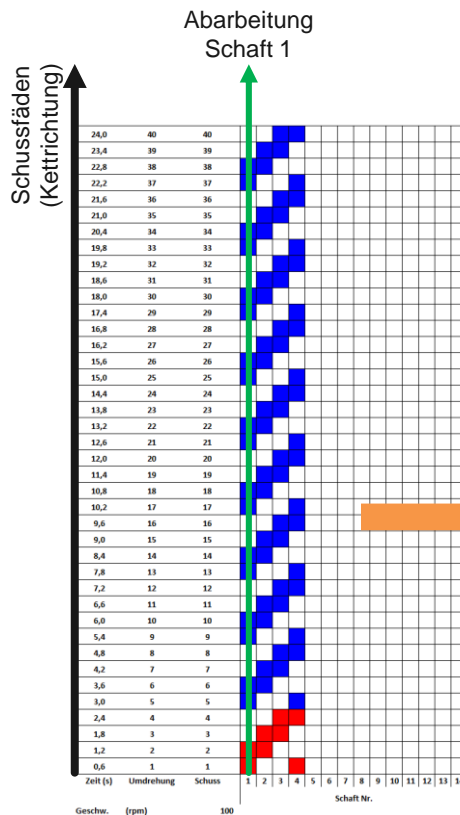


5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie

Entwicklung der ORW-Gewebeprozesssimulation

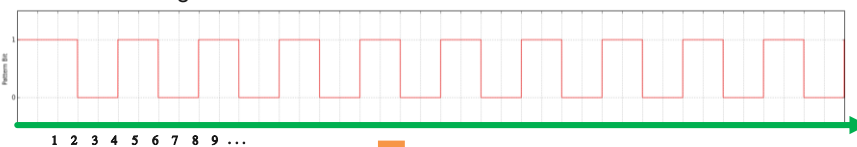
- Ableitung der Schafsbewegung in der Webmaschine für eine herkömmliche Körperbindung:

Bindungspatrone für Z-Köper 2x2 ohne ORW-Fäden

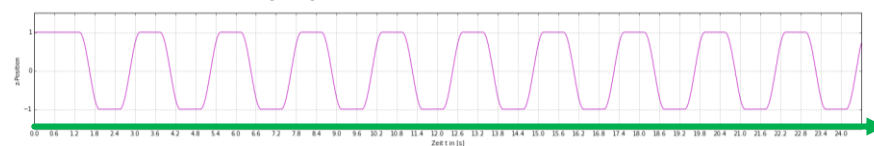


- Zeitliche Abfolge eines einzelnen Schafts der Webmaschine abgeleitet aus der Vorgabe der Steuerungssoftware von Dornier
- Bindungspatrone (rot) wird wiederholt (blau) und damit ihr Muster

Schaft 1: Bitfolge

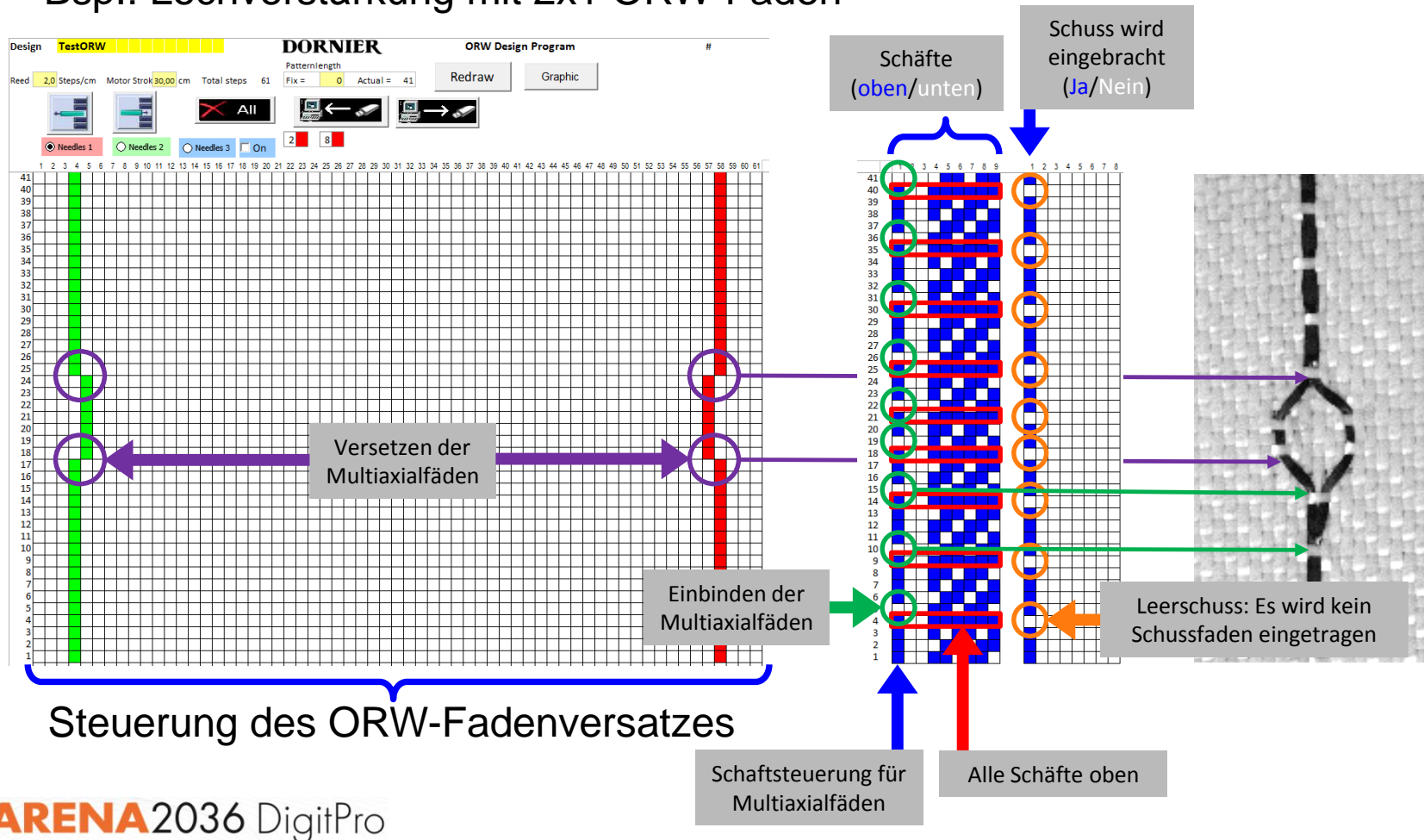


Schaft 1: Schafsbewegung



5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie Entwicklung der ORW-Gewebeprozesssimulation

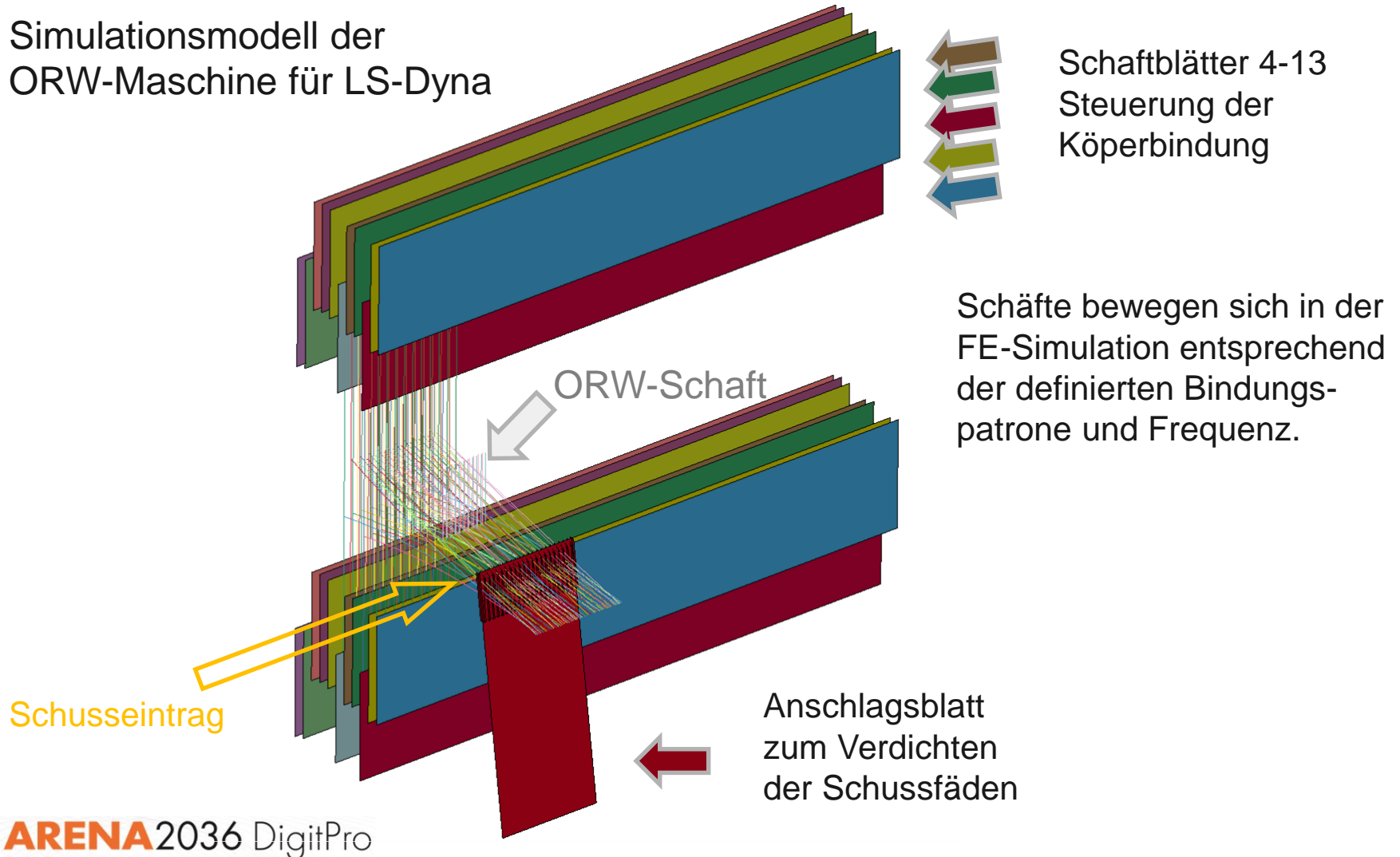
Erzeugung der Bindungspatrone für die reale und virtuelle ORW-Maschine
Bsp.: Lochverstärkung mit 2x1 ORW-Faden



ARENA2036 DigitPro

5. Weben: Open-Weave-Technologie Entwicklung der ORW-Gewebeprozesssimulation

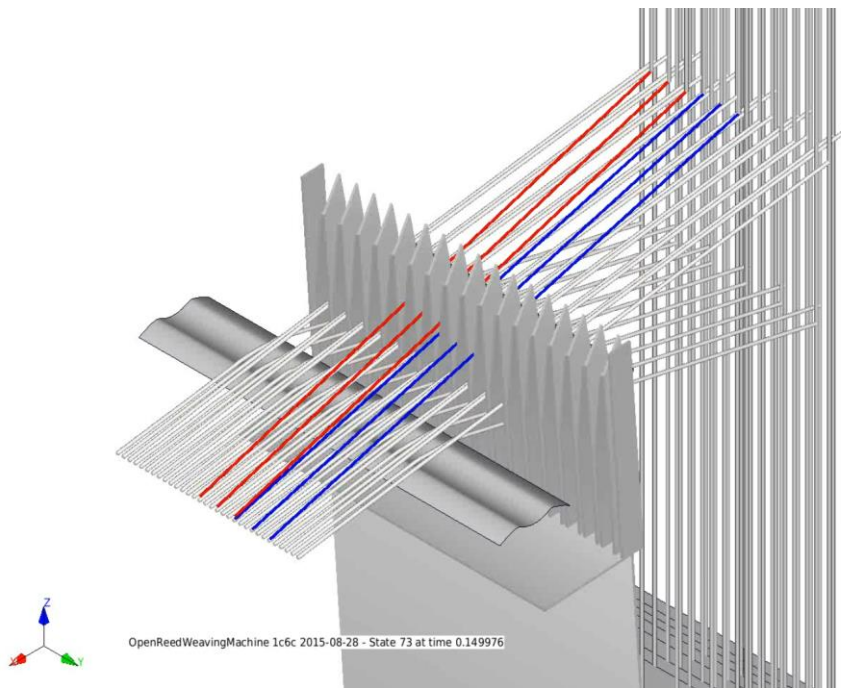
Simulationsmodell der
ORW-Maschine für LS-Dyna



ARENA2036 DigitPro

5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie Entwicklung der ORW-Gewebeprozesssimulation

Herstellung der Lochverstärkung „Variante O“, 2x3 ORW-Fäden



Start

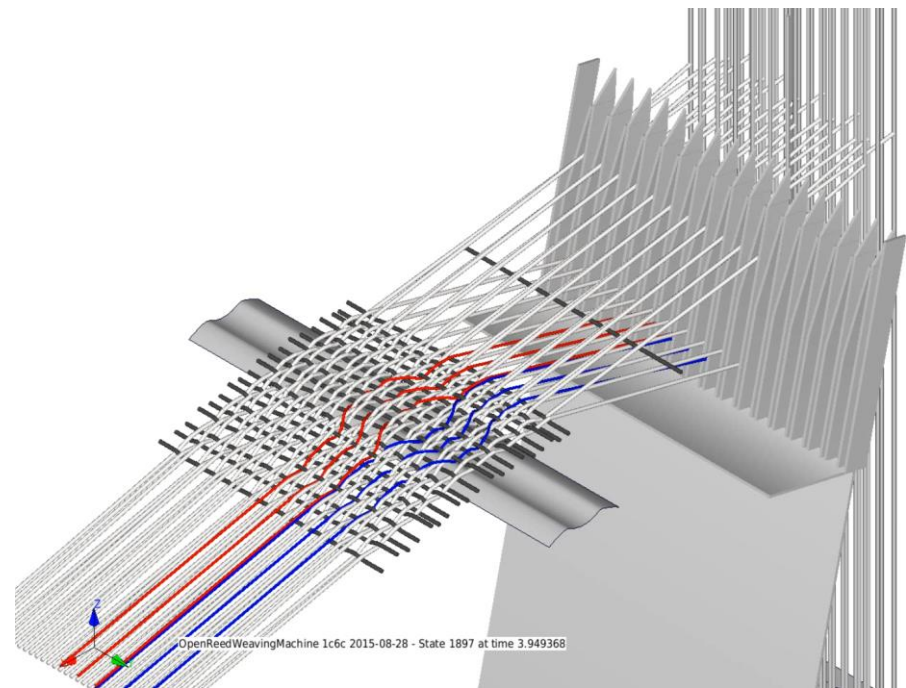
top



right



iso

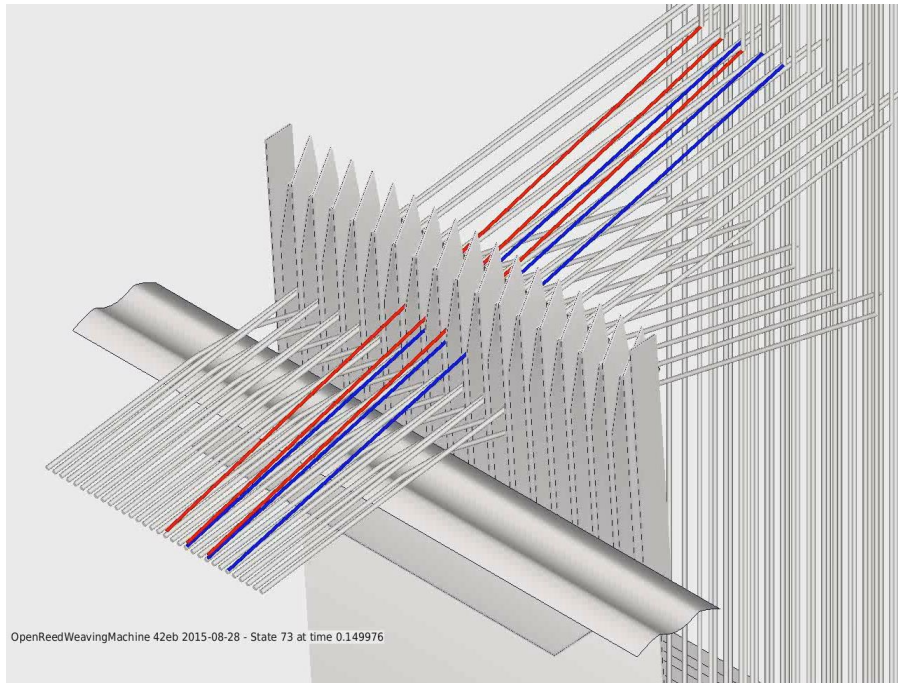


Gewebebildung nach 8,5 Tage
(12core) Simulationsdauer

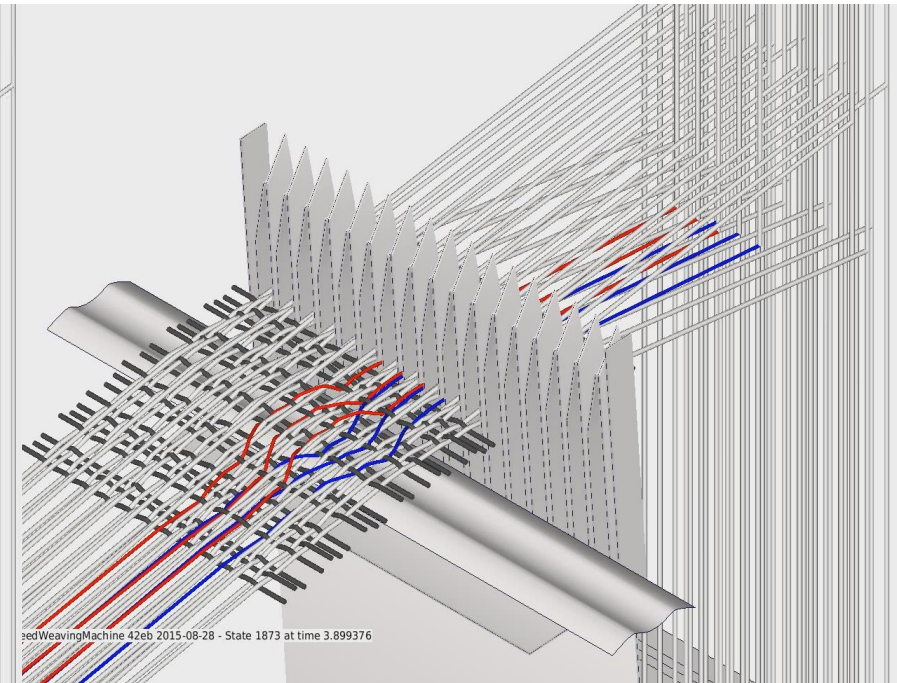
ARENA2036 DigitPro

5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie Entwicklung der ORW-Gewebeprozesssimulation

Herstellung der Lochverstärkung „Variante O“, 2x3 ORW-Fäden



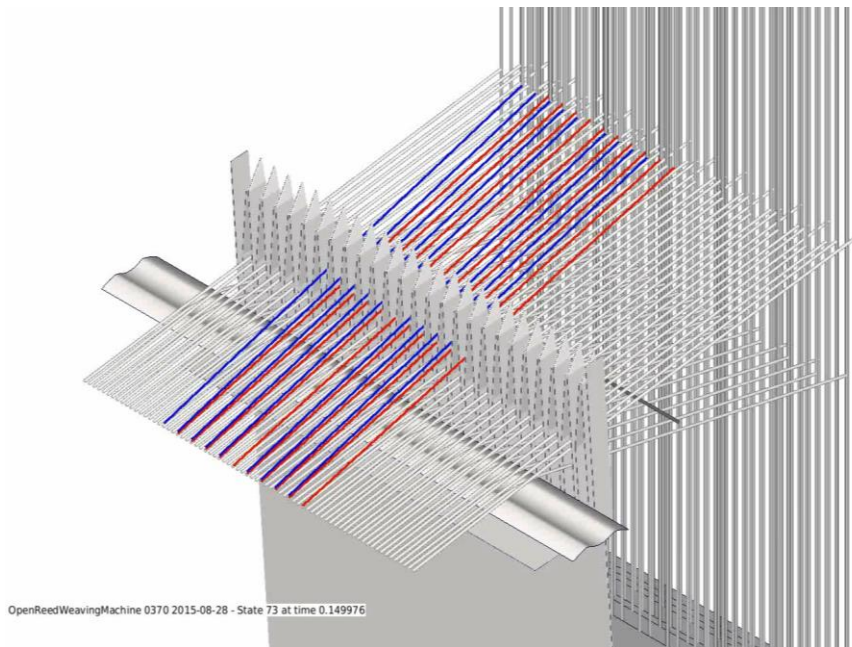
Start



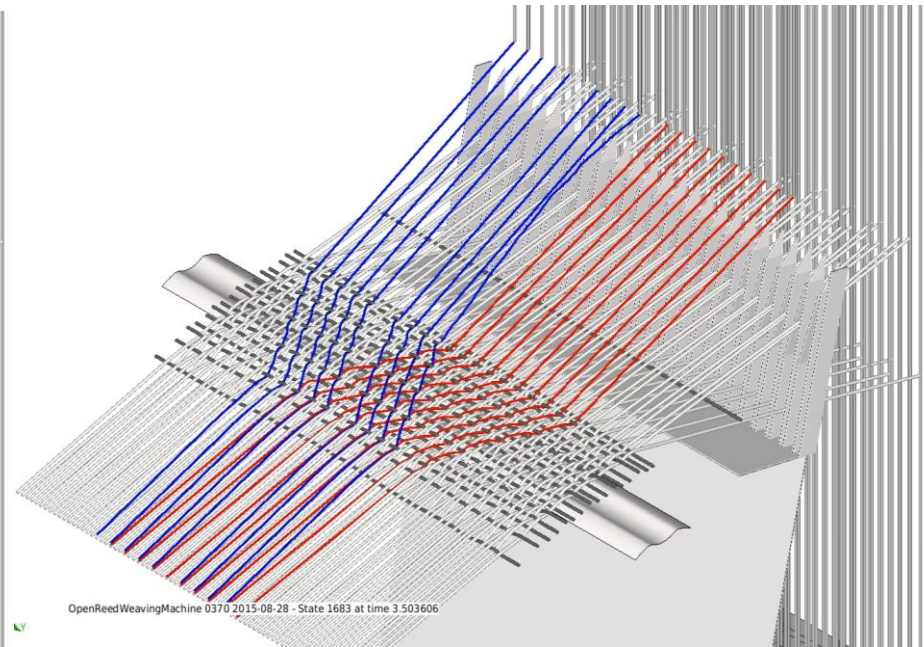
Gewebebildung nach 8,5 Tage
(12core) Simulationsdauer

5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie Entwicklung der ORW-Gewebeprozesssimulation

Herstellung der Lochverstärkung „X“, 2x10 ORW-Fäden



Start



Gewebebildung nach 21,5 Tage
(12core) Simulationsdauer

5. Weben: Open-Reed-Weaving Technologie


Entwicklung der ORW-Gewebeprozesssimulation

Entwicklung einer ORW-Gewebeprozesssimulation

- Eine Software zur Generierung der Simulationsmodellen entsprechend der real eingesetzten ORW-Webmaschine ist grundsätzlich entwickelt. Es wurde darauf geachtet, die Ein- und Angaben analog zur realen Webmaschine zu formulieren.
- Die Bindungspatrone der realen Webmaschine für die Lochverstärkung kann direkt zur Generierung einer entsprechenden virtuellen ORW-Webmaschine eingesetzt werden.
- Erste funktionsfähige ORW-Prozesssimulationen sind vorhanden und zeigen:
 - die Einbindung von ORW-Verstärkungsfaden in das Grundgewebe nach Vorgabe der Bindungspatrone für X- und O- Lochleibungsverstärkungen mit 3 Fäden je Fadensystem
 - produktspezifische Phänomene des Webprozesses

6. Zusammenfassung und Ausblick

- Faserbasierte Leichtbauteile erfordern aufwendige FE-Simulationen, um sowohl bestehende Prozesse als auch die gefertigten Bauteile selbst zu optimieren, mögliche Fehlstellen schon vorher zu erkennen und konstruktiv zu vermeiden.
- Am ITV liegt ein Fokus auf Prozesssimulationen wie Flechten, Drapieren, Weben, Kennwertermittlung und Verifizierung. Die vorgestellten Simulationen zeigen den aktuellen Stand der entwickelten Prozesssimulationen.
- Ziel ist die durchgängige Simulation der gesamten Prozesskette
- Hochauflösende CT & neue Auswertemöglichkeiten geben neue Möglichkeiten zur Generierung von FE-Berechnungsmodellen und Erzielung hoher Genauigkeit bei der Vorhersagefähigkeit:
 - Detaillierte Mikro/Meso-Modelle für Berechnungen kleiner Dimensionen
 - Basis für Ersatzmodelle für Composite-Bauteilberechnungen und -Optimierungen.
 - Permeabilitäts-Kennwerte für Verstärkungstextilien und Composites.
- Wertvoller Einsatz im faserbasiertem Leichtbau und in Forschungsprojekten.

- Die unter  vorgestellten Arbeiten wurden im Forschungsprojekt „RTM CAE/CAX - Aufbau einer durchgängigen CAE/CAX-Kette für das RTM-Verfahren vor dem Hintergrund der Herstellung von Hochleistungsfaserverbundwerkstoffen“ im Rahmen des Vorhabens „Technologie-Cluster Composites Baden-Württemberg TC2“ durchgeführt. Die Finanzierung erfolgte durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst sowie die Baden-Württemberg Stiftung GmbH.
- Die unter **TPult** vorgestellten Arbeiten des Forschungs- und Entwicklungsprojekt „TPult“ wurde 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.“
- Die unter **ARENA2036** DigitPro vorgestellten Arbeiten wurden im Forschungsprojekt „DigitPro“ im Rahmen des Forschungscampus ARENA2036 durchgeführt. Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt „DigitPro“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Forschungscampus „ARENA2036“ (02PQ5011) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.“

GEFÖRDERT VOM

Wir danken für die finanzielle Förderung der Forschungsvorhaben



Vom Material zum Produkt

www.itv-denkendorf.de

Bereichsleiter Simulation:

Hermann Finckh

0711-9340-401

hermann.finckh@itv-denkendorf.de