

Prozess- und Struktursimulation von endlosfaserverstärkten thermoplastischen Karosseriebauteilen

Dipl.-Ing. Norbert Schramm

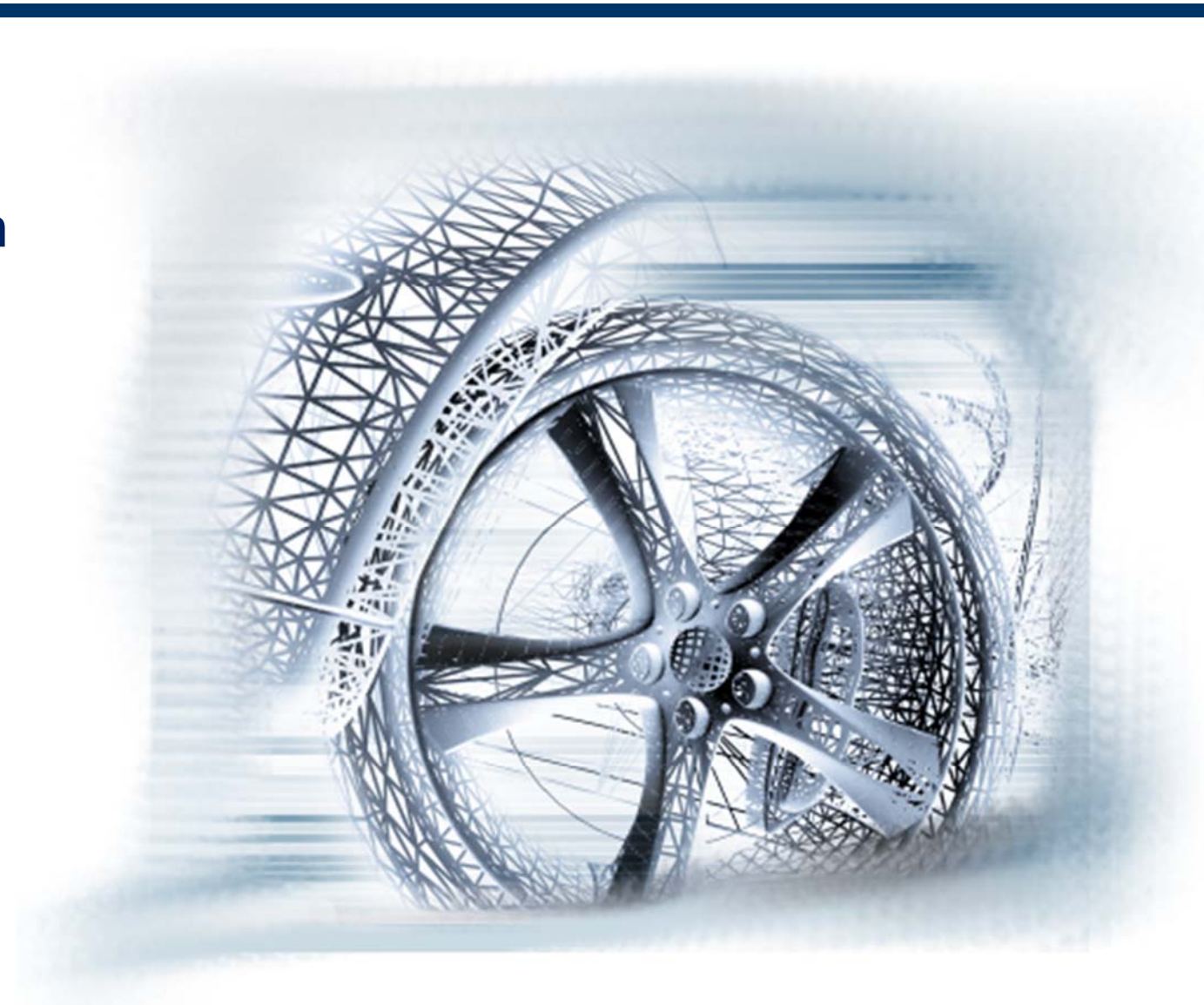
Geschäftsführender Gesellschafter, LSE-GmbH

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 Dachspiegels
- 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

EP 1923680 B1
EP 1923681 A1



Duroplastverarbeitung

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



Geschäftsbereiche

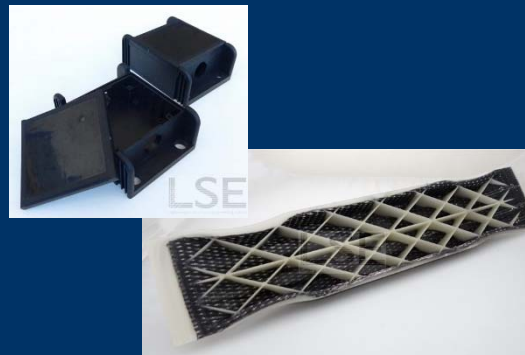
Elastomerverarbeitung

- Serienfertigung von Elastomerbauteilen
- Zuordnung von Kapazitäten on demand durch sehr gut ausgebildetes Personal
- Durchführung von qualitätssichernden 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 Bearbeitungszentrum für Prototypen- und Serienwerkzeuge aus Stahl, Aluminium und Kunststoff



Faserverbunde für die Großserie

thermoPre®
Faserverbunde für die Großserie

**Innovative
thermoplastische
Halbzeuge**



Quelle: thermoPre e. V.

**Modulare
Anlagen zur
Halbzeugherstellung**



**Passgenaue
Technologiekonzepte
zur Halbzeug-
weiterverarbeitung**



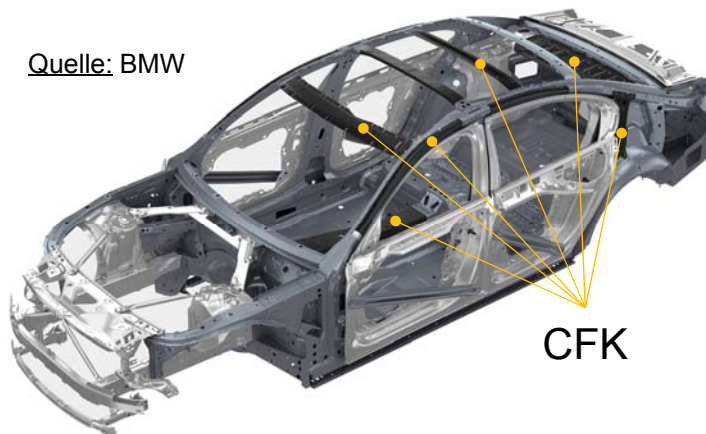
**Interdisziplinäres
Forschungsbündnis**



Projektlaufzeit thermoPre plus von 10/2018 bis Ende 2021

Motivation

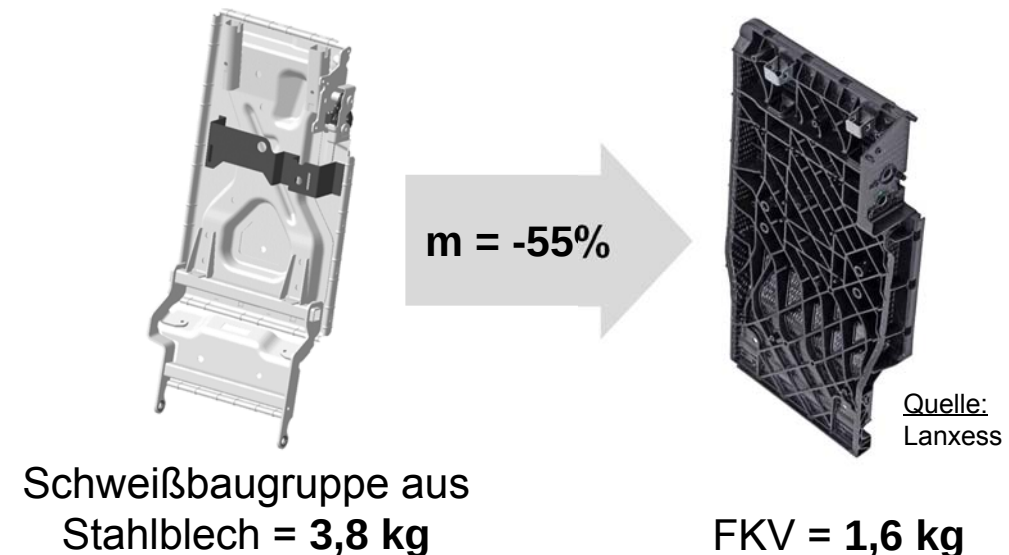
- Endlosfaserverstärkte Duroplaste sind Stand der Technik in der großseriennahen Automobilproduktion von Karosseriebauteilen u. a. der BMW i Modelle und des aktuellen BMW 7er (G12)
- Thermoplastische Faserkunststoffverbunde besitzen gegenüber Duroplasten geringere Zykluszeiten und eine hohe Funktionsintegration 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



Motivation

Werkstoff	ρ [g/cm ³]	E bzw. $E_{ }$ / $E_{\perp}$ [GPa]	R_m bzw. $R_{ }$ / $R_{\perp}$ [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

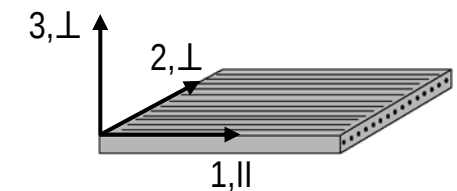
Quelle: Institut für Verbundwerkstoffe GmbH und ESAComp

AFK: Aramidfaserverstärkte Kunststoffe

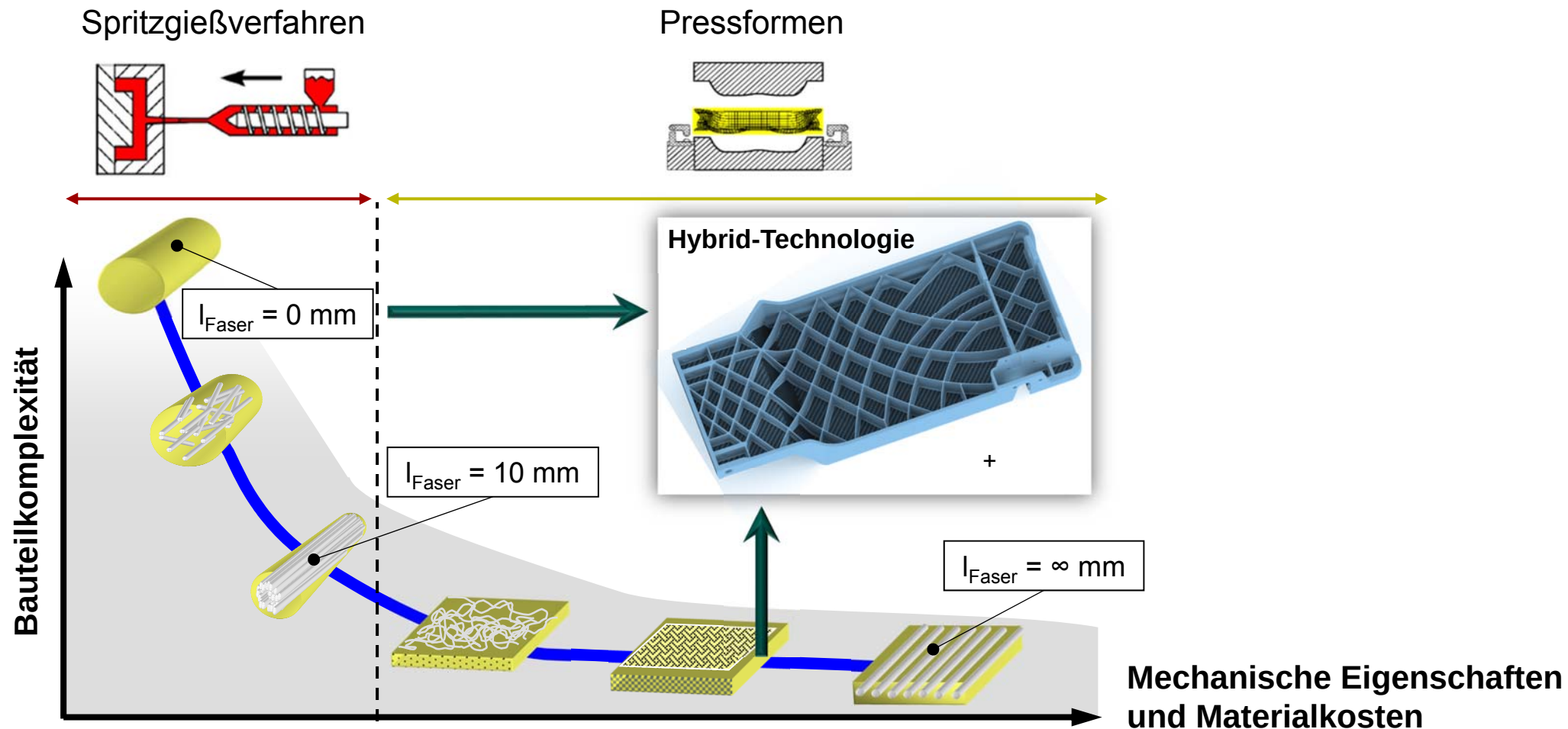
CFK: Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe

GFK: Glasfaserverstärkte Kunststoffe

FVG: Faservolumengehalt, für o.g. AFK, CFK, GFK mit Epoxidmatrix 50%



Verfahrenskombination Spritzgießen und Pressformen



Karosseriebauteile aus endlosfaserverstärkten Thermoplasten



Audi R8 e-tron

Leichtbau-Batterieträger

1. Innovationspreis der
Volkswagen Gruppe 2012

Patentanmeldung:
K 19979 DE

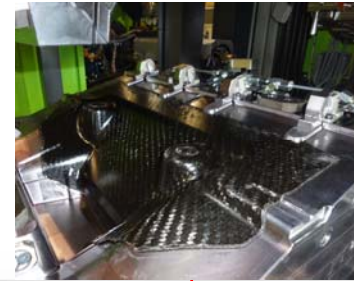


TU Chemnitz, SLK: M. Meyer; Prof. L. Kroll,
Prof. W. Nendel, K.-H. Hoyer, 1. IMTC,
Chemnitz: 2013

Vorwärmen



Vorformen



Spritzen



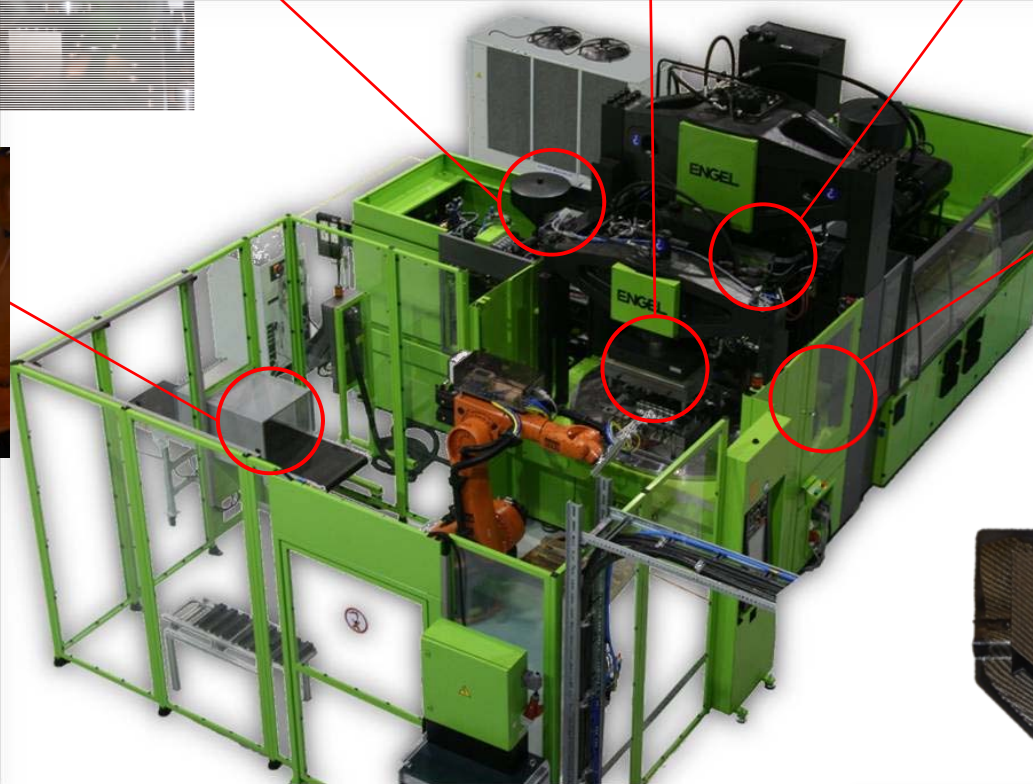
Fügen und Entformung



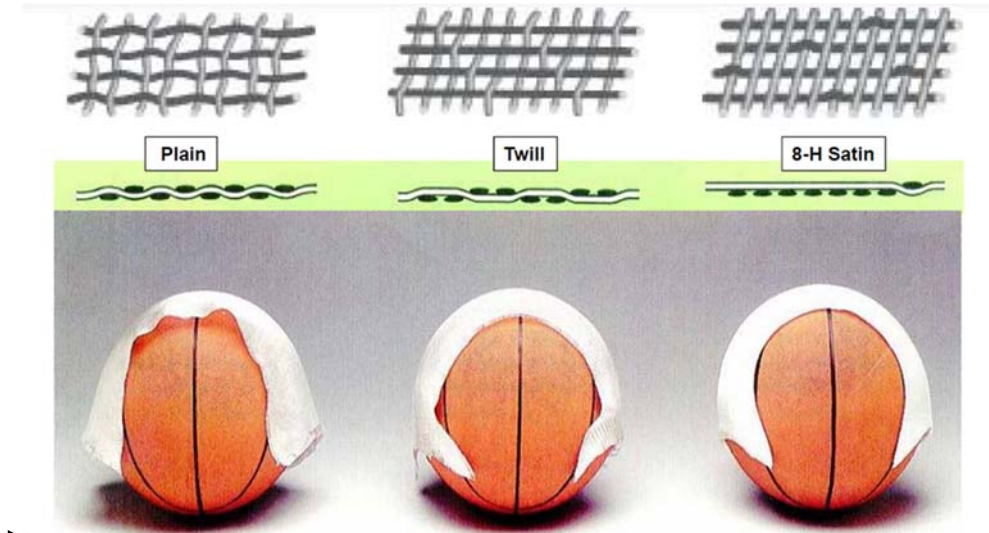
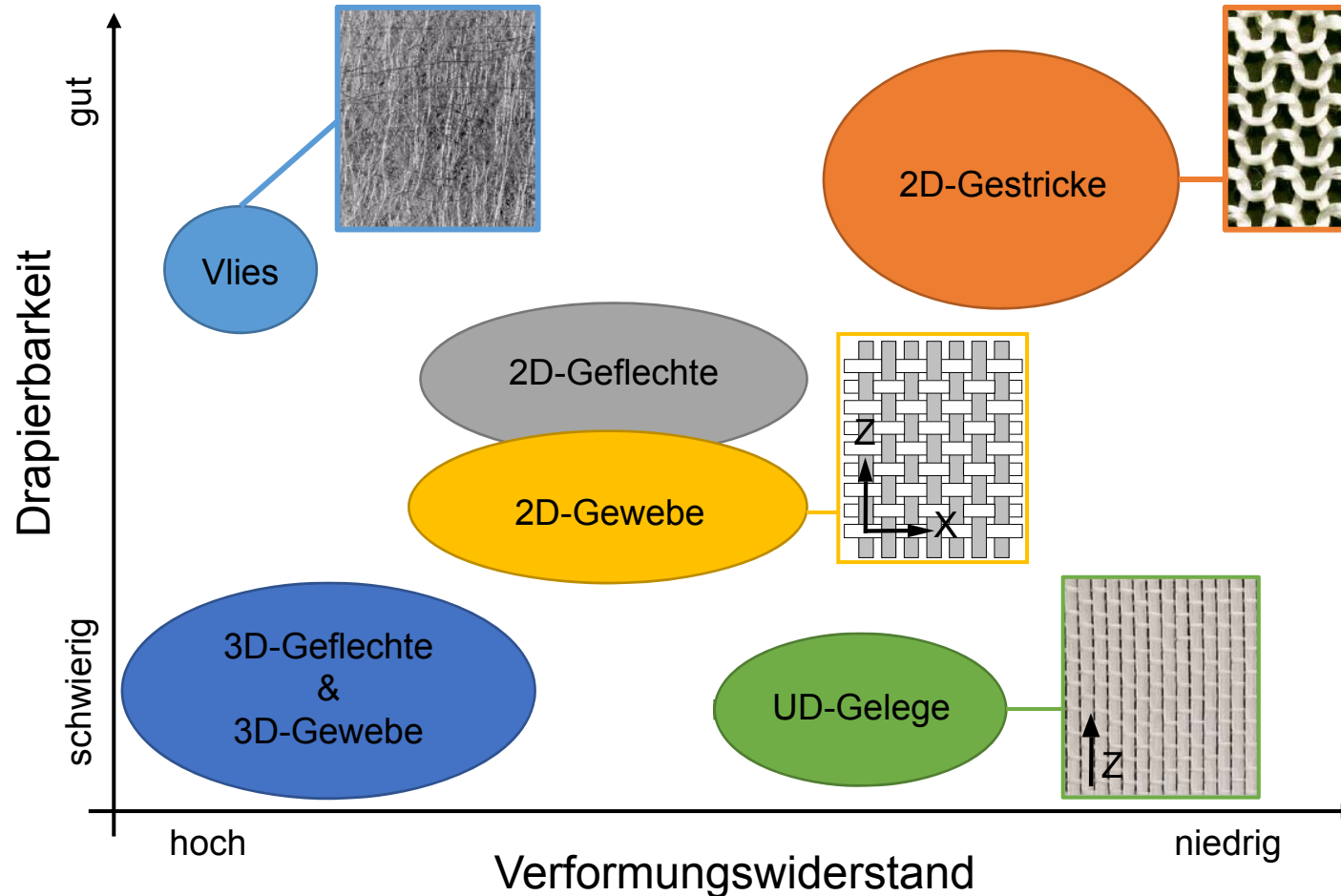
Übergabe



Zuschneiden



Drapierbarkeit und Verformungswiderstand abhängig vom textilen Flächengebilde

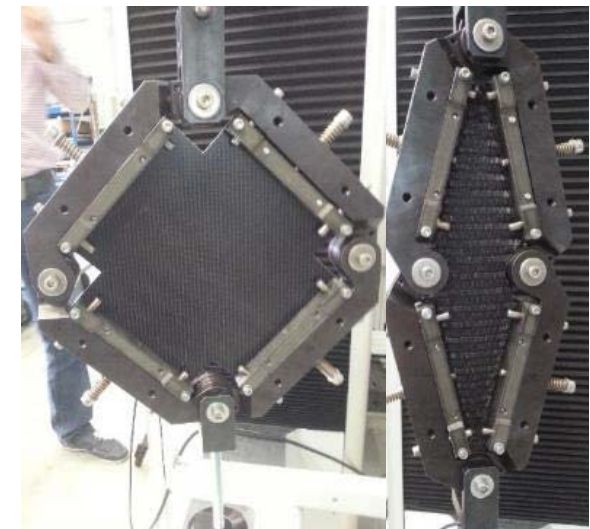
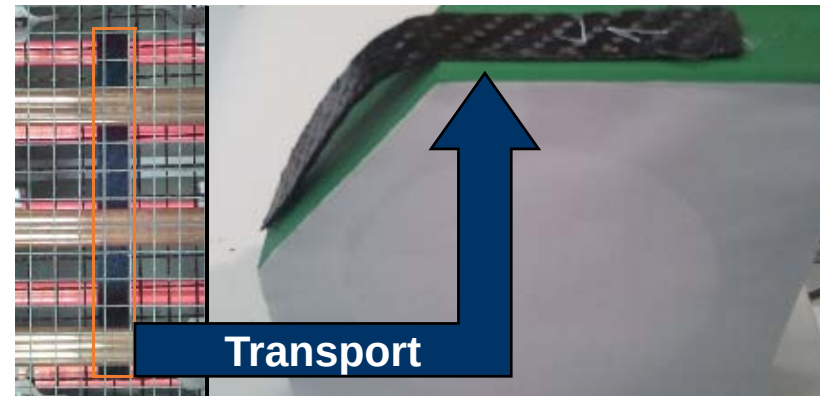


Quelle: Altair Engineering

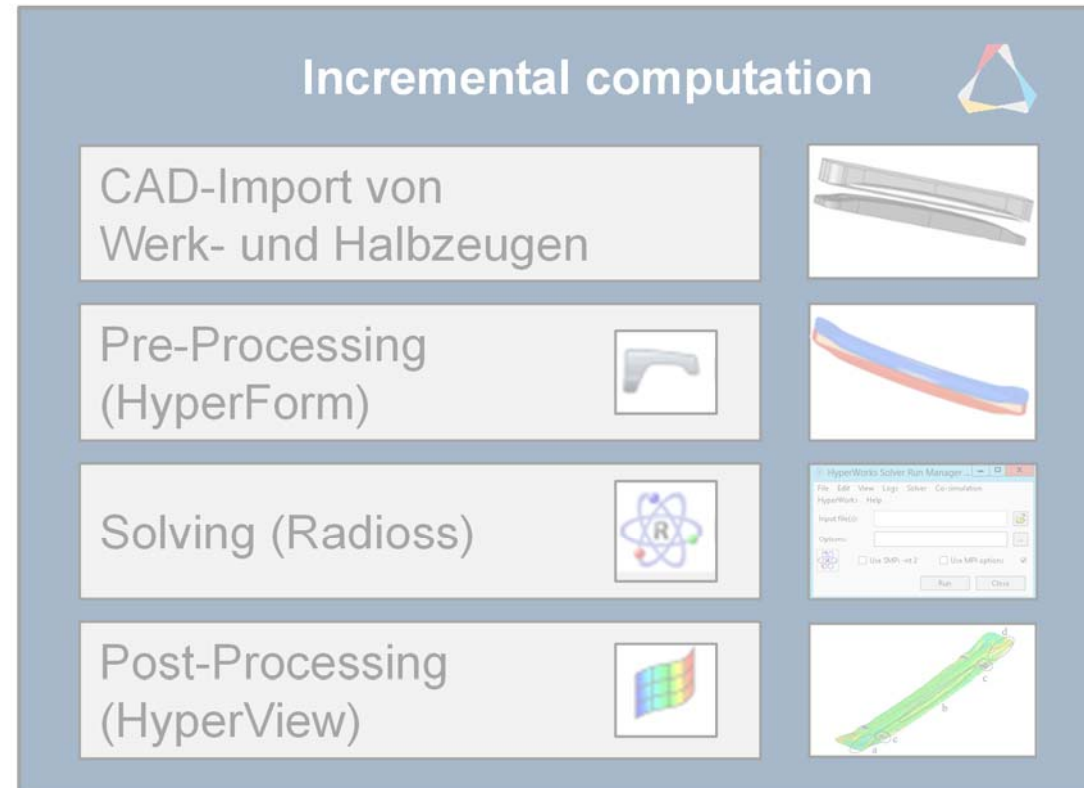
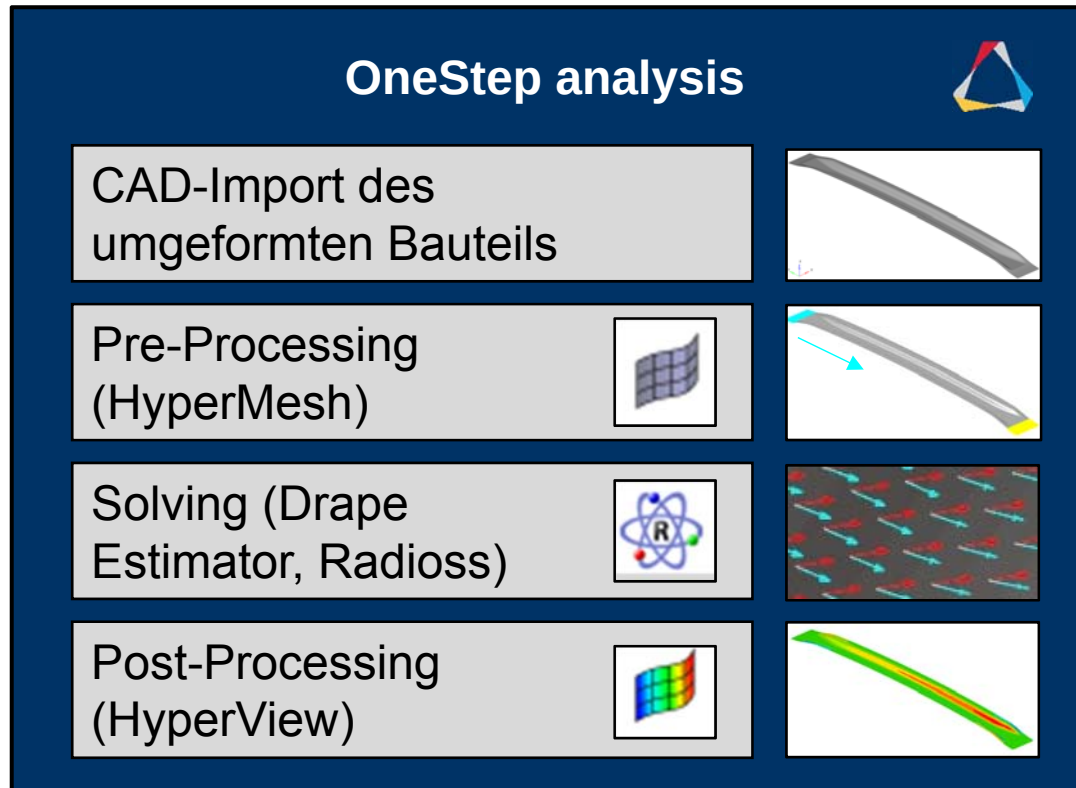
Quelle: in Anlehnung an Planck

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

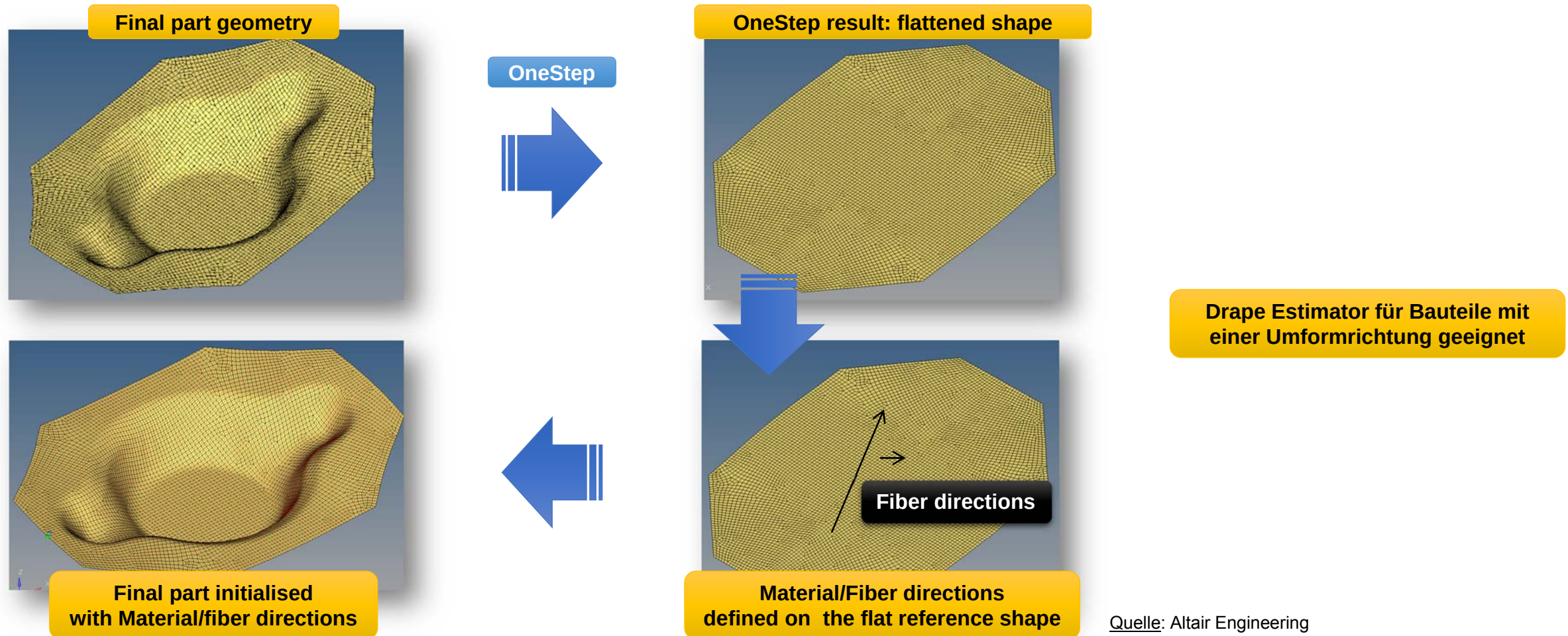
- Temperierter Zugversuch
- Schubrahmenversuch
- Biegeprüfung in Anlehnung an DIN EN ISO 53362
- Temperaturabhängige Viskosität
- Temperaturabhängige Reibungskoeffizienten



Workflow



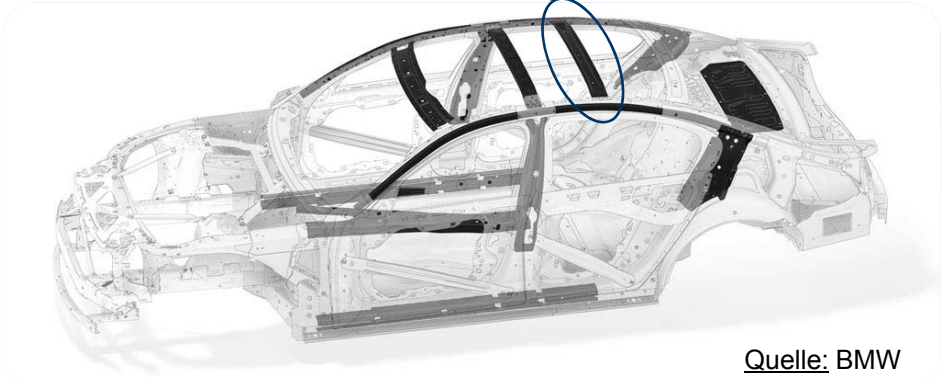
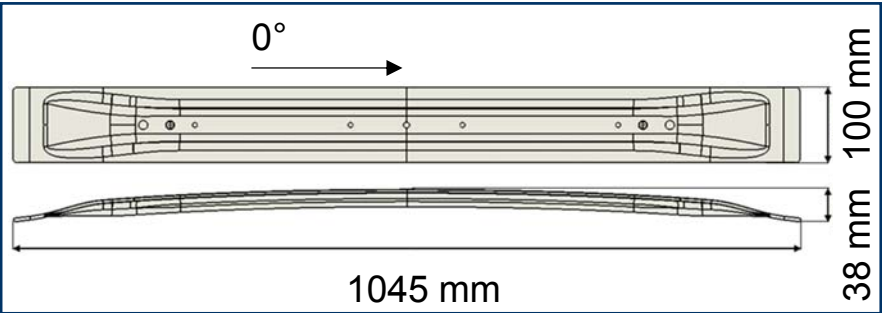
Drape Estimator: Kinematische Drapiersimulation für textile Flächengebilde (Gewebe, Gelege)



OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

- Material: Celanese Celstran® CFR-TP PA6+CF60, UD-Gelege, $t = 0,13 \text{ mm}$
- 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°



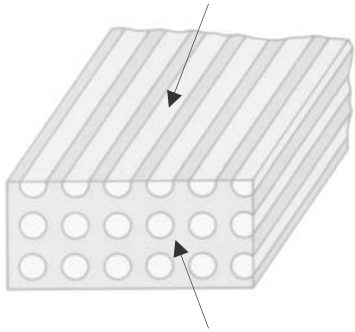
Quelle: BMW



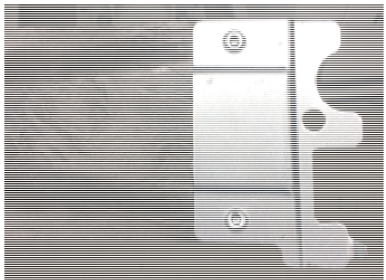
Quelle: Celanese

UD-Einzelschicht

Verstärkungsfaser

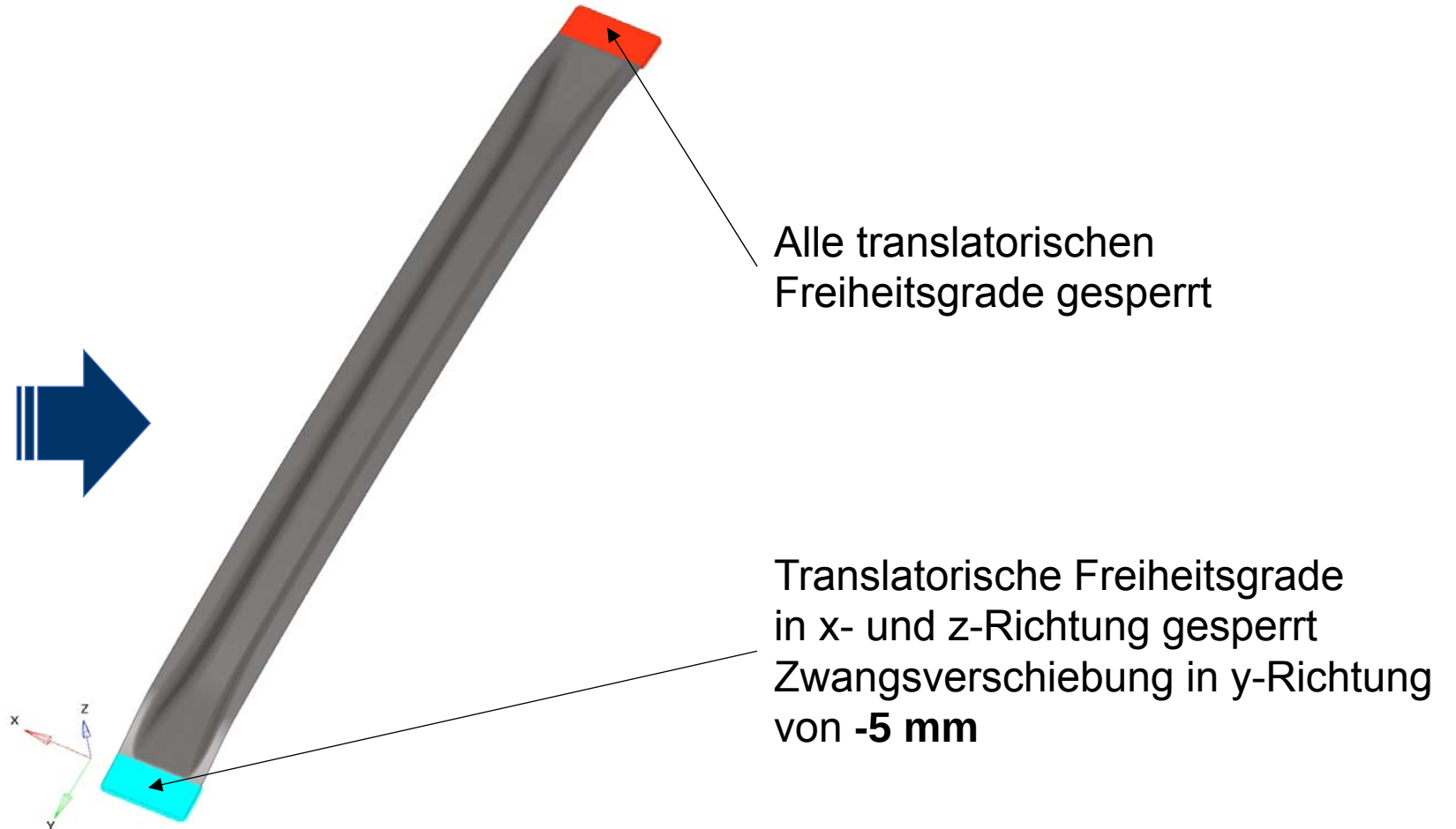


Kunststoffmatrix



Verbindung zur Stahlkarosserie

OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

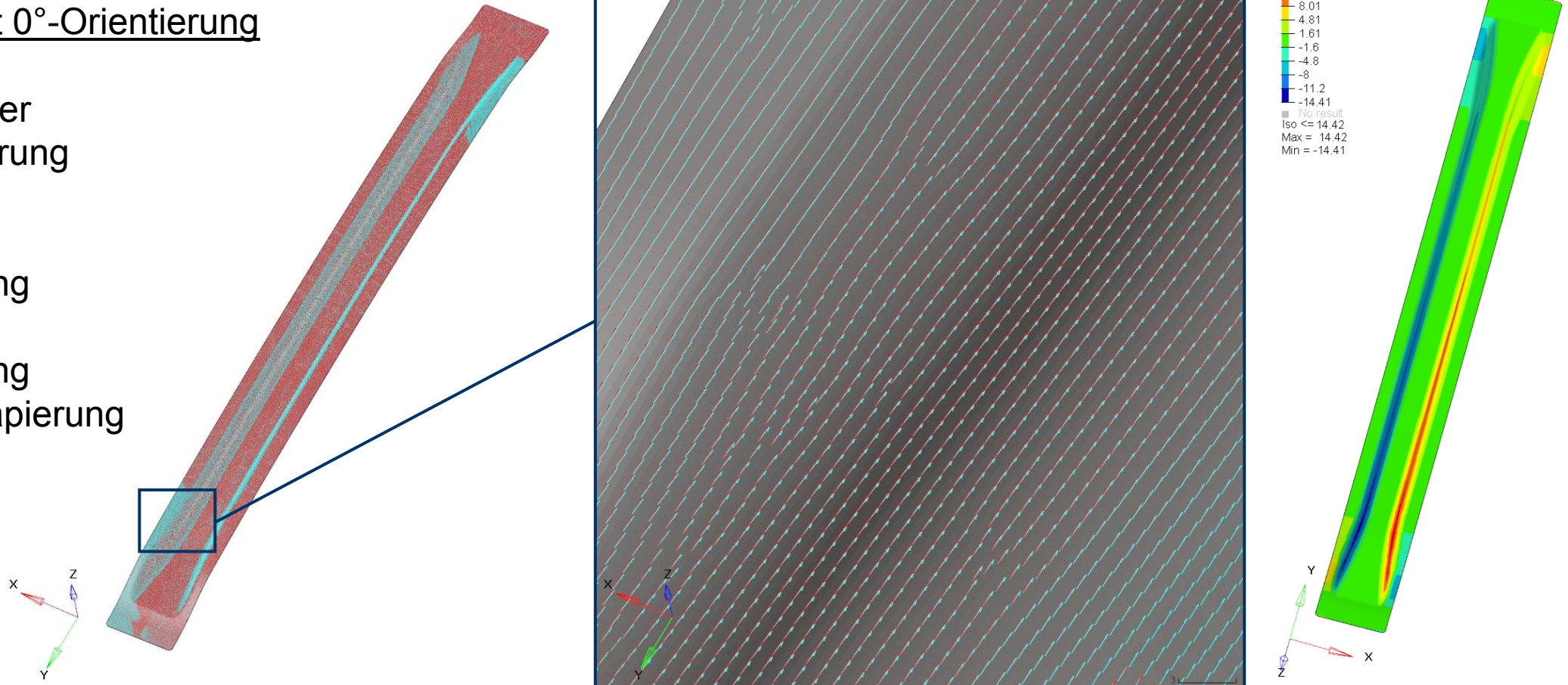


OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

1. Schicht mit 0°-Orientierung

Darstellung der
Faserorientierung

- Globale Orientierung
- Orientierung mittels Drapierung

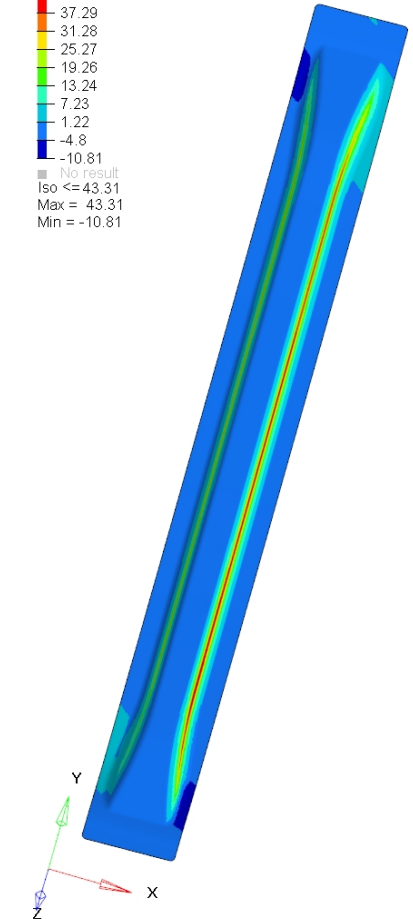
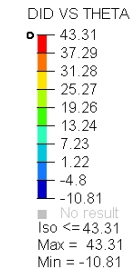
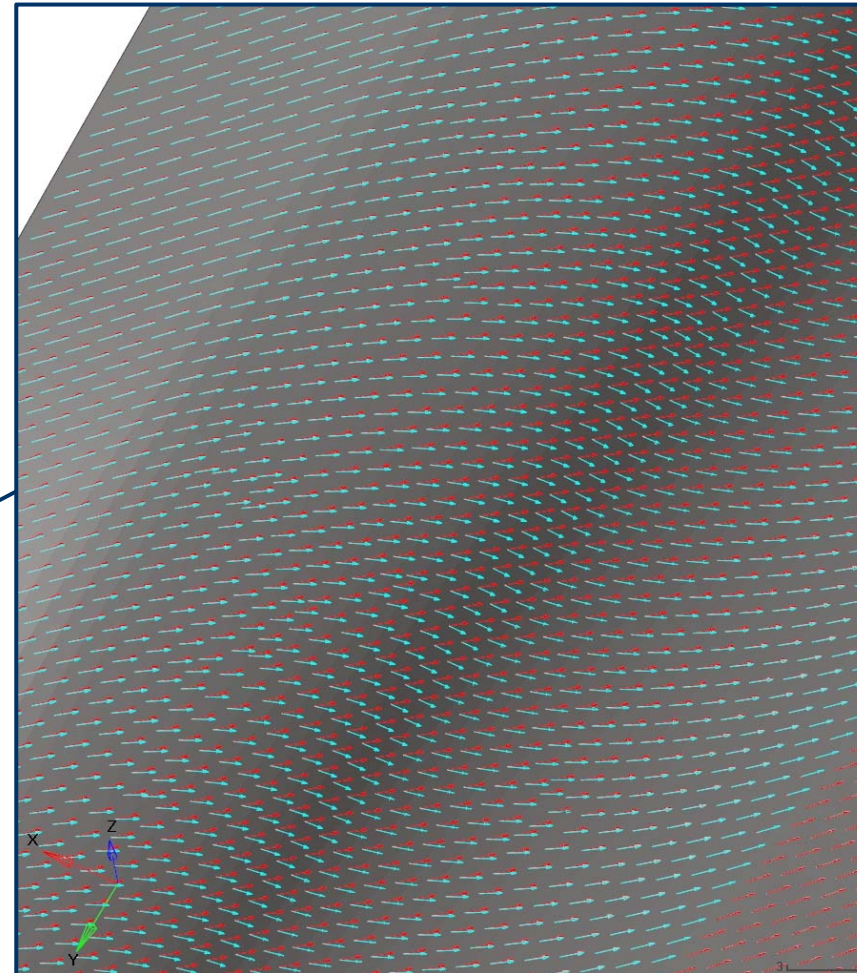
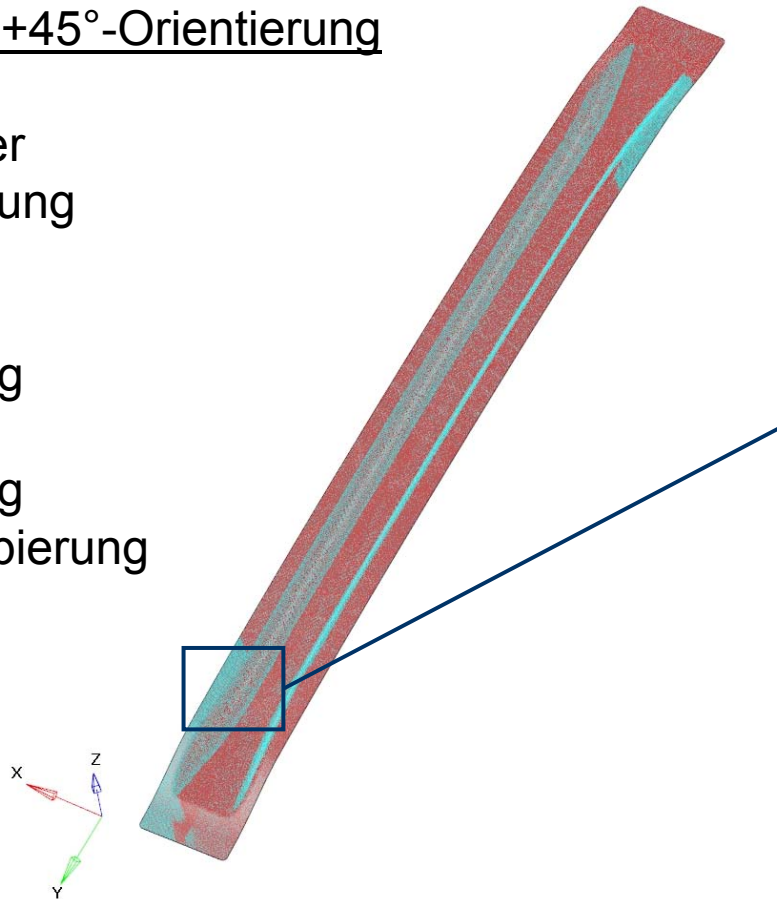


OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

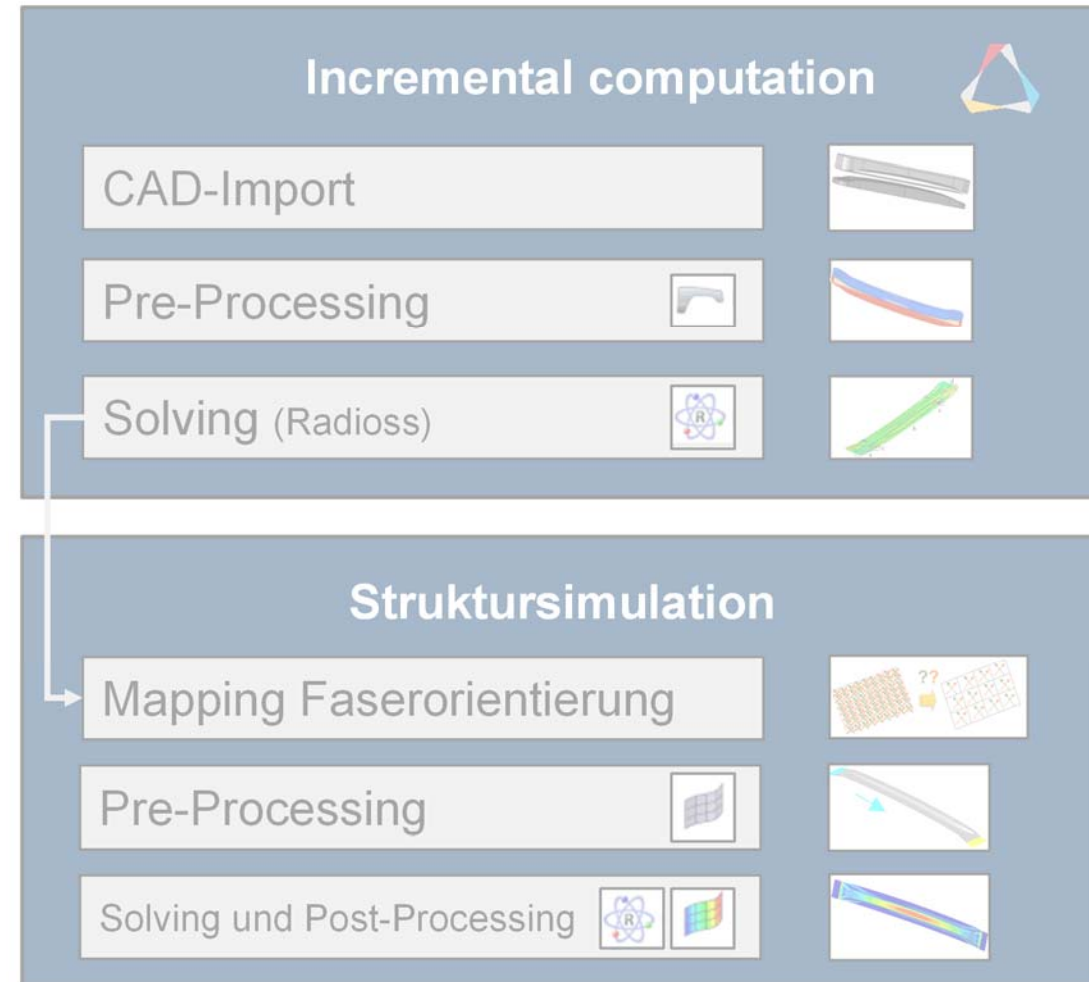
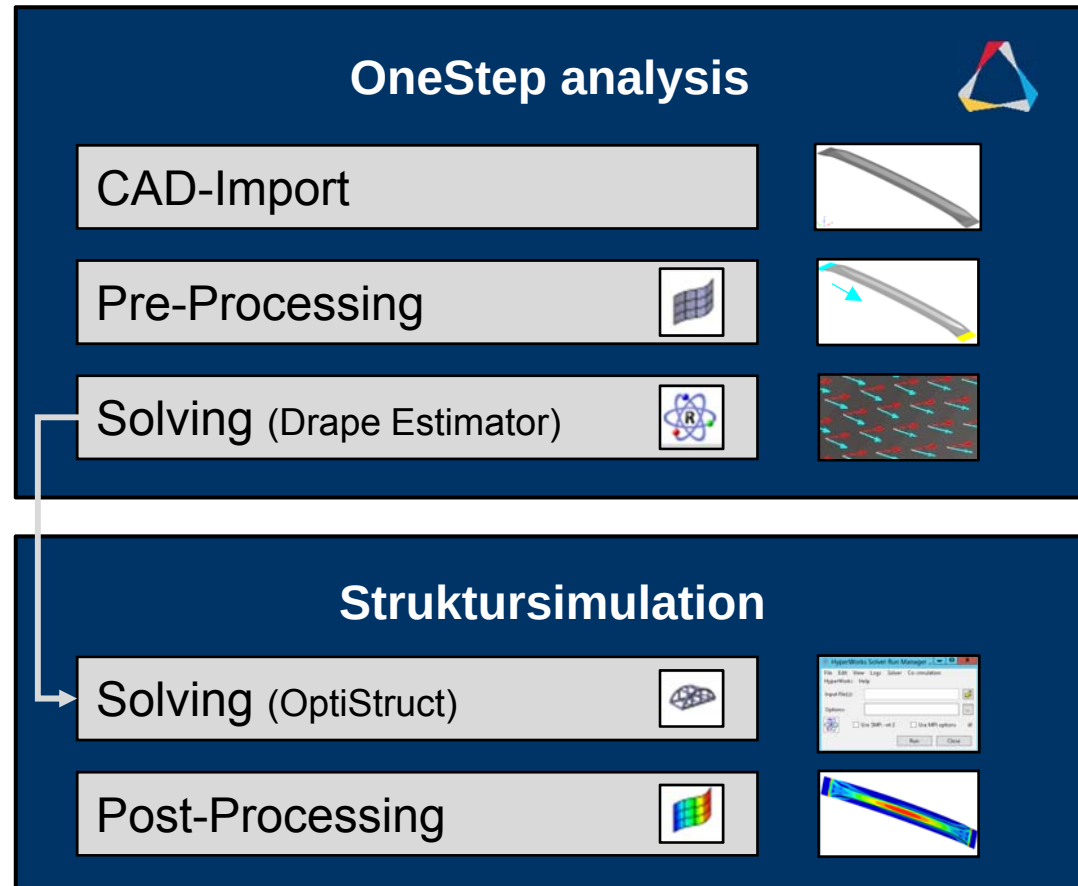
2. Schicht mit +45°-Orientierung

Darstellung der
Faserorientierung

- Globale Orientierung
- Orientierung mittels Drapierung



Übertragung der Faserorientierung aus der Umformsimulation in die Struktursimulation



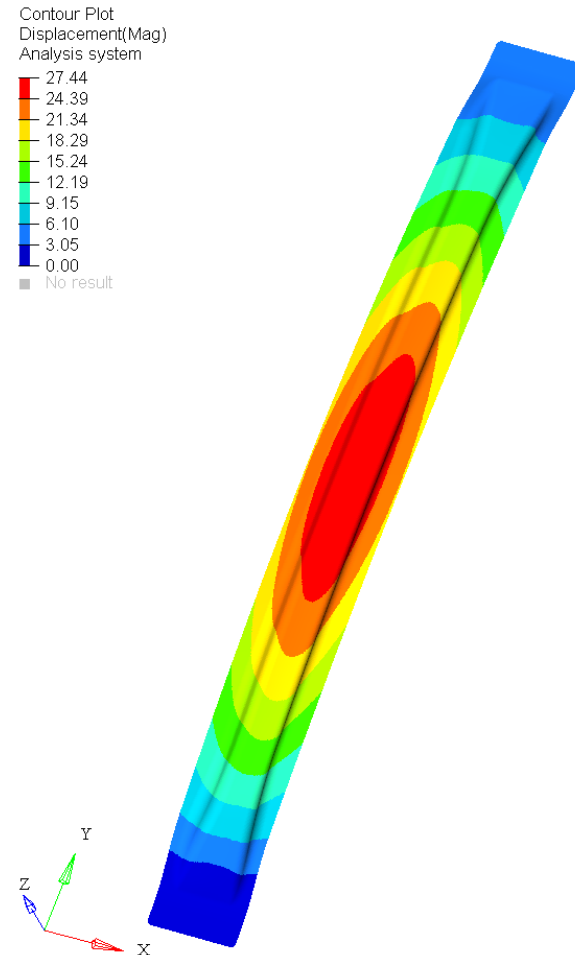
OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

Vektorsumme der Verschiebung in mm:

ohne Drapierung

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

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

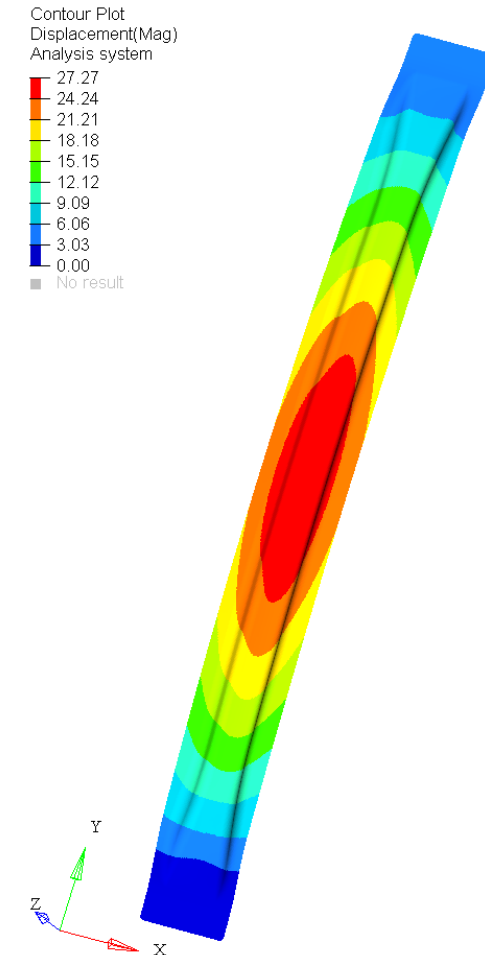


Vektorsumme der Verschiebung in mm:

mit Drapierung

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

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

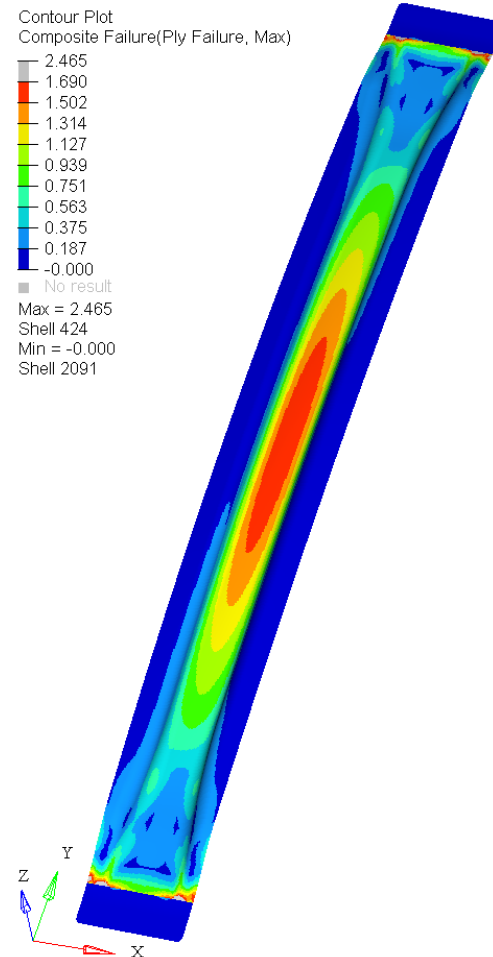


OneStep analysis am Beispiel Dachspriegel

Inverser Reservefaktor
nach TSAI/WU:

ohne Drapierung

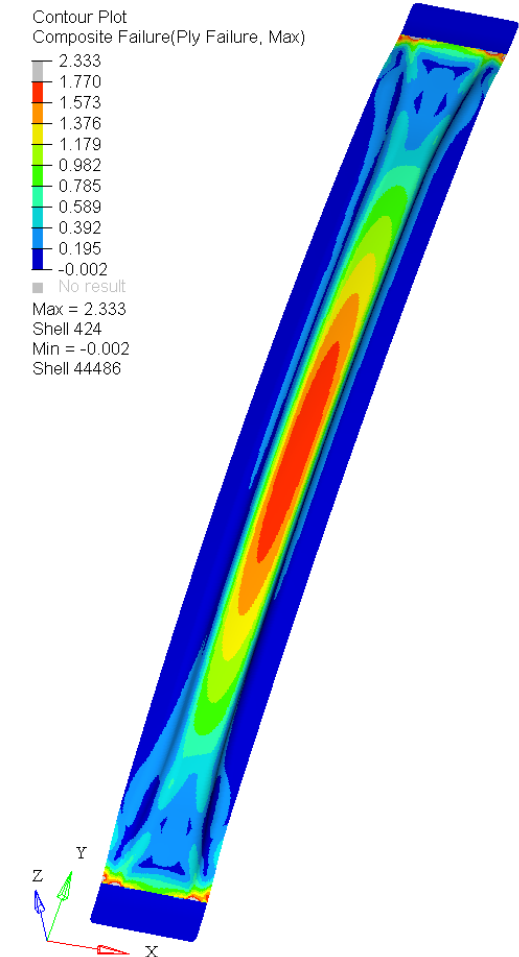
$$1/RF = 1,69 \\ (100\%)$$



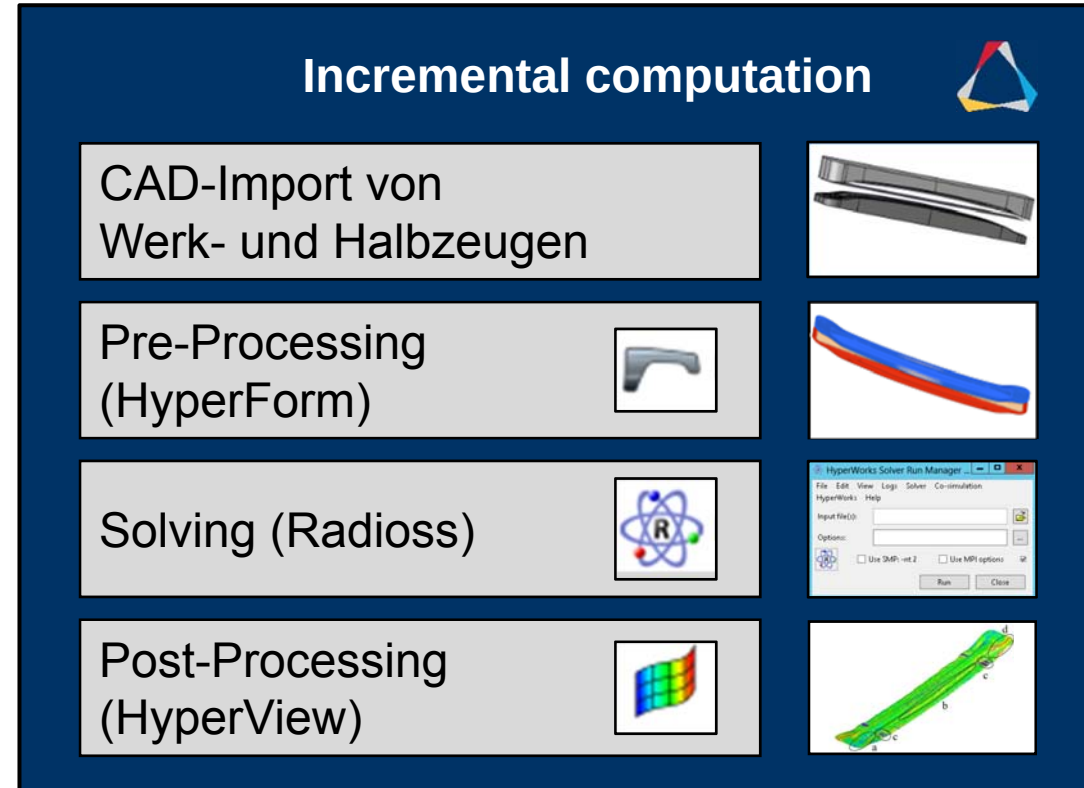
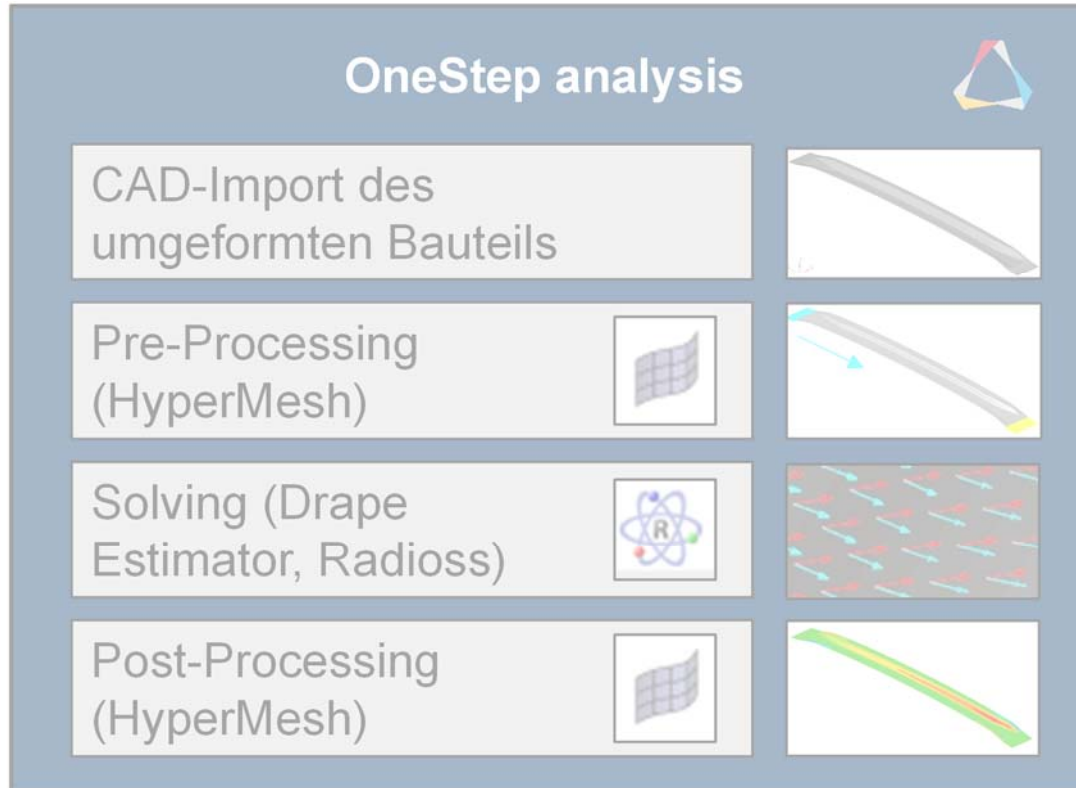
Inverser Reservefaktor
nach TSAI/WU:

mit Drapierung

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



Workflow

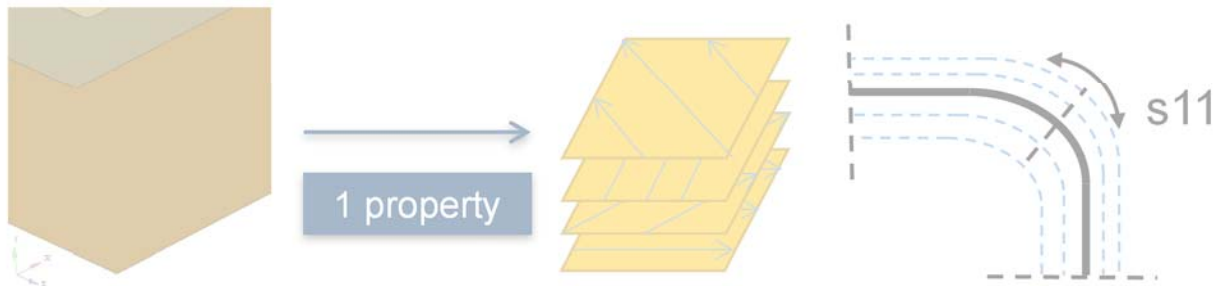


Incremental computation: 2 unterschiedliche Modellierungsansätze

Sandwich

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

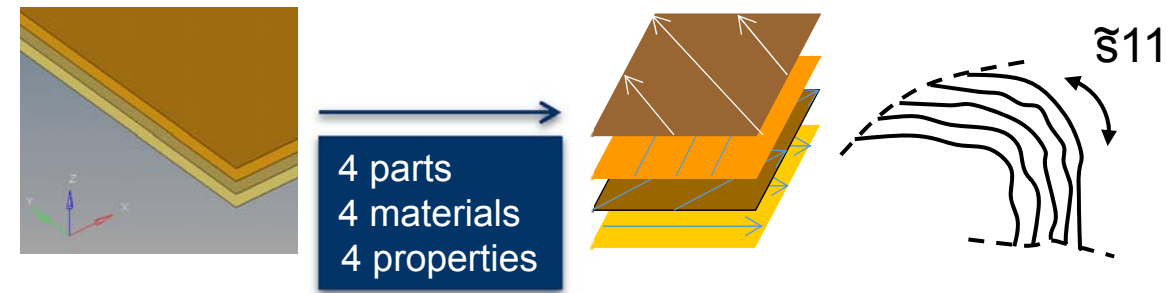
→ *Kein Gleiten zwischen den Schichten*



Independent Layers

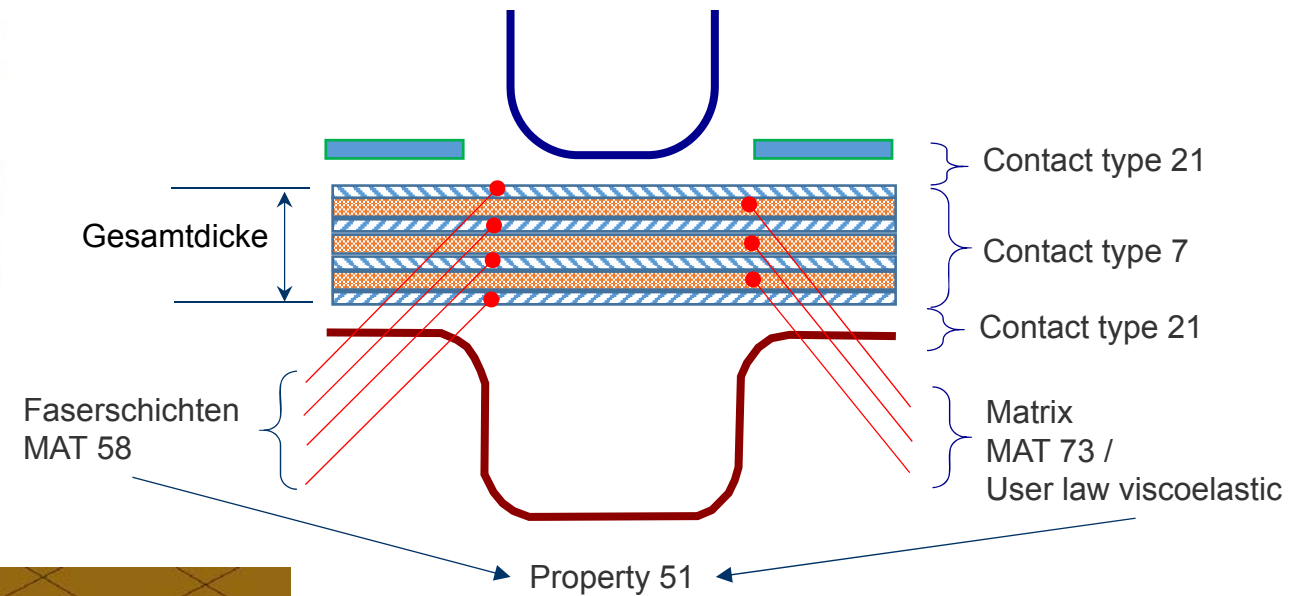
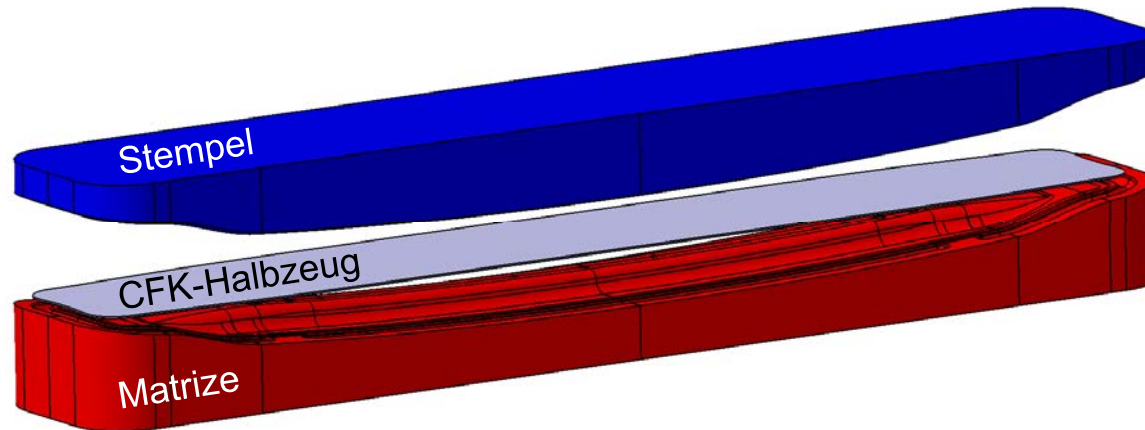
- Eine Komponente je Einzelschicht
- Kontakt zwischen den Einzelschichten

→ *Gleiten zwischen den Schichten*

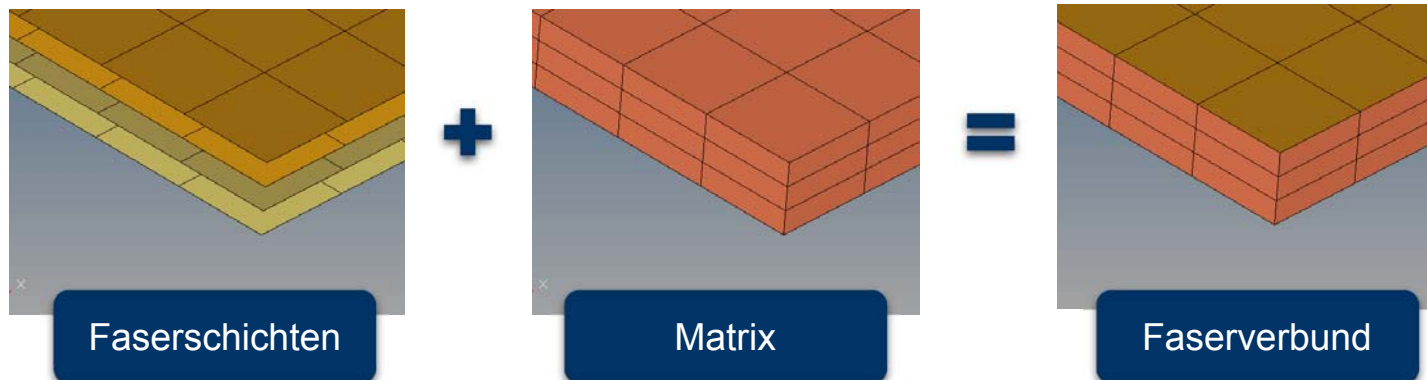


Quelle: Altair Engineering

Incremental computation mit Independent Layers am Beispiel Dachspriegel

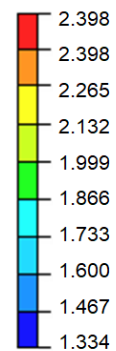
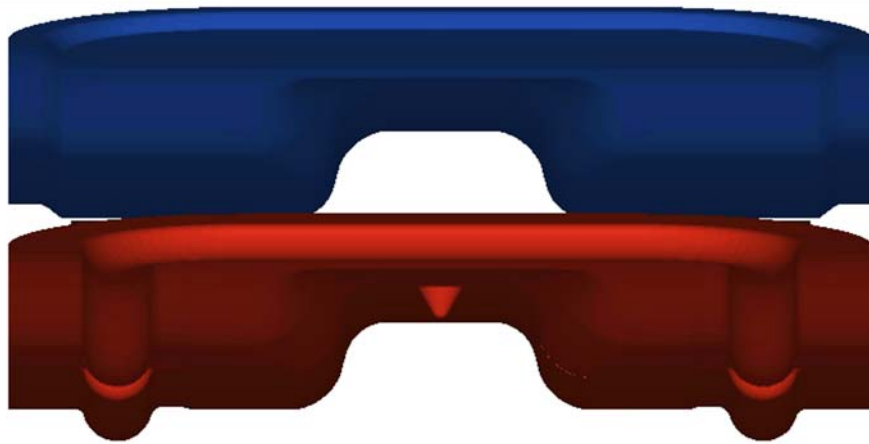


/MAT/LAW59 or CONNECT



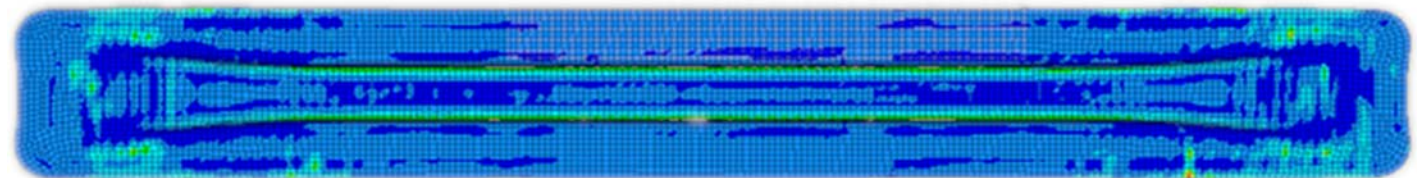
Quelle: Altair Engineering

Incremental computation mit Independent Layers am Beispiel Dachspriegel

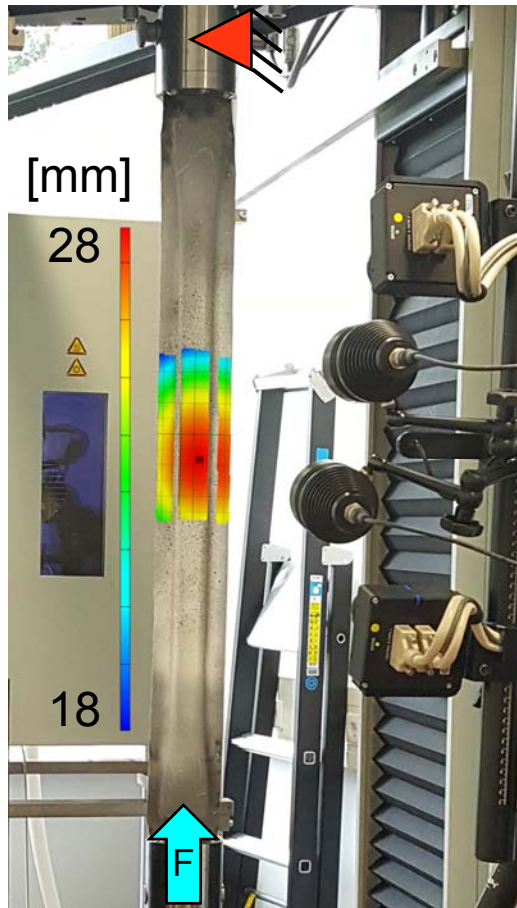


Max: 2.504
Min: 1.228

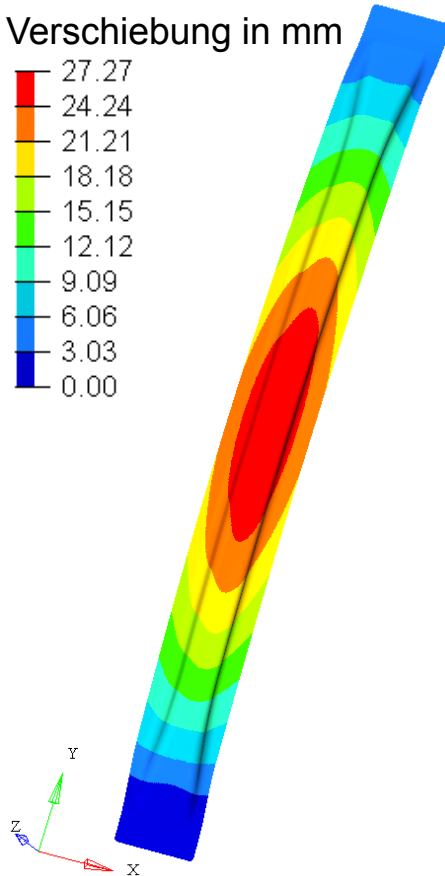
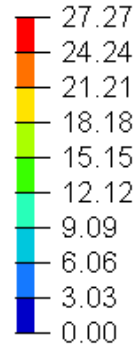
Wandstärkenverteilung in mm



Druckprüfung



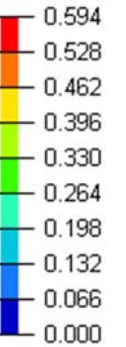
Vektorsumme der Verschiebung in mm



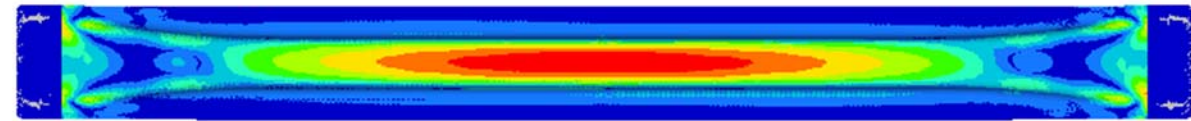
Inverser Reservefaktor nach PUCK für **Faserdruckfestigkeit**



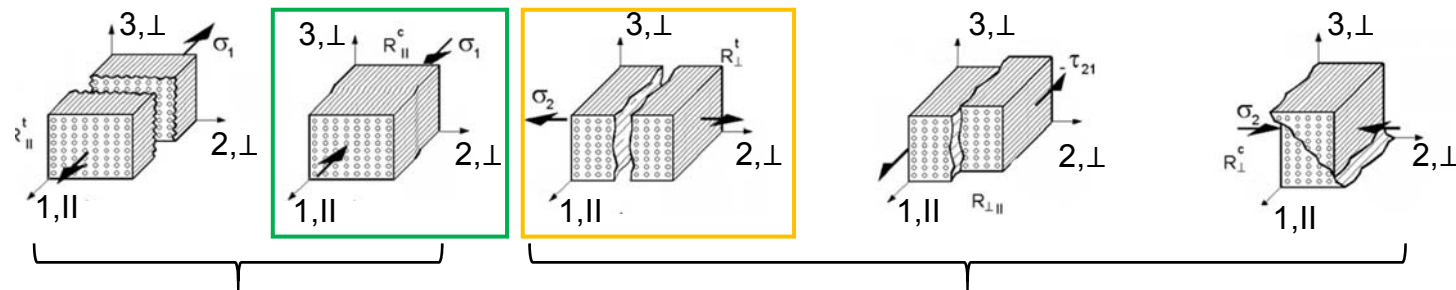
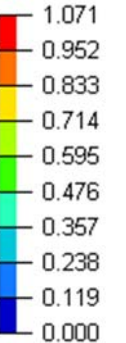
1. Schicht mit 0°-Orientierung, $y = -4$ mm



Inverser Reservefaktor nach PUCK für **Querzugfestigkeit**



Darstellung über alle 13 Schichten, $y = -4$ mm

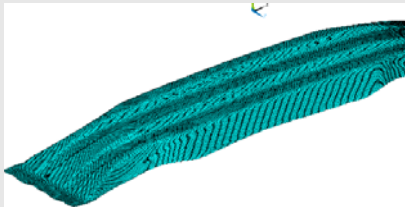
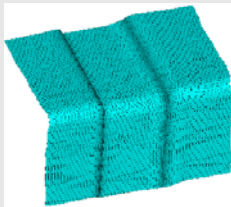
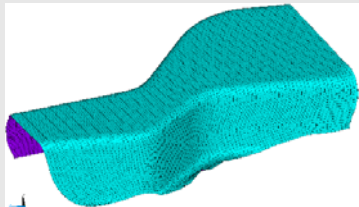


Faserbruch (FF1-2)

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 TowPreggs, 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

