

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte (FK) - Stuttgart

# Entwickeln neuartiger Fahrzeugstrukturen für die automobile Serie

Dipl.-Ing. Sebastian Vohrer

Dr.-Ing. Christoph David

Stuttgarter Symposium 2018 - 14. März



# Next Generation Car (NGC)

**Elektro-Mobilität**

**Digitalisierung und  
Automatisierung**

**Flexibilisierung**

**Sicherheit und  
Leichtbau**

**Urban Modular  
Vehicle (UMV)**

**Safe Light Regional  
Vehicle (SLRV)**

**Interurban  
Vehicle (IUVE)**



Urbanes, intelligentes  
Elektrofahrzeug mit  
modularer Bauweise



Kostengünstiges und  
leichtes, sicheres  
L7e Fahrzeug



Komfortables  
Brennstoffzellenfahrzeug mit  
FVK-Struktur

# Inter Urban Vehicle (IUV)



## ➤ Komfort auf Langstrecke



1000 km Reichweite, ergonomisches Einstiegskonzept,  
großzügiger Innenraum, keine Rohbaufeste B-Säule

## ➤ Lokal emissionsfrei

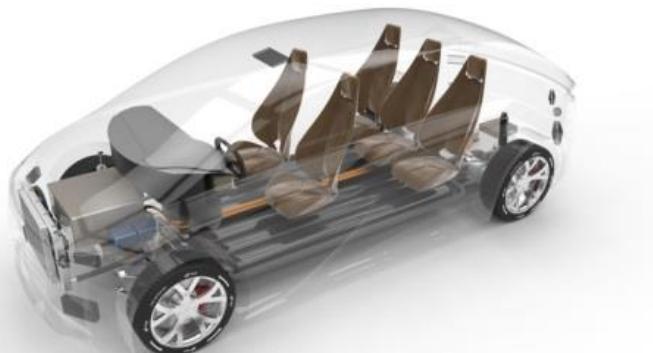


Elektrifiziertes Antriebskonzept, Brennstoffzelle/Wasserstoff

## ➤ Leicht und sicher



Ziel: 1600 kg Fahrzeugeleermasse → 250 kg BiW (-25% SoA\*)  
Einsatz funktionsintegrierter Hochleistungswerkstoffen (FVK)

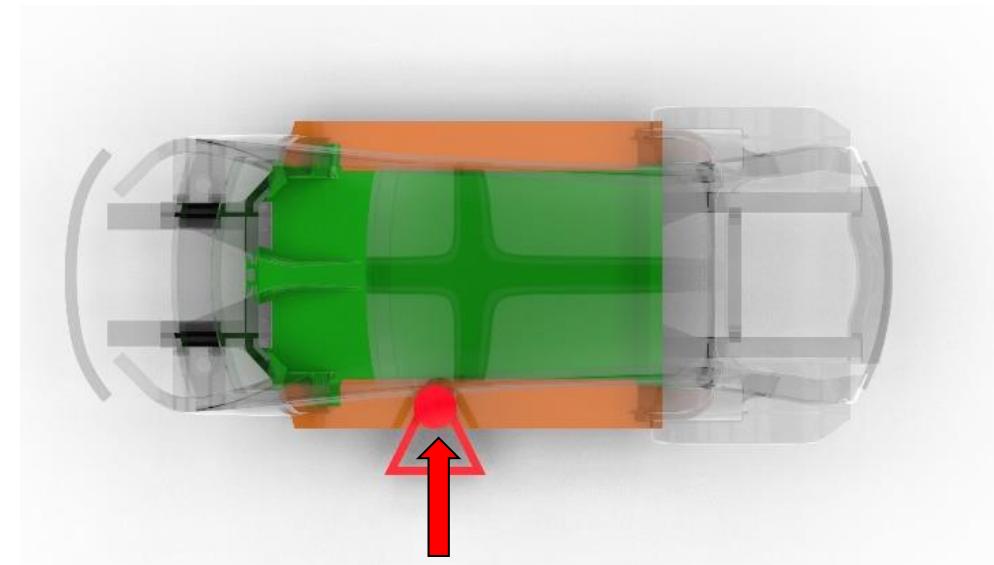


# Strukturanforderungen



## ➤ Sichere Fahrgastzelle ➔ Pfahlcrash

- Sicherheitsfahrgastzelle und Boden:
  - Intrusionsresistente Fahrgastzelle zum Schutz der Insassen und Energiespeicher
- Definierte Energieaufnahme im Schwellerbereich
  - Untersuchung von Hybriden Strukturkonzepten zur Verbesserung der Energieaufnahme und Strukturintegrität



# FVK in der Serie

## ➤ Herausforderungen

- Kosten  
Recycling
- Bauteiloptimierung: Dynamische Strukturvorhersage  
neuer Faser/Matrix Systeme
- Schadenserkennung

## ➤ Ansätze

- • Pressverfahren Thermoforming  
Thermoplast
- • Schnelle Kennwertermittlung
- • Optische Sensorfaser

## ➤ Untersuchungen

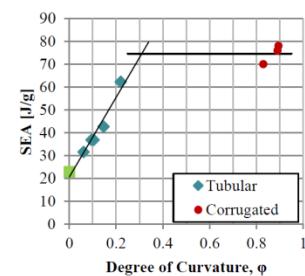
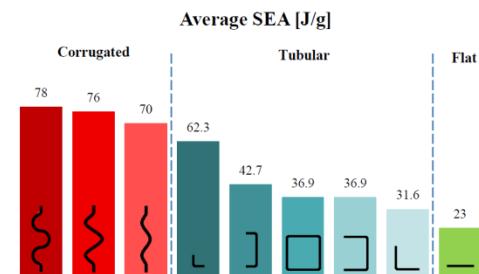
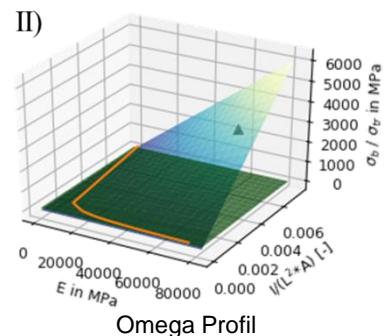
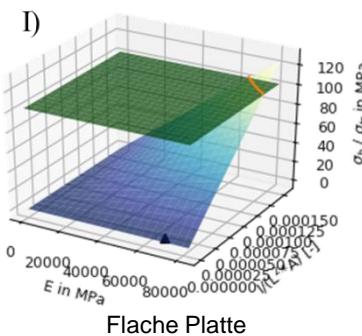
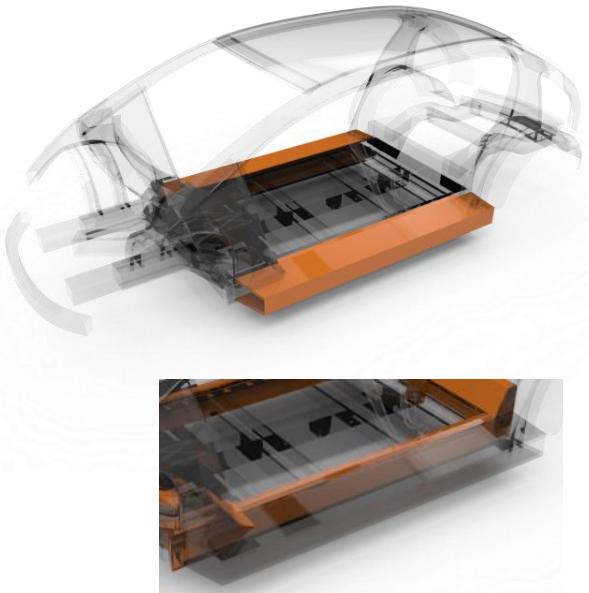
- Crashpotentiale von thermogeformten Carbon/PA6 Prinzipkomponenten
- FE-Kalibrierung auf Prinzipkomponentenebene
- Implementierung einer optischen Sensorfaser



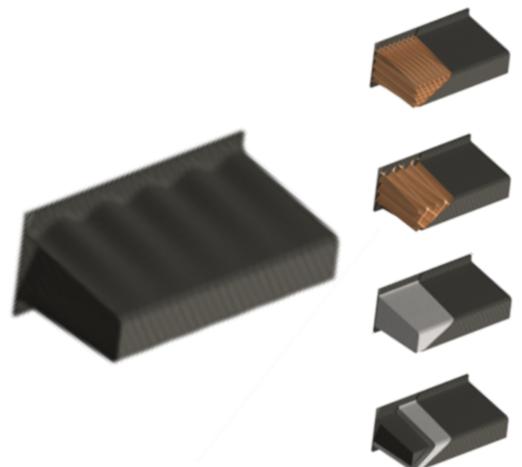
# Schwellerstruktur

## ➤ Anforderung:

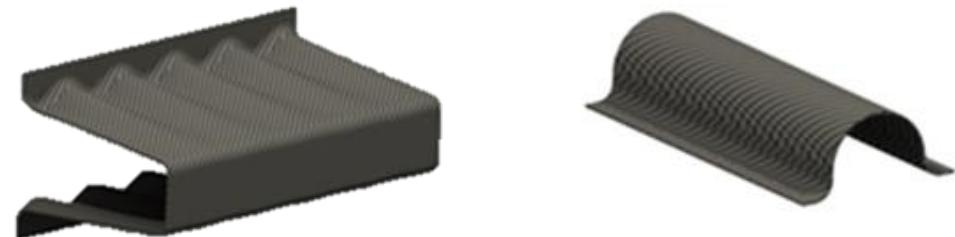
- Aufnahme von **31,5kJ** = 50% der Gesamtenergie bei 32km/h Pfahlcrash
- Maximale Intrusion: 300mm
- Bauraum für CFK-Strukturanteil: **260mm** (+Profil 40mm)



[2014, Wade & Feraboli, Technical Review, Composite Damage Material Modeling for Crash Simulation: MAT54 & the Efforts of the CMH-17 Numerical Round Robin]



# Prinzipkomponente

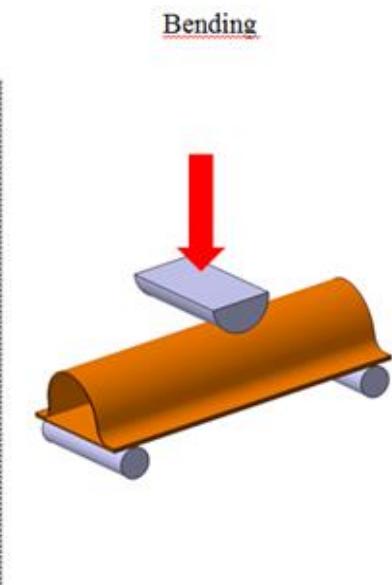
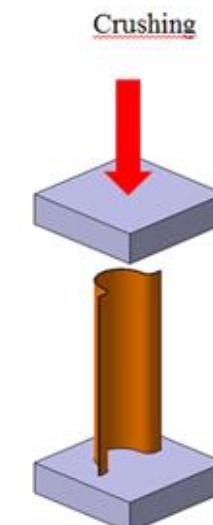
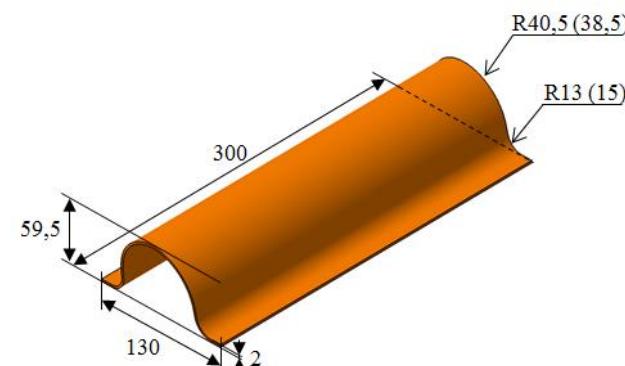


## ➤ Einfaches Prüfverfahren:

- Schnelles Abschätzen von Faser/Matrix Systemen auf Energieaufnahme
- Vergleich von Faserorientierung zur Energieaufnahme
- Schnelles Abschätzen von Materialkarten und Modellierungen

## ➤ Weitere Untersuchungen möglich:

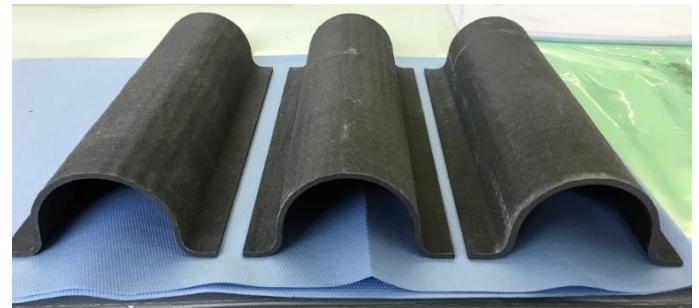
- Dehnrateabhängigkeit
- Temperatureinfluss
- Herstellverfahren
- Prozessparameter
- Dickeinfluss
- ...



# FVK Eigenschaften

## ➤ Untersuchung verschiedener Laminate

- HT Carbon Fasern
- Epoxy, PA6, PU



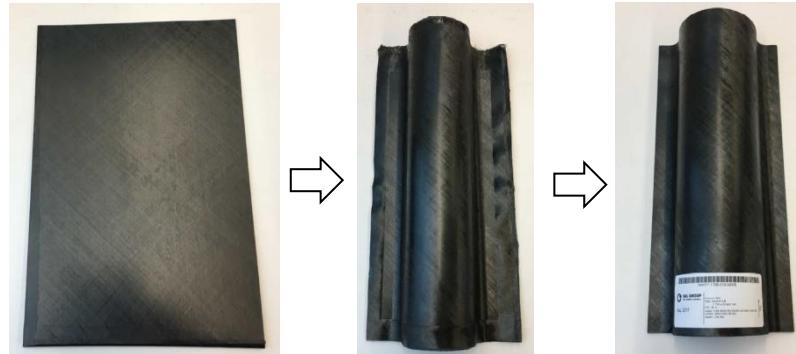
Carbon/Epoxy Omega-Profile

	<b>Faser</b>	<b>Matrix</b>	<b>Aufbau</b>	<b>Herstellprozess</b>	[90/0/45/-45/90/0]s	[45/-45/0/45/-45/0]s	[90/0/0/0/90/0]s
<b>Carbon/Epoxy</b>	Toray T700S 24k	BASF Baxxodur 5400	UD- mit Biax- und Triax-Gelege	VARI Verfahren (Vacuum Assisted Resin Infusion) bei RT		X	X
<b>Carbon/PA6</b>	SGL Sigrafil C T50-4.0/240-T140 50k	SGL PA6	UD-Gelege	Thermoforming	X	X	X
<b>Carbon/PU</b>	Toray T700S 24k	Evonik VESTALITE P 342	Triax-Gelege & z.T. als Hybrid (mit Stahl)	Thermoforming		X	

# Herstellprozess Carbon/PA6

## ➤ Carbon/PA6 Thermoforming

- In Zusammenarbeit mit **SGL Group GmbH**
- Hergestellt bei SGL Carbon GmbH in Meitingen

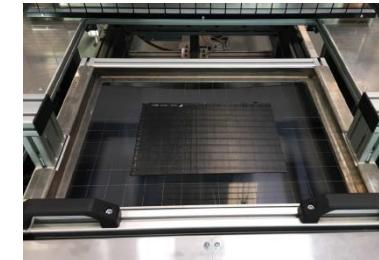


Ausgangsmaterial:  
PA6-CF  
350x220x2mm

umgeformt  
unbesäumt

Fertigteil  
zugeschnitten  
300x130x2mm

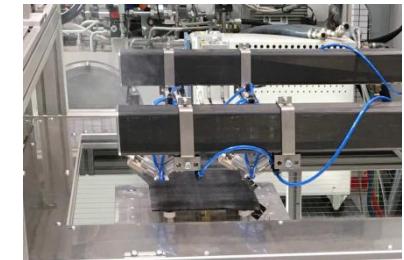
- **IR-Station:** 95 Sekunden
- **Haltezeit Presse:** 45 Sekunden
- **Gesamtzeit:** 215 Sekunden



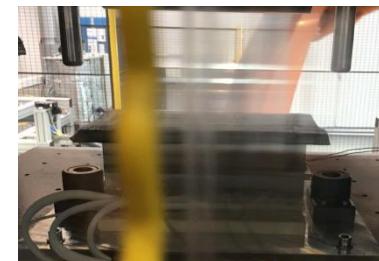
Vorlagetisch vor IR-Station



Roboter in Warteposition hinter  
IR-Station



Aufnahme des durchgewärmten  
Organobleches durch  
Roboter mittels Nadelgreifer



Organblech abgelegt auf  
Unterseite des Werkzeuges  
vor dem Schließen



Werkzeug geschlossen für  
Kühlzeit



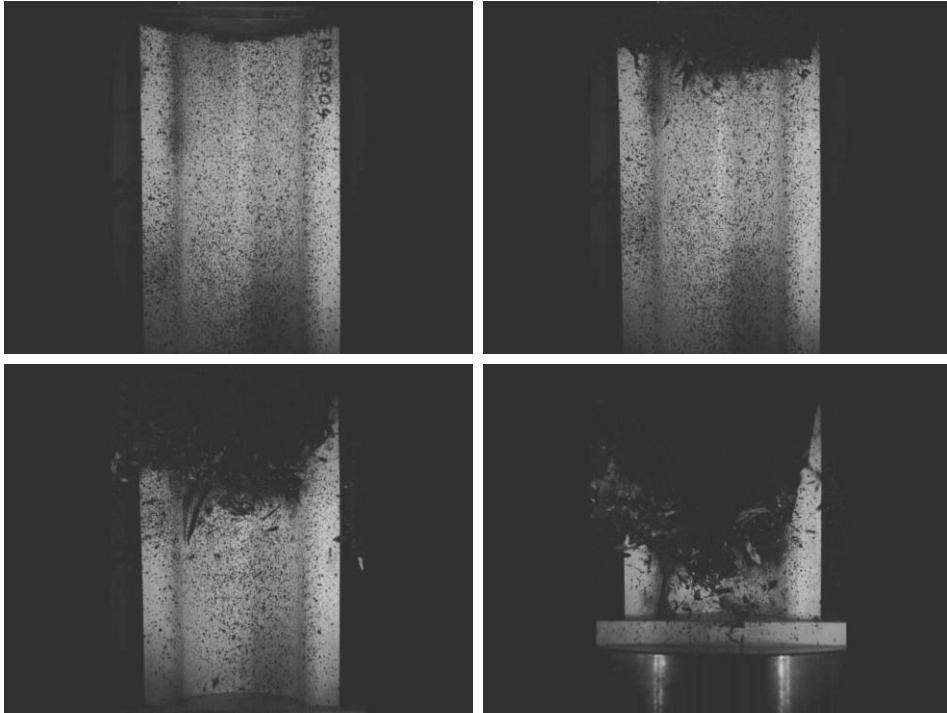
Umgeformtes Q -Profil vor der  
Entformung



Presswerkzeug

# Crushingversuche

## ➤ Crushingverhalten von Carbon/Epoxy und Carbon/PA6

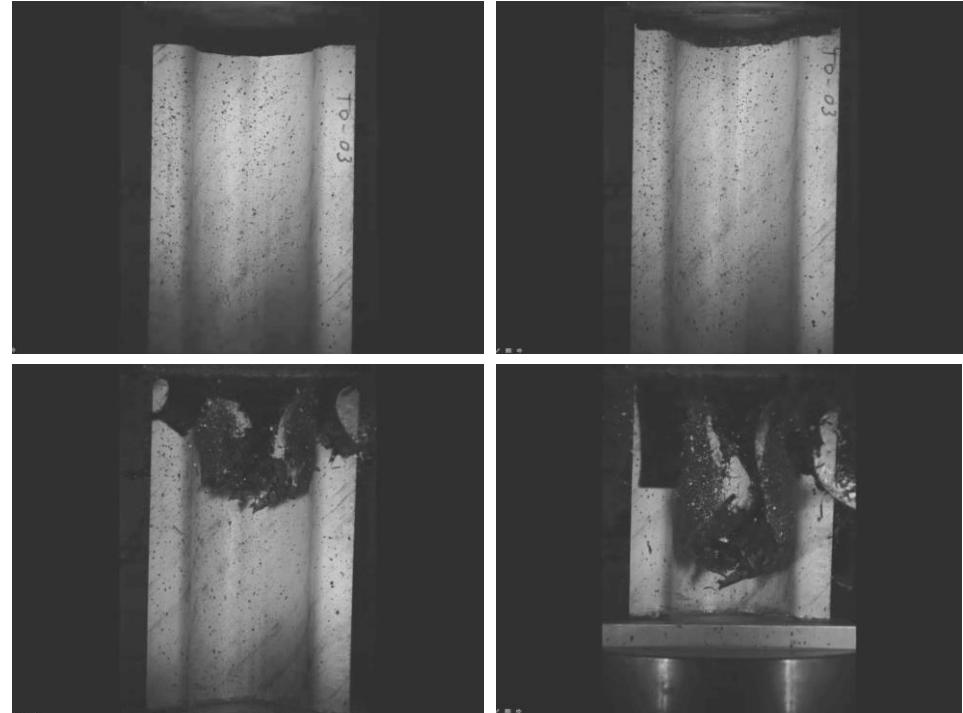


Epoxy [45/-45/0/45/-45/0]s

Materialdicke: ~4,1mm

Geschwindigkeit: 8 m/s

Energy: **15,45 kJ** – SEA: **64,76 kJ/kg**

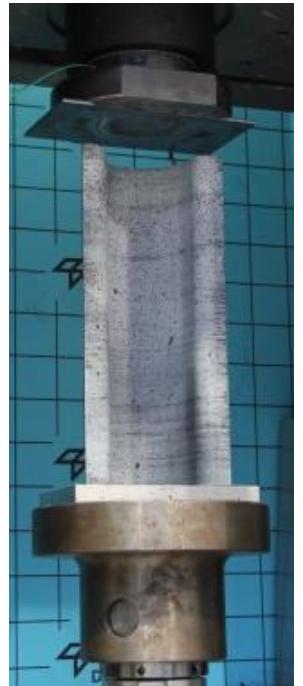


PA6 [45/-45/0/45/-45/0]s

Materialdicke: ~2mm

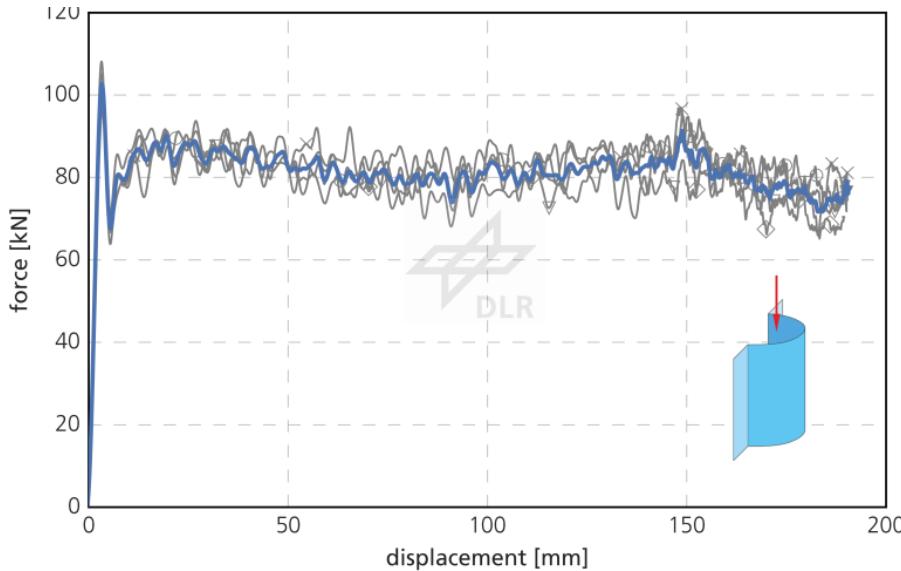
Geschwindigkeit: 9,5 m/s

Energy: **6,28 kJ** – SEA: **59,20 kJ/kg**



# Crushingversuche

## ➤ Kraft-Weg Kurven von Carbon/Epoxy und Carbon/PA6

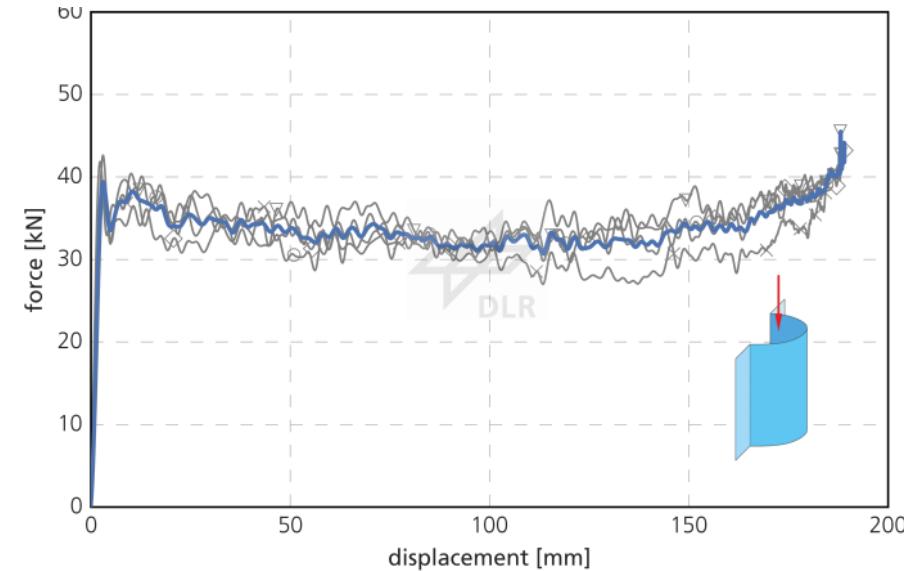


Epoxy [45/-45/0/45/-45/0]s

Materialdicke: ~4,1mm

Geschwindigkeit: 8 m/s

Energy: **15,45 kJ** – SEA: **64,76 kJ/kg**



PA6 [45/-45/0/45/-45/0]s

Materialdicke: ~2mm

Geschwindigkeit: 9,5 m/s

Energy: **6,28 kJ** – SEA: **59,20 kJ/kg**



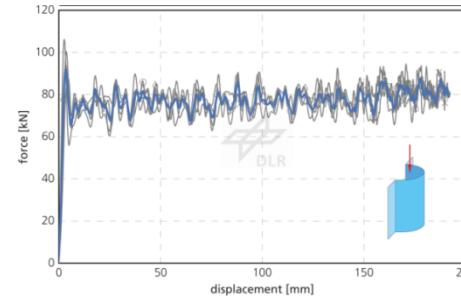
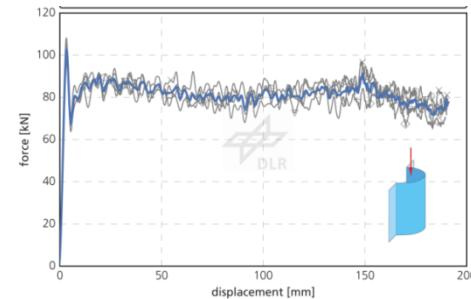
# Crushing Testergebnisse

Epoxy

[90/0/45/-45/90/0]s

[45/-45/0/45/-45/0]s

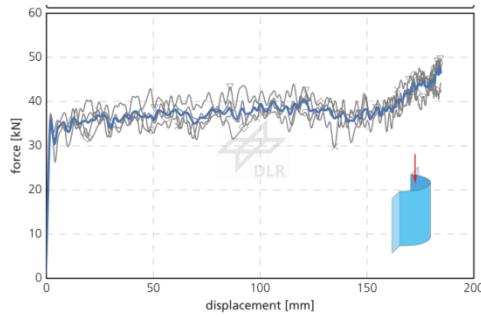
[90/0/0/0/90/0]s



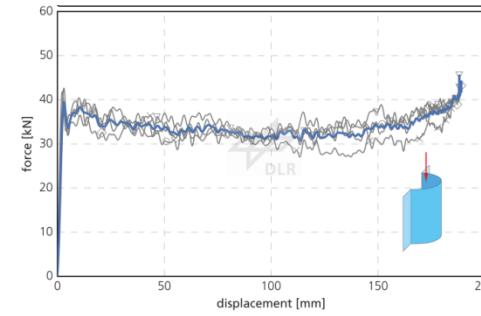
Energy: 15,45 kJ – SEA: 64,76 kJ/kg

Energy: 14,64 kJ – SEA: 67,29 kJ/kg

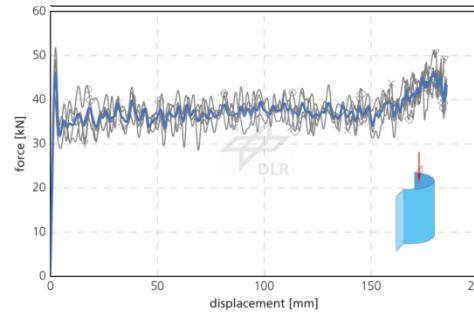
PA6



Energy: 6,93 kJ – SEA: 67,67 kJ/kg



Energy: 6,28 kJ – SEA: 59,20 kJ/kg



Energy: 6,92 kJ – SEA: 66,30 kJ/kg

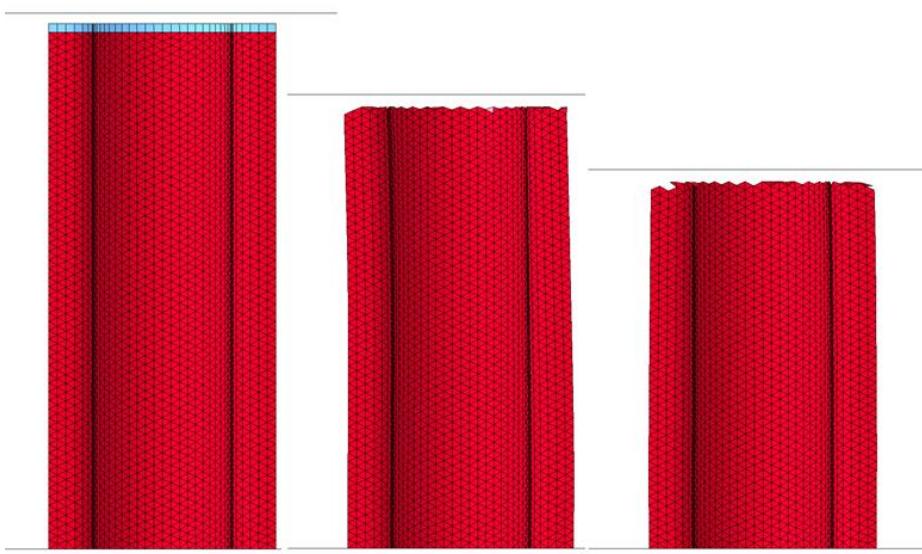


- Gute Reproduzierbarkeit
- Konstanter Kraftverlauf
- Akzeptable SEA für PA6 Proben



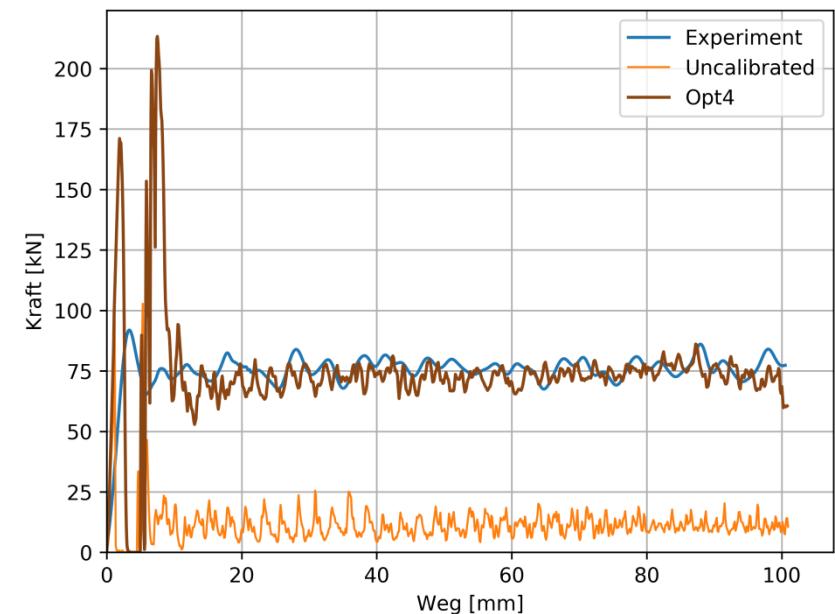
# Kalibrierung der Materialkarte

- Iterative Annäherung der Simulation an das Energieniveau des Experiments
- Kalibrierung (LS-Opt + Python) durch Variation von: YC, XC0, Bruchenergien, EFS, SOFT



FE-Software: LS-Dyna, Materialmodell: MAT\_262

➤ **Gute Übereinstimmung mit Tria Elementen < 1% ✓**  
Abweichung von 8% Energie bei Quad Elementen

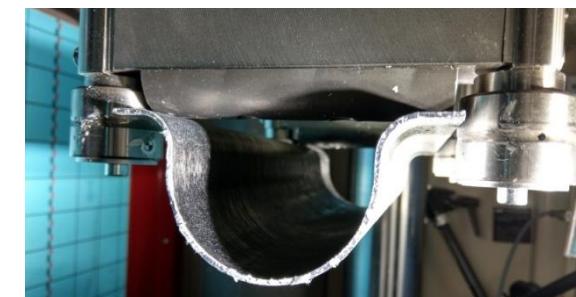
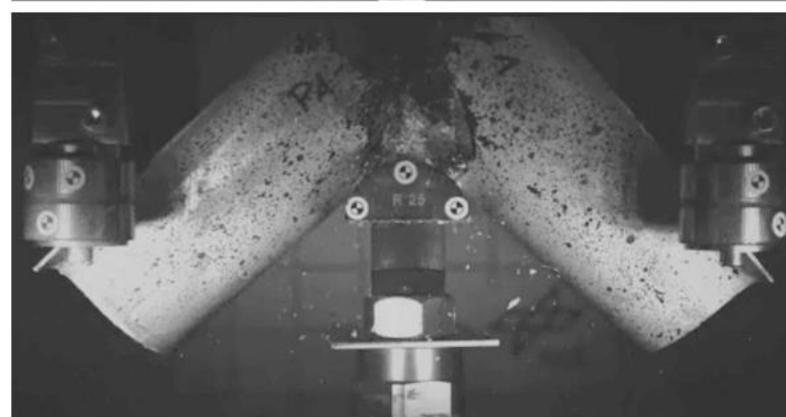
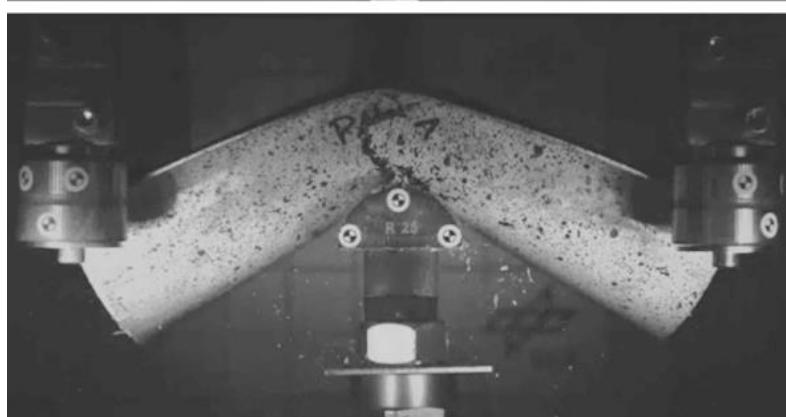
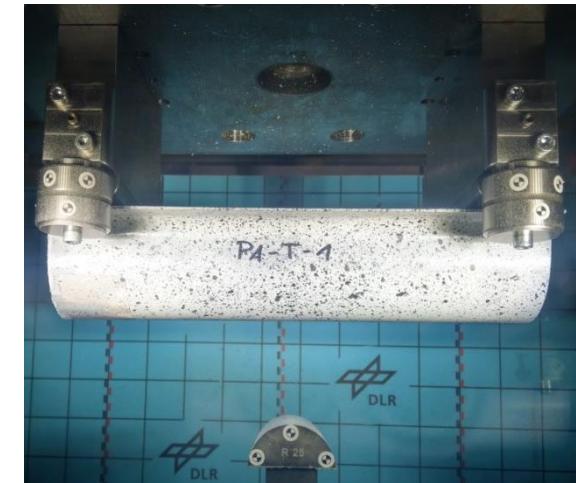


- Opt 1: Nur sensitive Bruchenergien: GXC, GXC0, GSL
- Opt 2: Alle Bruchenergien, Massenkriterium, mit hohen Startwerten aus Opt1
- Opt 3: Niedrige Startwerte
- Opt 4: Niedrige Startwerte, anfänglicher Range angepasst

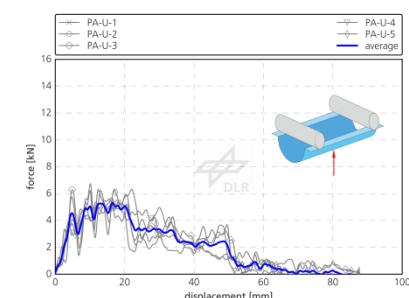
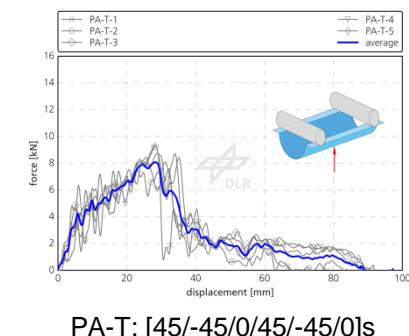
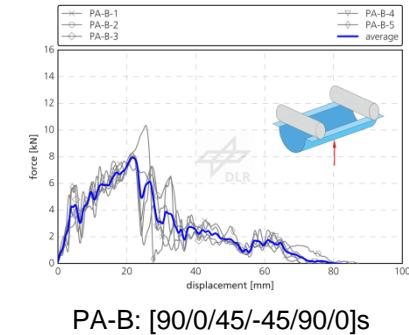
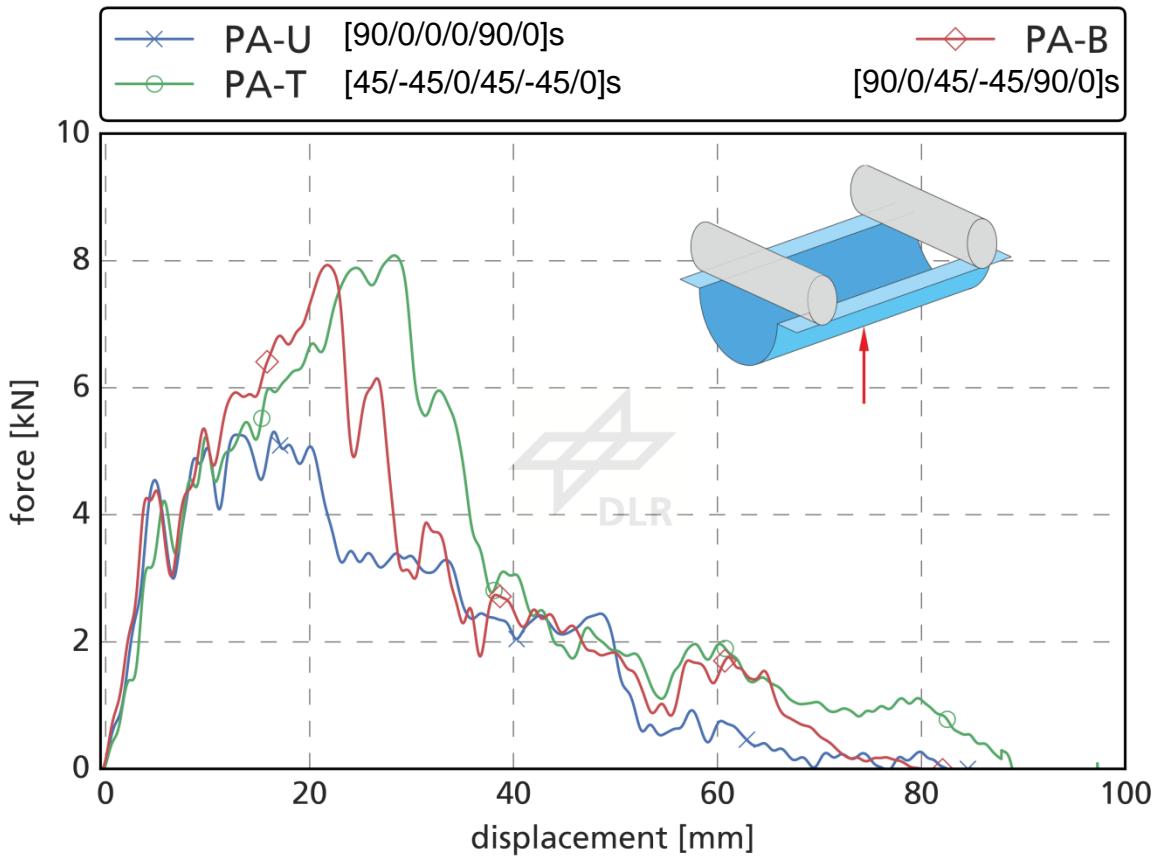
# Biegeversuche

## ➤ Neue Biegevorrichtung

- Funktion der Nadellager: Omega-Aufbiegung blockiert, Translation erlaubt



# Biegeversuche



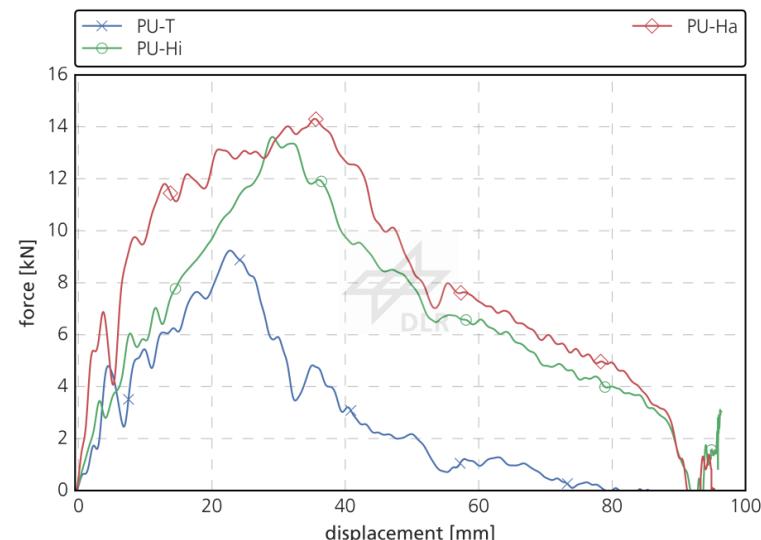
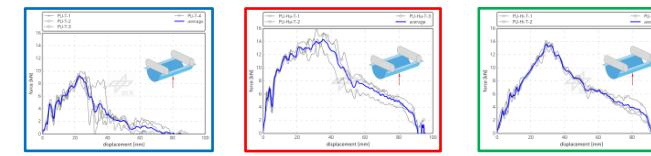
- Gute Reproduzierbarkeit
- Triax-Gelege vorteilhaft für Energieaufnahme bei Biegebelastung ✓

# Hybride Bauteile

## ➤ In Zusammenarbeit mit Evonik Resource Efficiency GmbH

- Hergestellt bei Evonik GmbH in Marl
- CFK Triax Gelege [0/45/-45]<sub>4</sub> (monolytisch)
- CFK Triax Gelege [0/45/-45]<sub>4</sub> + 0,6 mm Stahl außen
- CFK Triax Gelege [0/45/-45]<sub>4</sub> + 0,6 mm Stahl innen
- Faser: Toray T700S Triax Gelege
- Bi-Stage Matrix: Evonik VESTALITE P 342

„PU-T“  
„PU-Ha“  
„PU-Hi“



„PU-Ha“



## Hybride Bauteile



► PU-Ha: 22,2% mehr SEA gegenüber monolytischem PU-T ✓



# Optische Sensorfaser

➤ **Funktionsintegration zur Strukturüberwachung:** Structural Health Monitoring (SHM)

➤ **Zustandsüberwachung und Schädigungsüberwachung**

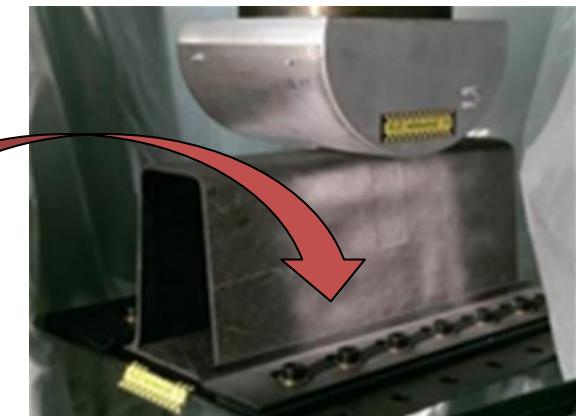
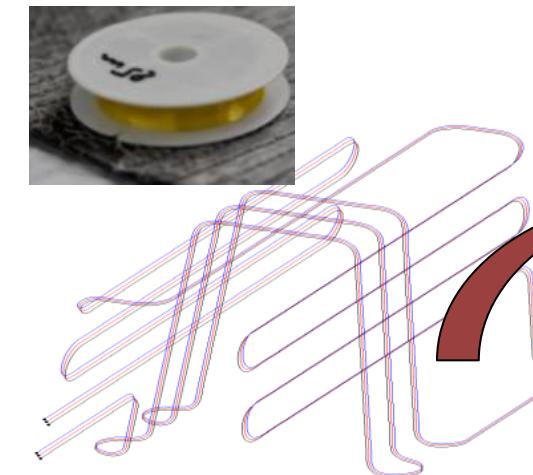
- Online Detektion von Schäden
- Intervallüberprüfung der Struktursteifigkeit

➤ **Testing und Validierung (Entwicklung)**

- Verbesserung der Schadensanalyse beim Testing
- Online Messungen im Bauteilinneren

➤ **Technologische Integration**

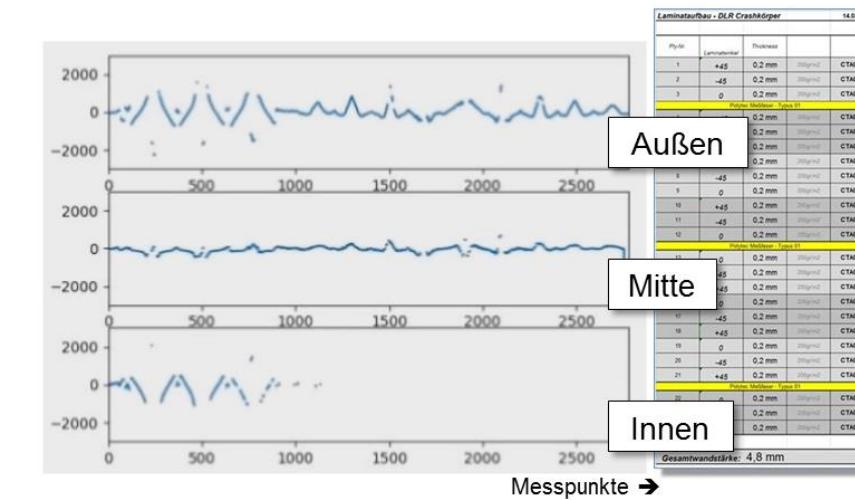
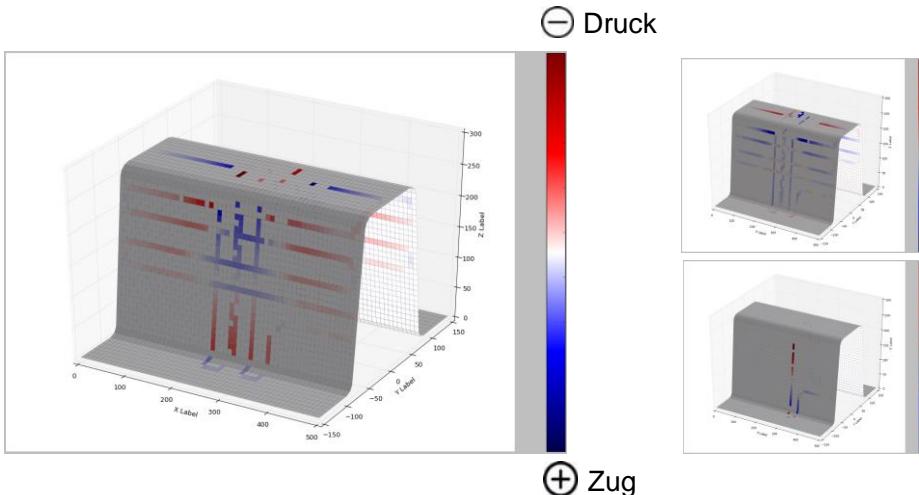
- Annähernd gewichtsneutrales Messsystem
- Einfache Integration in FVK-Lamine
- Kein wesentlicher Einfluss auf Fertigung



# Optische Sensorfaser

## ➤ Erfassung, Auswertung und Interpretation

- Hochauflösender Abgleich zwischen Simulation und Testing
- Zerstörungsfreie Prüfung der Strukturintegrität
- Korrelation von Sensorsignalen zu Schädigungszustand



- Implementierung in generische CFK-Schwellstruktur und in-situ Dehnungsmessung erfolgreich
  - ➔ Geeignet für Steifigkeitsrelevante Bauteile
- Frühzeitiger Verlust des Messsignals
  - ➔ Schädigungsprogression bis zum Verlust des Signals weiter untersuchen

# Fazit & Ausblick

- **Technologieuntersuchungen:** Crashpotentiale Carbon/PA6 Prinzipkomponenten vorhanden
  - ➔ Untersuchung zu Crashverhalten auf Strukturebene
  - ➔ Serienfähige Hybridherstellung
- **Simulationsverbesserung:** FE-Kalibrierung auf Prinzipkomponentenebene
  - ➔ Kalibrierung Biegeversuch, Coupontests
  - ➔ Übertragung auf komplexe Bauteilgeometrie
- **Schädigungsuntersuchung:** Erfolgreiche Implementierung einer optischen Sensorfaser
  - ➔ Weitere Untersuchungen zur Korrelation von Schaden und Messsignal
- **Nachweis der Funktionsweise des Crashelements:**
  - ➔ Testen der Crashbauteile
  - ➔ Testen der Crashbauteile Eingebunden in Strukturumgebung

