

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

A large, curved image of the Earth from space occupies the bottom right portion of the slide. It shows a view of the planet's surface with blue oceans, green landmasses, and white clouds. The curvature of the Earth is clearly visible, creating a sense of depth and global perspective.

Wissen für Morgen

Next Generation Car (NGC)

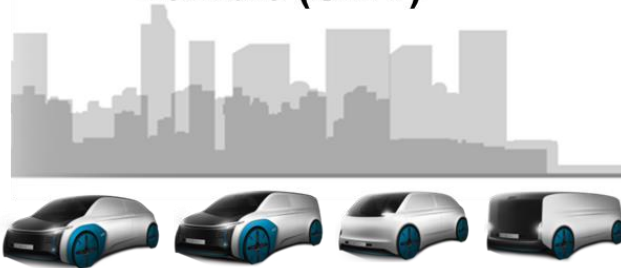
Elektro-Mobilität

**Digitalisierung und
Automatisierung**

Flexibilisierung

**Sicherheit und
Leichtbau**

**Urban Modular
Vehicle (UMV)**



Urbanes, intelligentes
Elektrofahrzeug mit
modularer Bauweise

**Safe Light Regional
Vehicle (SLRV)**



Kostengünstiges und
leichtes, sicheres
L7e Fahrzeug

**Interurban
Vehicle (IUV)**



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

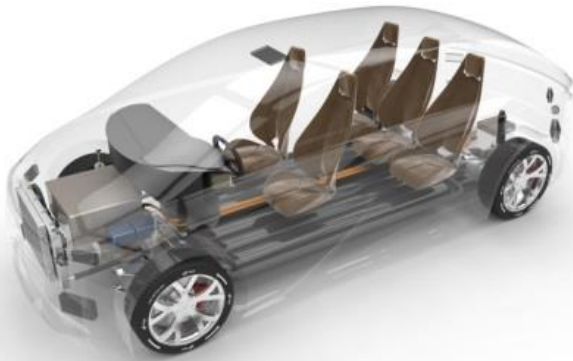


Elektrifiziertes Antriebskonzept, Brennstoffzelle/Wasserstoff

➤ Leicht und sicher



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

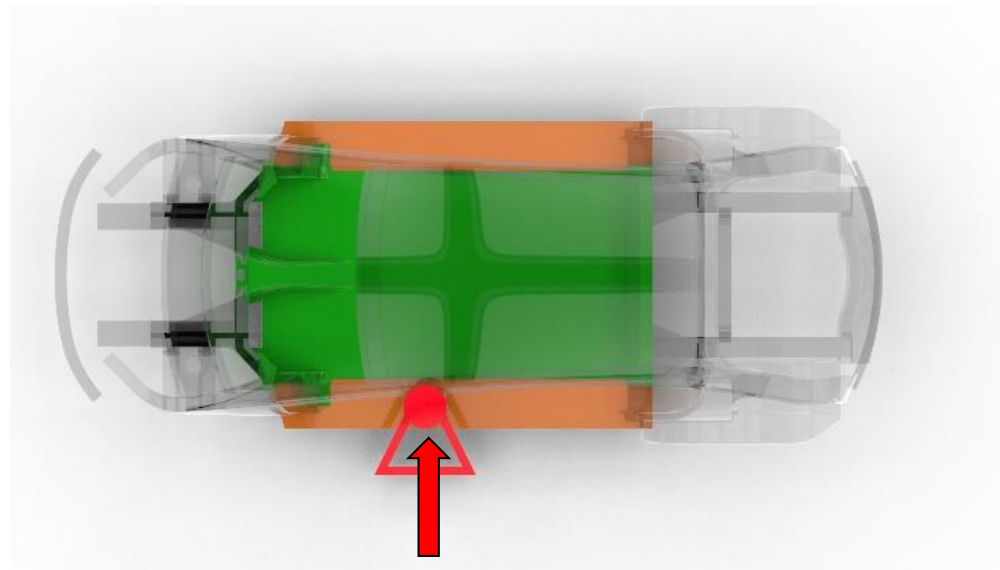


Strukturanforderungen



➤ 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

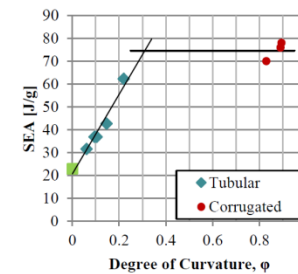
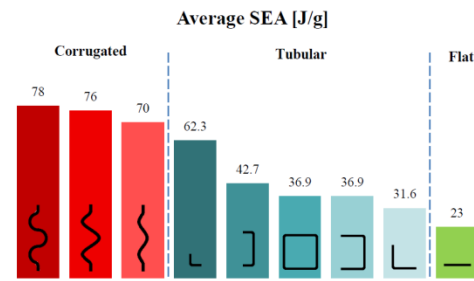
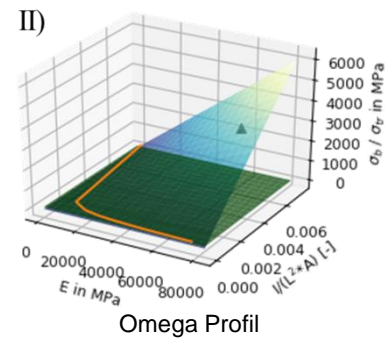
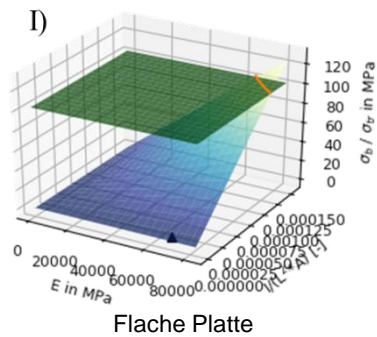
- Crashtestpotentiale von thermogeformten Carbon/PA6 Prinzipkomponenten
- FE-Kalibrierung auf Prinzipkomponentenebene
- Implementierung einer optischen Sensorfaser



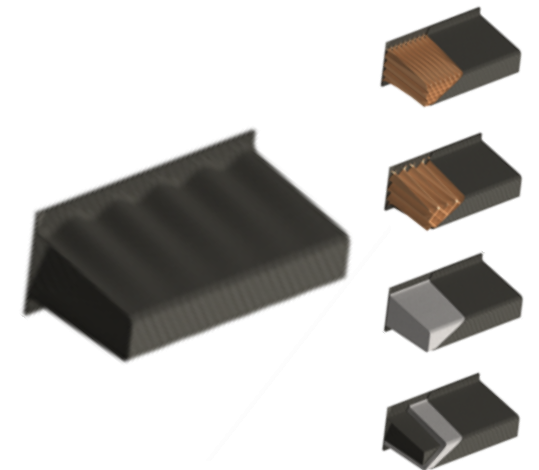
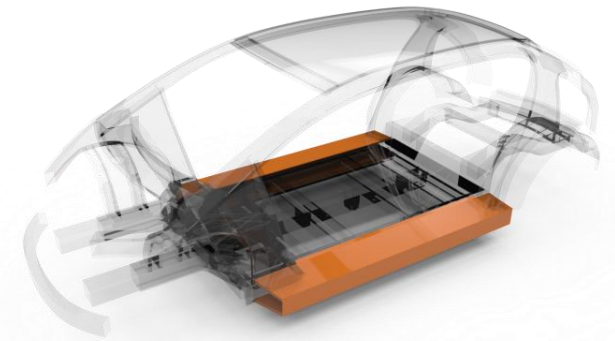
Schwellerstruktur

➤ Anforderung:

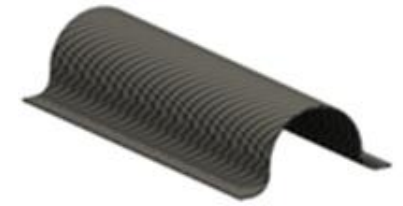
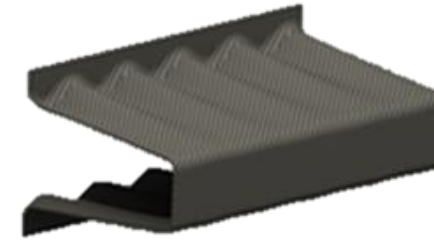
- Aufnahme von **31,5kJ** = 50% der Gesamtenergie bei 32km/h Pfahlcrash
- Maximale Intrusion: 300mm
- Bauraum für CFK-Strukturanteil: **260mm** (+Profil 40mm)



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



Prinzipkomponente

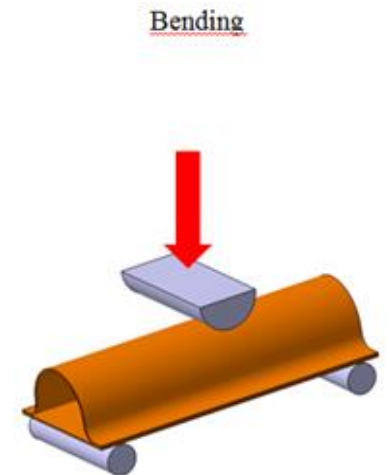
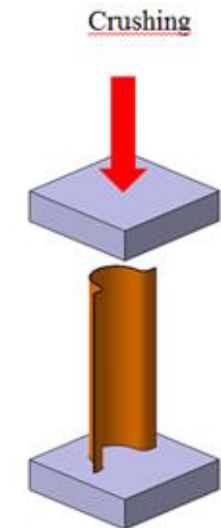
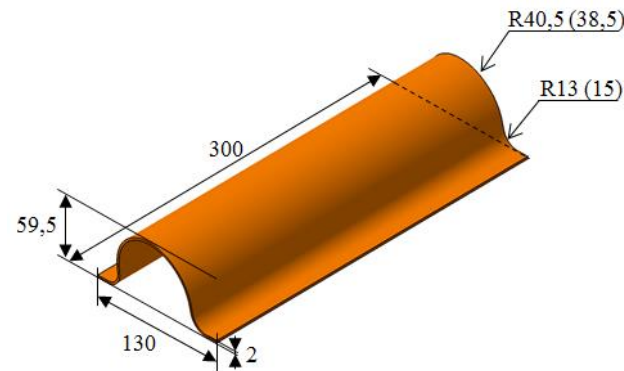


➤ Einfaches Prüfverfahren:

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

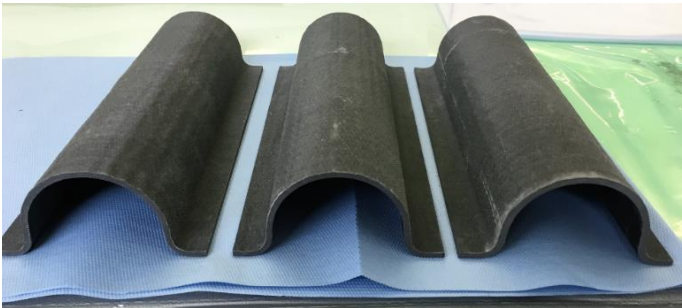
➤ Weitere Untersuchungen möglich:

- Dehnratenabhängigkeit
- Temperatureinfluss
- Herstellverfahren
- Prozessparameter
- Dickeneinfluss
- ...



FVK Eigenschaften

- **Untersuchung verschiedener Lamine**
- HT Carbon Fasern
 - Epoxy, PA6, PU



Carbon/Epoxy Omega-Profil

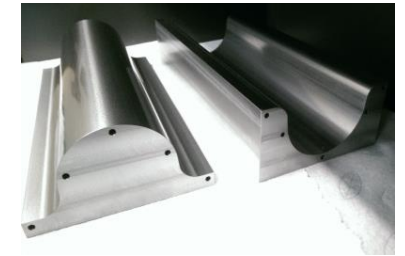
	Faser	Matrix	Aufbau	Herstellprozess	[90/0/45/-45/90/0]s	[45/-45/0/45/-45/0]s	[90/0/0/0/90/0]s
Carbon/Epoxy	Toray T700S 24k	BASF Baxxodur 5400	UD- mit Biax- und Triax-Gelege	VARI Verfahren (Vacuum Assisted Resin Infusion) bei RT		X	X
Carbon/PA6	SGL Sigrafil C T50-4.0/240-T140 50k	SGL PA6	UD-Gelege	Thermoforming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



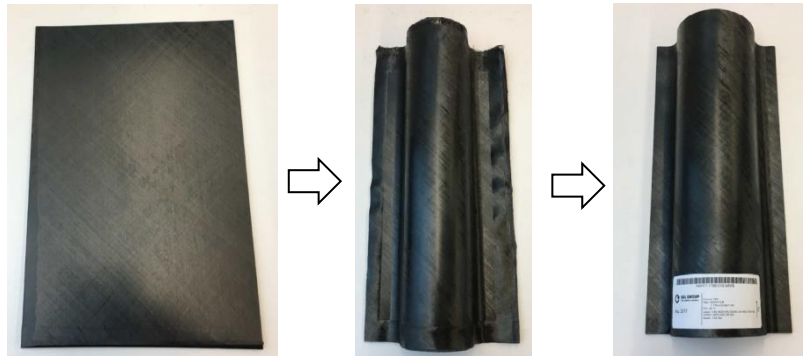
Herstellprozess Carbon/PA6

➤ Carbon/PA6 Thermoforming

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



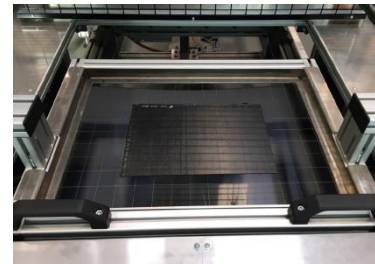
Presswerkzeug



Ausgangsmaterial:
PA6-CF
350x220x2mm

umgeformt
unbesäumt

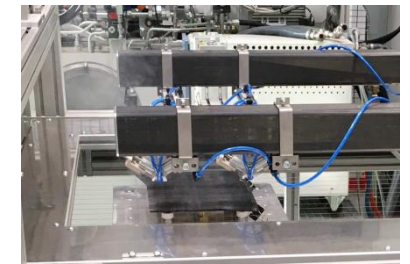
Fertigteil
zugeschnitten
300x130x2mm



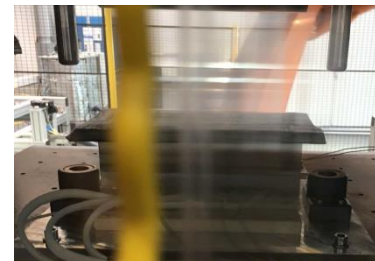
Vorlagentisch vor IR-Station



Roboter in Warteposition hinter
IR-Station



Aufnahme des durchgewärmten
Organobleches durch
Roboter mittels Nadelgreifer



Organoblech abgelegt auf
Unterseite des Werkzeuges
vor dem Schließen



Werkzeug geschlossen für
Kühlzeit

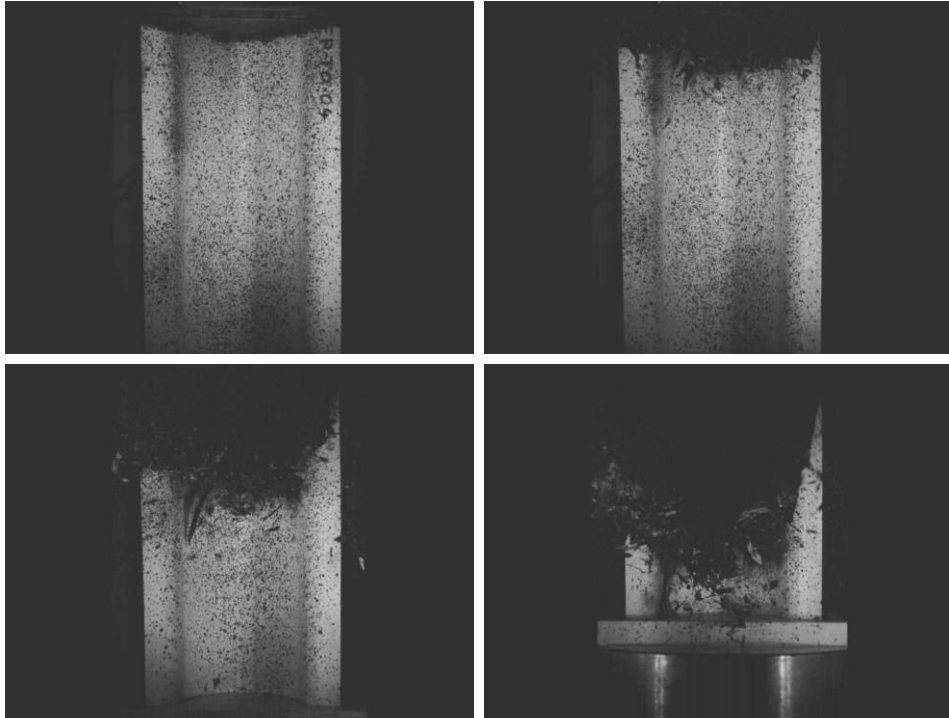


Umgeformtes Ω-Profil vor der
Entformung

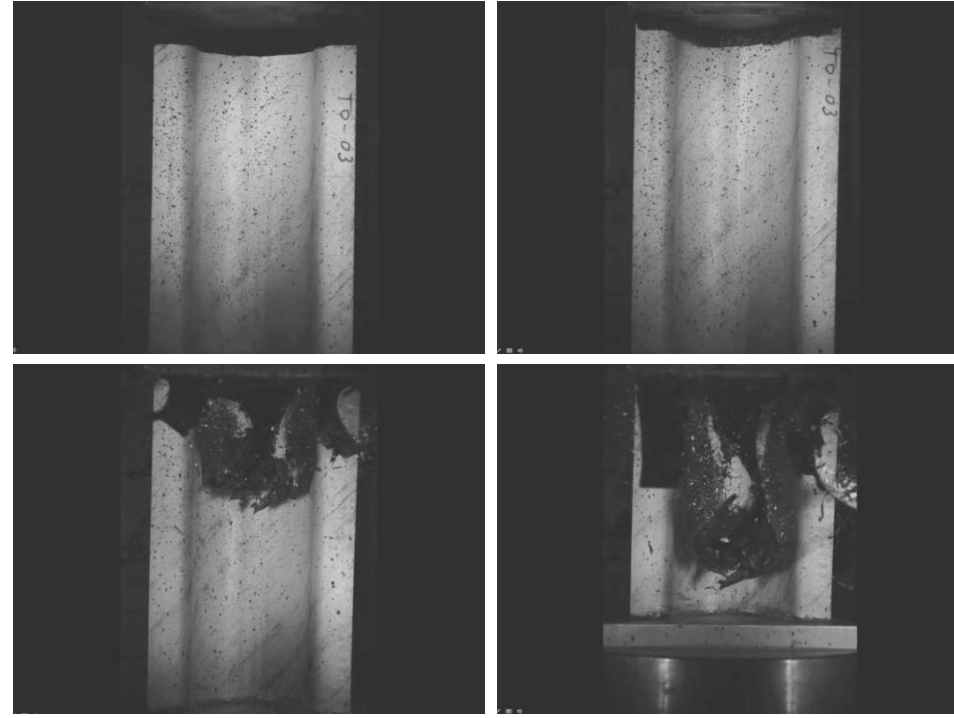
- **IR-Station:** 95 Sekunden
- **Haltezeit Presse:** 45 Sekunden
- **Gesamtzeit:** 215 Sekunden

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**

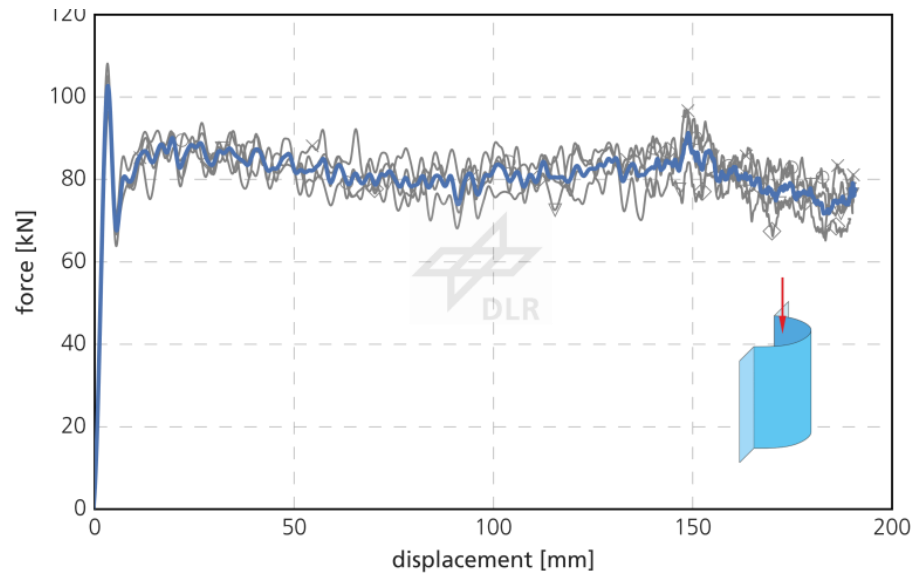


PA6 [45/-45/0/45/-45/0]_s
Materialdicke: ~2mm
Geschwindigkeit: 9,5 m/s
Energy: **6,28 kJ** – SEA: **59,20 kJ/kg**

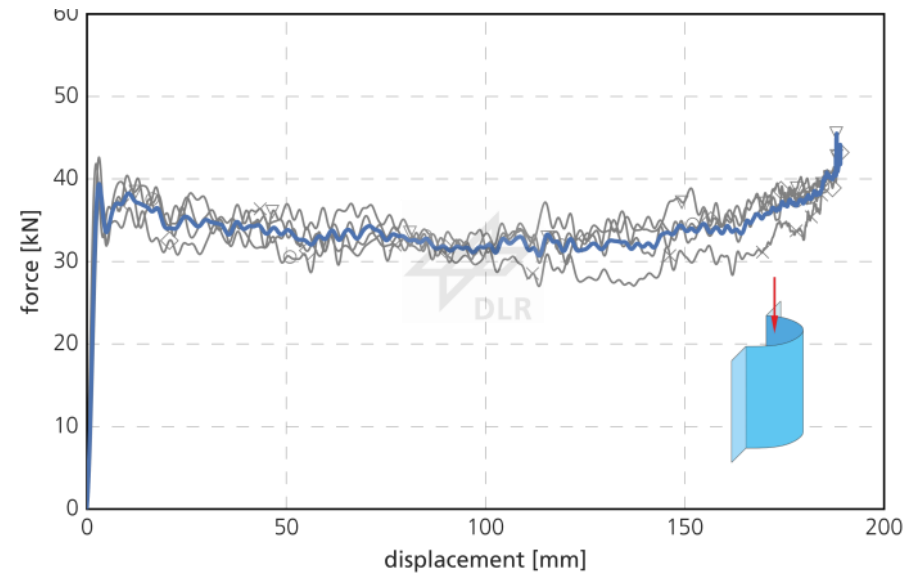


Crushingversuche

➤ 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**



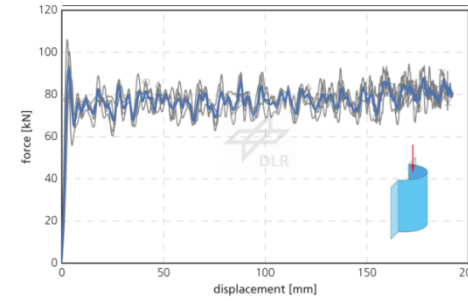
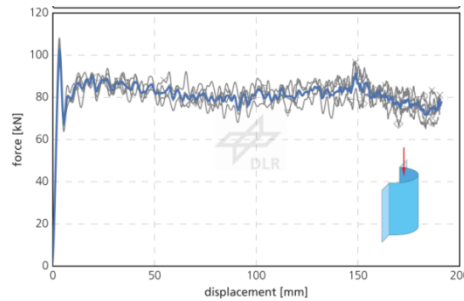
Crushing Testergebnisse

Epoxy

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

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

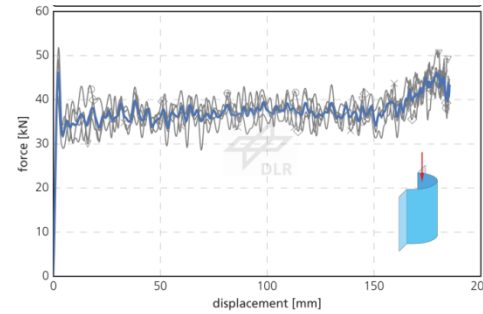
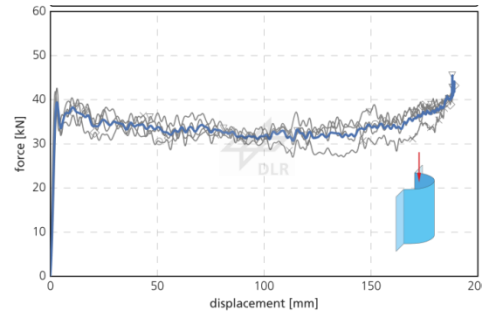
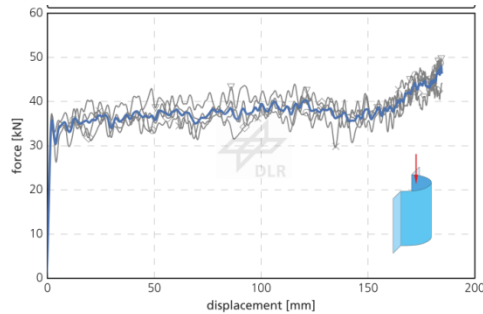
[90/0/0/0/90/0]s



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**

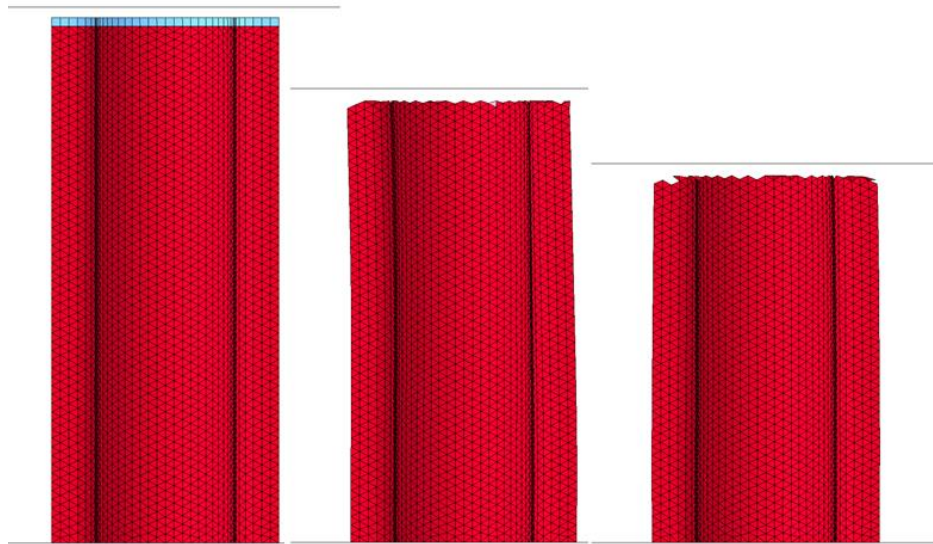


- **Gute Reproduzierbarkeit** ✓
- **Konstanter Kraftverlauf**
- **Akzeptable SEA für PA6 Proben**



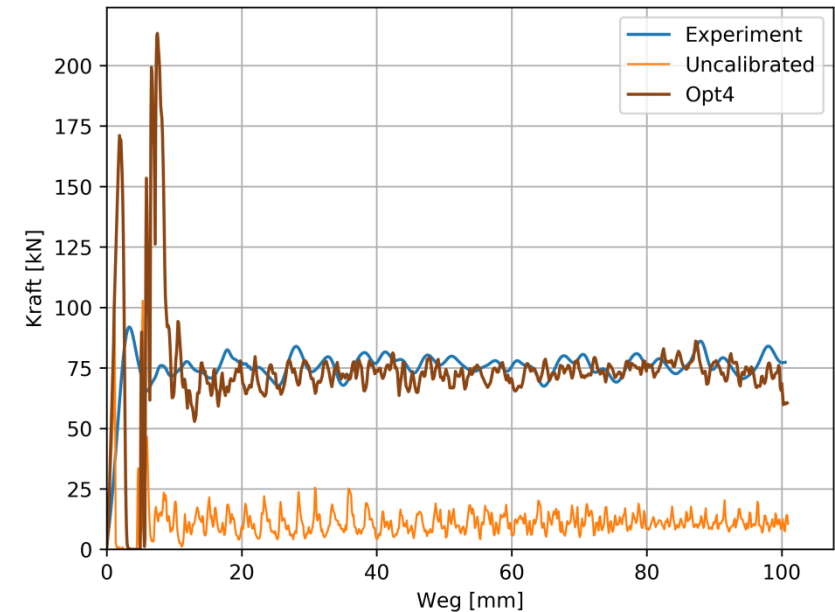
Kalibrierung der Materialkarte

- 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



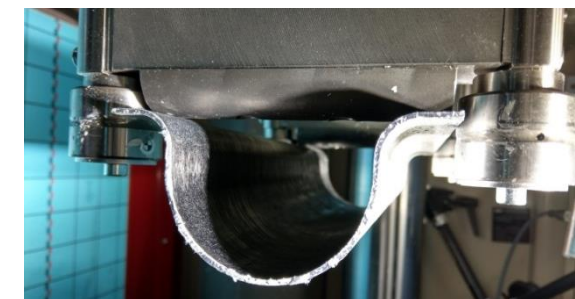
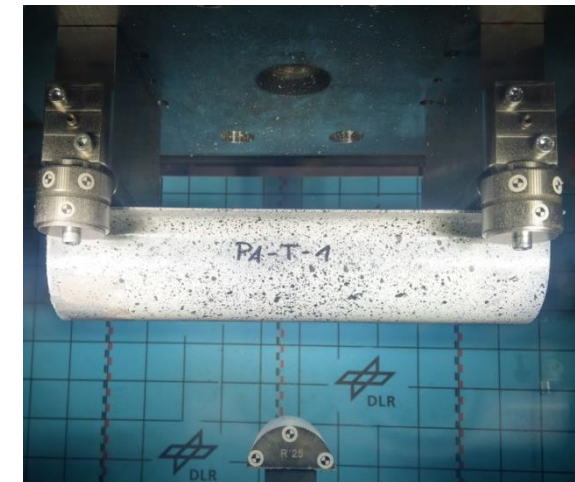
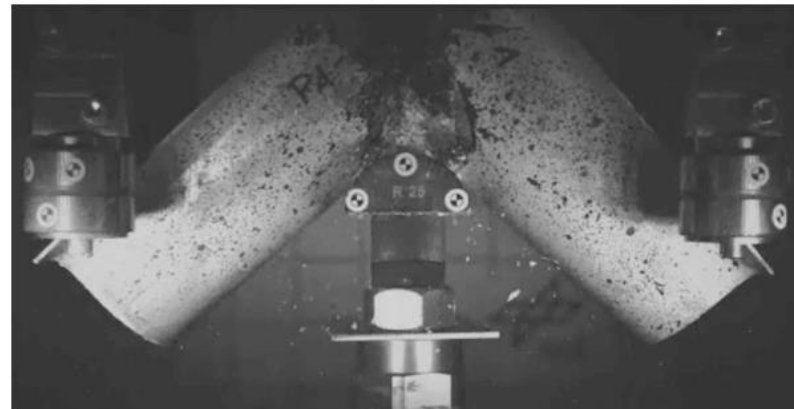
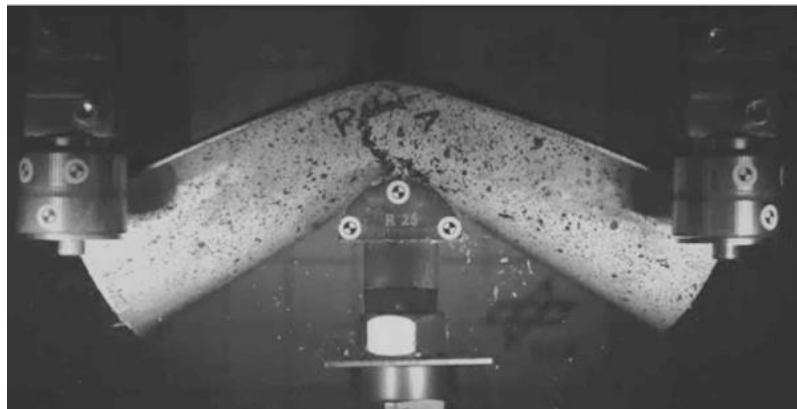
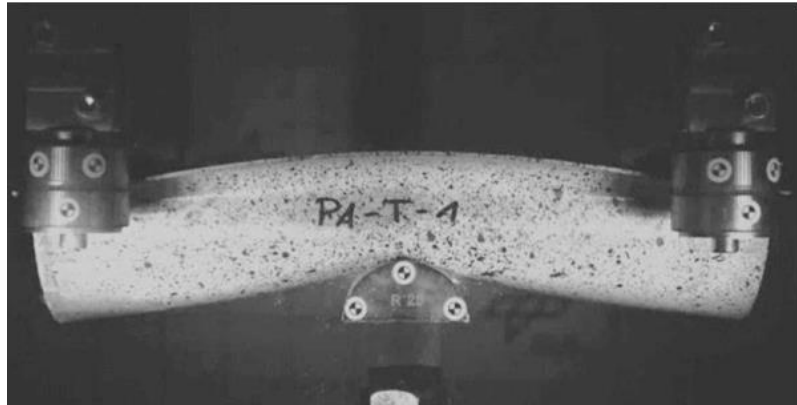
- Opt 1: Nur sensitive Bruchenergien: GXC, GXC0, GSL
- Opt 2: Alle Bruchenergien, Massenkriterium, mit hohen Startwerten aus Opt1
- Opt 3: Niedrige Startwerte
- Opt 4: Niedrige Startwerte, anfänglicher Range angepasst

Ergebnisse aus Bachelorarbeit: Parameteridentifikation zur Simulation des progressiven Versagens von Faserverbundwerkstoffen mit LS-Dyna, Amon Lahr, DLR, 2018

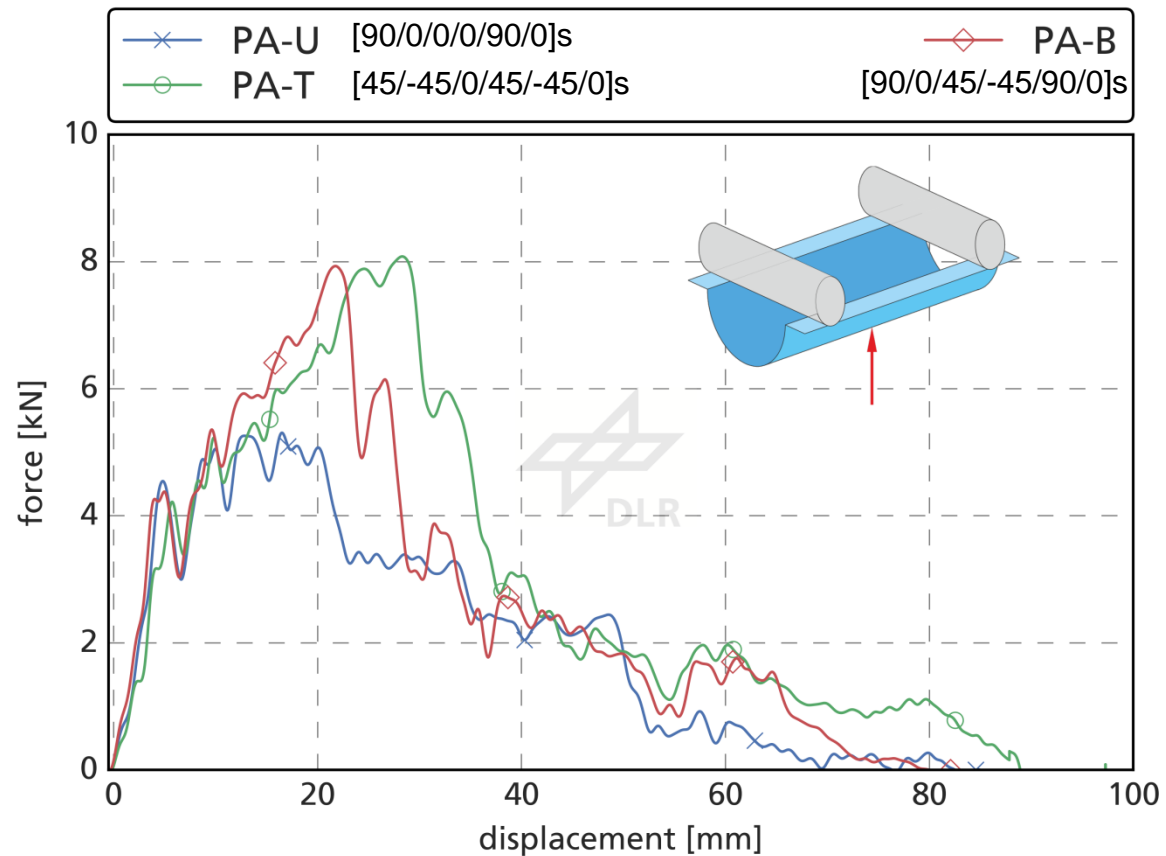
Biegeversuche

➤ Neue Biegevorrichtung

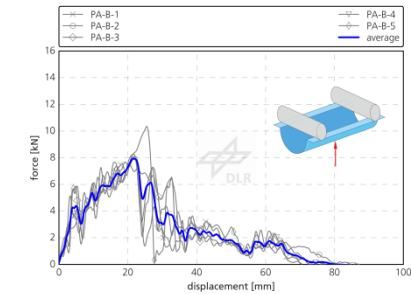
- Funktion der Nadellager: Omega-Aufbiegung blockiert, Translation erlaubt



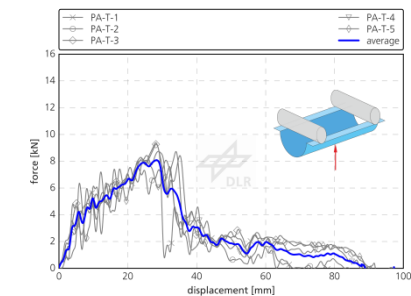
Biegeversuche



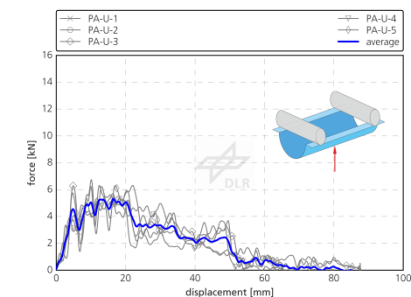
- Gute Reproduzierbarkeit
- Triax-Gelege vorteilhaft für Energieaufnahme bei Biegebelastung ✓



PA-B: [90/0/45/-45/90/0]s



PA-T: [45/-45/0/45/-45/0]s



PA-U: [90/0/0/0/90/0]s

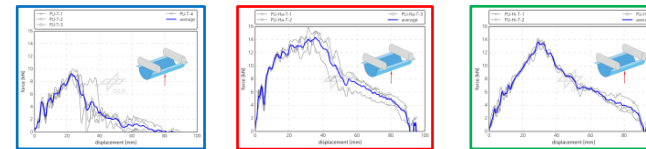
Hybride Bauteile

➤ In Zusammenarbeit mit **Evonik Resource Efficiency GmbH**

- Hergestellt bei Evonik GmbH in Marl

- CFK Triax Gelege $[0/45/-45]_4$ (monolytisch)
- CFK Triax Gelege $[0/45/-45]_4$ + 0,6 mm Stahl außen
- CFK Triax Gelege $[0/45/-45]_4$ + 0,6 mm Stahl innen

„PU-T“
„PU-Ha“
„PU-Hi“

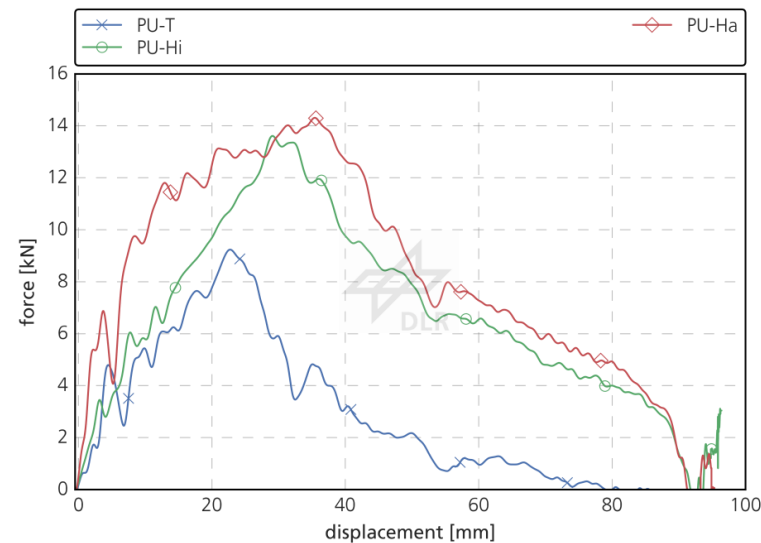


- Faser: Toray T700S Triax Gelege
- Bi-Stage Matrix: Evonik VESTALITE P 342

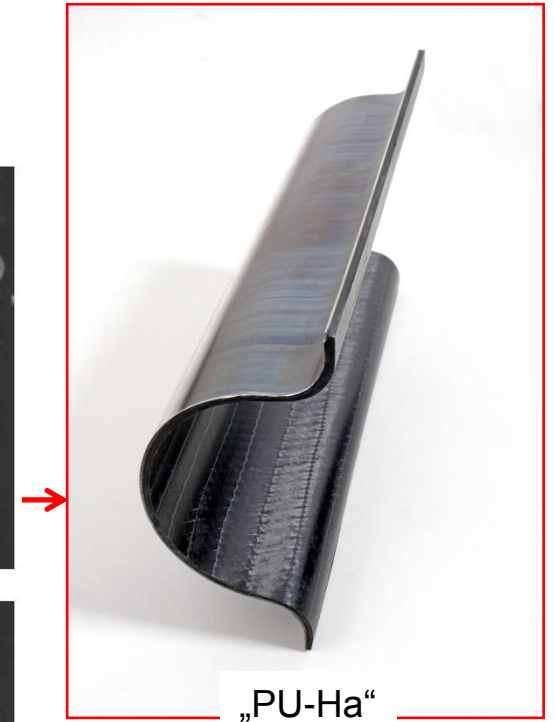
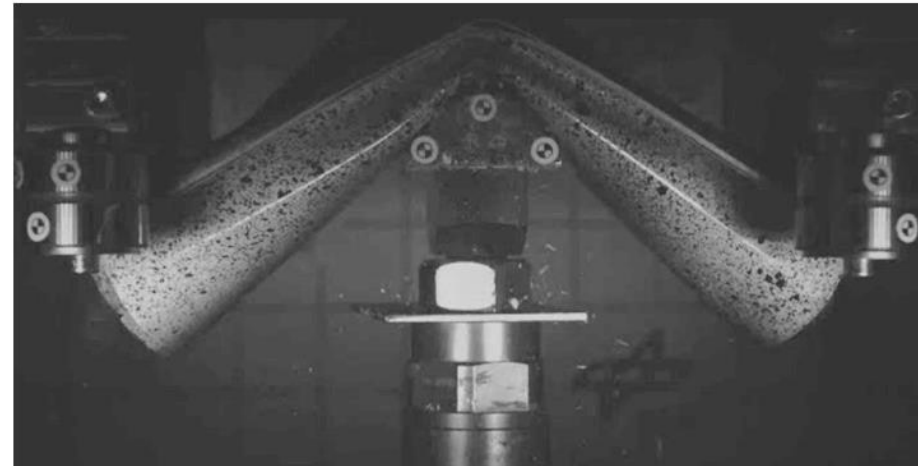
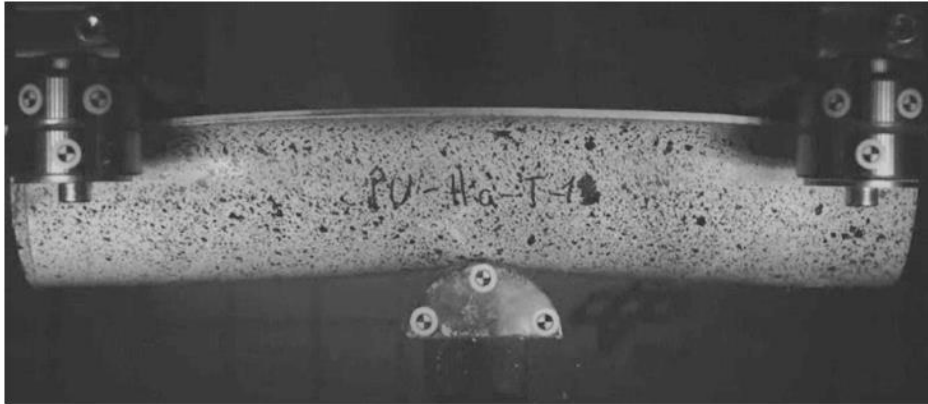
➤ PU-T: Höhere SEA als PA6 und Epoxy (Crushing & Biegung)

➤ PU-Hi: Ungünstig. Nur geringer Vorteil (von 1,8%) wegen vorzeitiger Delamination durch metallischen Springback-Effekt

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



Hybride Bauteile

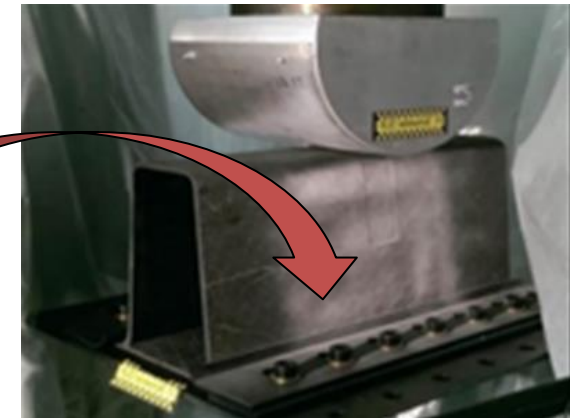
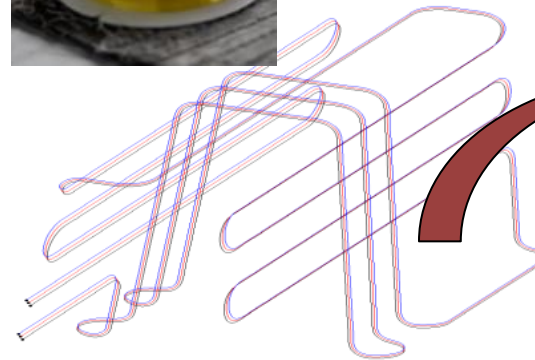
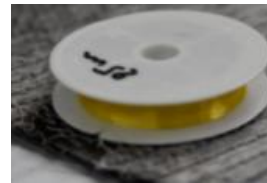


➤ PU-Ha: **22,2% mehr SEA** gegenüber monolytischem PU-T ✓



Optische Sensorfaser

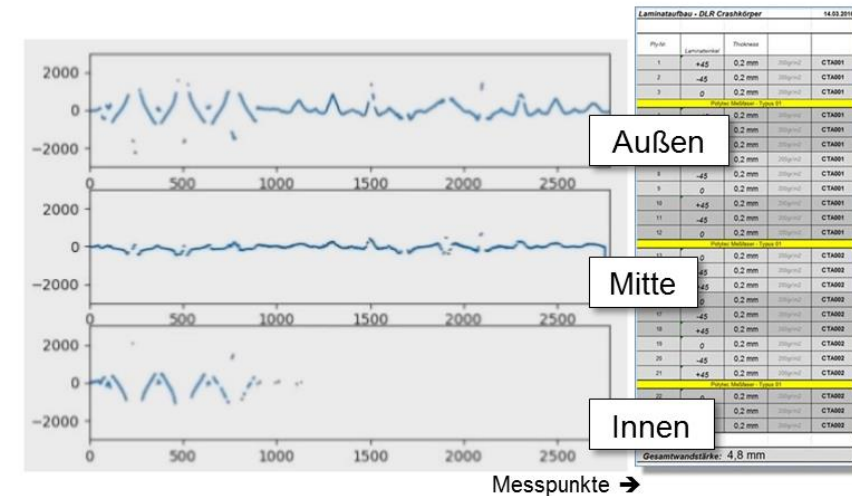
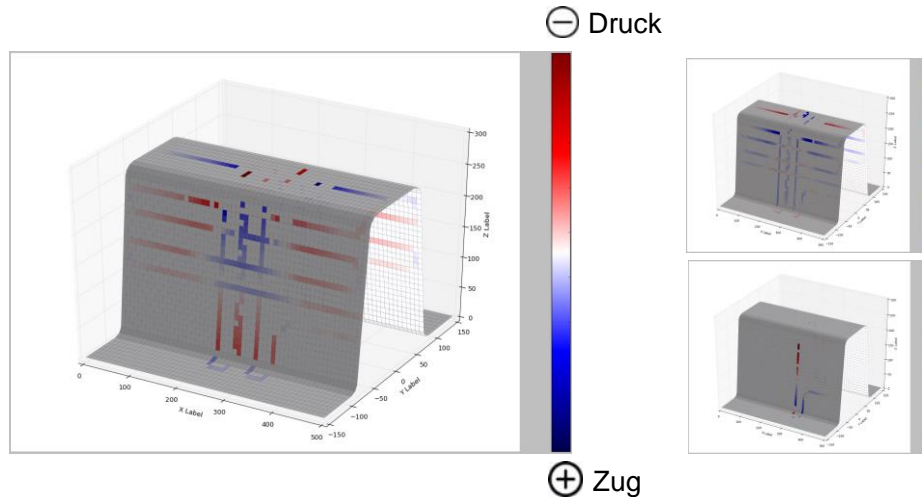
- **Funktionsintegration zur Strukturüberwachung:** Structural Health Monitoring (SHM)
 - **Zustandsüberwachung und Schädigungsüberwachung**
 - Online Detektion von Schäden
 - Intervallüberprüfung der Struktursteifigkeit
 - **Technologische Integration**
 - Annähernd gewichtsneutrales Messsystem
 - Einfache Integration in FVK-Lamine
 - Kein wesentlicher Einfluss auf Fertigung
- **Testing und Validierung (Entwicklung)**
 - Verbesserung der Schadensanalyse beim Testing
 - Online Messungen im Bauteilinneren



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



Fazit & Ausblick

- **Technologieuntersuchungen:** Crashtestpotentiale Carbon/PA6 Prinzipkomponenten vorhanden
 - ➔ Untersuchung zu Crashtestverhalten auf Strukturebene
 - ➔ Serienfähige Hybridherstellung
- **Simulationsverbesserung:** FE-Kalibrierung auf Prinzipkomponentenebene
 - ➔ Kalibrierung Biegeversuch, Coupon tests
 - ➔ Übertragung auf komplexe Bauteilgeometrie
- **Schadungsuntersuchung:** Erfolgreiche Implementierung einer optischen Sensorfaser
 - ➔ Weitere Untersuchungen zur Korrelation von Schaden und Messsignal
- **Nachweis der Funktionsweise des Crashtestelements:**
 - ➔ Testen der Crashtestbauteile
 - ➔ Testen der Crashtestbauteile Eingebunden in Strukturumgebung

