

PRAKTISCHER EINSATZ DER FINITE-ELEMENTE-SIMULATION IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

Emanuel Preis¹, Suhrab Khoshbuie¹
Andreas Böttcher², **Steffen Czichon**², Ralf Paßmann³

¹EDAG Engineering GmbH, CAE/Produktsimulation, München

²ELAN-AUSY GmbH, CAE/Produktsimulation, Hamburg

³SynOpt GmbH, CAE/Produktsimulation, Leinfelden-Echterdingen



PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

EDAG, SYNOPT UND ELAN-AUSY: PARTNER IN DER SIMULATION VON COMPOSITE BAUTEILEN



PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

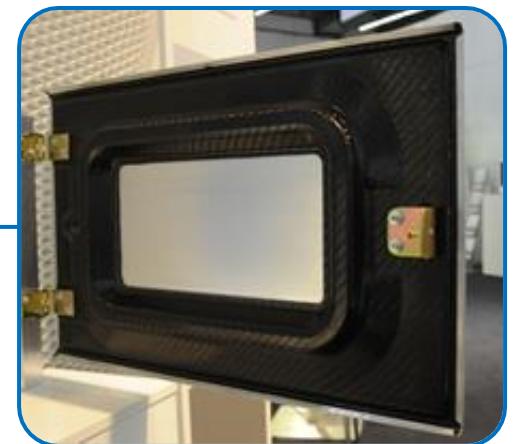
ANWENDUNGSBEISPIEL ORGANOBLECH – EINFÜHRUNG



Quelle: www.daf.com vom 16.02.2016

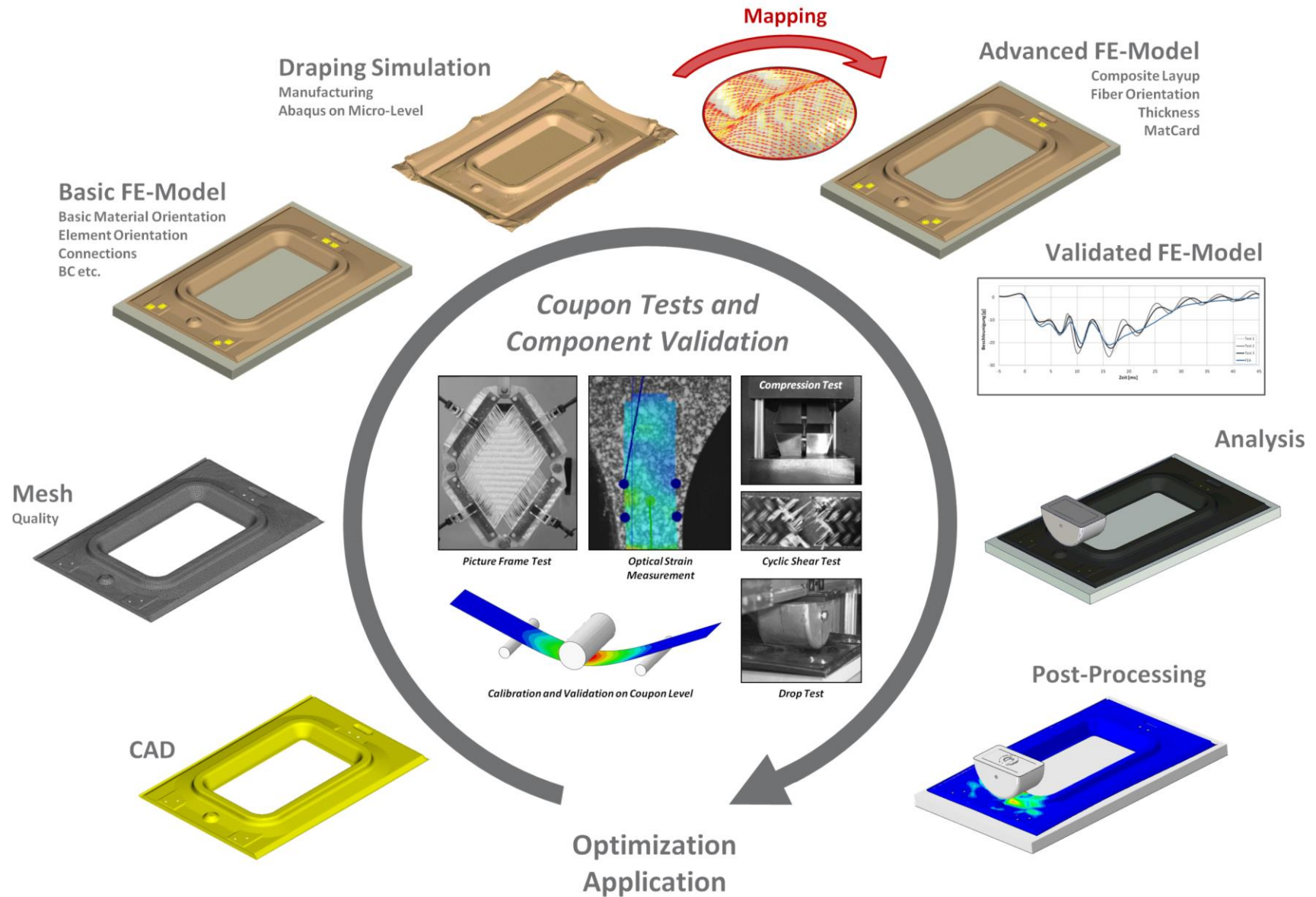


Schritte vom vorkonsolidierten thermoplastischen Halbzeug bis zum komplettierten hybriden Bauteil



PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

ANWENDUNGSBEISPIEL ORGANOBLECH – CAE-PROZESS



PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

ANWENDUNGSBEISPIEL ORGANOBLECH – MATERIALKARTENERSTELLUNG

- Experimentelle Charakterisierung der transversal isotropen mechanischen Eigenschaften
- Durchführung von ersten Validierungsversuchen auf Coupon-Level
- Temperatur- und Dehnratenabhängigkeit für spätere Strukturanalyse nicht relevant

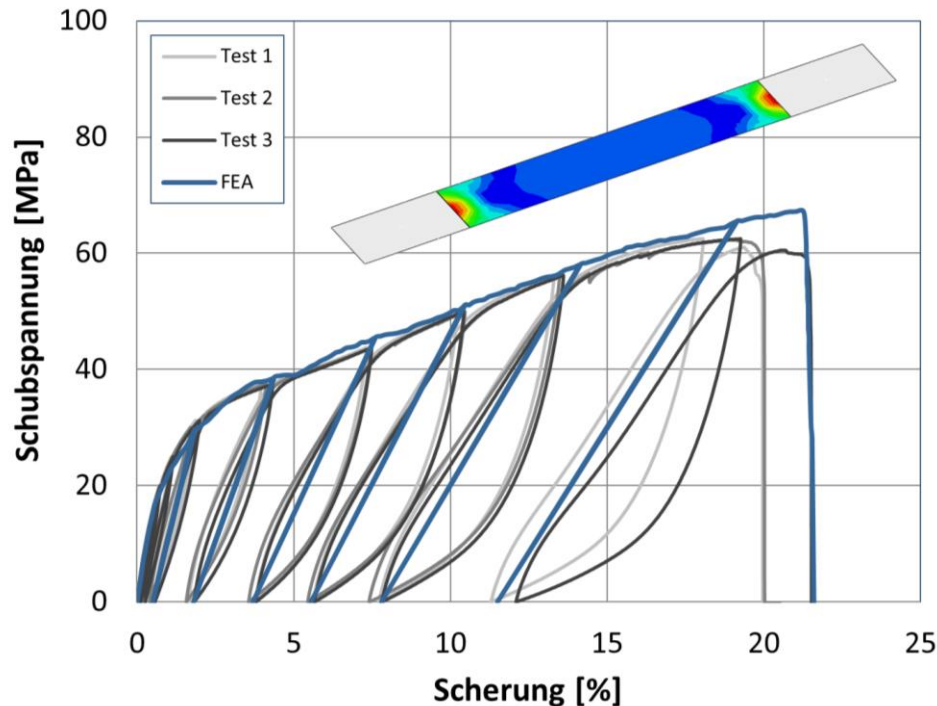
Versuch	Kennwerte	Kommentare	
Zugversuch in Kettrichtung [0°]	$E_{1+}, \nu_{12+}, X_{1+}, \epsilon_{1+}$	Quasistatisch, Messung Traversenweg	
Zugversuch in Schussrichtung [90°]	$E_{2+}, \nu_{21+}, X_{2+}, \epsilon_{2+}$	Quasistatisch, Messung Traversenweg	
Druckversuch in Kettrichtung [0°]	$E_{1-}, \nu_{12-}, X_{1-}, \epsilon_{1-}$	Quasistatisch, Messung Traversenweg	
Druckversuch in Schussrichtung [90°]	$E_{2-}, \nu_{21-}, X_{2-}, \epsilon_{2-}$	Quasistatisch, Messung Traversenweg	
Zyklischer Zugversuch [+/-45°]	$G_{12}, S, \alpha_{12}, d_{12max}, C, p, \epsilon_{12,pl,max}$	Durchführung von neun Zyklen	
Compact Tension Test [0°] und [90°]	G_{f1+} bzw. G_{f2+}	Kein Standard, in Anlehnung an PINHO ^[5]	
Compact Compression Test [0°] und [90°]	G_{f1-} bzw. G_{f2-}	Kein Standard, in Anlehnung an PINHO ^[5]	
Drei-Punkt-Biegeversuche	E_{1f} und $\sigma_{f,max}$	Validierungsversuche	
Vier-Punkt-Biegeversuche		Validierungsversuche	

[5] Pinho, S.T. *Modelling failure of laminated composites using physically-based failure models*, Department of Aeronautics, South Kensington Campus, Imperial College London, 2005

PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

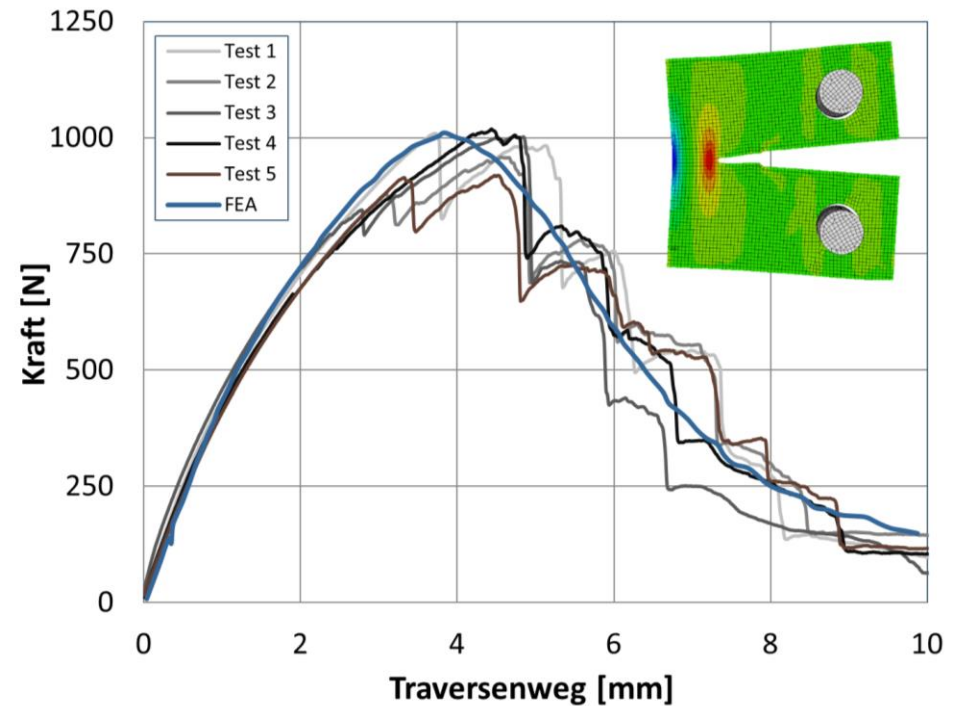
ANWENDUNGSBEISPIEL ORGANOBLECH – KALIBRIERUNG UND ERSTE VALIDIERUNG

Zyklischer Zugversuch $\pm 45^\circ$ - Test und FEA



- Bestimmung nicht-lineares Schubverhalten unter quasistatischer Beanspruchung
- Durchführung von mehreren Belastungs- und Entlastungszyklen
- Bestimmung Plastizität und Entfestigung je Zyklus

Compact Tension Test - Test und FEA

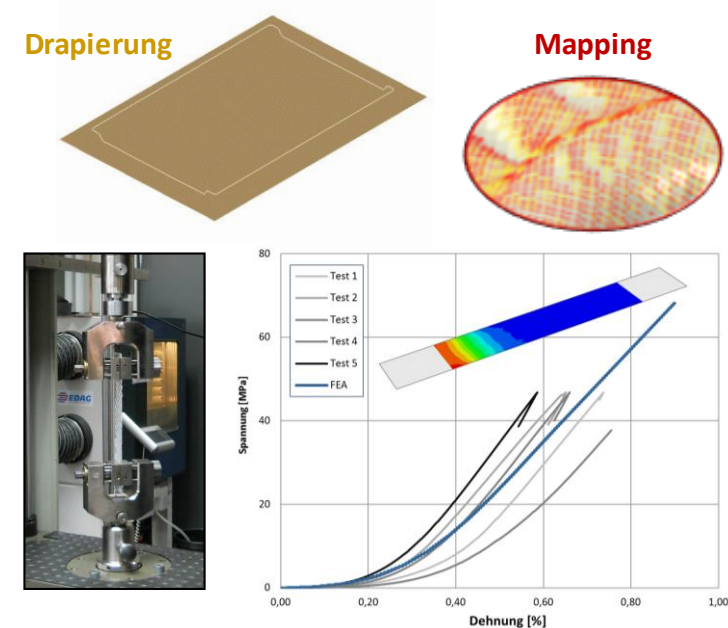
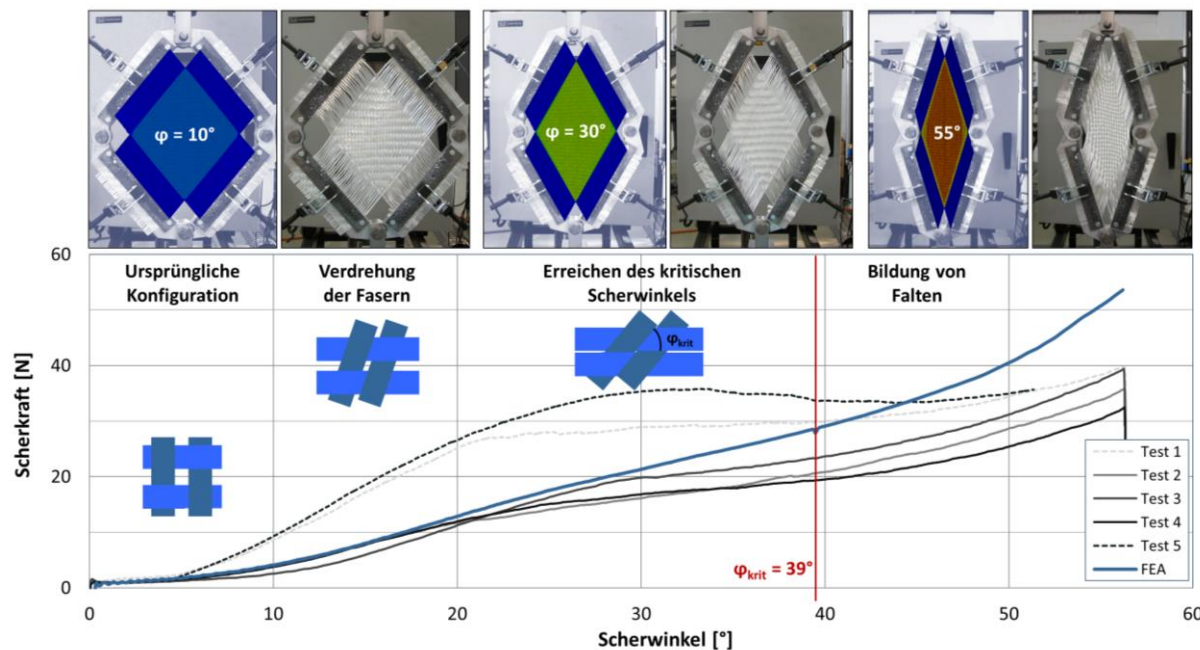


- Bestimmung der bei Faserbruch dissipierten Bruchenergien (Zug- und Druckbeanspruchung)
- Auswertung z.B. mittels Area-Method
- In FEA primär relevant für Materialmodelle mit netzunabhängigem Nachbruchverhalten

PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

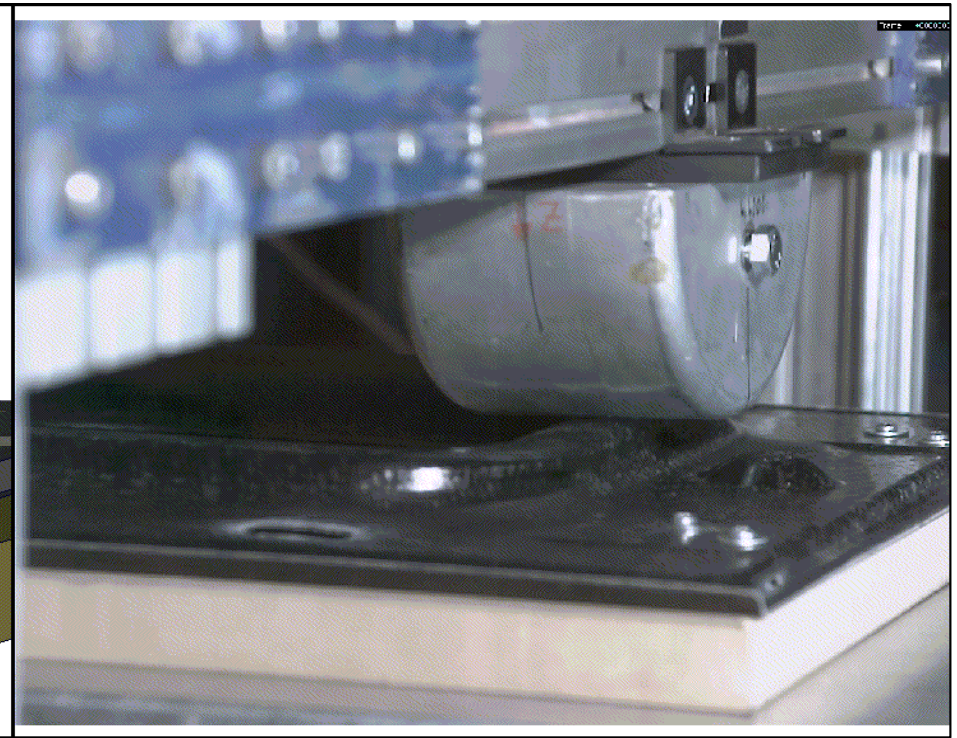
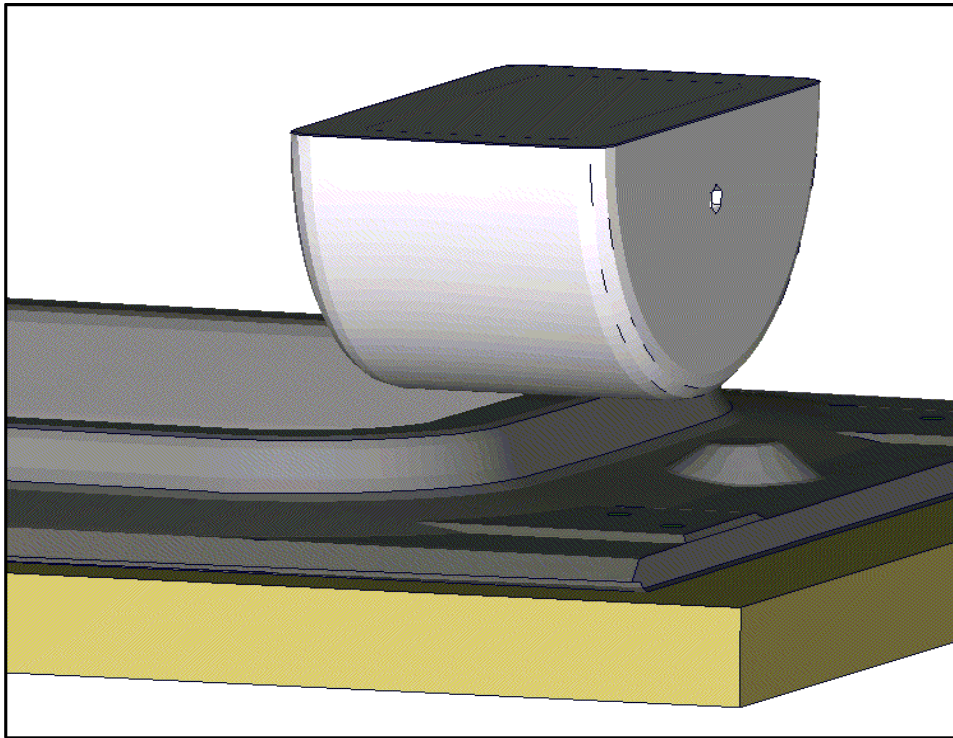
ANWENDUNGSBEISPIEL ORGANOBLECH – DRAPIER-SIMULATION

- FE-Drapierung auf Macro-Level: Betrachtung Gewebe als homogene orthotrope Struktur (im Gegensatz zur Kinematischen Drapierung oder FE-Drapierung auf Meso-Level)
- Abbildung irreversibler Verformungsmoden (Gewebescherung, Gewebestreckung und intralaminare Gleiten) zur Vermeidung potentieller Defekte → Prozessoptimierung
- Übertragung der Beschaffenheit des Werkstoff (z. B. Faserorientierung) nach Umformprozess auf Strukturanalyse

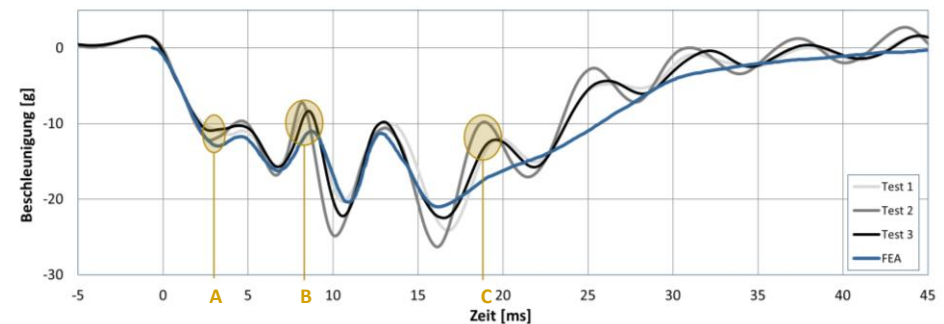


PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

ANWENDUNGSBEISPIEL ORGANOBLECH – VALIDIERUNG DROPTEST TOOLBOX



- Probekörper Toolbox (Masse ca. 1.00 kg)
- Fallturmversuch mit Pfahl-Ersatz-Impactor
 - Masse Impactor 27.0 kg
 - Geschwindigkeit 2.72 m/s
 - Energie 100 J
- Detaillierte Modellierung aller Versuchskomponenten sowie der dazugehörigen Verbindungstechniken
- Analyse von Sensitivitäten und Einflussparametern



A Linear elastisches Verhalten, keine Schädigung

B Initiale Rissbildung, Knicken im Impactbereich

C Nulldurchgang und vollständige Energieabsorption

PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

ANWENDUNGSBEISPIEL MTB-LENKER – EINFÜHRUNG

- Ermittlung der lokalen Steifigkeiten in Abhängigkeit des Flechtwinkels bei geflochtenen Strukturen am Beispiel eines Mountainbike-Lenkers von der Firma Munich Composites



- Zielkonflikt: weiche Struktur bei hoher Festigkeit (und geringem Gewicht)

Beispiele für Geflechtstypen[8]



BIAX - Geflechtstruktur



TRIAX - Geflechtstruktur

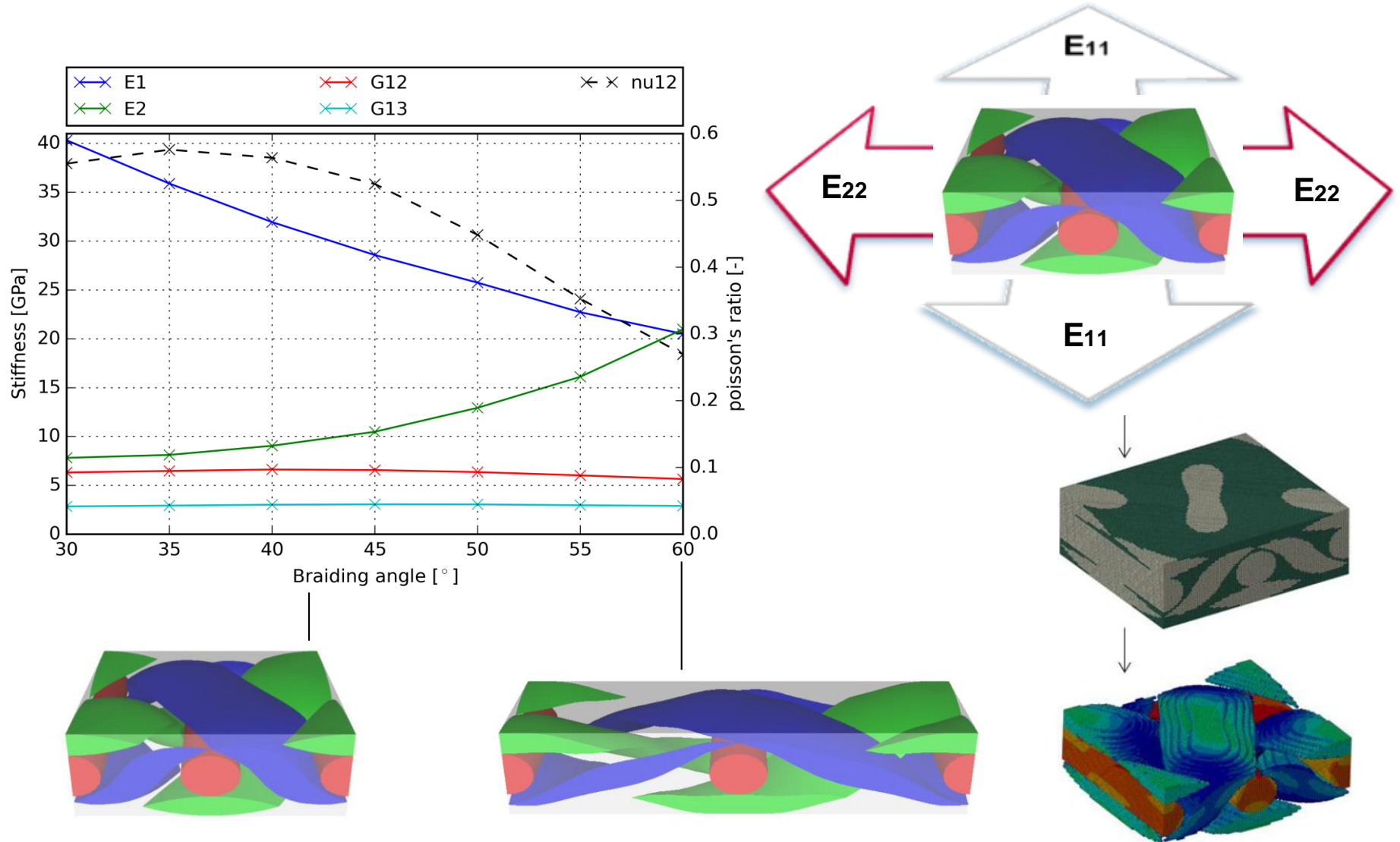


UD - Geflechtstruktur

PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

ANWENDUNGSBEISPIEL MTB-LENKER – HOMOGENISIERUNG

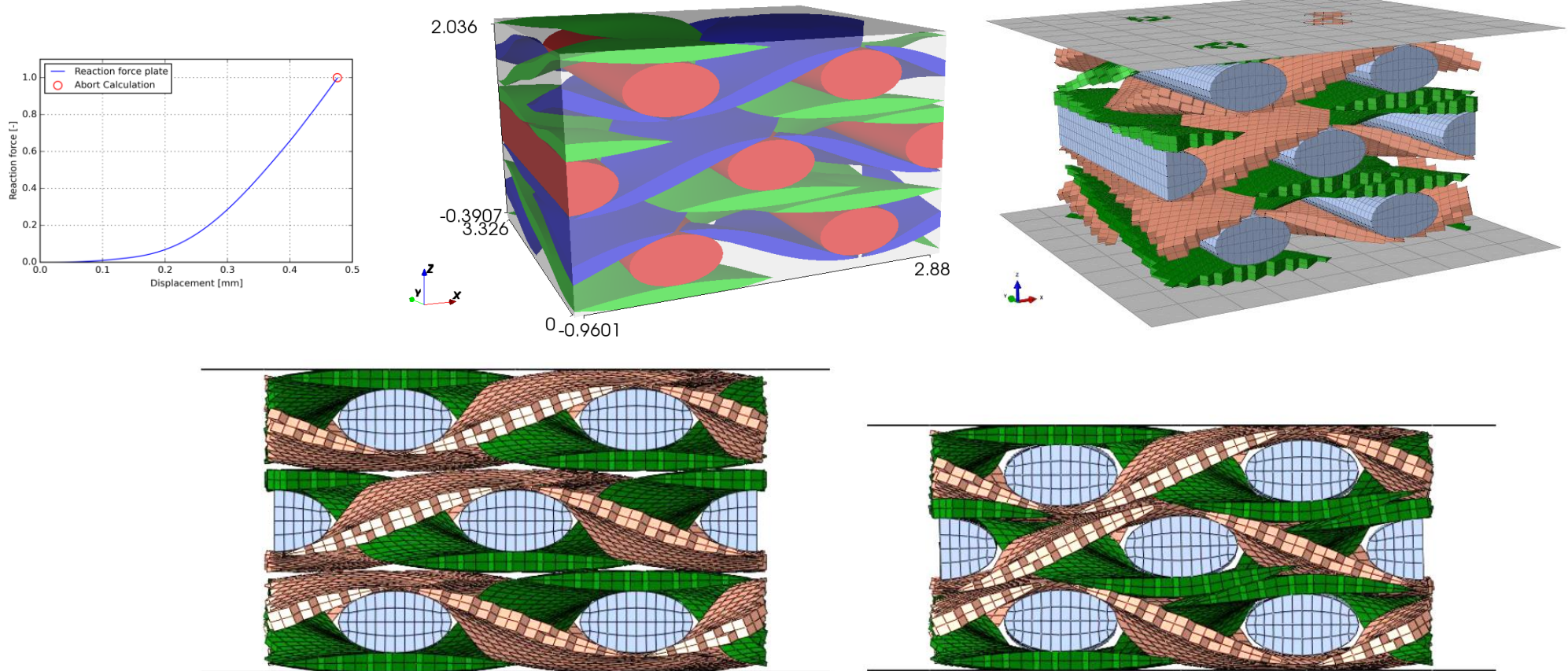
- Ermittlung der Steifigkeiten in Abhängigkeit der Flechtwinkel



PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

GEFLOCHTENES CFK – BESTIMMUNG VON NESTING FAKTOREN

- Nestingfaktor: Durchdringung einzelner Lagen

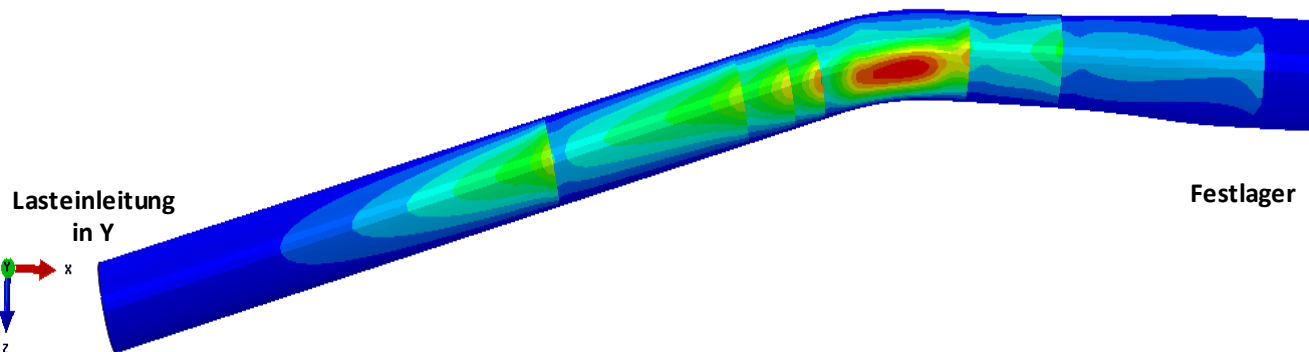
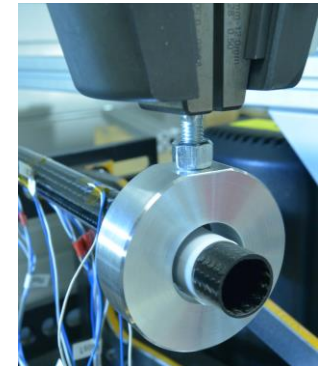
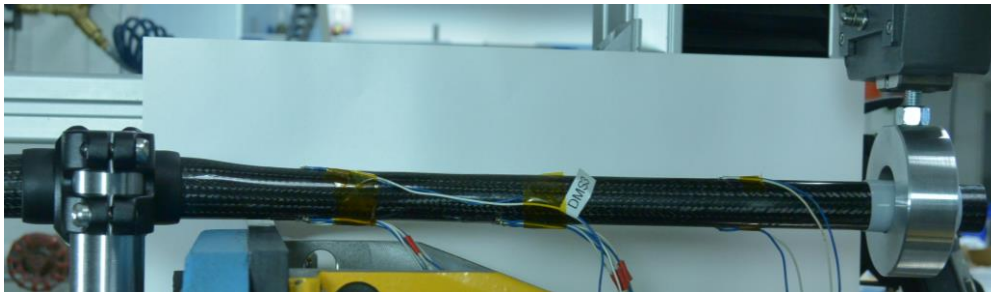


PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

ANWENDUNGSBEISPIEL MTB-LENKER – VALIDIERUNG

- Berechnete Eigenschaften der CFK- Lagen in FE-Modell des Fahrradlenkers implementiert, um Steifigkeit des Geflechts zu berechnen
- Ergebnis deckt sich qualitativ mit Versuchen, die von der Firma Munich Composites durchgeführt wurden
- Der Vergleich zu Testergebnissen aus einem eigenen Biegeversuch steht noch aus.

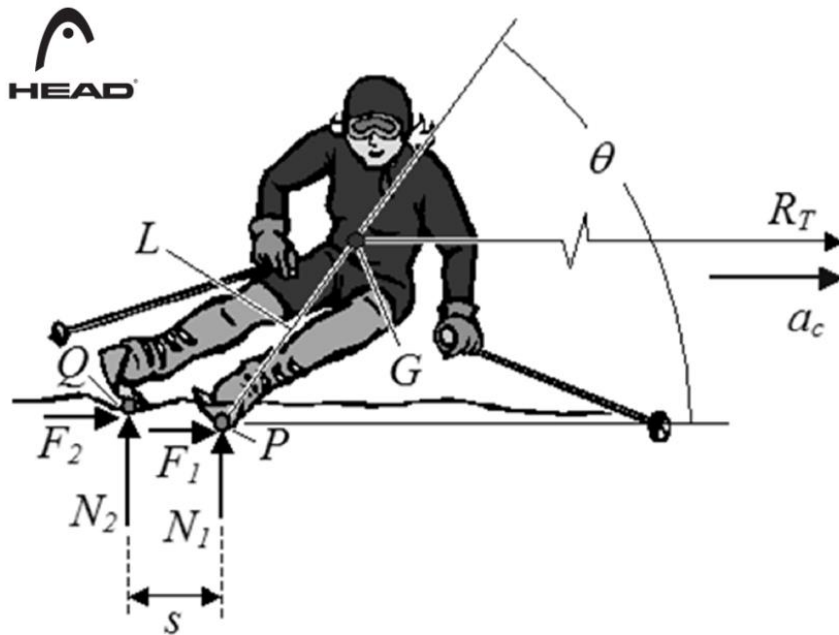
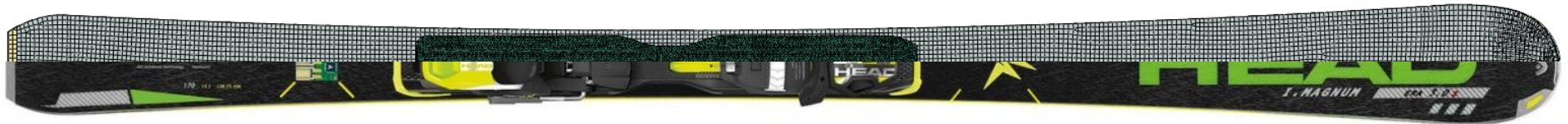
Versuchsaufbau Biegetest



PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

ANWENDUNGSBEISPIEL ALPINE-SKI – EINFÜHRUNG

- Annahmen: $m = 80\text{kg}$, $\theta = 30^\circ$, $F_1=0$, $v = 20\text{ m/s} \rightarrow N_2 = 737\text{ N}$ und $F_2 = 2133\text{ N}$



[6] www.real-world-physics-problems.com vom 16.02.2016

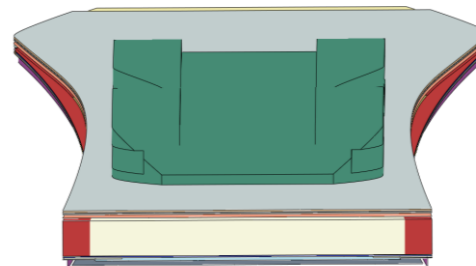
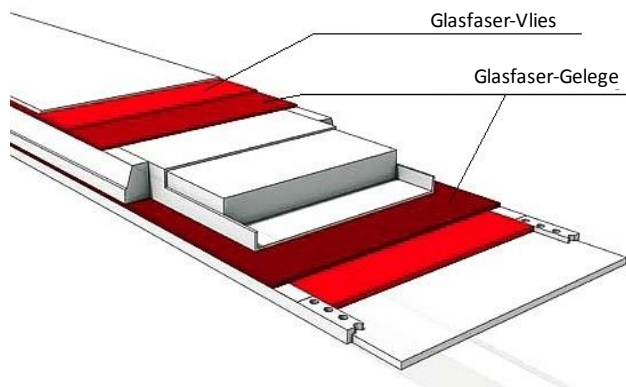
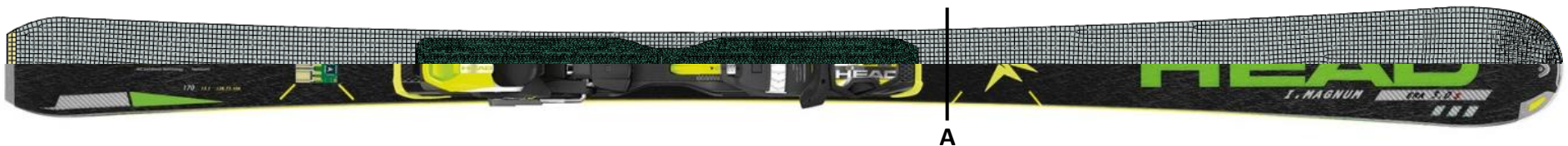


[7] www.head.com/de/sports/ski/ vom 16.02.2016

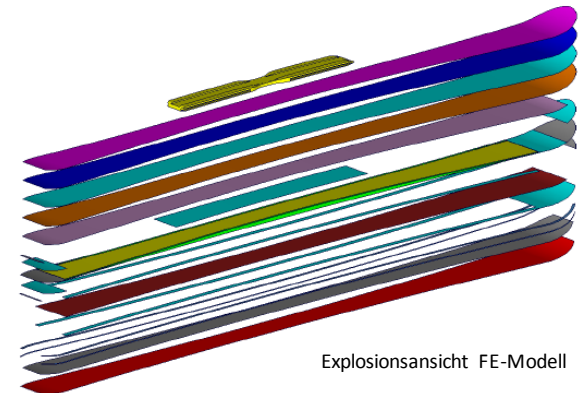
PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

ANWENDUNGSBEISPIEL ALPINE-SKI – MATERIAL UND SKI-MODELL

- Für Methodenentwicklung exemplarisch betrachteter professioneller Renn-Ski
 - Hochelastische komplexe Sandwich-Struktur: Oberfläche aus Polyamid, Holzkern, Lauffläche aus Ultra-High-Molecular-Weight-Polyethylen, Glasfaser-Vlies-Schicht, zwei Schichten aus Glasfasergelege
 - Experimentelle Charakterisierung und geeignete Abbildung der unterschiedlichen Materialcharakteristika
- Modellierung primär mit Schalenelementen, Volumenelementen und Kohäsiv-Elementen



A Schnitt durch FE-Modell

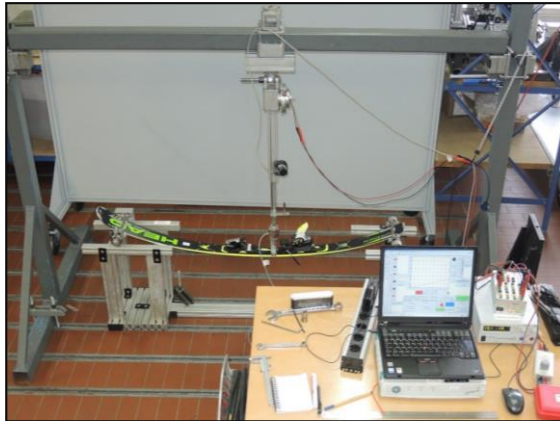


Explosionsansicht FE-Modell

PRAKTISCHER EINSATZ DER FEA IN DER ENTWICKLUNG VON COMPOSITE BAUTEILEN

ANWENDUNGSBEISPIEL ALPINE-SKI – EXPERIMENTELLE CHARAKTERISIERUNG UND VALIDIERUNG

- Validierung anhand charakteristischer Belastungen (Biegung, Torsion und Schwingungsverhalten)
- Untersuchung unterschiedlicher Parameter (neue vs. gefahrene Skier, Wiederholungen etc.)
- Untersuchung Einfluss Bindungsplatte BP (gering in den Versuchen, homogenisiert in FE-Modell)



A Übersicht Versuchsaufbau Biegung



B Lagerung Heck (drehbar-fest)



C Lasteinleitung

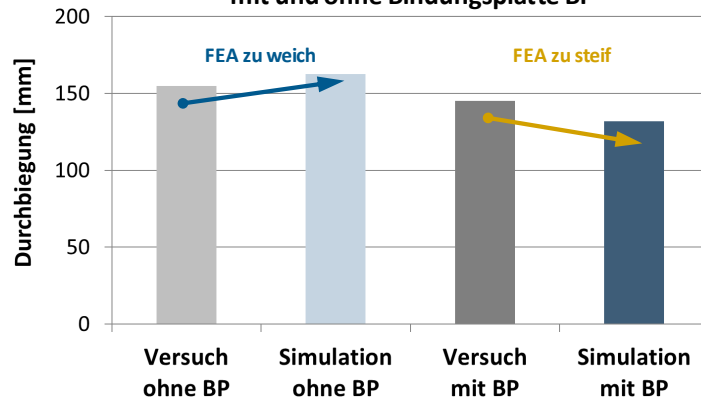


D Lagerung Schaufel (drehbar-gleitend)

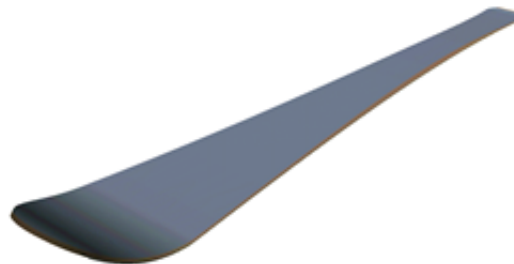


E Torsionsversuch

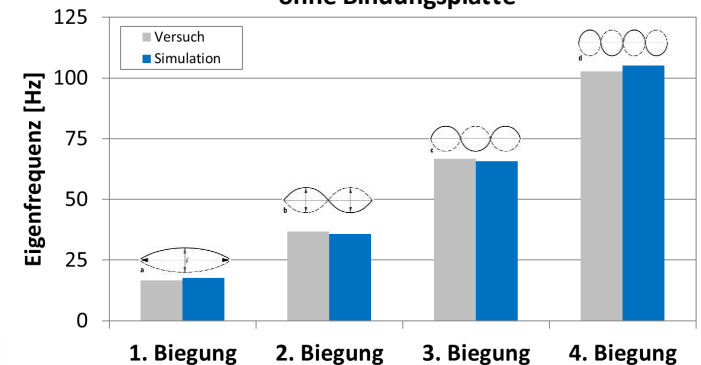
Durchbiegung Biegetest in Versuch und Simulation mit und ohne Bindungsplatte BP

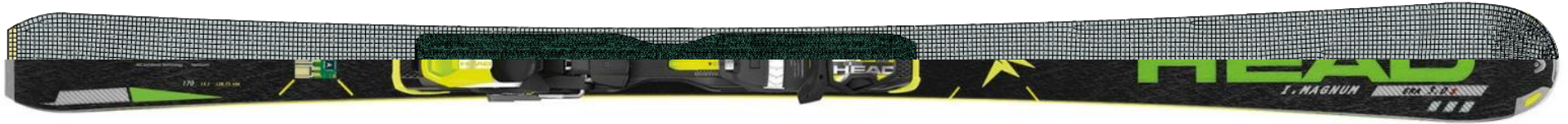


Simulation 3. Biegung



Eigenfrequenzen in Versuch und Simulation ohne Bindungsplatte





- Der Einsatz des Finite Element Programm Systems Abaqus eröffnet dem Benutzer eine Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten in der Simulation von Composite Bauteilen.
- Je nach Bauteil und Ziel der Analyse kann der Aufwand für die Simulation deutlich variieren.
- Die Analysemöglichkeiten von Abaqus können durch Open Source Software erheblich erweitert werden.



Emanuel Preis

Projektleiter CAE
Abteilung CAE & Safety
EDAG Engineering GmbH
Max-Diamand-Str. 7
80937 München
Tel.: +49 (0) 89 35 09 89 – 15124
Fax: +49 (0) 661 600011 – 15124
Email: Emanuel.Preis@edag.de

Suhrab Khoshbuie

Berechnungsingenieur
Abteilung CAE & Safety
EDAG Engineering GmbH
Max-Diamand-Str. 7
80937 München
Tel.: +49 (0) 89 35 09 89 – xxx
Fax: +49 (0) 661 600011 – xxx
Email: Suhrab.Khoshbuie@edag.de

Andreas Böttcher

Technical Focal Point Crash & Vulnerability
Abteilung Structure Development
ELAN-AUSY GmbH
Harburger Schloßstr. 24
21079 Hamburg
Tel.: +49 (40) 21909 – 1079
Fax: +49 (661) 21909 – 2001
Email: Andreas.Boettcher@elan-ausy.com

Dr.-Ing. Steffen Czichon

Technical Unit Director
Abteilung Structure Development
ELAN-AUSY GmbH
Harburger Schloßstr. 24
21079 Hamburg
Tel.: +49 (40) 21909 – 1574
Fax: +49 (661) 21909 – 2001
Email: Steffen.Czichon@elan-ausy.com

Ralf Paßmann

Geschäftsführer
SynOpt GmbH
Uhlbergstraße 10
70771 Leinfelden-Echterdingen
Tel.: +49 (0)170 626 44 46
Email: Ralf.Passmann@synopt.de

Quellen

- [1] CLARA LEAL NOGUEIRA, JANE MARIA FAULSTICH DE PAIVA, MIRABEL CERQUEIRA REZENDE *Effect of the interfacial adhesion on the tensile and impact properties of carbon fiber reinforced polypropylene matrices*
- [2] <http://www.exelcomposites.com>
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=kk9veqHOI10>
- [4] MIOT, STEPHANIE *A Review of Composites Simulation Tools*, BENCHMARK The International Magazine for Engineering Designers and Analysts, NAFEMS, July 2015
- [5] PINHO, S.T. *Modelling failure of laminated composites using physically-based failure models*, Department of Aeronautics, South Kensington Campus, Imperial College London, 2005
- [6] <http://www.real-world-physics-problems.com>
- [7] <http://www.head.com/de/sports/ski>
- [8] Birkefeld, Karin: *Virtuelle Optimierung von Geflecht-Preforms unter Berücksichtigung von Fertigungsaspekten*, Dissertation, Juni 2013
- [9] TexGen, <http://texgen.sourceforge.net>
- [10] Köhnke, Jessica: *Multiskalenanalyse von geflochtenen CFK Strukturen mit TexGen*, Masterarbeit, September 2015