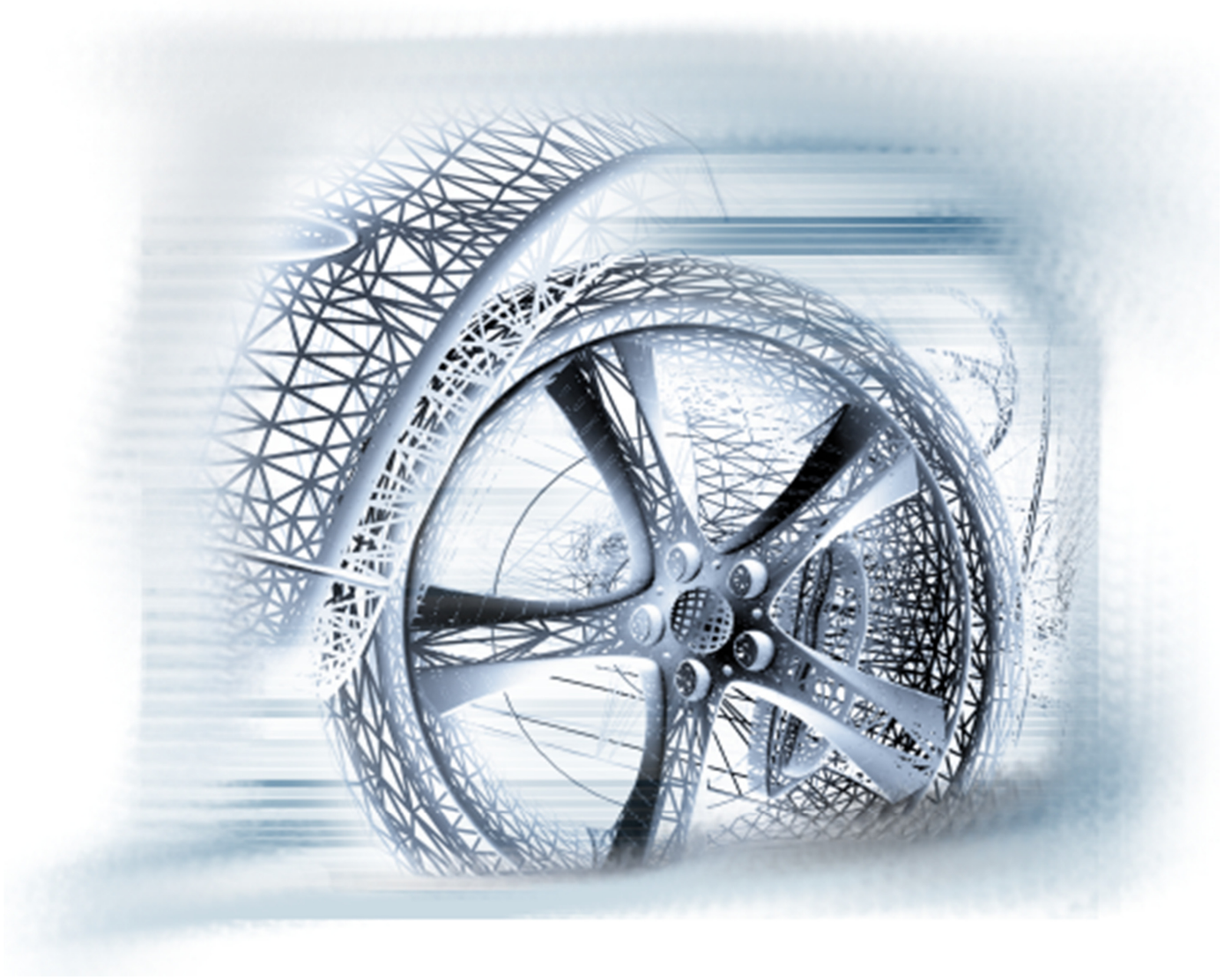
Prozess- und Struktursimulation von endlosfaserverstärkten thermoplastischen Karosseriebauteilen



Dipl.-Ing. Norbert Schramm
Geschäftsführender Gesellschafter, LSE-GmbH

Dipl.-Ing. Sebastian Iwan
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, TU Chemnitz - Professur SLK

Dipl.-Ing. Vladimir Trickov, Dipl.-Ing. Frank Erhart
Altair Engineering GmbH

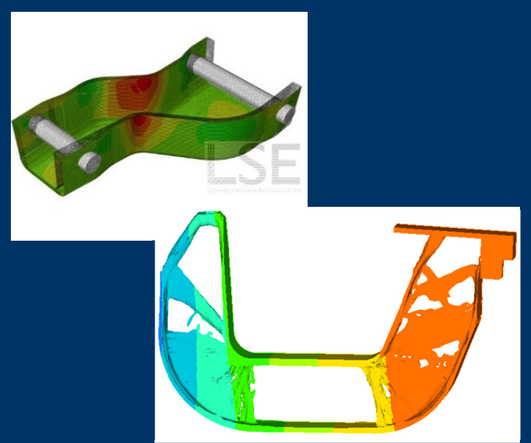
Gliederung

- Vorstellung LSE GmbH und regionaler Wachstumskern thermoPre®
- Motivation für Karosseriebauteile aus endlosfaserverstärkten Thermoplasten
- Experimentelle Ermittlung von Kennwerten für die Simulation des Thermoformenprozesses
- Umformsimulation mit ALTAIR HYPERFORM und RADIOSS
- Vergleich zu experimentellen Untersuchungen am Beispiel eines Dachspriegels
- Zusammenfassung und Ausblick

Geschäftsbereiche

Berechnung und Auslegung

- Berechnung, Auslegung und Simulation von komplexen Leichtbaustrukturen
- Auslegung von Fügeverbindungen
- Anwendung naturanaloger Optimierungsverfahren

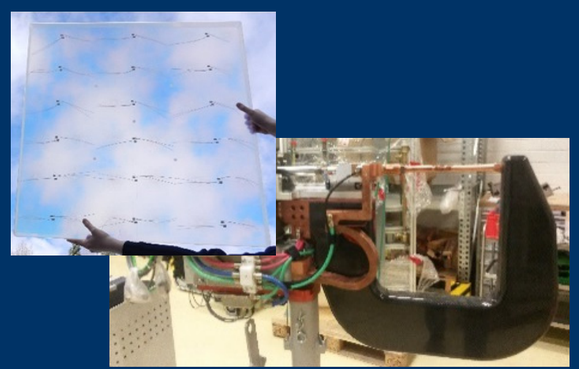


Sensor- und Aktorsysteme

- Individuell angepasste, textiltechnologisch hergestellte Sensor- und Aktorsysteme
- Systeme für Dehnungs-, Temperatur-, Berührungs-, Feuchtigkeit- oder Füllstandsmessung
- Implementierung in Faser-Kunststoff-Verbunde

Duroplastverarbeitung

- Bauteilentwicklung, -konstruktion und Fertigung im RIM-/ RTM-Verfahren
- Umsetzung von Kunden-wünschen in Klein- und Kleinstserien
- Verarbeitung von Kohlenstoff-, Glas-, Aramid- und Basaltfasern



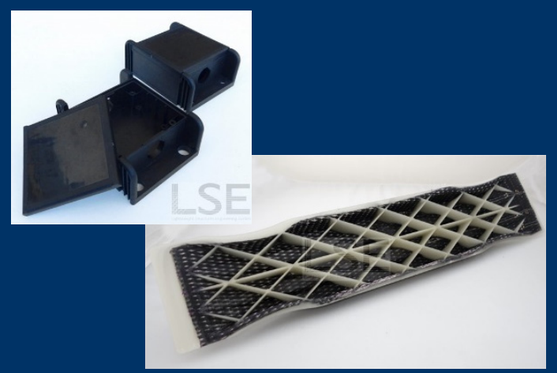
Geschäftsbereiche

Elastomerverarbeitung

- Serienfertigung von Elastomer-bauteilen
- Zuordnung von Kapazitäten on demand durch sehr gut ausgebildetes Personal
- Durchführung von qualitäts-sichernden Maßnahmen für eine nachhaltige Produktion

Spritzguss

- Entwicklung und Herstellung von spritzgegossenen (faserverstärkten) Kunststoffbauteilen
- Komplexes Bauteildesign, Funktionalität und Prozessgestaltung durch Mehrkomponentenspritzguss und Hybridisierung



Werkzeug- und Formenbau

- CNC unterstützter Werkzeugbau mittels neuester CAD/CAM-Software
- Werkzeugfertigung mit hauseigenem Bearbeitungs-zentrum für Prototypen- und Serienwerkzeuge aus Stahl, Aluminium und Kunststoff

Faserverbunde für die Großserie

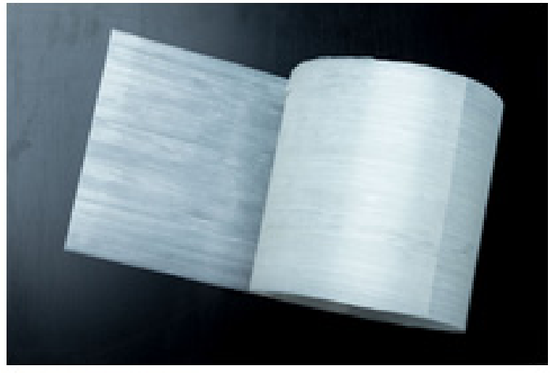
thermoPre®
Faserverbunde für die Großserie

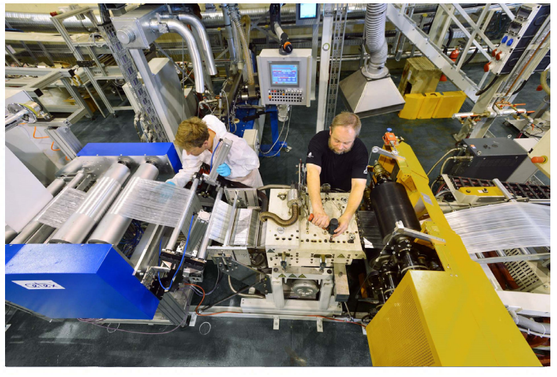
Innovative thermoplastische Halbzeuge

Modulare Anlagen zur Halbzeugherstellung

Passgenaue Technologiekonzepte zur Halbzeug-weiterverarbeitung

Interdisziplinäres Forschungsbündnis



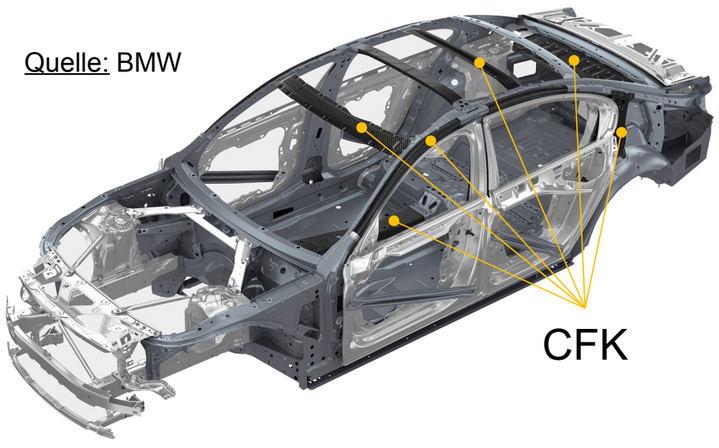


Quelle: thermoPre e. V.

Projektlaufzeit thermoPre plus von 10/2018 bis Ende 2021

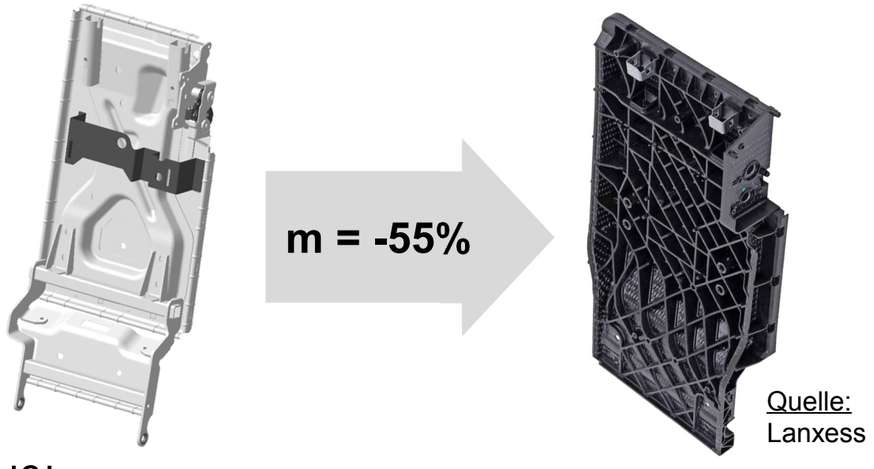
Motivation

- Endlosfaserverstärkte Duroplaste sind Stand der Technik in der großseriennahen Automobilproduktion von Karosseriebauteilen u. a. der BMW i Modelle und des aktuellen BMW 7er (G12)
- Thermoplastische Faserkunststoffverbunde besitzen gegenüber Duroplasten geringere Zykluszeiten und eine hohe Funktionsintegration durch die Verfahrenskombination mit bspw. Spritzgießen
- Erste Strukturbauteile aus thermoplastischen Faserkunststoffverbunden wie bspw. die Durchlade des Landrover Discovery sind in automobiler Serienproduktion



Hybridkarosserie BMW 7er

Quelle: www.landrover.de



Schweißbaugruppe aus Stahlblech = **3,8 kg**

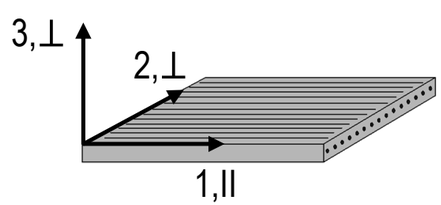
FKV = **1,6 kg**

Motivation

Werkstoff	ρ [g/cm³]	E bzw. E_{II} / $E_{\perp}$ [GPa]	R_m bzw. R_{II} / $R_{\perp}$ [MPa]
Stahl	7,85	210	500
Al-Legierung	2,70	70	350
Ti-Legierung	4,50	102	900
Mg-Legierung	1,74	40	330
CFK	1,48	105 / 4,0	1350 / 38
CFK hochfest (60% FVG)	1,55	167 / 4,5	2700 / 77
GFK	1,87	38 / 3,6	930 / 33
AFK	1,33	60 / 3,0	1170 / 32

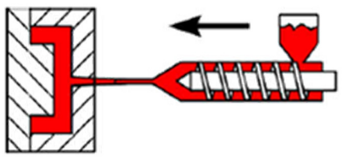
Quelle: Institut für Verbundwerkstoffe GmbH und ESAComp

AFK: Aramidfaserverstärkte Kunststoffe
CFK: Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe
GFK: Glasfaserverstärkte Kunststoffe
FVG: Faservolumengehalt, für o.g. AFK, CFK, GFK mit Epoxidmatrix 50%

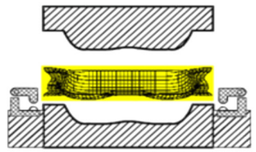


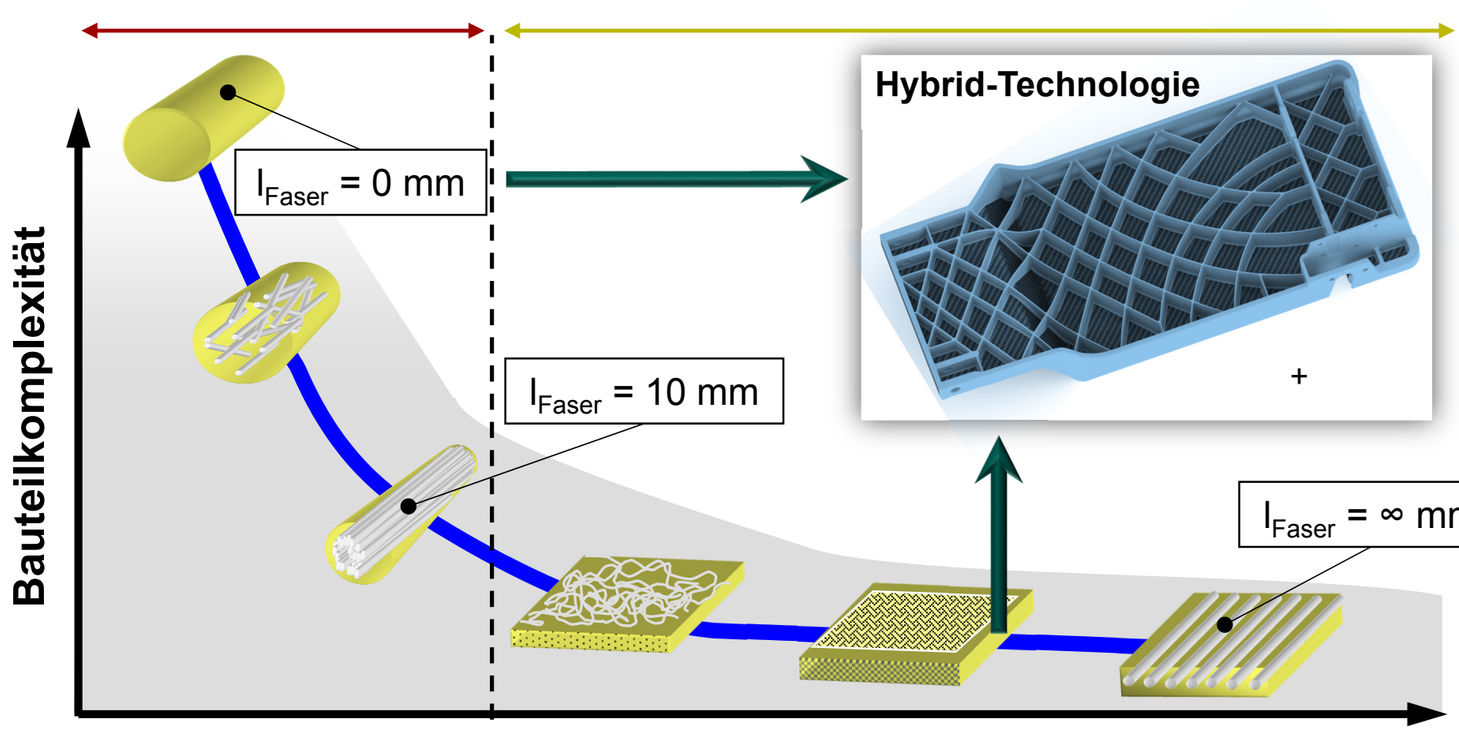
Verfahrenskombination Spritzgießen und Pressformen

Spritzgießverfahren



Pressformen





Karosseriebauteile aus endlosfaserverstärkten Thermoplasten

Audi R8 e-tron

Leichtbau-Batterieträger

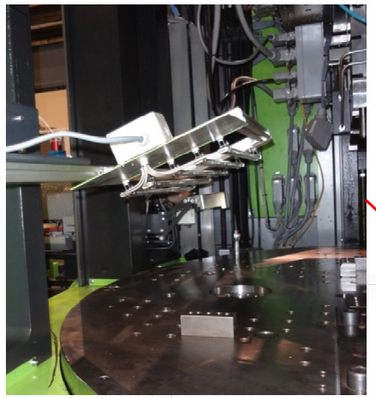
1. Innovationspreis der Volkswagen Gruppe 2012

Patentanmeldung:
K 19979 DE

Strukturleichtbau Kunststoffverarbeitung

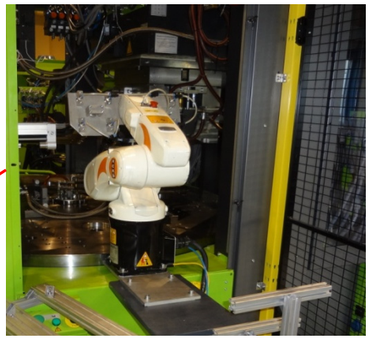
TU Chemnitz, SLK: M. Meyer; Prof. L. Kroll, Prof. W. Nendel, K.-H. Hoyer, 1. IMTC, Chemnitz: 2013

Vorwärmen

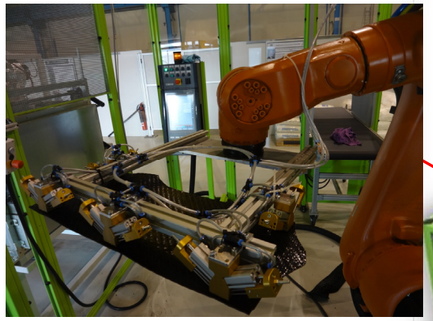


Vorformen

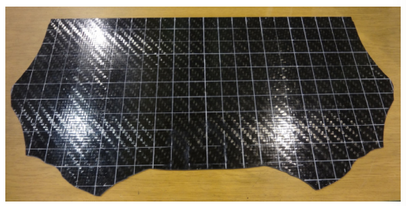
Spritzgießen



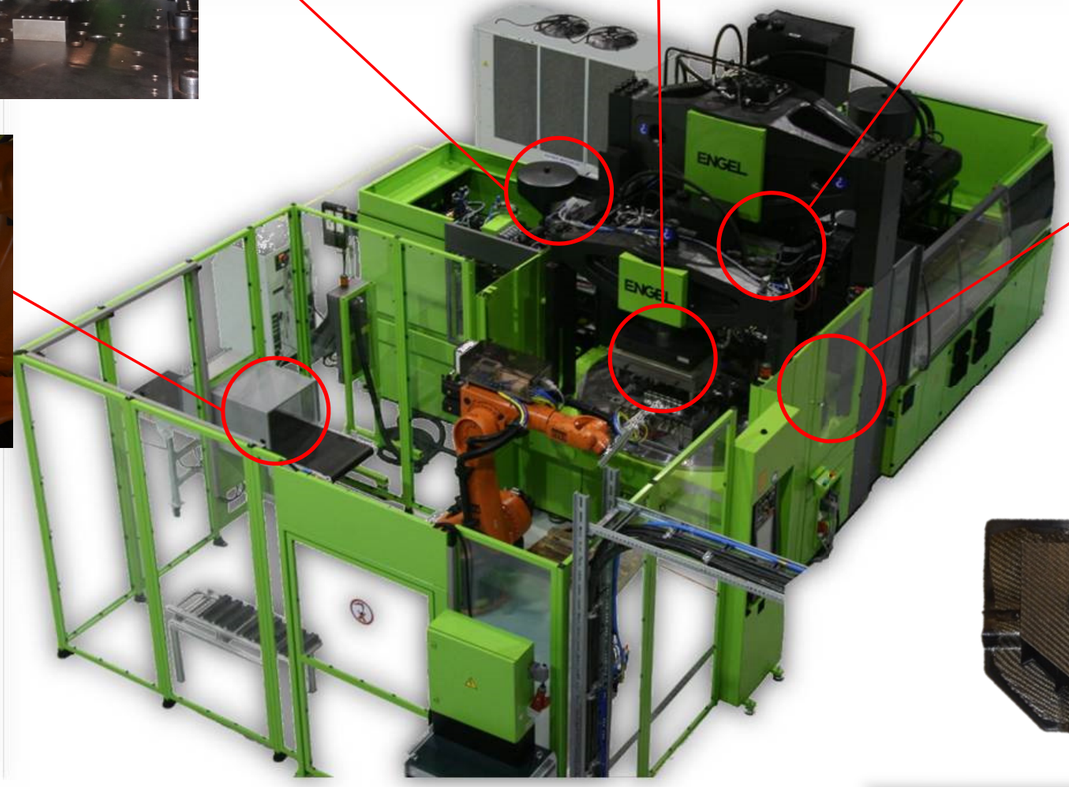
Fügen und Entformung



Übergabe



Zuschneiden



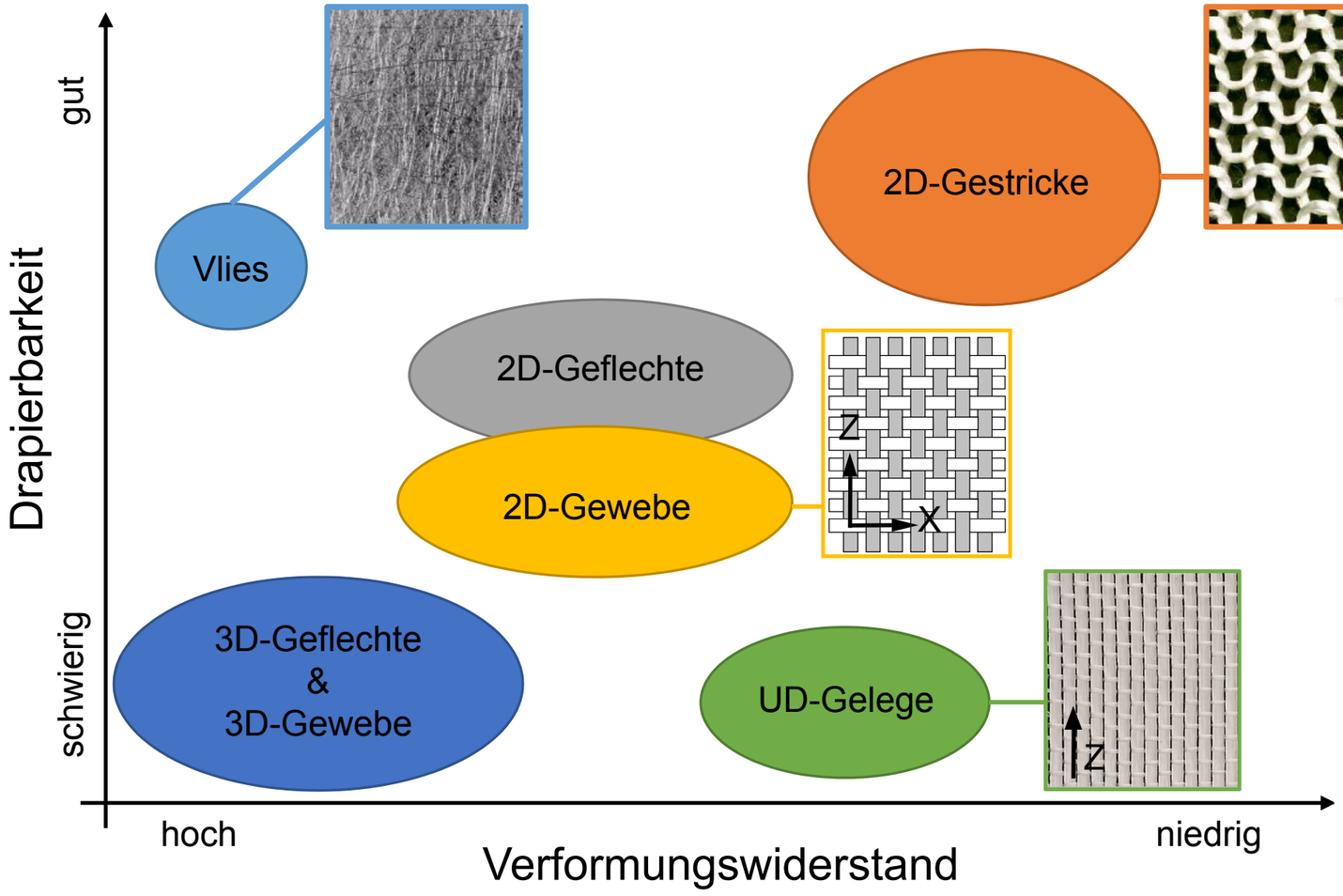
Strukturleichtbau
Kunststoffverarbeitung

VOLKSWAGEN
AKTIENGESELLSCHAFT

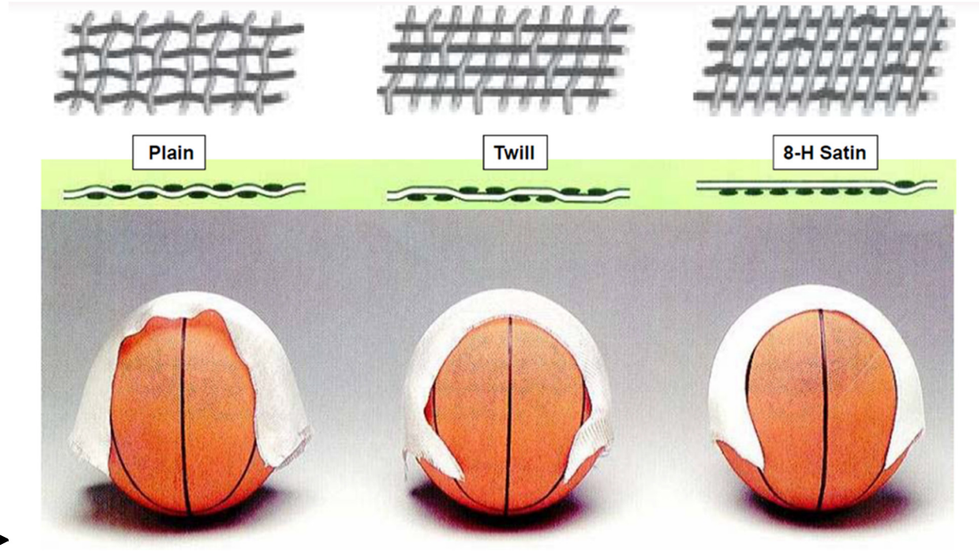
Thermoplastische Hybridstrukturen

Fertigungs-Prozesskette am Beispiel des CFK-Adapters Batterieträger R8 e-tron

Drapierbarkeit und Verformungswiderstand abhängig vom textilen Flächengebilde



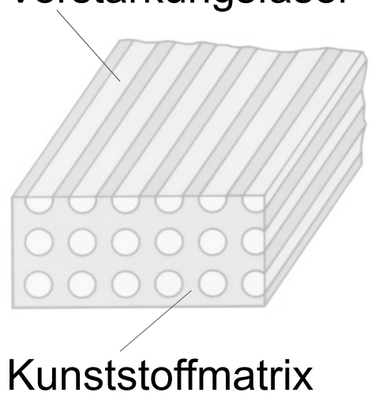
Quelle: in Anlehnung an Planck



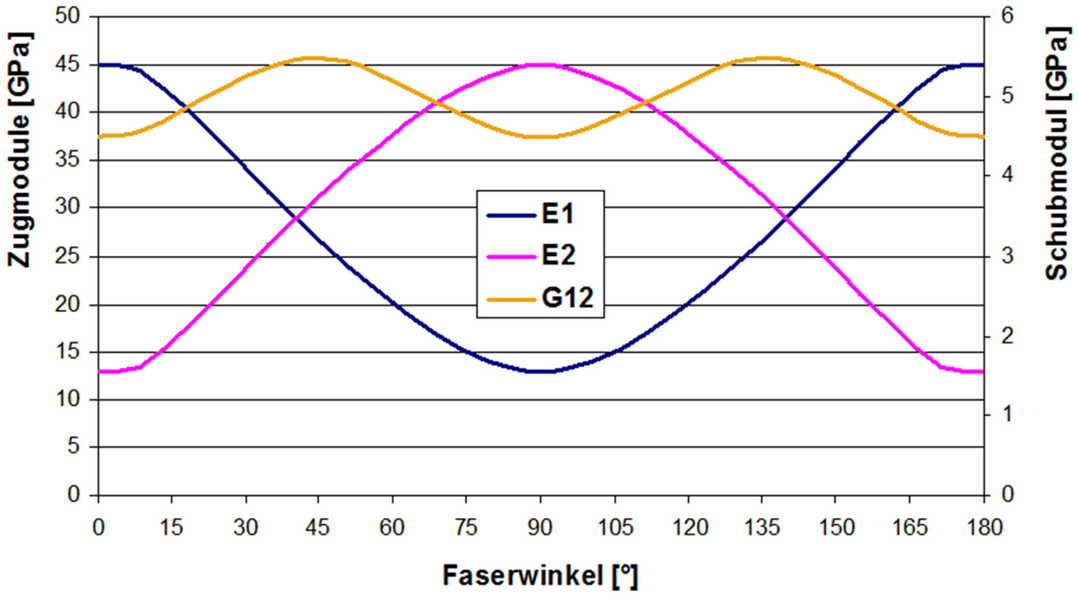
Quelle: Altair Engineering

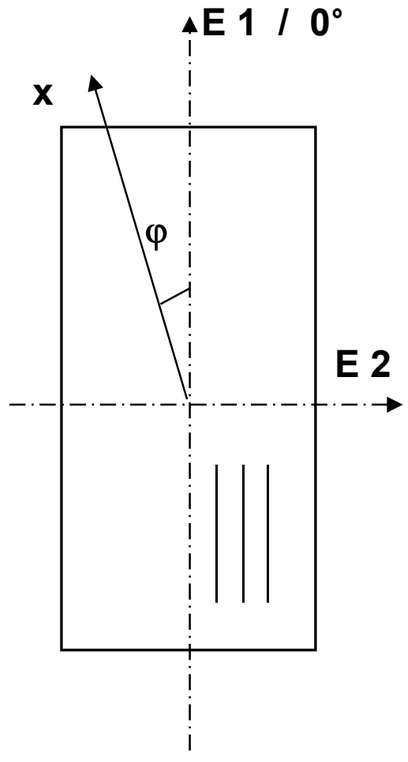
Mehrschichtverbund und richtungsabhängige mechanische Eigenschaften von FKV

UD-Einzelschicht

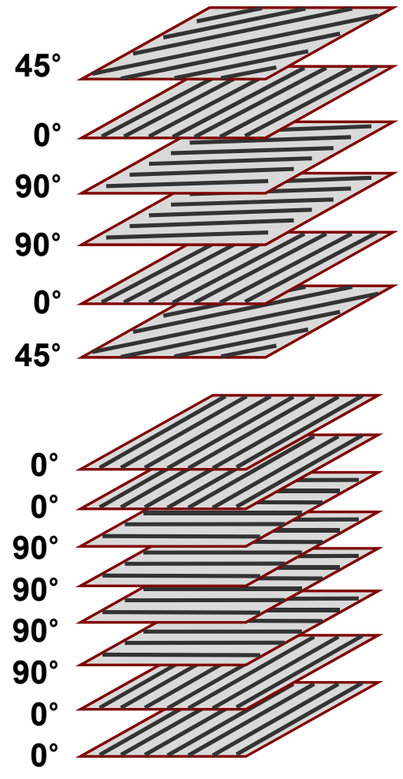


Richtungsabhängige Steifigkeiten von unidirektionalem GFK





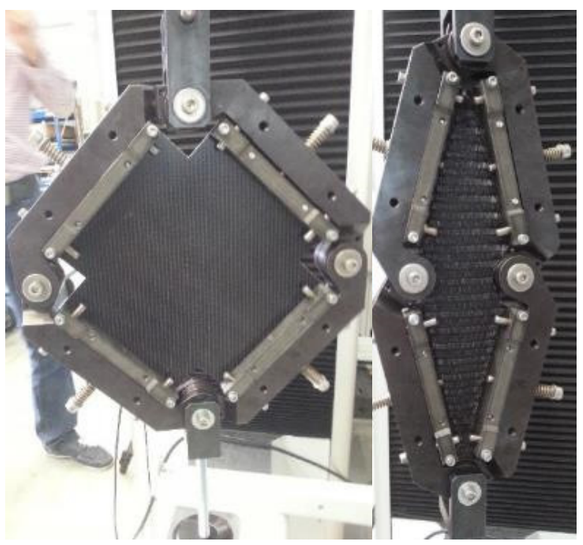
Typische Laminataufbauten

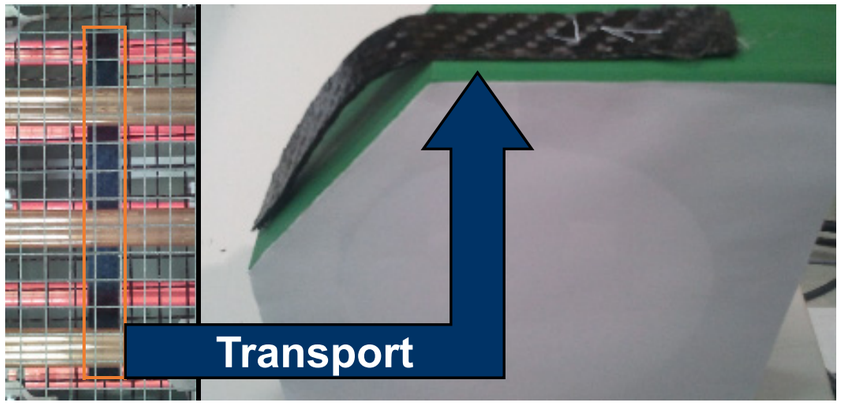


Experimentelle Ermittlung von Kennwerten für die Simulation des Thermoformenprozesses

Für endlosfaserverstärkte Thermoplaste müssen die für die Simulation erforderlichen Materialeigenschaften unter Schmelztemperatur bestimmt werden

- Temperierter Zugversuch
- Schubrahmenversuch
- Biegeprüfung in Anlehnung an DIN EN ISO 53362
- Temperaturabhängige Viskosität
- Temperaturabhängige Reibungskoeffizienten

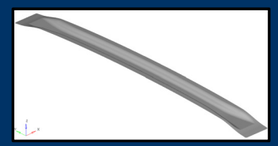




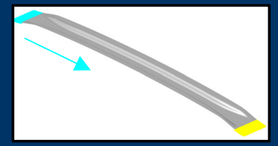
Workflow

OneStep analysis

CAD-Import des umgeformten Bauteils

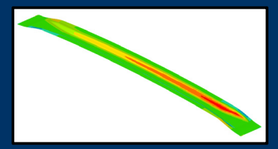


Pre-Processing (HyperMesh)



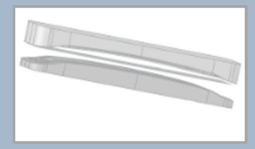
Solving (Drape Estimator, Radioss)

Post-Processing (HyperMesh)

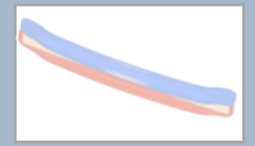


Incremental computation

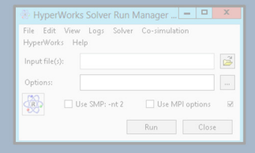
CAD-Import von Werk- und Halbzeugen



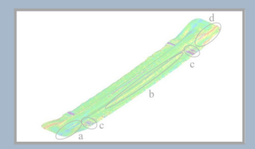
Pre-Processing (HyperForm)



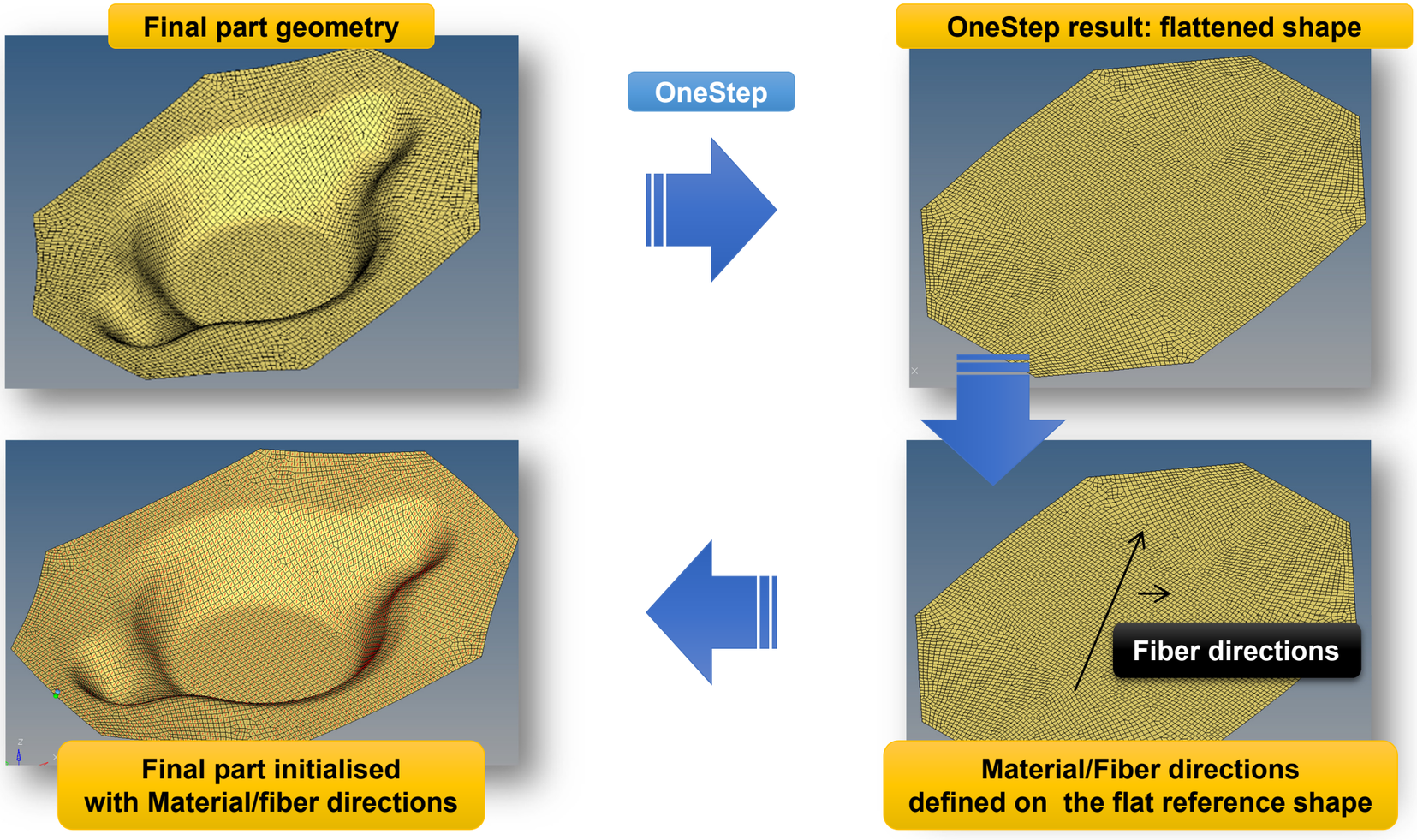
Solving (Radioss)



Post-Processing (HyperView)



Drape Estimator: Kinematische Drapiersimulation für textile Flächengebilde (Gewebe, Gelege)

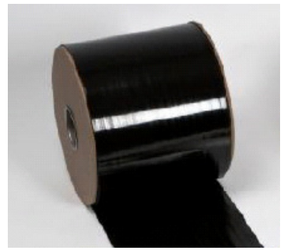


Quelle: Altair Engineering

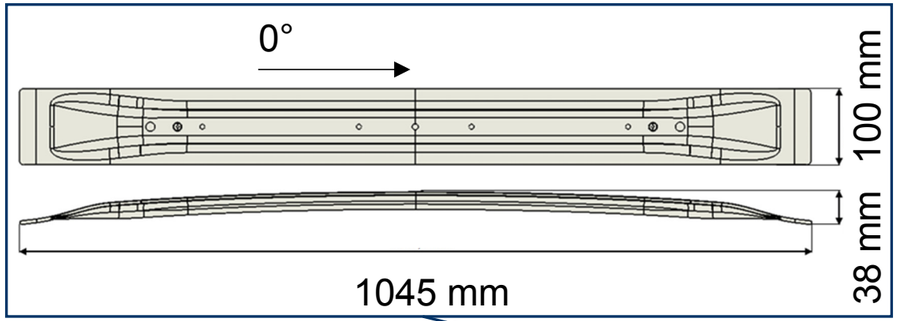
OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

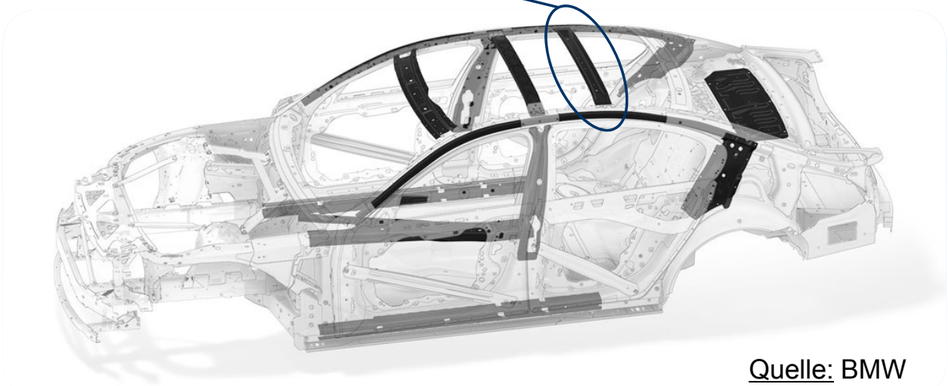
- Material: Celanese Celstran® CFR-TP PA6+CF60, UD-Gelege, t = 0,13 mm
- Lagenaufbau:

Schicht	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Orientierung	0°	+45°	-45°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	-45°	+45°	0°

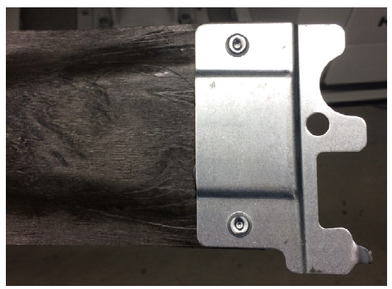


Quelle: Celanese



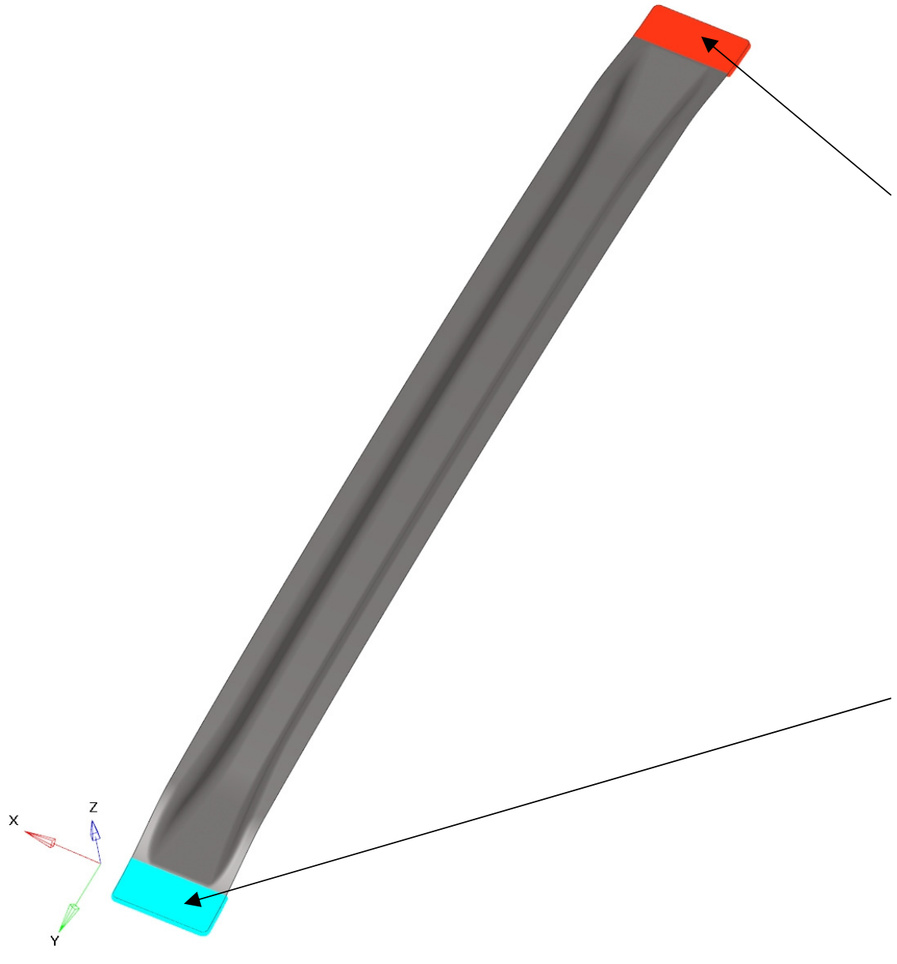


Quelle: BMW



Verbindung zur Stahlkarosserie

OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel



Alle translatorischen Freiheitsgrade gesperrt

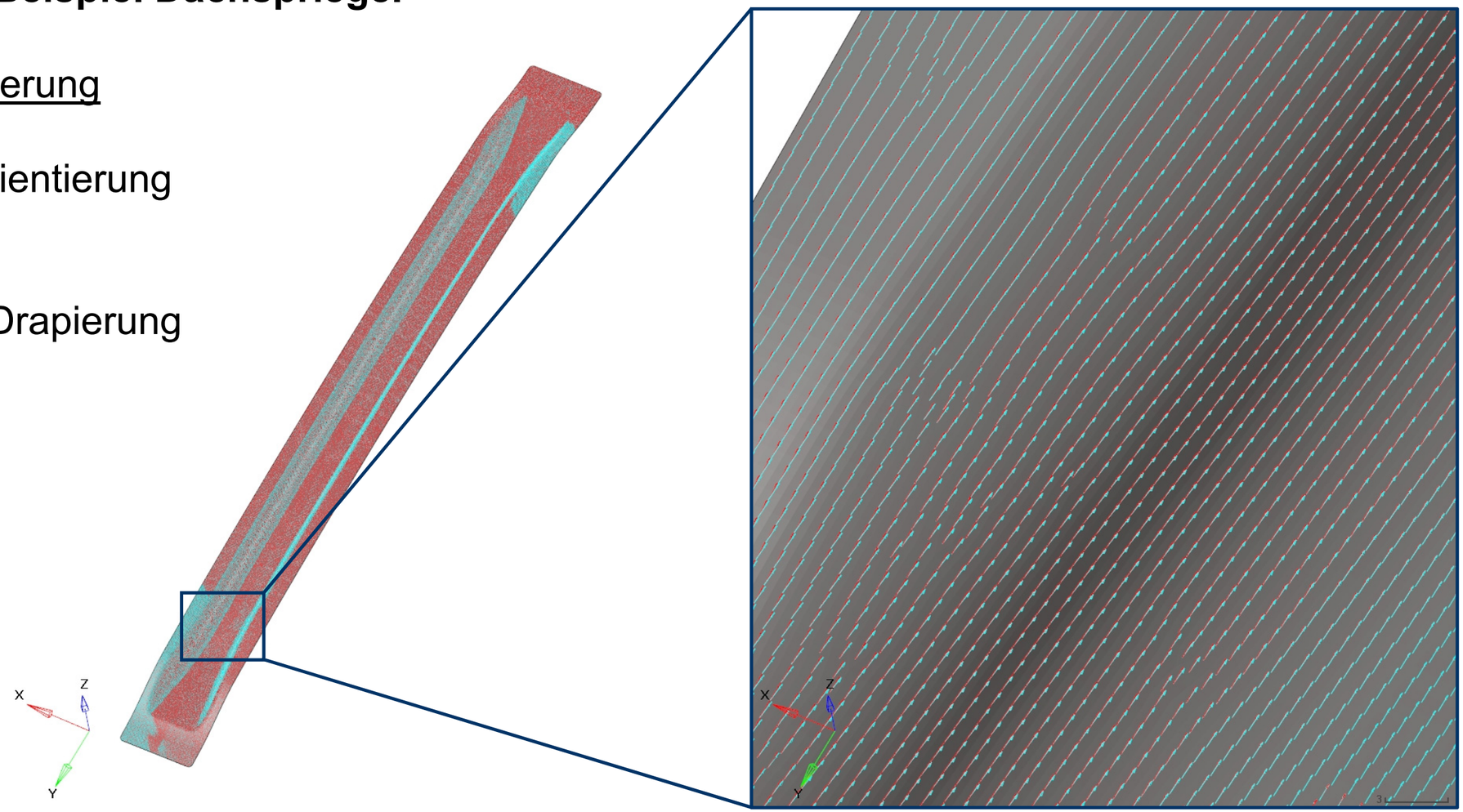
Translatorische Freiheitsgrade in x- und z-Richtung gesperrt
Zwangsverschiebung in y-Richtung von **-5 mm**

OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

1. Schicht mit 0°-Orientierung

Darstellung der Faserorientierung

- Globale Orientierung
- Orientierung mittels Drapierung

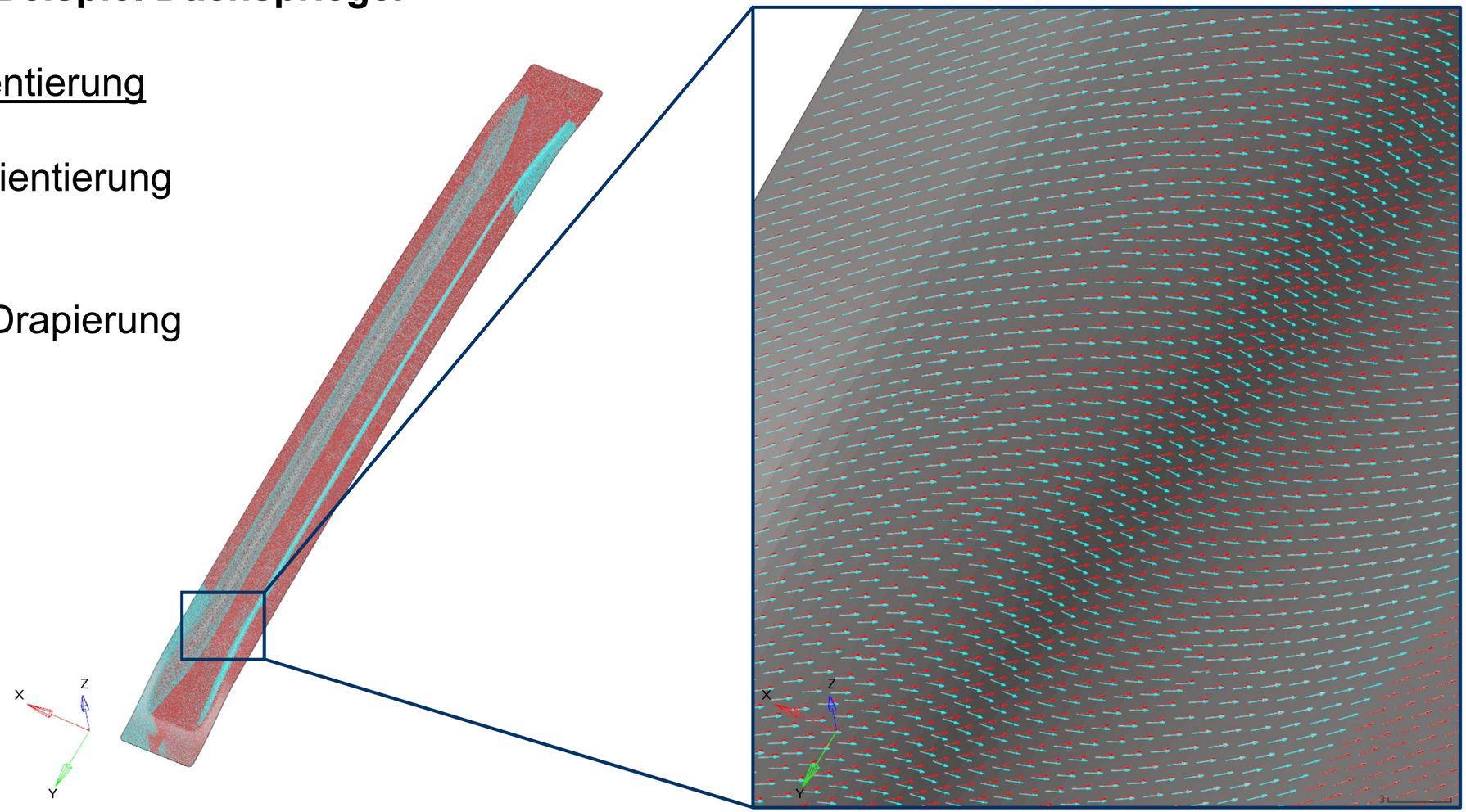


OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

2. Schicht mit +45°-Orientierung

Darstellung der Faserorientierung

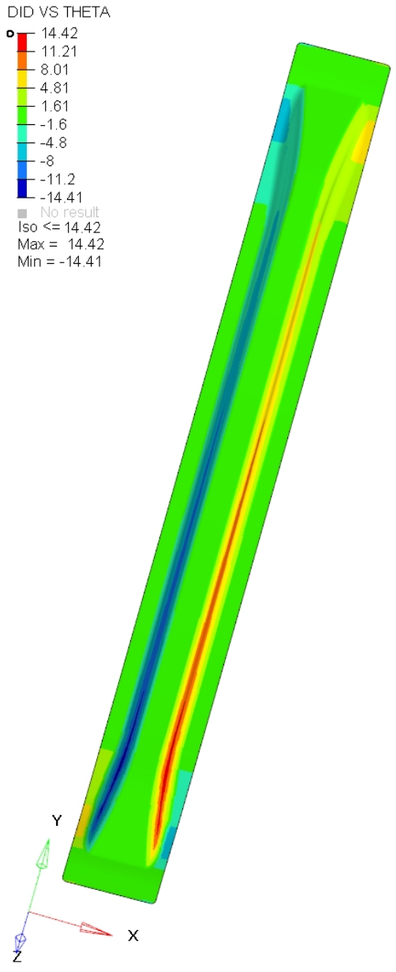
- Globale Orientierung
- Orientierung mittels Drapierung



OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

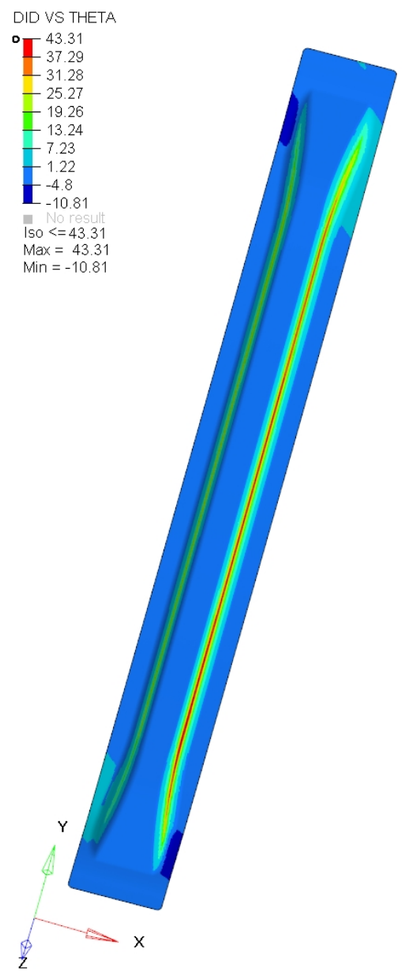
Winkeländerung in °:

1. Schicht mit
0°-Orientierung



Winkeländerung in °:

2. Schicht mit
+45°-Orientierung

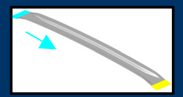


Übertragung der Faserorientierung aus der Umformsimulation in die Struktursimulation

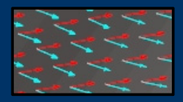
OneStep analysis

- CAD-Import

- Pre-Processing

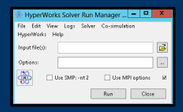


- Solving (Drape Estimator)

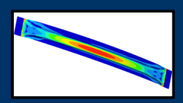


Struktursimulation

- Solving (OptiStruct)

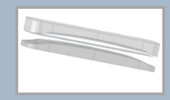


- Post-Processing

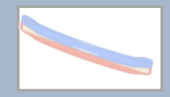


Incremental computation

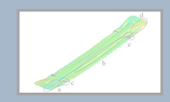
- CAD-Import



- Pre-Processing

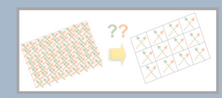


- Solving (Radioss)

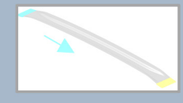


Struktursimulation

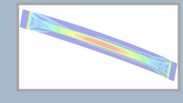
- Mapping Faserorientierung



- Pre-Processing



- Solving und Post-Processing

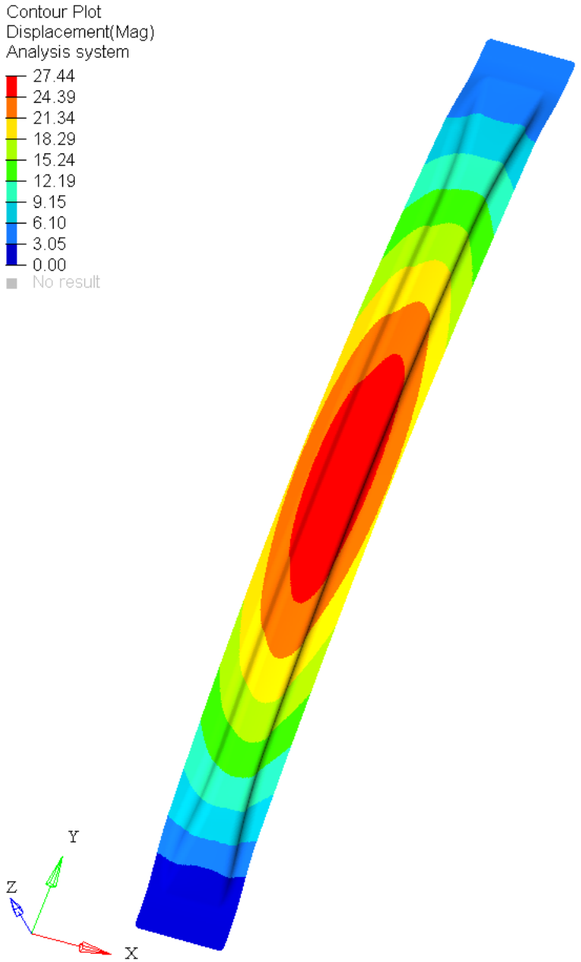


OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

Vektorsumme der Verschiebung in mm:

ohne Drapierung

u_{sum} = 27,44 mm
(100%)

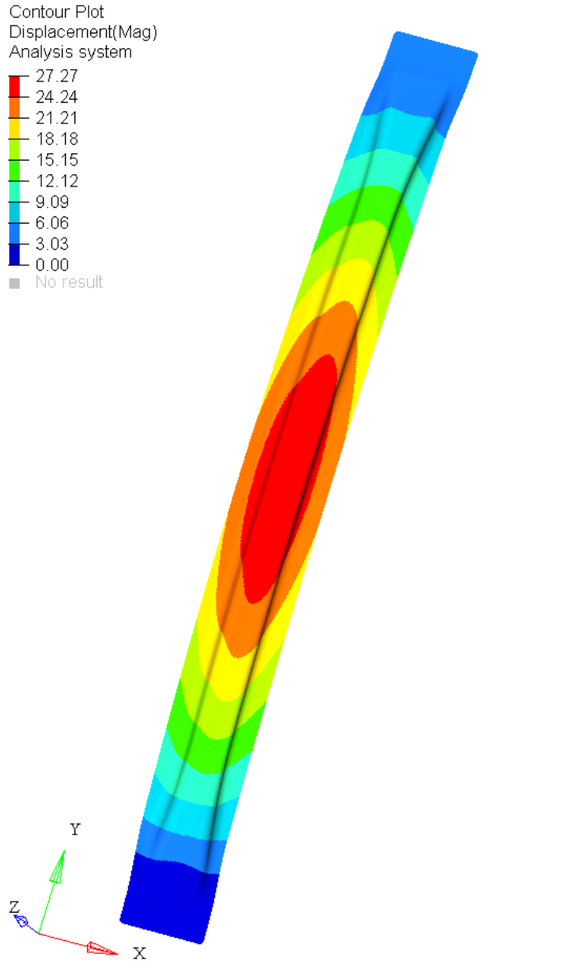


Reaktionskraft
F_{R_y} = 4,044 kN
(100%)

Vektorsumme der Verschiebung in mm:

mit Drapierung

u_{sum} = 27,27 mm
(99,4%)

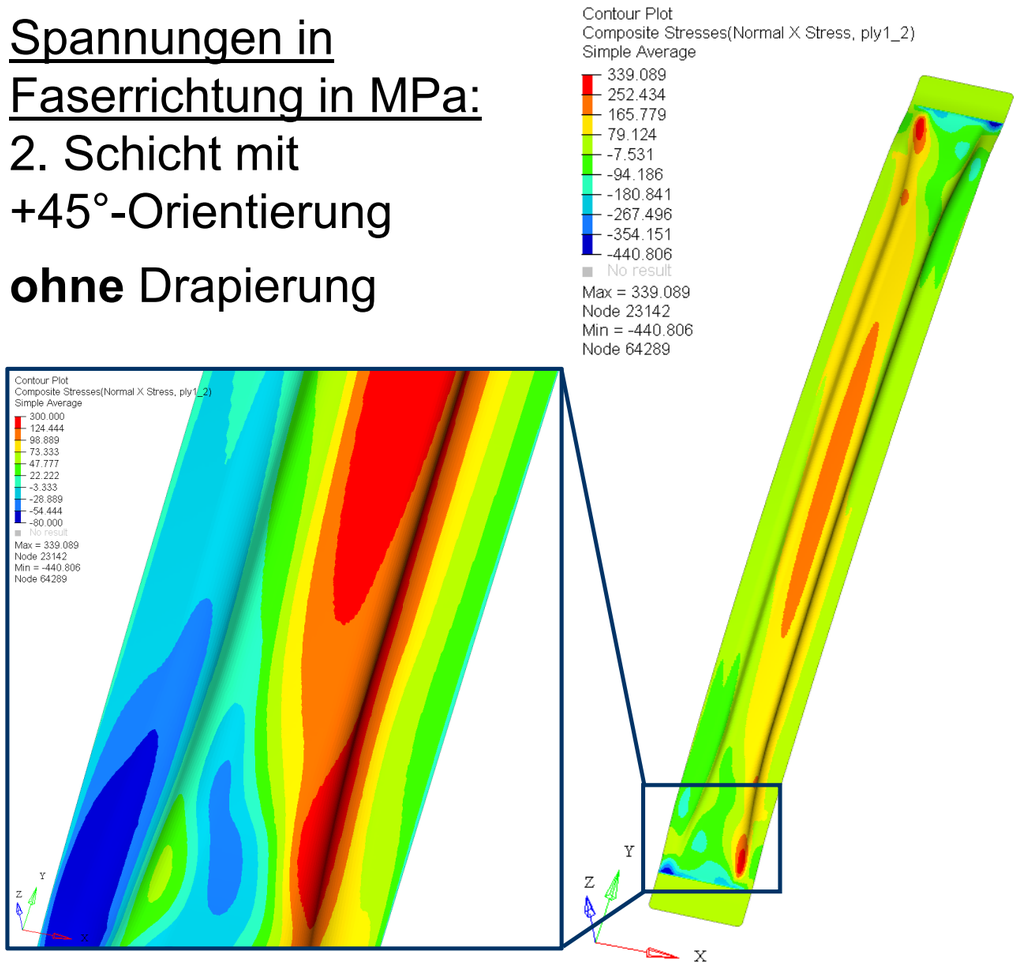


Reaktionskraft
F_{R_y} = 4,103 kN
(101,5%)

OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

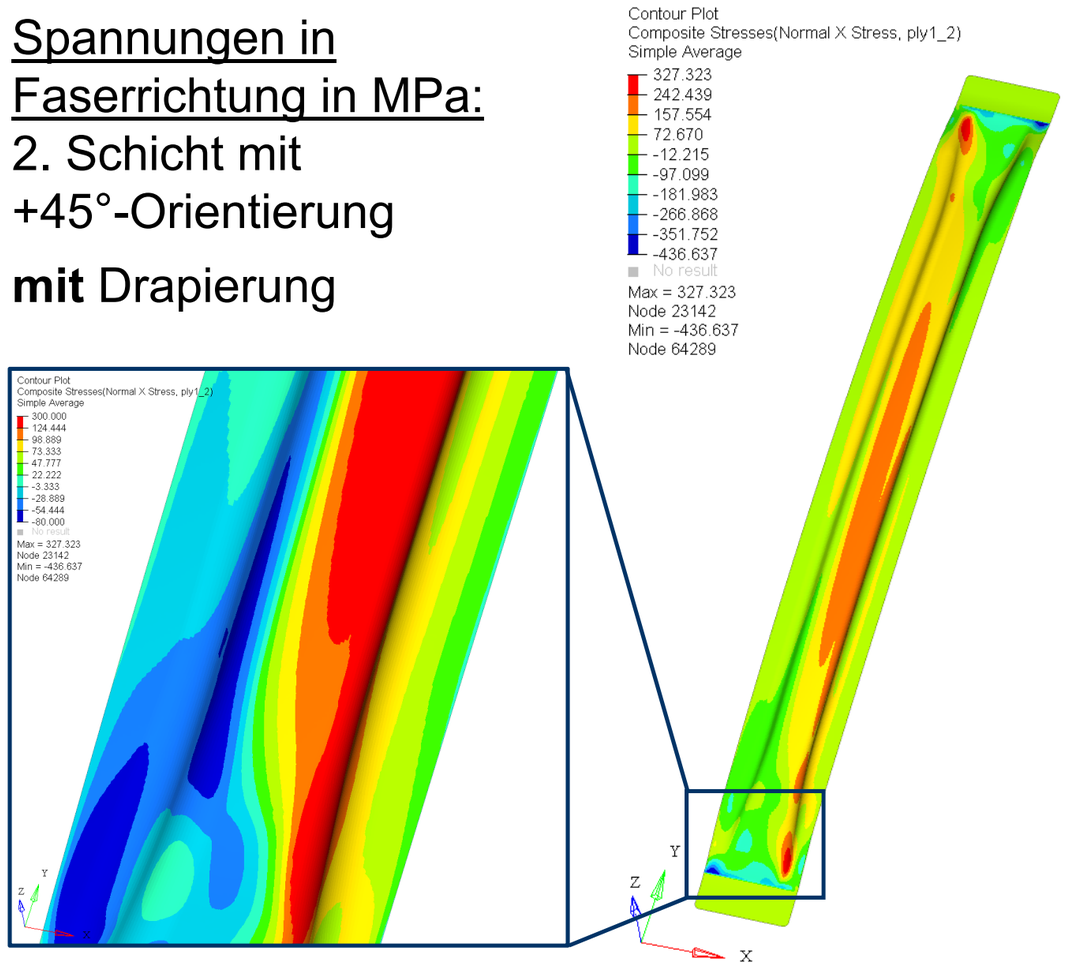
<u>Spannungen in Faserrichtung in MPa:</u>
2. Schicht mit +45°-Orientierung

ohne Drapierung



<u>Spannungen in Faserrichtung in MPa:</u>
2. Schicht mit +45°-Orientierung

mit Drapierung

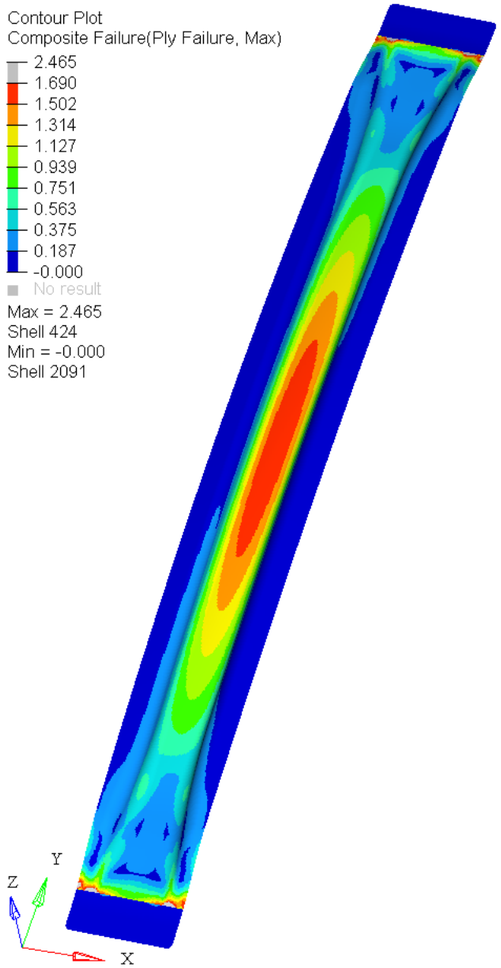


OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

Inverser Reservefaktor nach TSAI/WU:

ohne Drapierung

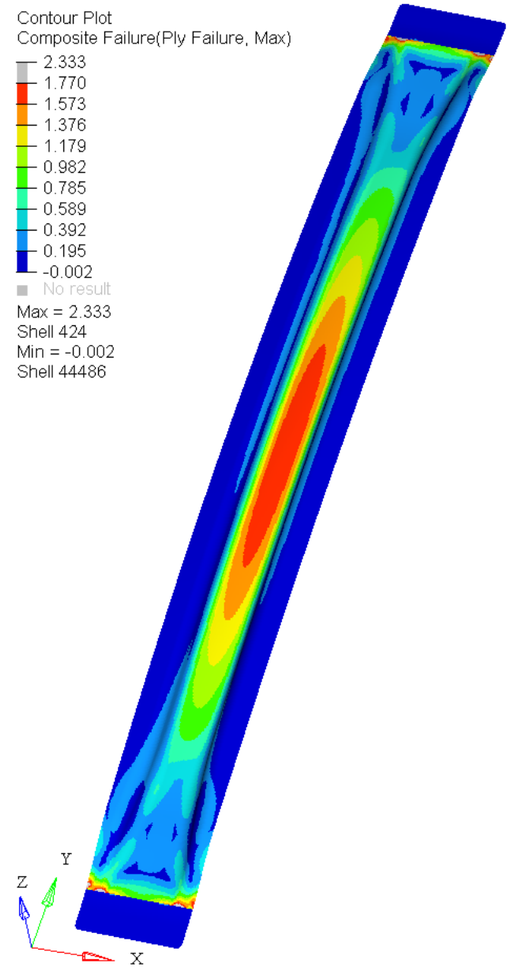
1/RF = 1,69
(100%)



Inverser Reservefaktor nach TSAI/WU:

mit Drapierung

1/RF = 1,77
(104,7%)

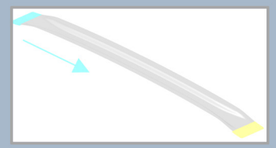


Workflow

OneStep analysis

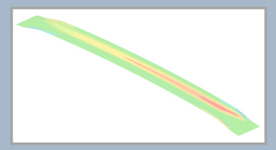
CAD-Import des umgeformten Bauteils

Pre-Processing (HyperMesh)



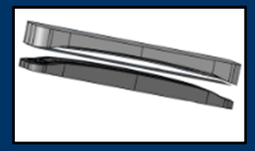
Solving (Drape Estimator, Radioss)

Post-Processing (HyperMesh)

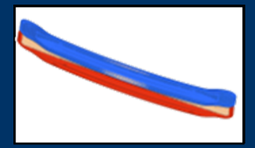


Incremental computation

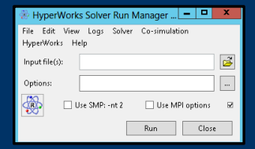
CAD-Import von Werk- und Halbzeugen



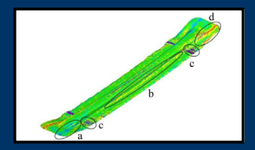
Pre-Processing (HyperForm)



Solving (Radioss)



Post-Processing (HyperView)

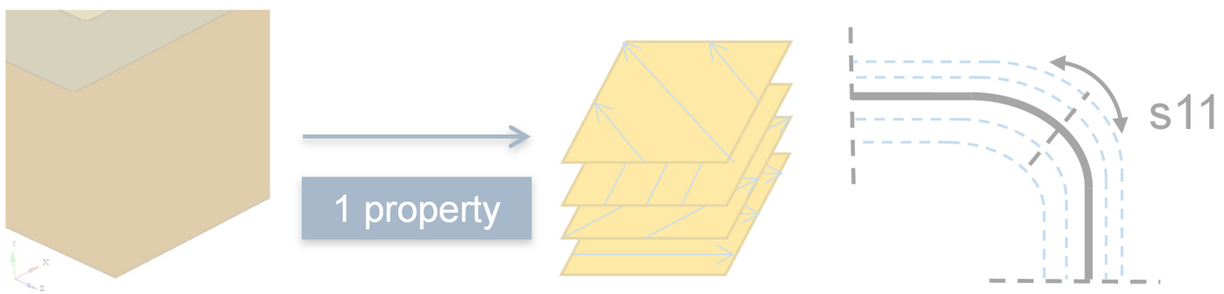


Incremental computation: 2 unterschiedliche Modellierungsansätze

Sandwich

- Eine Komponente mit allen Einzelschichten
- Alle Lagen werden in einer Eigenschaft definiert

→ *Kein Gleiten zwischen den Schichten*

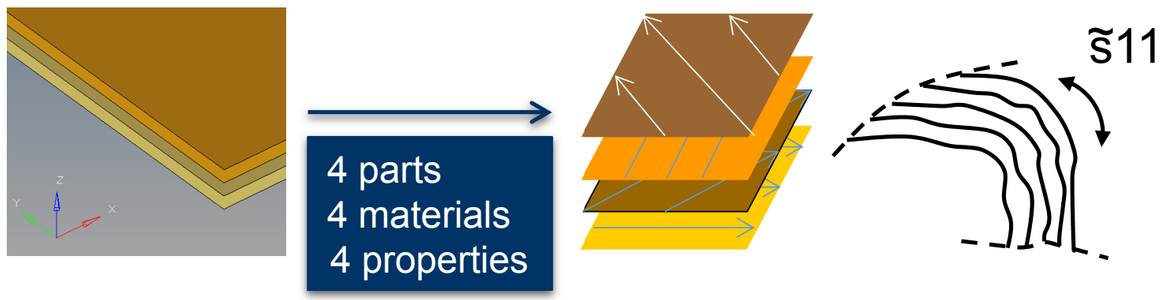


- Material Law: Composite (COMPSH)
- Property: Sandwich (SH_SANDW)

Independent Layers

- Eine Komponente je Einzelschicht
- Kontakt zwischen den Einzelschichten

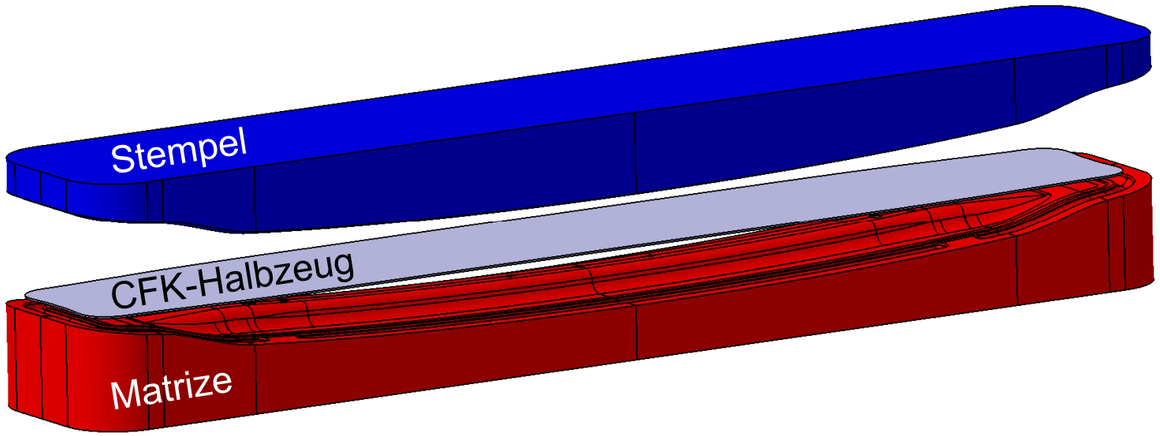
→ *Gleiten zwischen den Schichten*

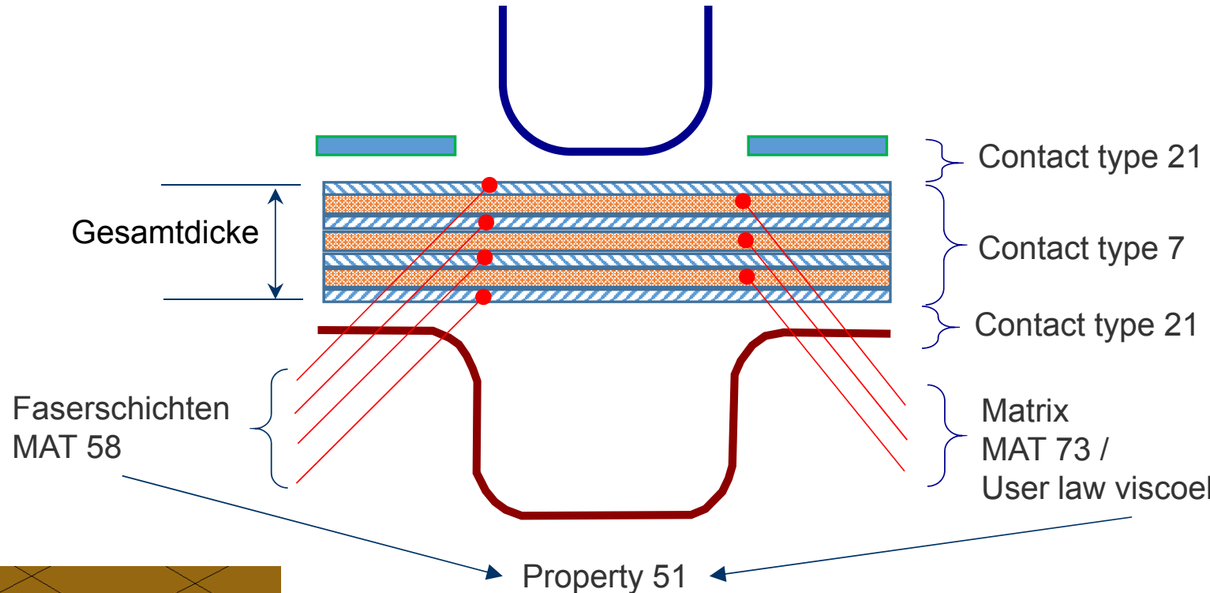


- Material Law: Fabric (FABR_A)
- Property: Fabric (SH_FABR)

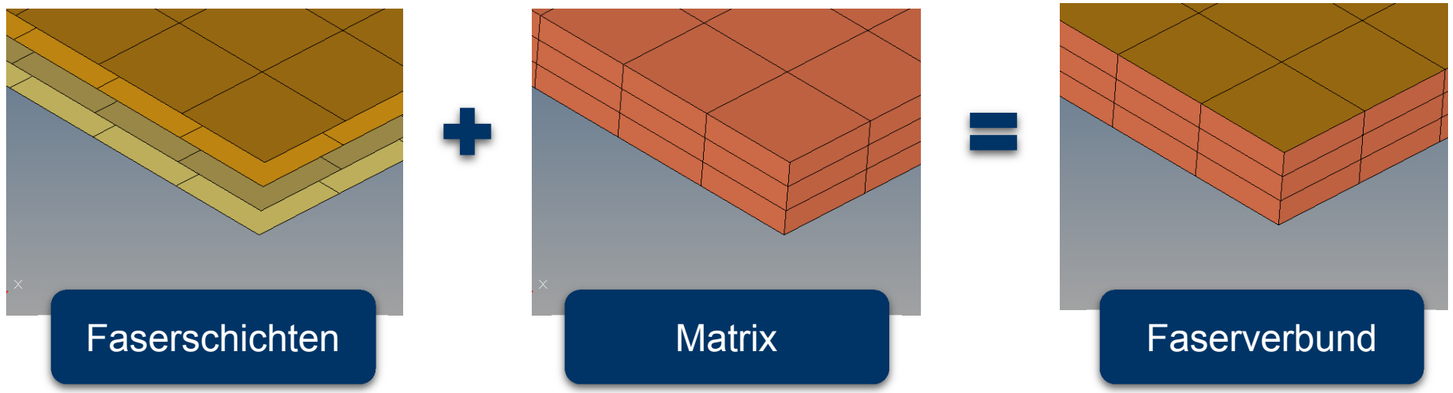
Quelle: Altair Engineering

Incremental computation mit Independent Layers am Beispiel Dachspriegel



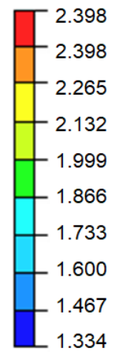


/MAT/LAW59 or CONNECT

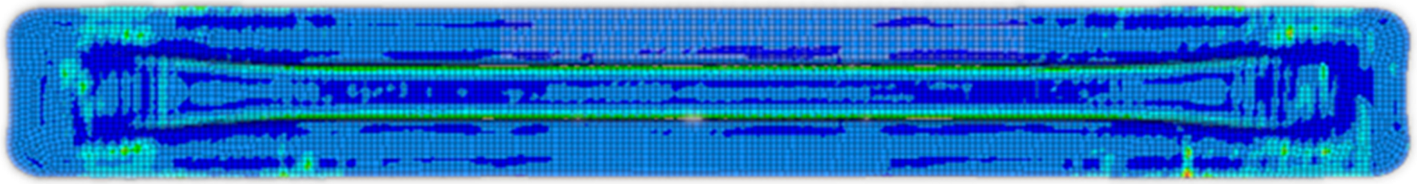


Quelle: Altair Engineering

Incremental computation mit Independent Layers am Beispiel Dachspriegel



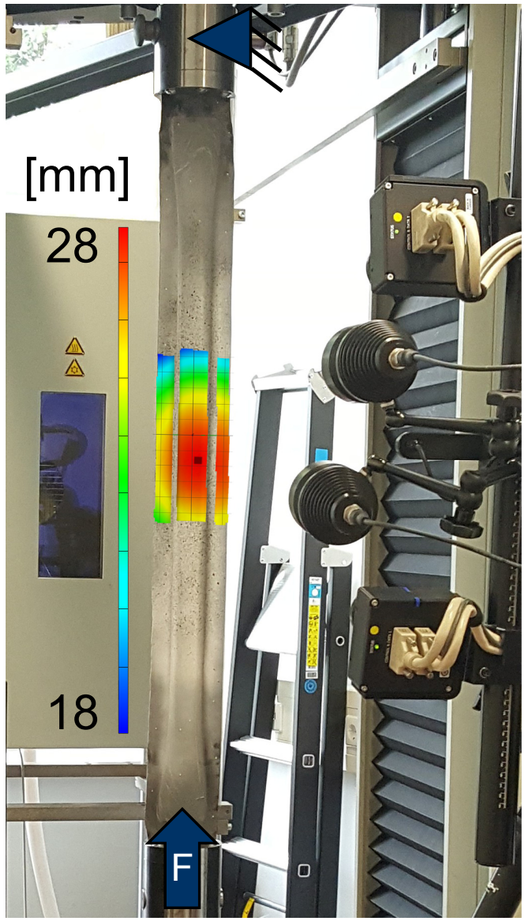
Wandstärkenverteilung in mm



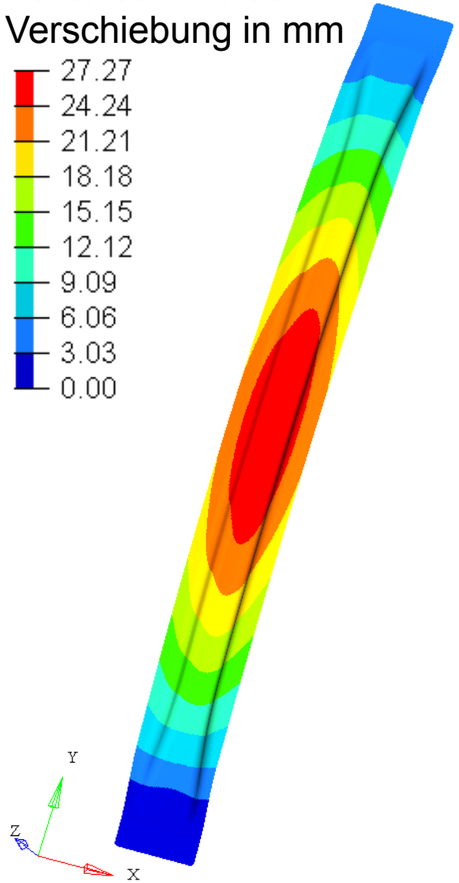
Vergleich zu experimentellen Untersuchungen am Beispiel Dachspriegel

Lightweight Structures Engineering GmbH

Druckprüfung

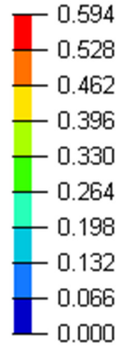


Vektorsumme der Verschiebung in mm

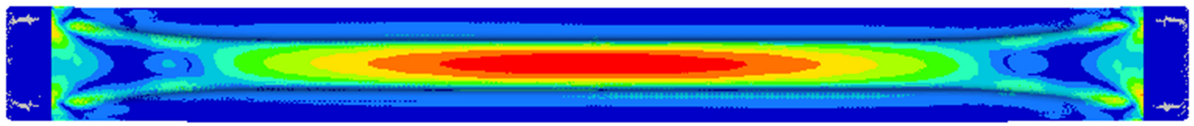


Inverser Reservefaktor nach PUCK für Faserdruckfestigkeit

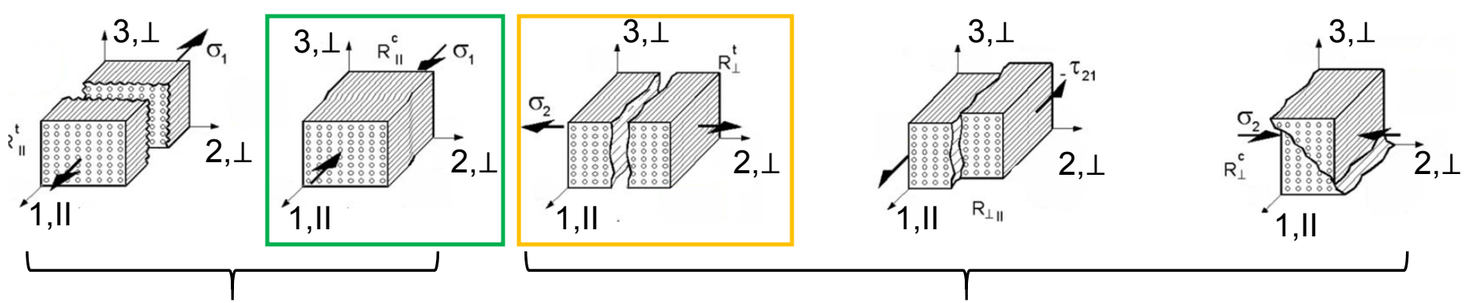
1. Schicht mit 0°-Orientierung, y = -4 mm



Inverser Reservefaktor nach PUCK für Querzugfestigkeit



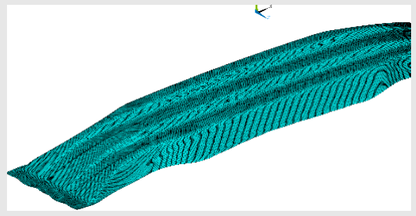
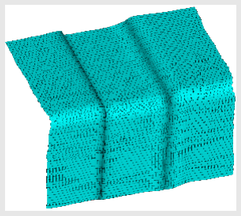
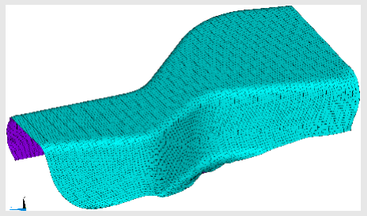
Darstellung über alle 13 Schichten, y = -4 mm



Faserbruch (FF1-2) Zwischenfaserbruch (Modus A-C)

Zusammenfassung

- Durchgängiger Simulationsworkflow von Altair ist gut geeignet für die Umformsimulation von endlosfaserverstärkten Thermoplasten
- Kinematische Drapierung mittels Drape Estimator liefert schnell Informationen zur Änderung der Faserorientierung der einzelnen Schichten
- Einfluss der Drapiersimulation auf mechanische Bauteileigenschaften ist abhängig von Geometrie, Lagenaufbau und textilem Flächengebilde

	Seitenaufprallträger	Kofferecke	U-Profil
Modell (PAM-FORM)			
Max. Scherwinkel in °	36	53	65
Abweichung Verformung in %	1,62	1,55	2,81
Abweichung inverser Reservefaktor in %	3,08	5,63	7,72

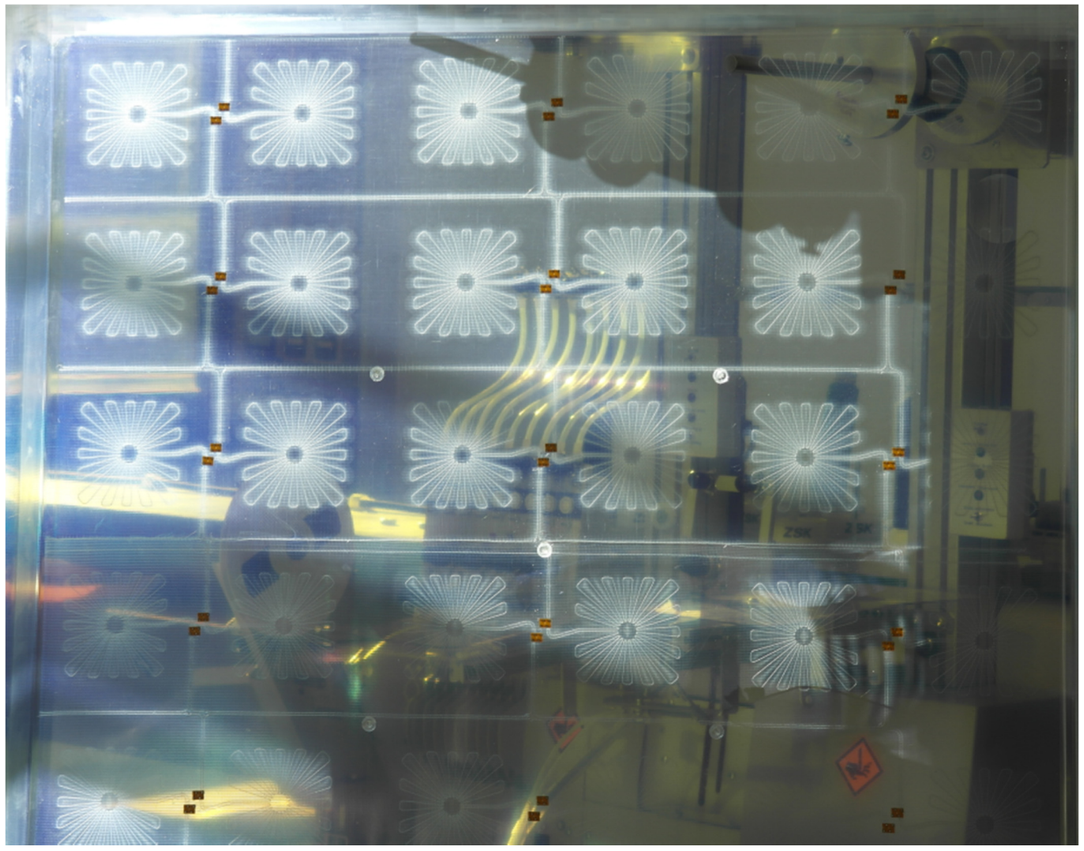
Zusammenfassung

- Gute Übereinstimmung zwischen Umformsimulation (Drape Estimator) in Kombination mit Struktursimulation und experimenteller Druckprüfung am Dachspriegel (Verformung und Versagensbeginn)

Ausblick

- Übertragung der Faserorientierung aus Umformsimulation (RADIOSS) auf Struktursimulation und Vergleich mit experimenteller Druckprüfung am Dachspriegel
- Umformsimulation mittels RADIOSS für andere textilen Flächengebilde (bspw. Gewebe) und Matrixwerkstoffe (Polypropylen, duroplastische Prepregs und TowPregs, etc.)

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Kontakt: **LSE-Lightweight Structures Engineering GmbH**
Otto-Schmerbach-Straße 19
D-09117 Chemnitz

Tel: +49 (0) 371 27095 133
Fax: +49 (0) 371 27095 131
E-Mail: norbert.schramm@lse-chemnitz.de