

Freiformbarer DLR-Wabentank

Aufbau, Eigenschaften und Charakteristika des CNG-Tanks

Matthias Konzelmann

Diego Schierle

Prof. Dr. Horst E. Friedrich

Institut für Fahrzeugkonzepte

Leichtbau und Hybridbauweisen



Gliederung

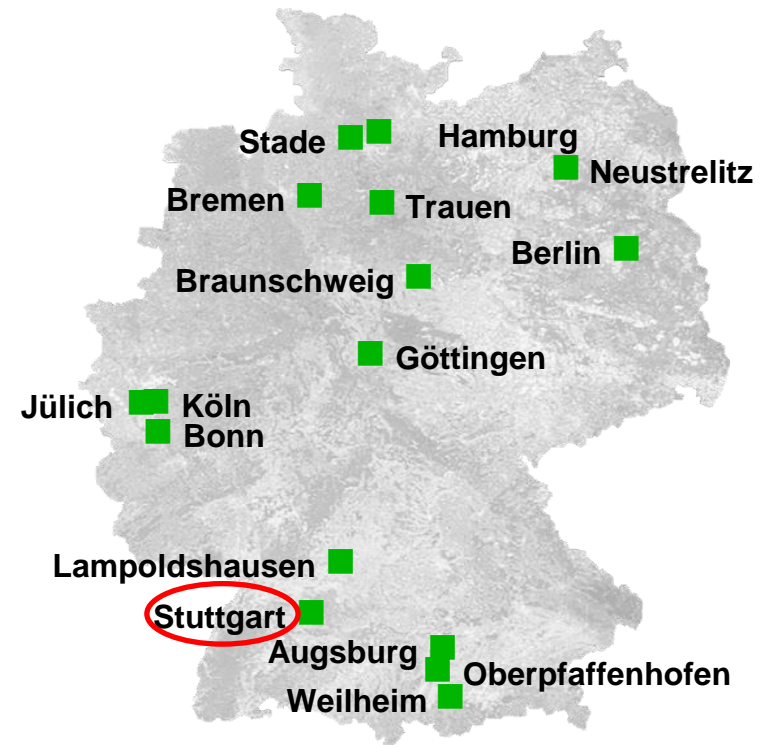
- Überblick
- DLR-Wabentank
 - Prinzip
 - Validierungsprojekt
 - Teilsystembetrachtung
 - Simulation
 - Ausblick



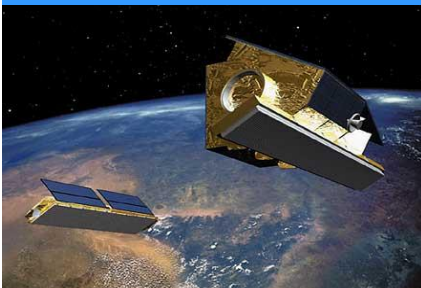
DLR – Überblick

- Nationales Forschungszentrum
- Luftfahrt
- Raumfahrt
- Verkehr
- Energie

7.700 Mitarbeiter in 33 Instituten an 16 Standorten



Raumfahrt



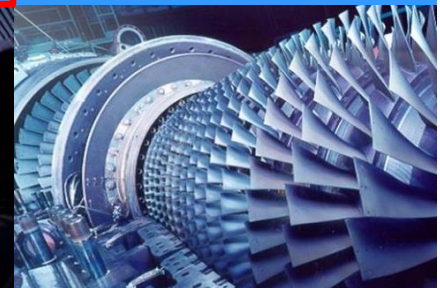
Luftfahrt



Mobilität



Energie



Die Forschungsthemen im Institut für Fahrzeugkonzepte

Straßenfahrzeugkonzepte

- Entwicklung und Bewertung von Konzepten
- Fahrzeugtechnik-Szenarien, Ökologiebilanzierung, Technologiebewertung und Life-Cycle-Costing
- Entwicklung und Modellierung von Fahrzeugarchitekturen
- Entwicklung von Modularisierungs- und Plattformstrategien



Fahrzeug-Leichtbau

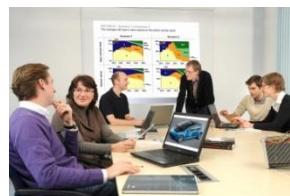
- Leichtbau-Konzepte und neue technische Lösungen
- Werkstoffe und Prozesse
- Methoden und Simulation

Schienenfahrzeugkonzepte

- Anforderungsanalyse, Entwicklung und Bewertung von Konzepten
- Fahrzeugenergiekonzepte, Antriebs- und Bremskonzepte
- Triebkopf- und Wagenstrukturen
- Analyse der Lebenszykluskosten und Gesamtfahrzeugsimulation

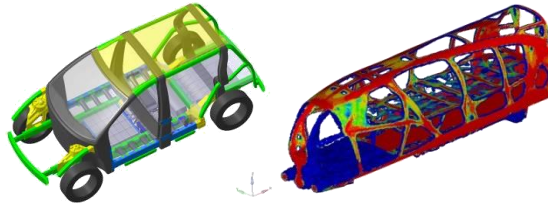
Alternative Antriebe

- Effizienzsteigerung zukünftiger Antriebe
- Neuartige Energiewandlungskonzepte
- Range-Extender – Technologien
- Modulare Brennstoffzellen-Fzg.-Systeme

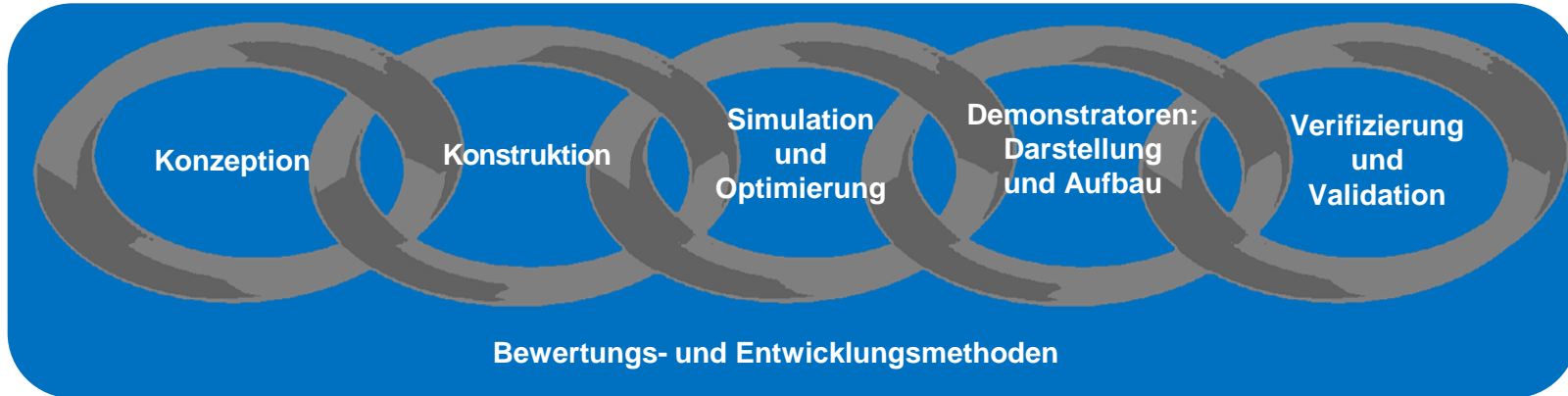
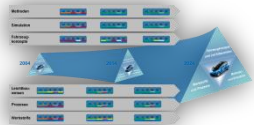


Kompetenzen und Ausstattung

Fachkompetenzen



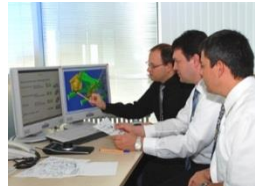
Forschungs- und Entwicklungskette



Ausstattung



z.B. Concept-Lab



z.B. Catia



z.B. Berechnungs-/ Optimierungscluster



z.B. Flügelabor



z.B. Crashanlage, Spannungsfeld



Stand der Technik CNG-Tanksysteme

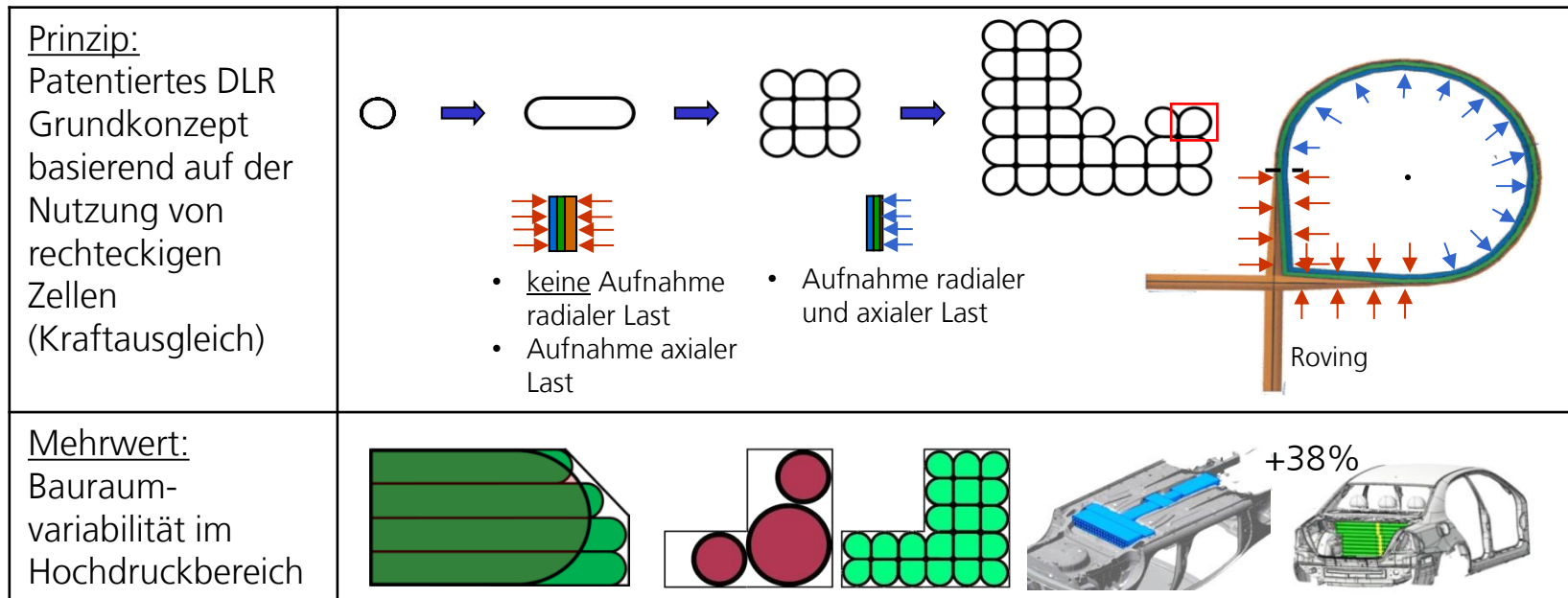
- Kraftstoff wird in rotationssymmetrischen Behältern gespeichert
- Leichtbaustrategie: Werkstoffleichtbau

ECE R 110				
	CNG1	CNG2	CNG3	CNG4
Wicklung	Keine	Umfangswicklung	Vollumwickelt	Vollumwickelt
Gewichtseffizienz	0,95-1,15 kg/l	0,75-0,85 kg/l	0,38-0,68 kg/l	Ca. 0,36 kg/l

- Einbausituation: Fahrzeugstruktur aus Diesel und Benzinentwicklung



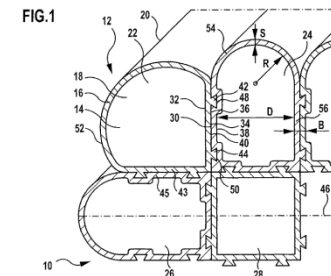
Konzept des DLR-Wabentanks



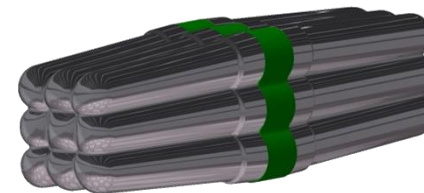
Geschichte des DLR-Wabentank

- Die Grundidee besteht seit 2003
- Unterschiedliche Entwicklungsstufen seit Patentierung

- Konzept als Stahl-Steckverbindung [Kö03]



- Ausführung als FVK-Konzept mit Thermoplastmatrix [LLBT09]



- „Proof-of-Concept“ [Str11]



Aktuelles Projekt und Ziele

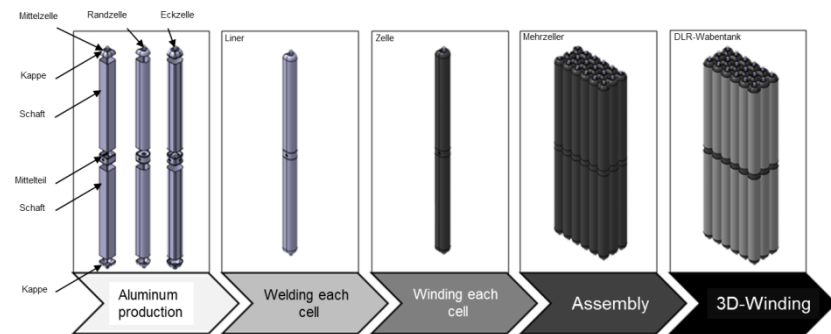
Vorprojekte

- Vorprojekt „Proof-of-Concept“
- Prototypische Herstellung
- T1: Lasergesinterter Stahl (0,6mm), Flechtschläuche VARI (axiale Last)
- T2: Verrohrung außen
- T3: Handgewickelt (radiale Last)

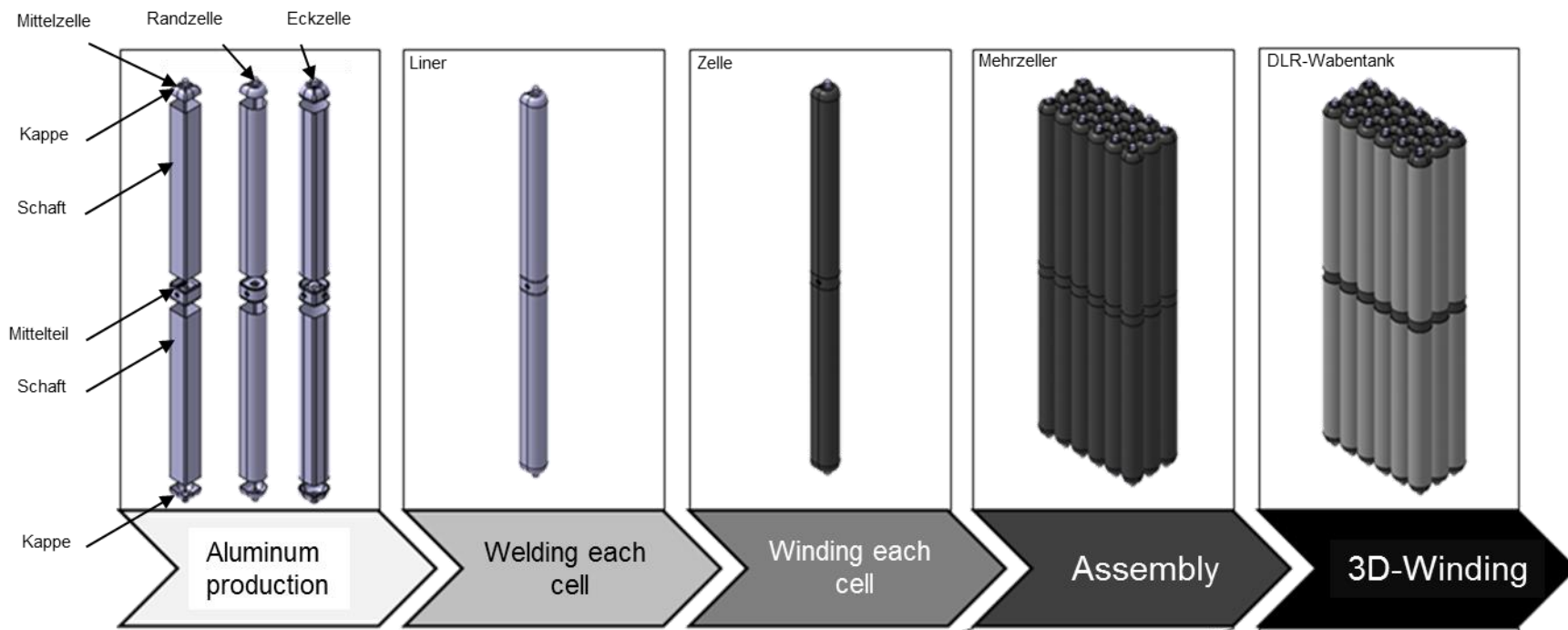


Aktuelles Projekt

- Automatisierte Fertigung
- T1: Aluminium (0,5mm), Vollumwicklung nicht rotationssymmetrischer Zellen (axiale Last)
- T2: Verrohrung innen
- T3: Robotergeführte Wicklung (radiale Last)



Fertigungskonzept DLR-Wabentank



Teilsysteme und deren Funktion

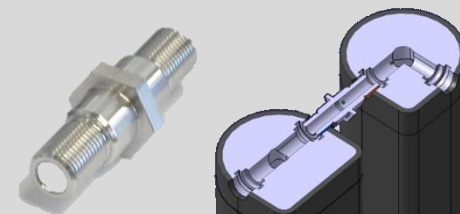


T1 Zelle:

1. Liner → Gasdichtigkeit
2. Umwicklung → Axiale Belastung



T2 Zellenverbindung: → Gasversorgung



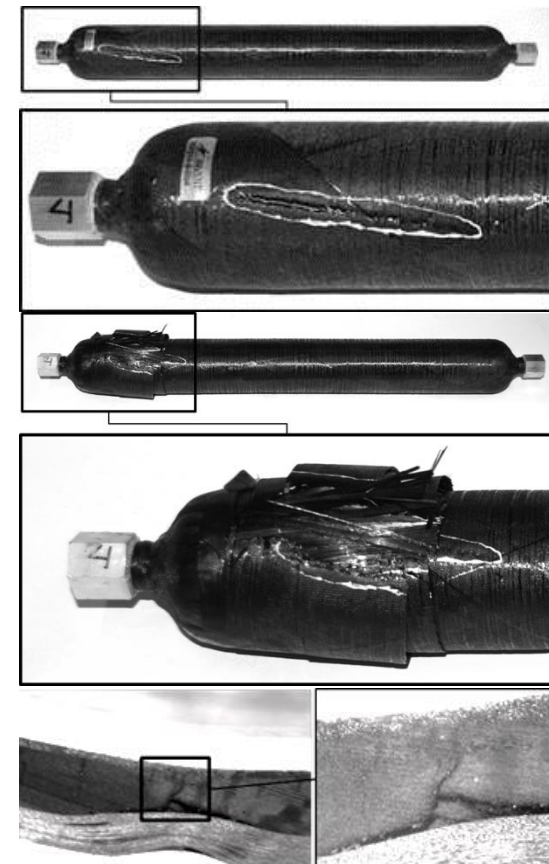
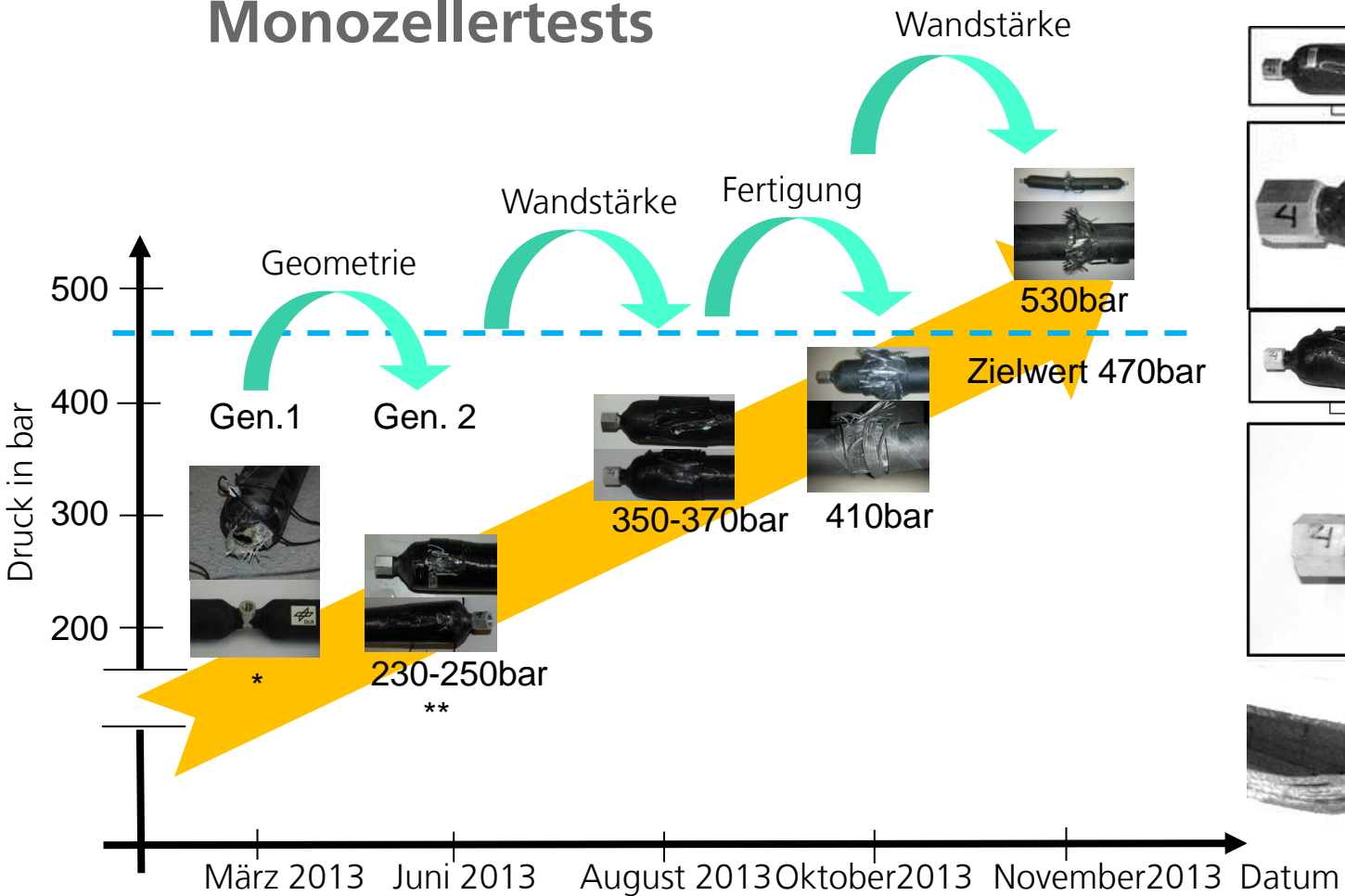
T3 3D-Wicklung: → Radiale Belastung



DLR-Demonstrator Stand 2011



Tragfähigkeitsuntersuchung mittels Monozellertests

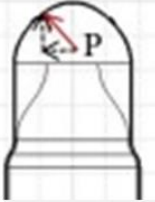
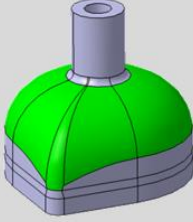

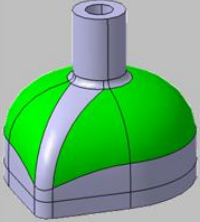













* Undicht u. Kappen-versagen
 ** Laminatversagen im Schaftbereich bei dichtem Liner



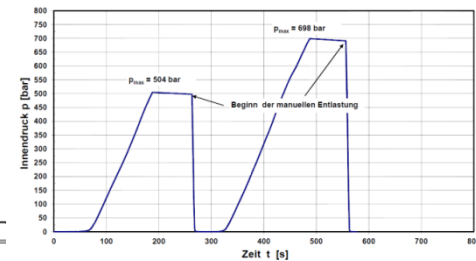
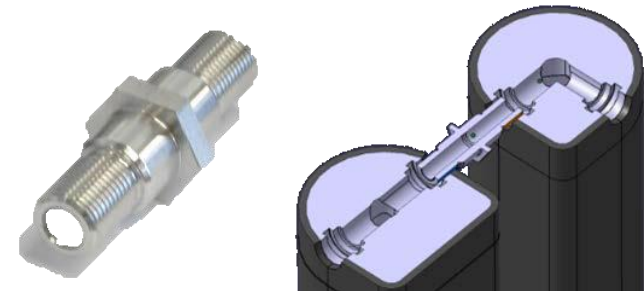
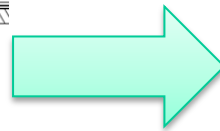
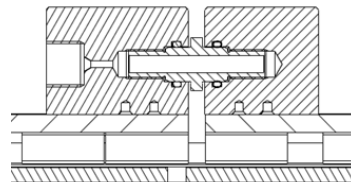
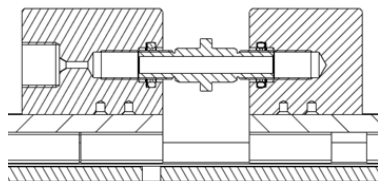
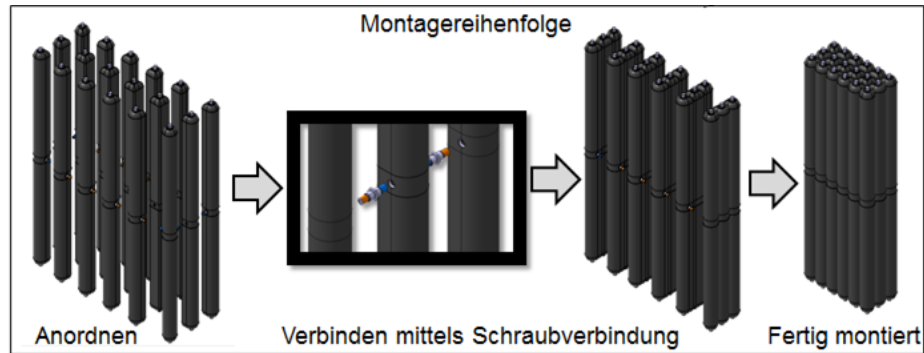
Teilsystem Zelle

- 0,5mm Aluminum Liner
- **Nichtrotationssymmetrischer Liner** voll Umwickelt

	Proof-of-Concept	Variante 1	Versuch Var. 1	Variante 2	Versuch Var. 2	Variante 3	Versuch Var. 3
							
Eigenschaft	Halbkugel mit „S-Schlag“	Isotensoider Ansatz (IA) im gesamten Oberflächenbereich	 	Eckbereich läuft nach außen hin auf. Rest IA.		IA im rotations-symmetrischen Bereich. Ansonsten Tangenten- und Krümmungs-stetig	 
Erkenntnis	Halbkugel nur für isotrope Werkstoffe	Abrutschen und Spleißen des Rovings an der Kante		Abrutschen und Spleißen des Rovings an der Kante		Erstmalig vollumwickelte nicht rotations-sym. Liner	



Teilsystem Verbindungskonzept

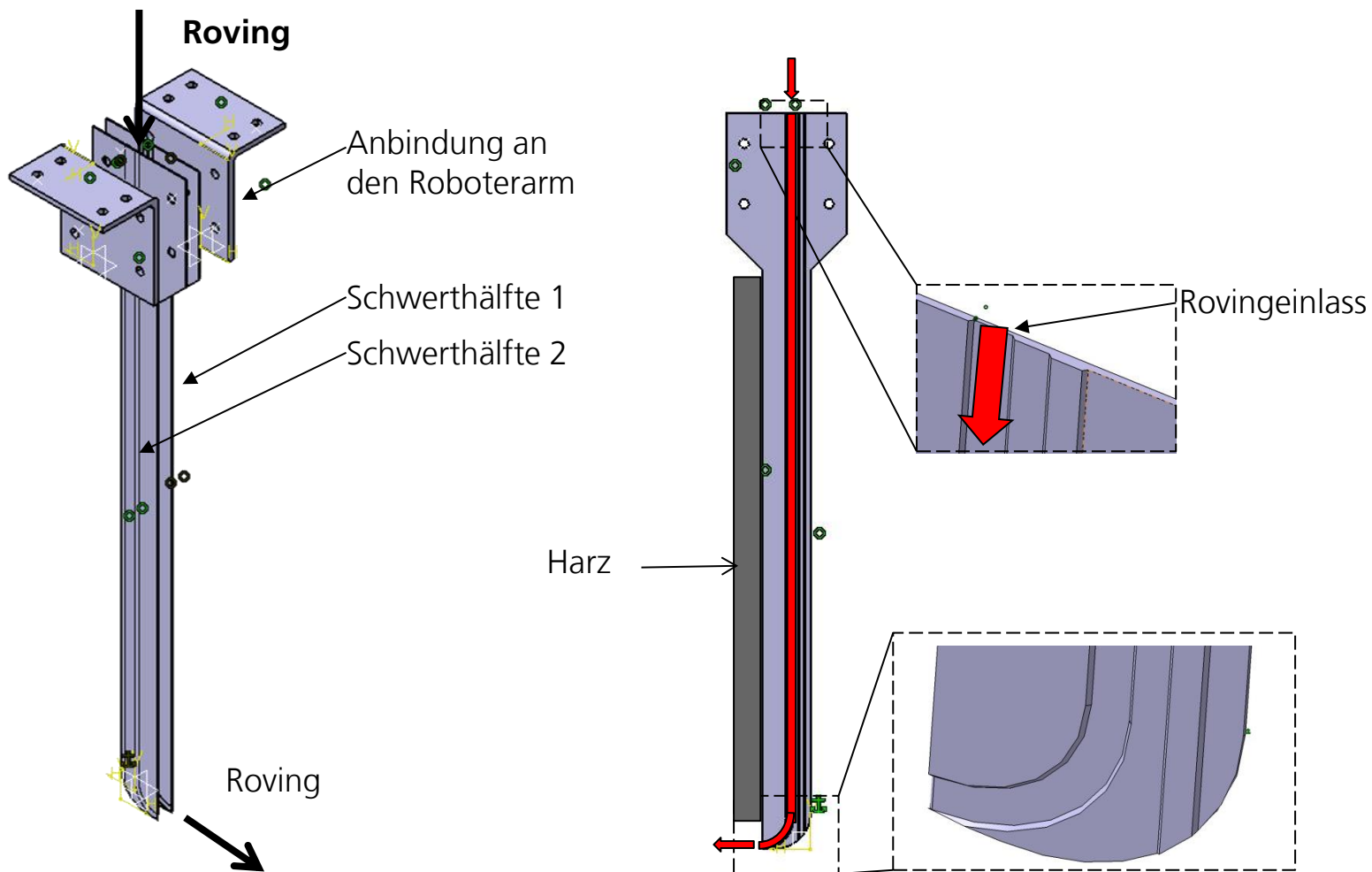


Nachweise:

- Maximaldruck (500 bar & 700 bar)
- Druckzyklen
(10 bar-250 bar → 500 000 Zyklen)



Teilsystem 3D-Umfangswicklung Werkzeug



Teilsystem 3D-Umfangswicklung



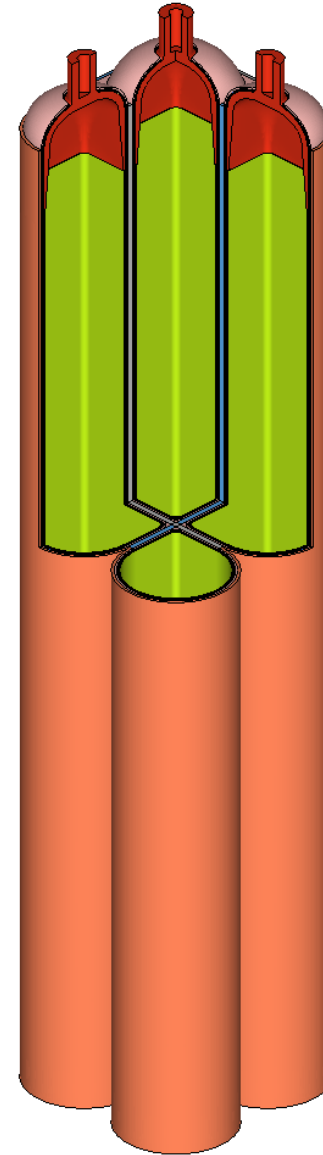
- Eigens entwickeltes Werkzeug, 2 mm Breite und 500 mm Länge
- Erste Versuche Erfolgversprechend



Simulation des Multizellers

Herausforderungen

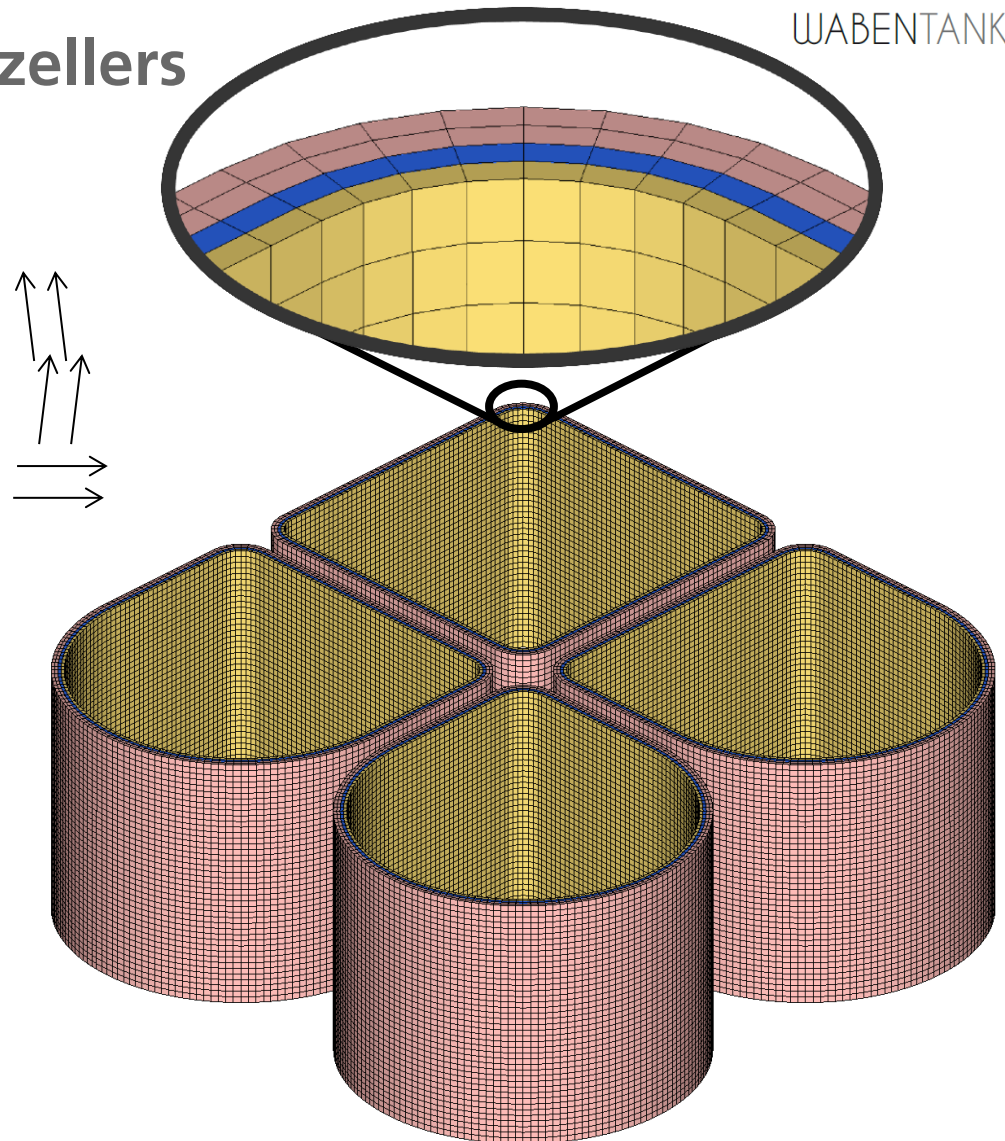
- Darstellung des Lagenaufbaus
- Abbildung der Faserorientierung
 - Kuppelbereich
- Auswertung nach VDI2014



Simulation des Multizellers

CFK-Liner-Wicklung

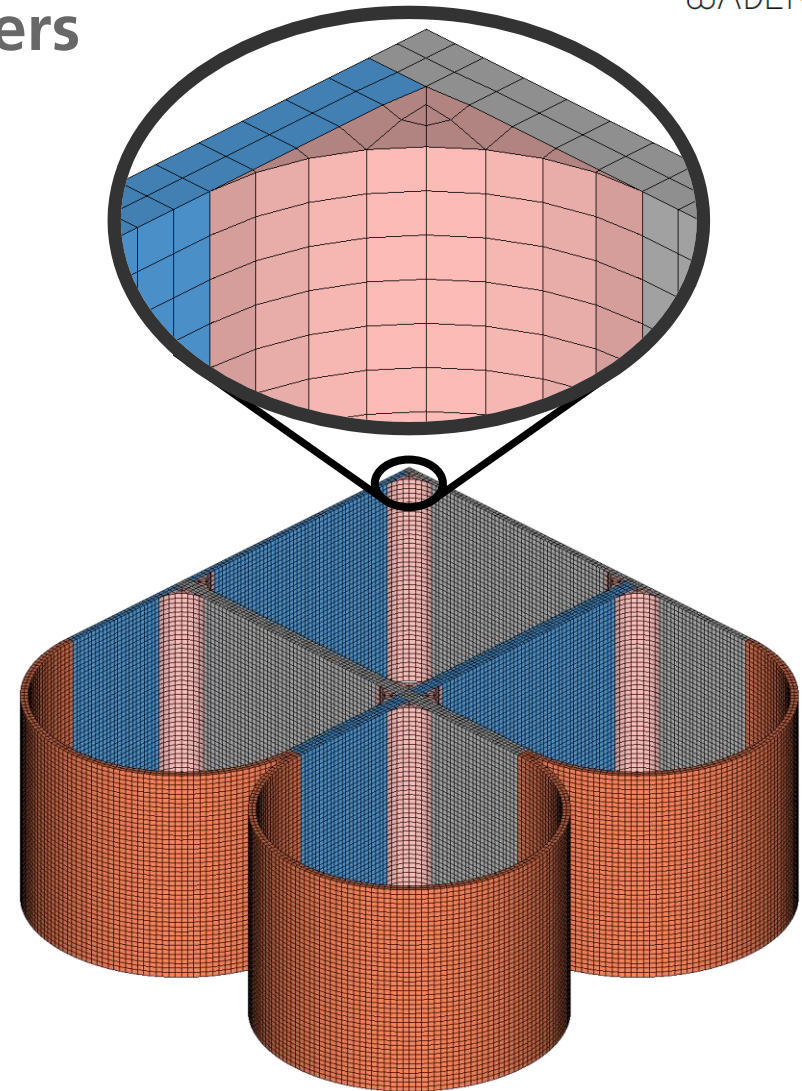
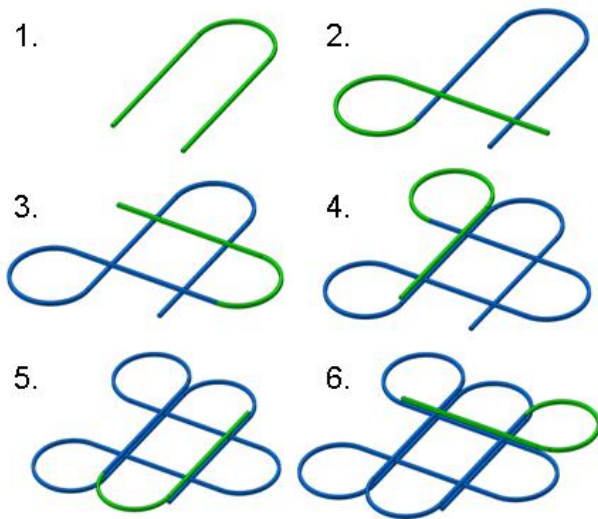
- Aufbau der Liner-Wicklung
 - +7° -Wicklung (gelb)
 - -7° -Wicklung (blau)
 - 90° -Wicklung (rosa)



Simulation des Multizellers

3D-Umfangswicklung

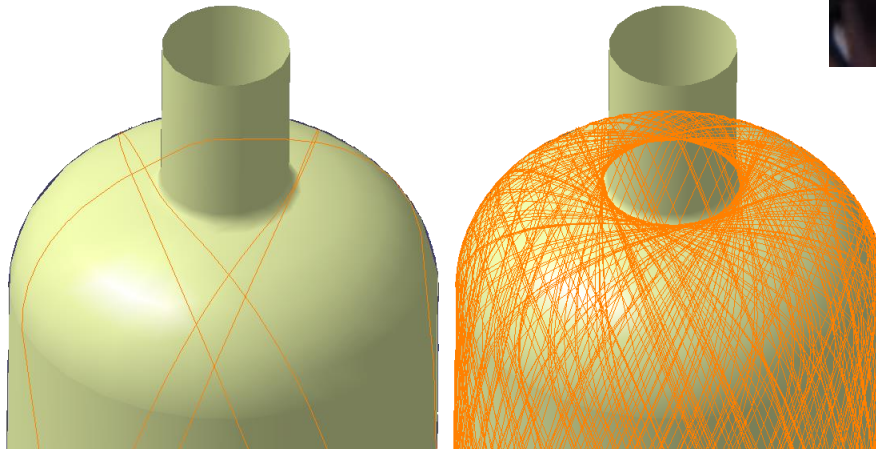
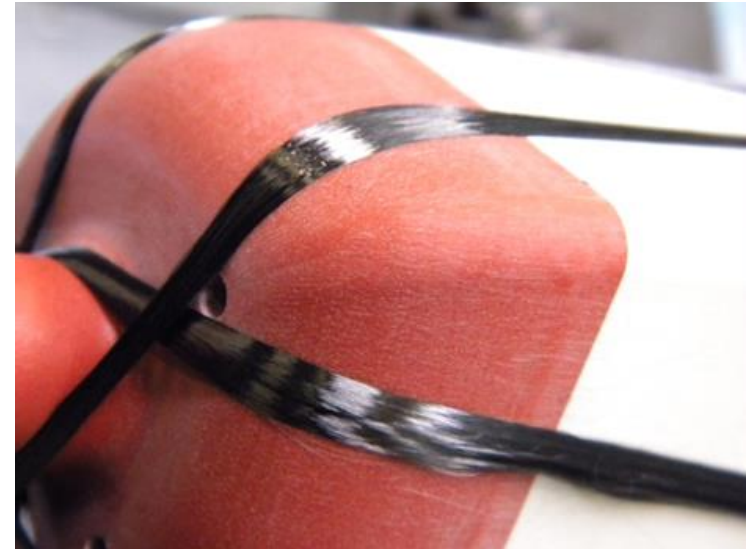
- Harzfüllungen zur Abstützung
- Elementdopplung beider Orientierungen im Kreuzbereich



Simulation des Multizellers

fertigungsbedingte Faserorientierung

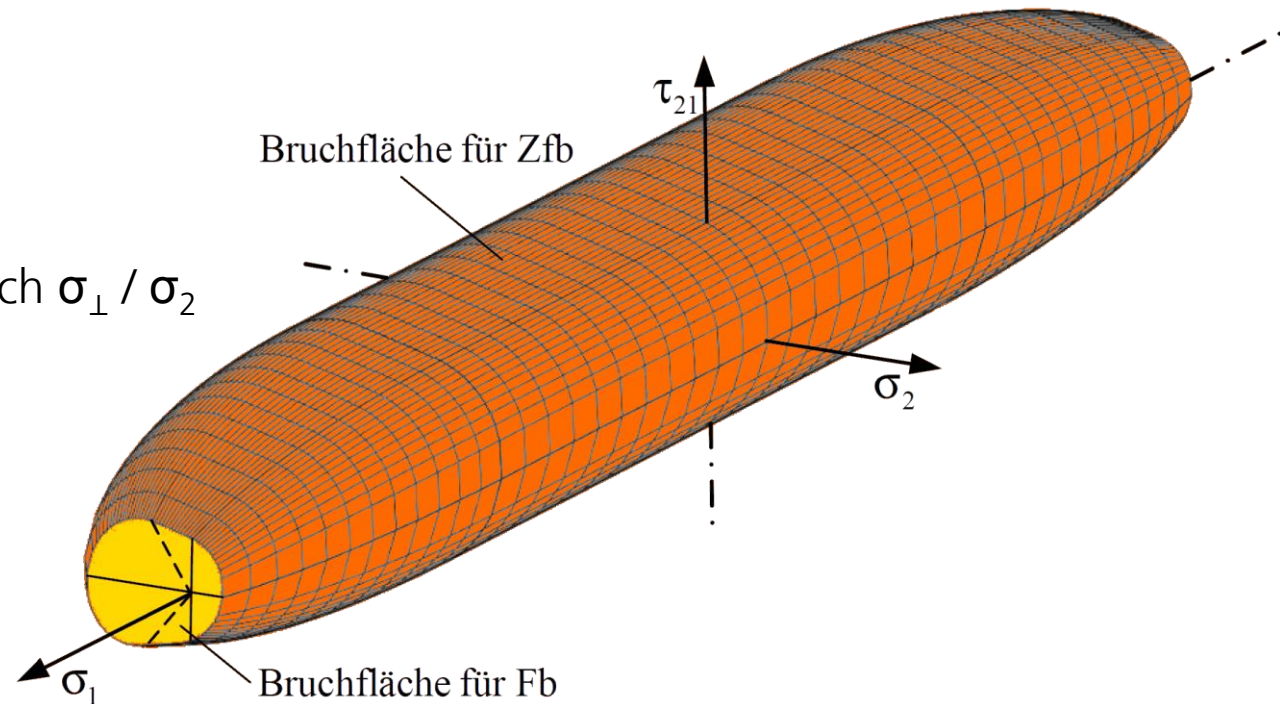
- Abbildung der Faserorientierung im Kuppelbereich:
 - Fertigungssimulation
 - CAD: Erstellung von „Orientierungslinien“



Simulation des Multizellers

Auswertung nach VDI2014

- Unterscheidung nach Versagensmodus
- Faserbruch $\sigma_{\parallel} / \sigma_1$
- Zwischenfaserbruch $\sigma_{\perp} / \sigma_2$



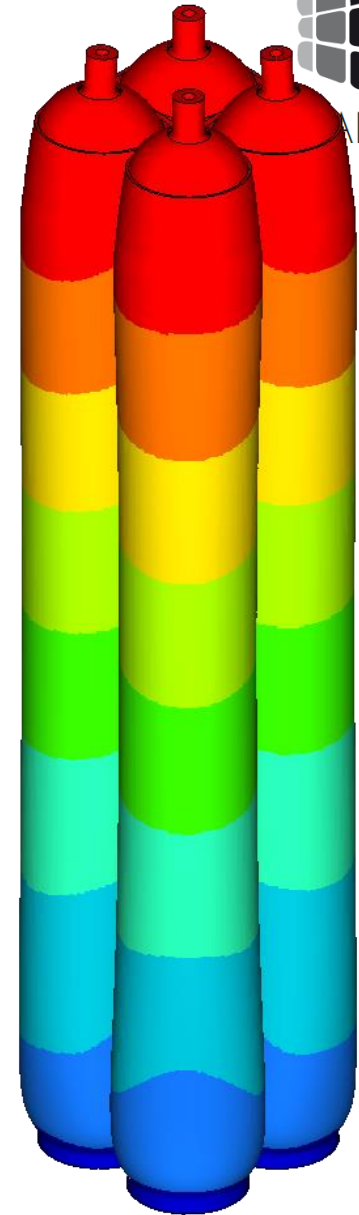
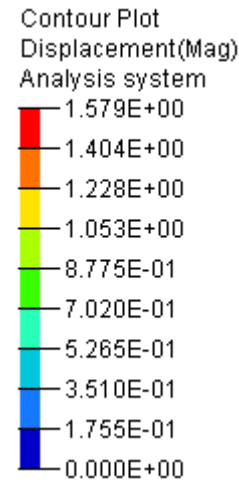
Quelle: Schuermann „Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden“



Simulation des Multizellers

Verschiebung / Plausibilität

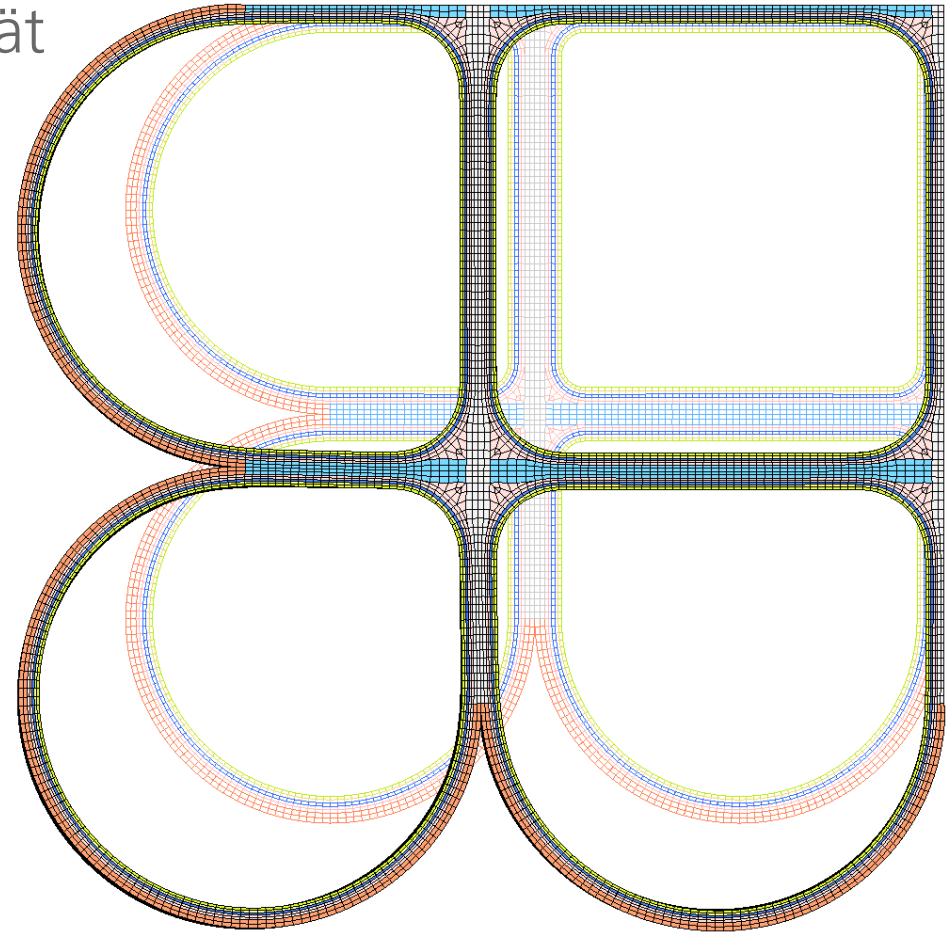
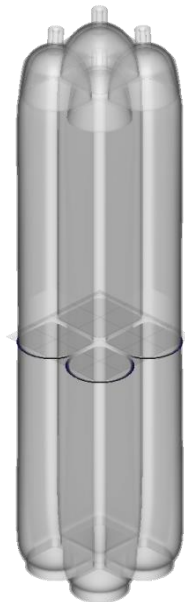
- Gleichmäßige Verschiebung
- Symmetrisches Verformungsbild
- Versteifung im Kuppel-/ Mittelbereich



Simulation des Multizellers

Verschiebung / Plausibilität

- Gleichmäßige Verschiebung
- Symmetrisches Verformungsbild
- Versteifung im Kuppel-/ Mittelbereich



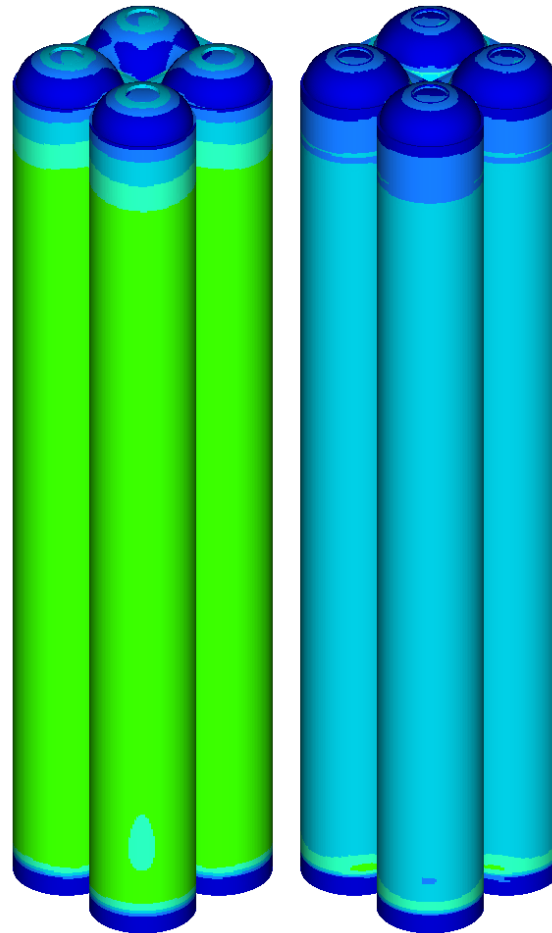
Verschiebungsüberhöhung x50



Berechnungsergebnisse

Faserbruchkriterium

- Homogen
- Rückgang in der Kuppel
- Rückgang im Verbindungsbereich



Zwischenfaserbruch

- Homogen
- Rückgang in der Kuppel
- Rückgang im Verbindungsbereich
- Spitzenbereich im Übergang



Zusammenfassung



Herstellung dichter Liner ✓



Berstdruck Monozeller ✓



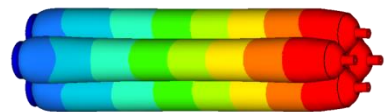
Drucknachweis Verbindungskonzept ✓



Wickeln Rotationsunsymmetrischer Liner ✓



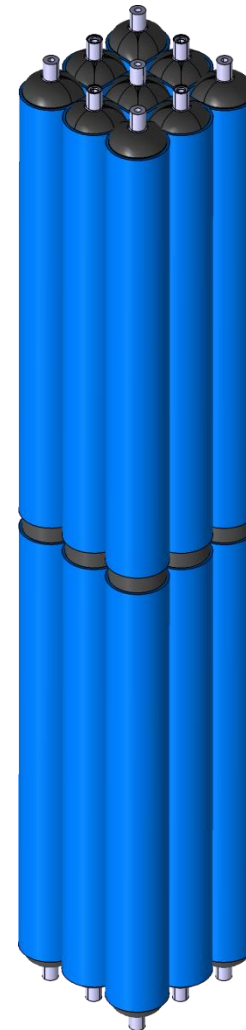
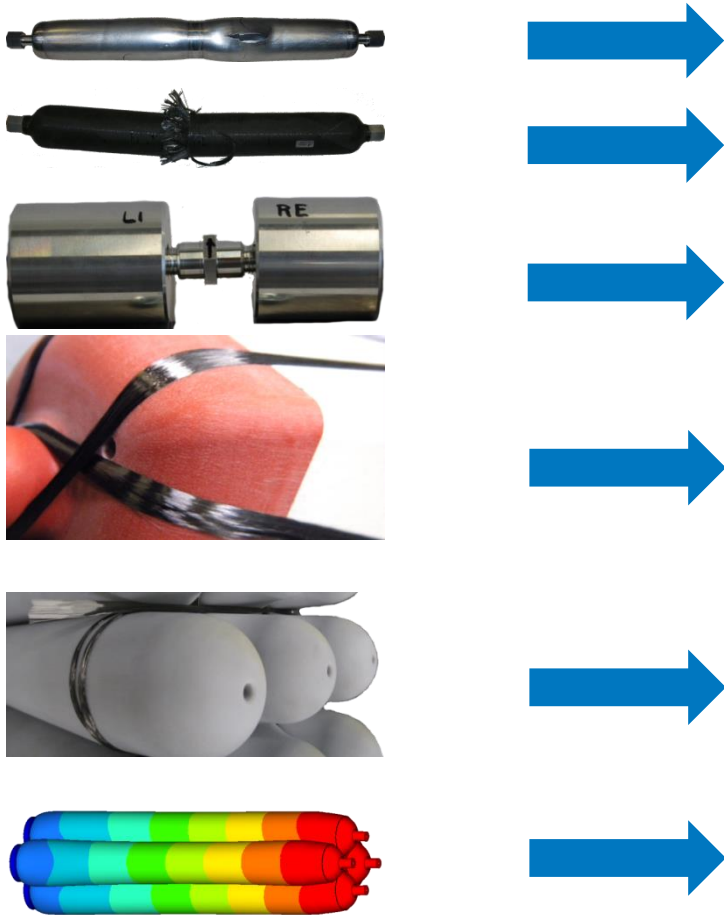
3D-Wicklung durchgeführt ✓



Simulation Gesamtsystem ✓



Zusammenfassung

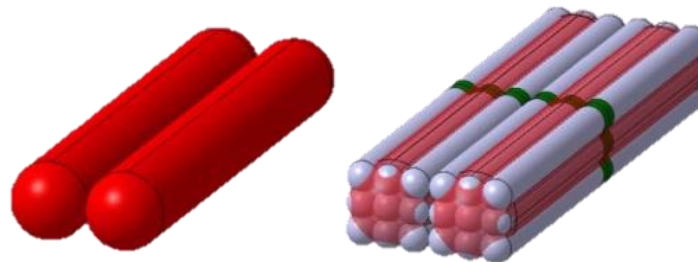


Fertigung aktuell in Arbeit

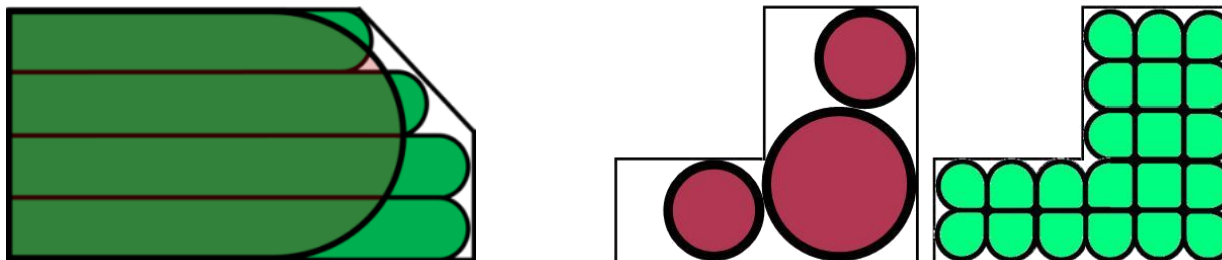


Potential des DLR-Wabentanks

- Der bauraumadaptive, freiformbare und modulare DLR-Wabentank kann ein Enabler für CNG-Fahrzeuge werden
- Kundenvorteil durch die Reichweitenerhöhung
- Volumengewinn des Modells → **+18%**; $m/V=0,46\text{kg/l}$



→ Dabei ist die **Bauraumadaptivität noch nicht beachtet!**





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

matthias.konzelmann@dlr.de

diego.schierle@dlr.de

