

VDI-Wissensforum: „Tank- und kraftstoffführende Systeme“ Braunschweig 4. und 5. Juli 2013

„Freiformbarer DLR-Wabentank für die CNG Anwendung“

Dipl.-Ing. Roland Schöll, MBA
Dipl.-Ing. Diego Schierle
Prof. Dr.-Ing. Horst E. Friedrich
DLR Institut für Fahrzeug-
konzepte, Stuttgart



Wissen für Morgen

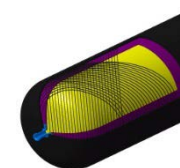
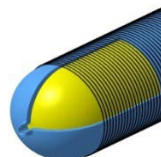
Inhalt

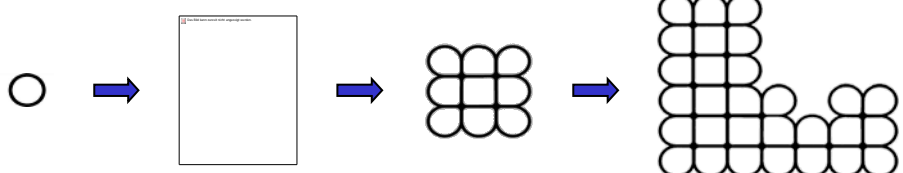
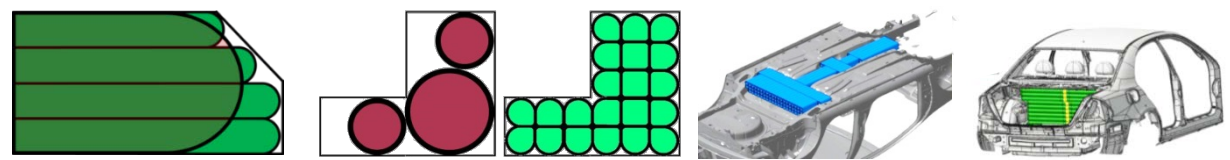
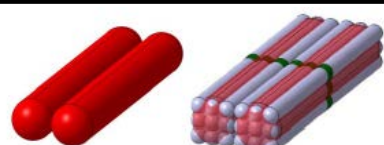
1. Konzept des DLR-Wabentanks
2. Teilsysteme und deren Funktion
3. Herstellungsverfahren
4. Zell-Entwicklung
5. Zell-Verbindung
6. 3D-Wicklung
7. Lastenheft
8. Zusammenfassung und Ausblick



1. Konzept des DLR-Wabentanks

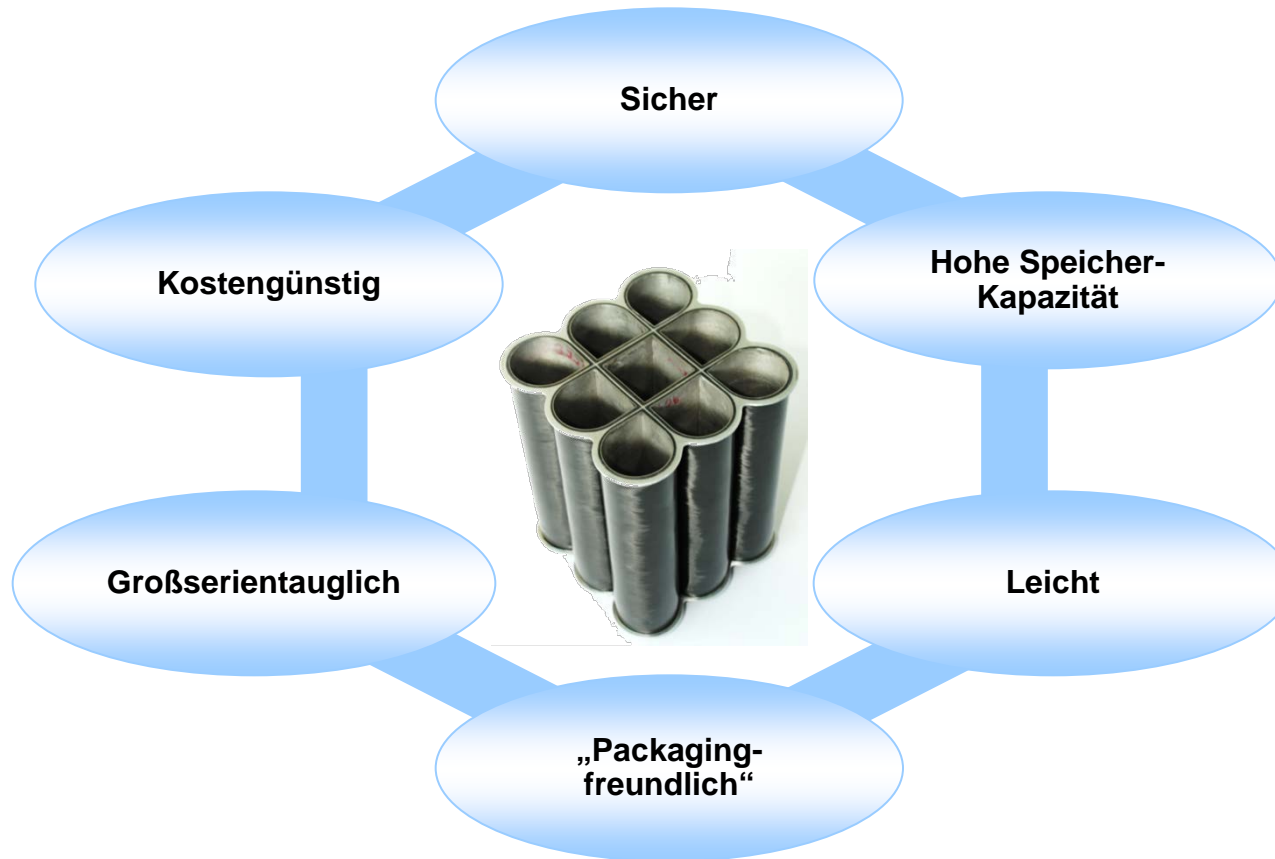
Standardbauweise und DLR-Wabentank



	CNG 1	CNG 2	CNG 3	CNG 4
Wicklung		Umfangswicklung	Spiralwicklung	Spiralwicklung
Gewichtseffizienz	0,95 - 1,15 kg/l	0,75 - 0,85 kg/l	0,38 - 0,68 kg/l	ca. 0,36 kg/l
Prinzip: Patentiertes DLR Grundkonzept				0,46 kg/l
Bauraum- Variabilität				+38%
Projekt 2012-2014 Gefördert durch Helmholtz				<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Wabentank vs. Flaschentanks</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Konzept ausarbeiten</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Automat. Fertigung und Validierung</div> </div>



1. Konzept des DLR-Wabentanks



2. Teilsysteme und deren Funktion

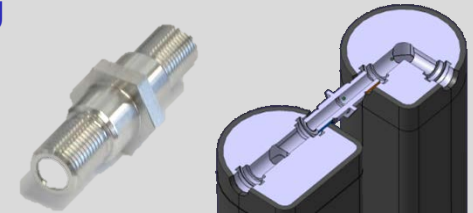


1. Zelle:

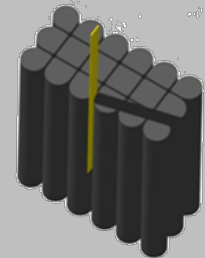
- 1. Liner → Gasdichtigkeit
- 2. Umwicklung → Axiale Belastung



2. Zellenverbindung: → Gasversorgung



3. 3D-Wicklung: → Radiale Belastung

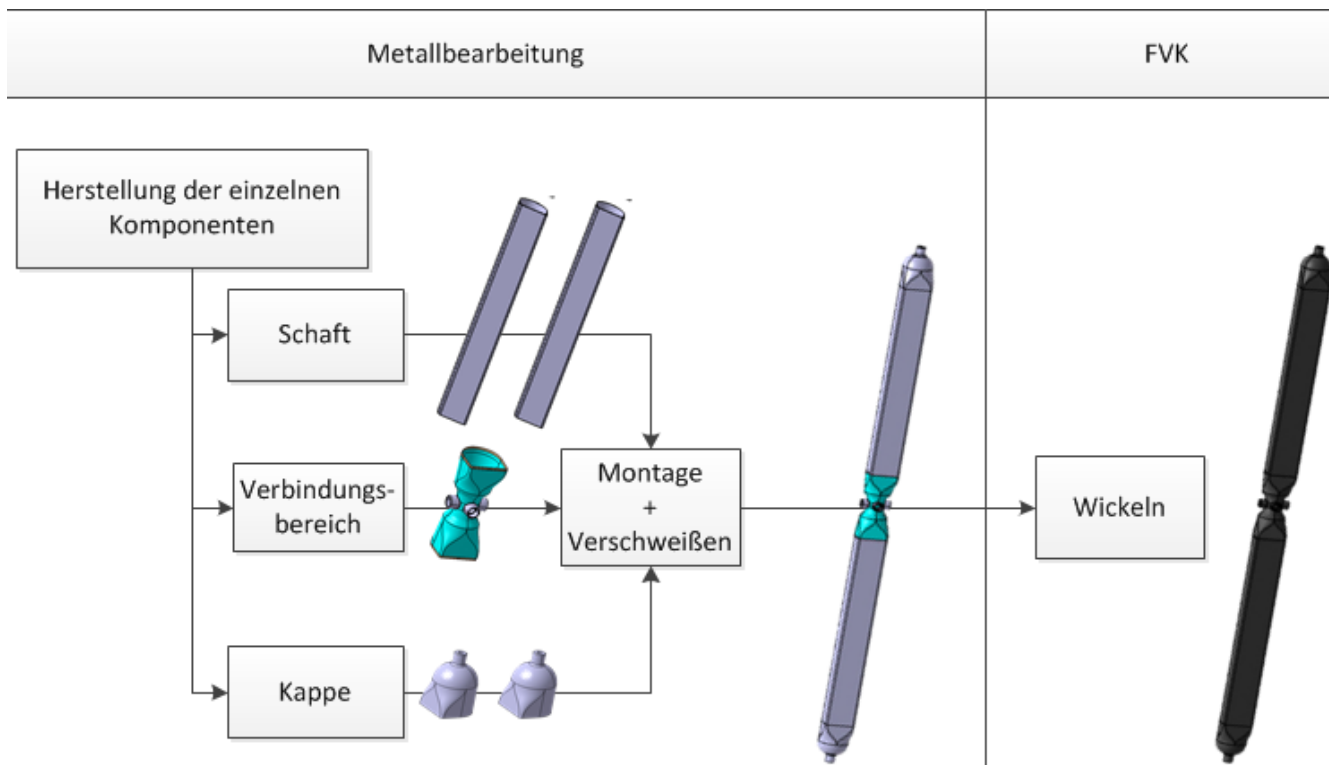


DLR-Showtank Stand 2011



3. Herstellungsverfahren

Zellen-Herstellungsverfahren

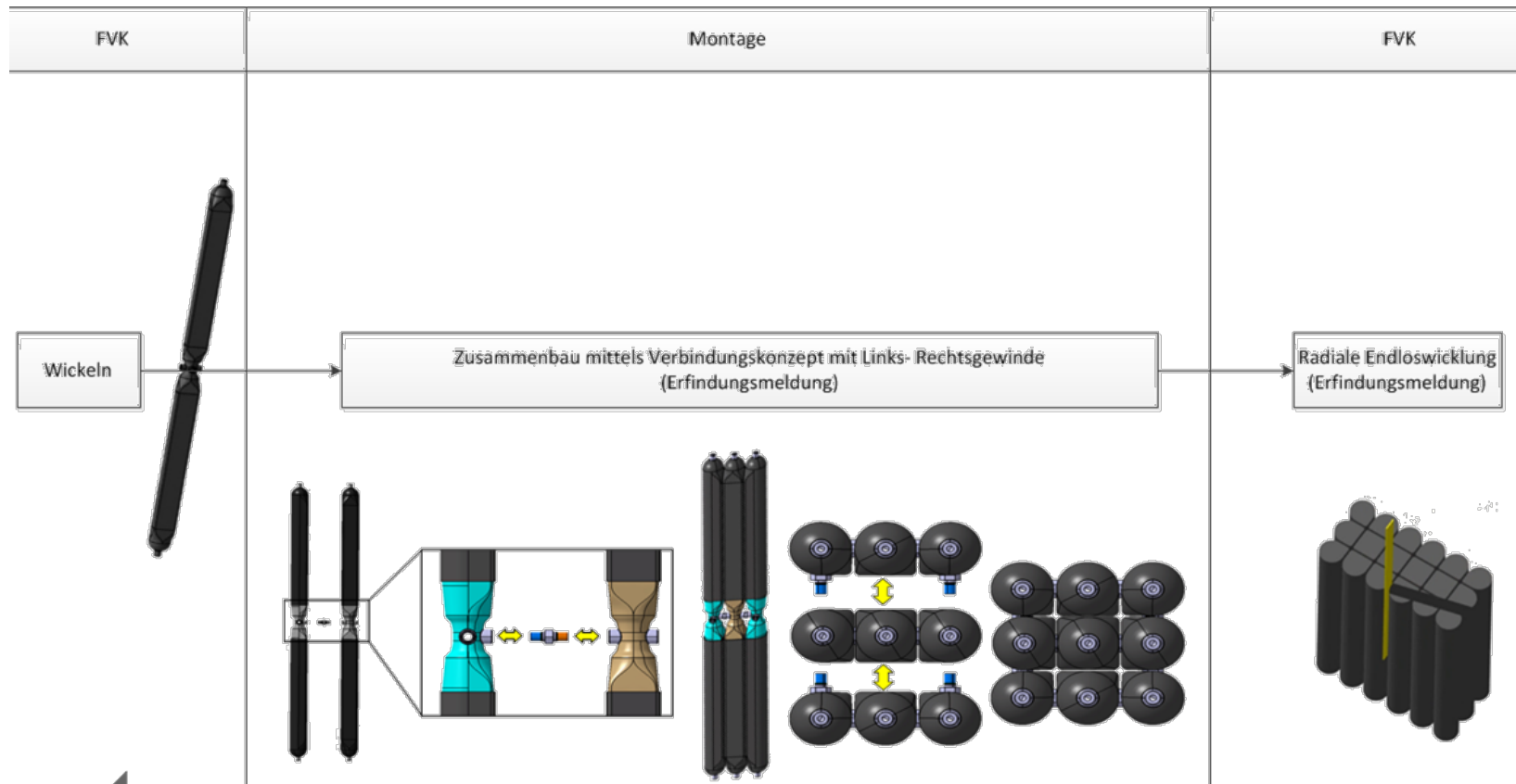


4. Herstellungsverfahren



4. Herstellungsverfahren

Wabentank-Herstellungsverfahren



4. Zellenentwicklung

Lineruntersuchung



	Generation 1 (Dez. 12)	Schweißnaht- untersuchung	Generation 2 (Mai.13)
Modell/Fertigung Gen.1			
Ergebnisse Gen. 1			
Erkenntnisse Gen.1			
Schweißnaht			
Modell/Fertigung			
Erkenntnisse Gen. 2			

Erkenntnisgewinn



Monozeller Gen. 1

Fertigung und Prüfung

0,5 mm Aluminium-Liner



CFK-Umwicklung



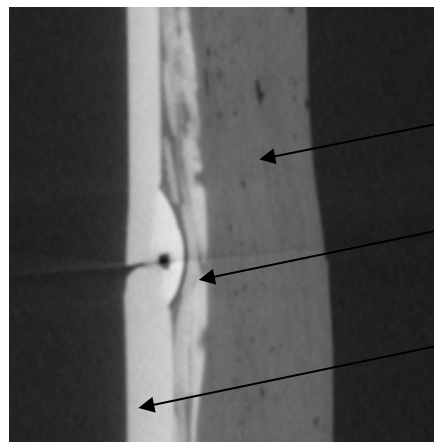
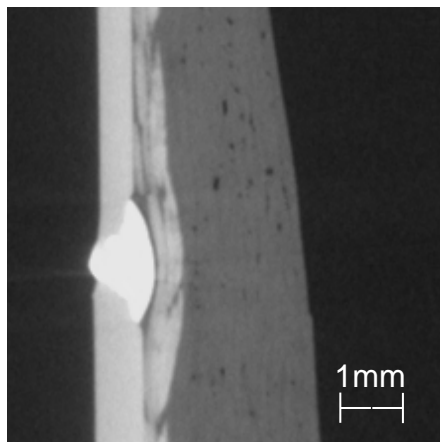
Berstdruckversuche



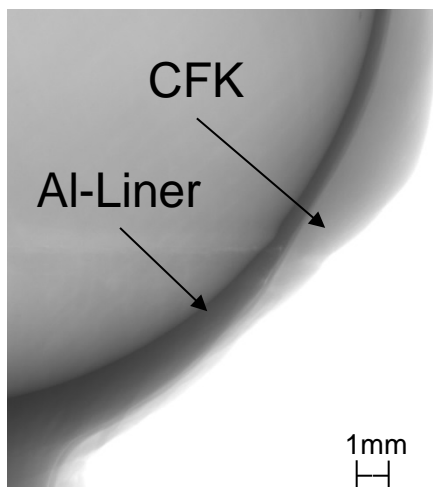
Undichtigkeit und Versagen in den Kuppelbereichen



Computertomographie



CFK
GFK
Al-Liner



Erkenntnis:

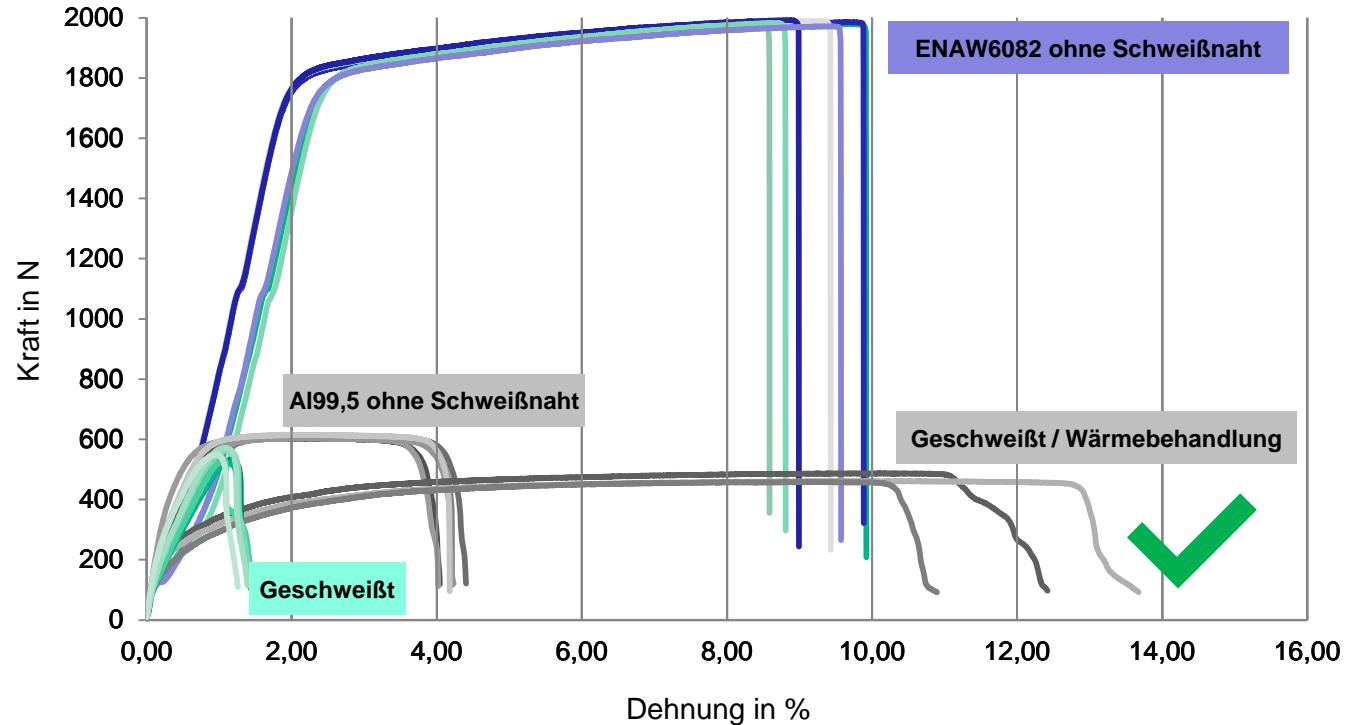
- Schweißnähte auf Stoß haben keine ausreichende Qualität!
- Laminataufbau im Kuppelbereich nicht optimal

Folge:

- Schweißnahtuntersuchung an Zugproben und Liner
- Stoßverbindung sind zu vermeiden
- Isotensoide Wicklung ermöglichen



Schweißnahtuntersuchungen ENAW6082 / Al99,5



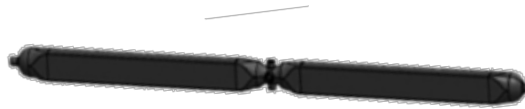
Die geschweißten Proben dehnen sich um $\epsilon \sim 1\%$ → Risiko!

Durch eine anschließende Wärmebehandlung ist $\epsilon > 10\%$! ✓



4. Zellenentwicklung

Lineruntersuchung

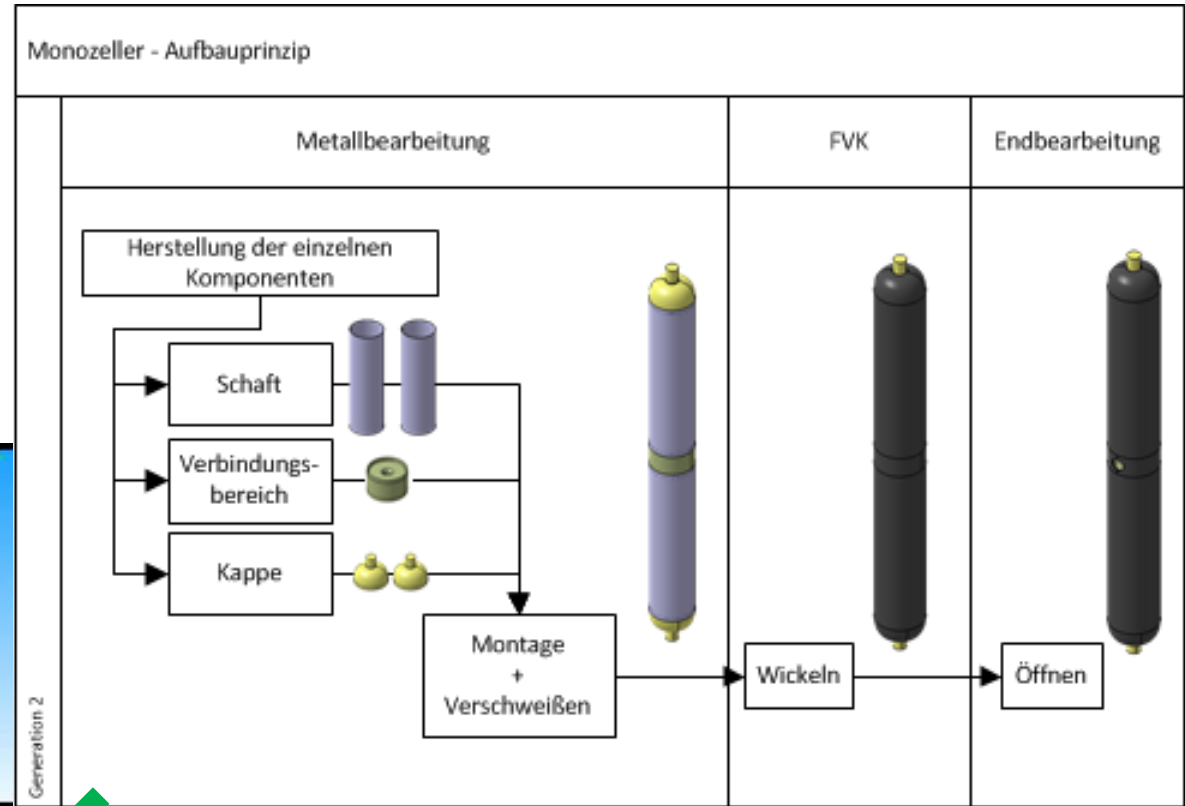
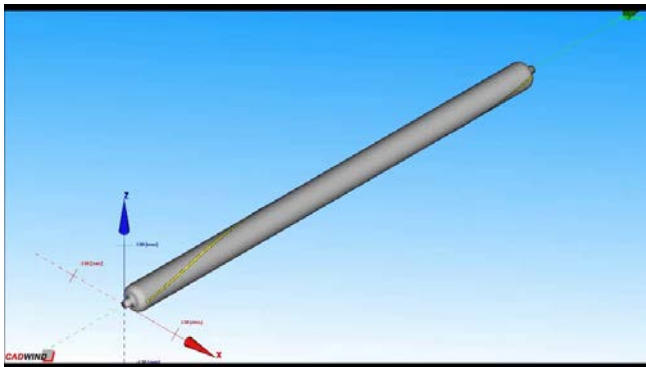


Erkenntnisgewinn		Generation 1 (Dez. 12)	Schweißnahtuntersuchung	Generation 2 (Mai.13)	
	Modell/Fertigung Gen.1	Folie			
	Ergebnisse Gen. 1	<ul style="list-style-type: none"> Laminatversagen Undichtigkeit 			
	Erkenntnisse Gen.1	Gasdichtigkeit und Laminataufbau überprüfen			
	Computertomographie: Schweißnahtuntersuchung, Geometrieanpassung (Generation 2)				
	Schweißnaht		Wärmebehandlung		
	Modell/Fertigung				
	Erkenntnisse Gen. 2				

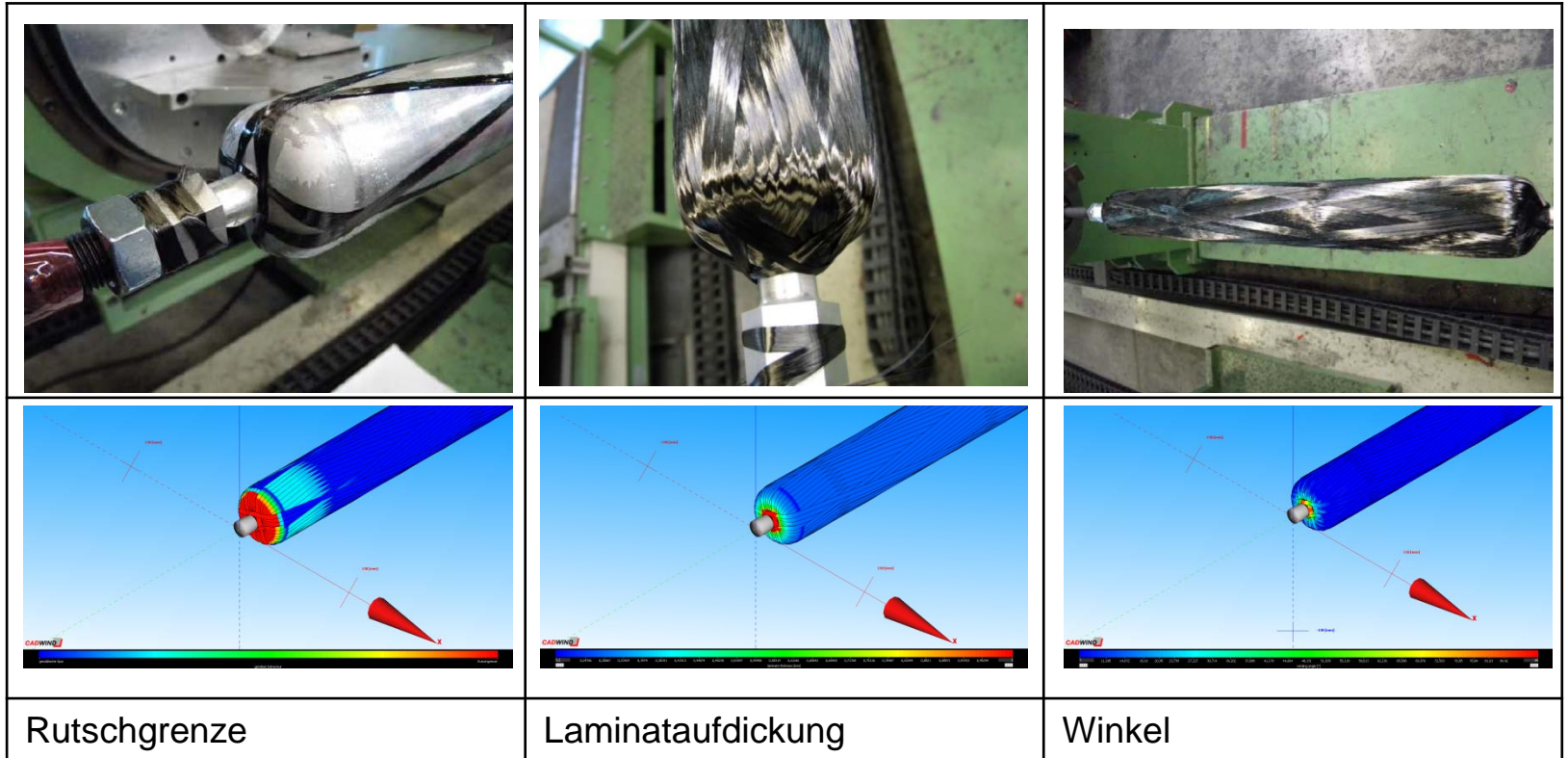


Monozeller Generation 2

„Isotensoide“ Wicklung ermöglicht durch fehlende Verjüngung und angepasste Kappengeometrie!





Monozeller Generation 2



Simulation mittels „CADWIND“ Software → Simulation und Realität stimmen überein!





Erkenntnisse Generation 2

Ohne Wärmebehandlung	Mit Wärmebehandlung
	
<ul style="list-style-type: none">• <u>Keine plastische Deformation</u> erkennbar• Riss in der Schweißnaht	<ul style="list-style-type: none">• <u>Plastische Deformation</u> >10% → Es ist gewährleistet, dass der Liner sich an das Laminat presst• <u>Kein Schweißnahtversagen</u>



4. Zellenentwicklung

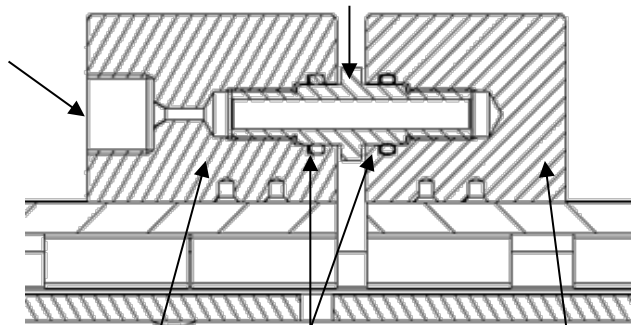
Monozeller Gen. 2, Berstversuche	
	
Liner i.O. // ✓ Laminatversagen im Schaft	Markierungen = „Shrinktape“ Einkerbung in das Laminat// Liner i.O. // ✓ Laminatversagen im Schaft



5. Zellenverbindung

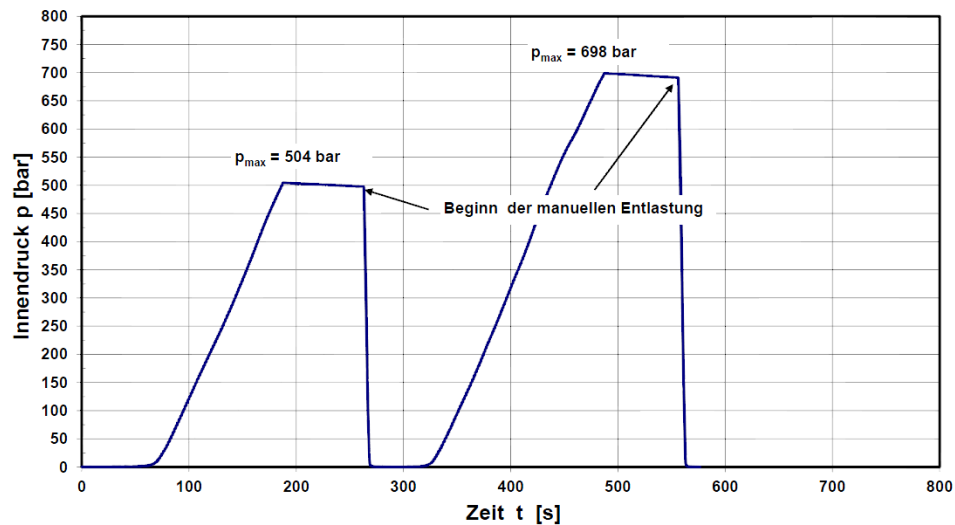


Zellverbindung



Zelle 1 O-Ringe

Zelle 2



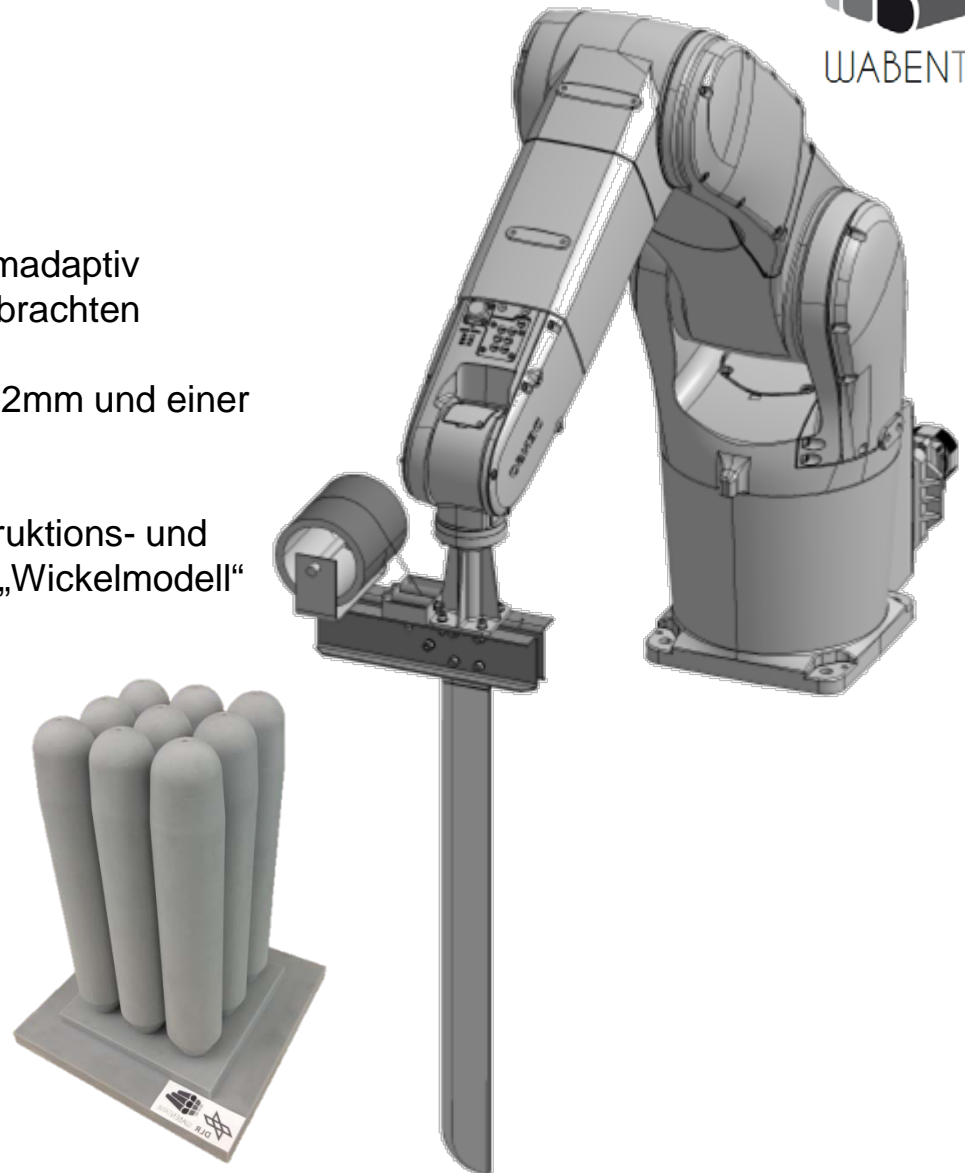
Die Zellverbindungen wurden in einem vereinfachten Prüfaufbau validiert!

- **Druckversuche** bis 500 bar i.O. ✓
- **Zyklusversuche** (10-260 bar) 500.000 Zyklen i.O. ✓



6. 3D-Wicklung

- Robotergeführt und dadurch bauraumadaptiv
- Nasswicklung durch zusätzlich angebrachten Harzkanal
- „Wickelschwert“ mit einer Breite von 2mm und einer Länge von ca. 500mm
- Werkzeug befindet sich in der Konstruktions- und Fertigungsphase und wird an einem „Wickelmodell“ erstmalig in Betrieb genommen





7. Lastenheft

- Berstversuche
- Druckzyklen-Tests
- Auslagerungsversuche
- (Feuerschutzprüfung, Beschuß...)

DLR Wabentank		Anforderung		Erläuterung		Bemerkung	
F/W	Überbegriff						
F	Einbau	Tank muss mit dem Fahrzeug befestigt werden		Es sind die Anbringungsstellen für alle wesentlichen Kräfte anzugeben.	Metalller	Der Tank atmungsfähig bei 12% im Boden- oder Vakuum aufweisen.	
F		Sicherheit (Beanspruchungen sind zu vermeiden)		Der Tank darf nicht ständig überlastet oder mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sein (Nicht dem Abrieb oder derg. Ladegut ausgesetzt).	Metalller	Vollautomatisierte Fertigung während der Arbeit nicht zustande kommt (es ist automatische Fertigung vorzuziehen).	
F		Gelegentliche Beanspruchungen (Öfen aufzutreten)		Wasser, Salz, UV-Strahlung des Sonnenlichts, Stoßschlag, Lösungsmittel und Betriebsmittel	Metalller	Nur als Fremdkörper und Werkstoffe auslagern. Metallik, Dentalkase Umstände ist zu vermeiden.	
F	Betriebsbedingungen	Abreißdruck bei 15°C	335Pa			Nach zu definieren.	
F		Mittlerer Fülldruck (nach dem Füllen) unabhängig der Temperatur	28MPa		F	FVK	Der tragende, korrosionsfreie Kunststoff ist so zu wählen, dass der über vollständig besteht ist. Der Tank soll mit einem Meer- und Lufttyp gefertigt werden.
F		Gastemperatur im Tank (nicht beim Füllen oder Entleeren)	Zwischen -40°C und +65°C			FVK	Der FVK soll vollautomatisiert gefertigt werden. Falls eine vollautomatisierte Fertigung während der Arbeit nicht zustande kommt ist ein automatisierbare Fertigungsweg zu wählen.
W		Tanktemperatur	Zwischen -40°C und +22°C				
F	Sicherheit	Lebensdauer	1 000 Nachfüllungen pro Jahr und 15 000 Nachfüllungen insgesamt.				
F		Leck- oder Beschuss	Schwerdichtig wenn die Dauerfestigkeit weniger als 45 000 Druckzyklen ergeben hat. Mindestdruck 1MPa, Höchstdruck 20MPa und einer Response von höchstens 10 Zyklen pro Minute. Versagen infolge Leckage.				
F		Lebensdauer bei CN2	Ausbreitungscharakteristika der Betriebsbedingungen ist zu überprüfen, wobei jeder Inzidenzfall mit Ultraschall oder gleichwertiger Methode zu prüfen ist.				
F	Über	Zugeigenschaften Aluminiumler	Dehnung des Aluminiumlers liegt über der des CN2.				

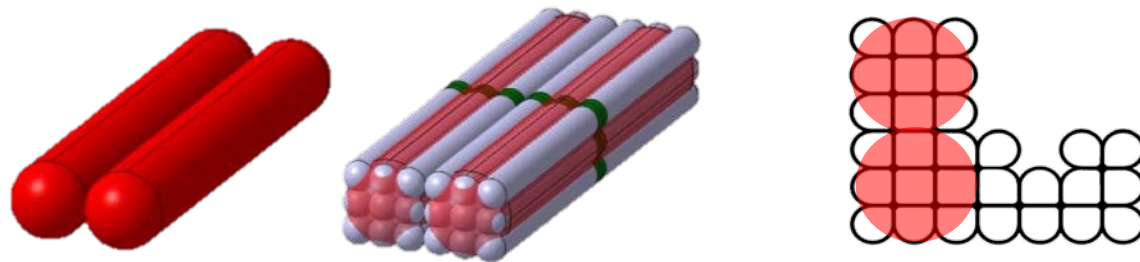
DLR Wabentank		Anforderung		Erläuterung		Bemerkung		
W		Bestandprüfung von Aluminium	Nach ISO 9101, Anlage A				erarbeiten.	
W		Förderung der Einbildung von Aluminium	Nach ISO 9101, Anlage A		Tank		Nach zu definieren.	
W	Fasen	Glas-, Keramik- oder Kohlenstofffasern	Nach der DLR 101 und andere Fasern nicht anzuwenden.		Glasicht	Tank	Die hergestellten Fasern müssen eine hohe Oberflächensteife vorweisen. Diese Fasern durch ein Ausblättern in einer bereits bestehenden Form erstellt werden.	
F		Korrosion- oder chemische Bestehen	Bei Kohlenstofffasern ist die Korrosionsbeständigkeit zu vermeiden.			Tank	Nachzu definieren. Mit CN200 verträglich.	
W		Spannungszustände	Spannungszustände sind der Druckprüfung zu definieren				Muss an unterschiedliche Wabentankgeometrien angepasst sein (oder große Standardbauweise folgen).	
W		Bestandprüfung von Aluminium	Nach ISO 9101, Anlage A		Tank		Beurkundungsdatum.	
W		Fasen	Glas-, Keramik- oder Kohlenstofffasern	Nach der DLR 101 und andere Fasern nicht anzuwenden.		Glasicht	Tank	Makler herstellen.
F		Korrosion- oder chemische Bestehen	Bei Kohlenstofffasern ist die Korrosionsbeständigkeit zu vermeiden.			Tank	Nach zu definieren.	
W		Spannungszustände	Spannungszustände sind der Druckprüfung zu definieren				Hydrostatische Druckprüfung.	

1. Bei Drücken 505 über Normatmosphärendruck darf die Drucksteigerungsgrenze 1,4 MPa nicht übersteigen. Ist die Rate über 250 MPa/s muss im Konstruktionsbereich 5 Sekunden gehalten werden.
 2. Der statische Berstdruck ist festzusetzen. Mindestens 47 MPa.
 3. Tank darf überlastet werden.
1. Mit nichtkorrosiven Flüssigkeiten (DL stabilisiertes Wasser).
 2. Mindestdruck 2 MPa, Höchstdruck 20 MPa und einer Frequenz von höchstens 10 Zyklen pro Minute.
- Zahl der Zyklen und Versagensrate ist festzusetzen.
- Der Tank mit allen notwendigen Bauteilen ist einem direkten Feuer ausgesetzt werden. Es darf nicht zu einem Bersten kommen.

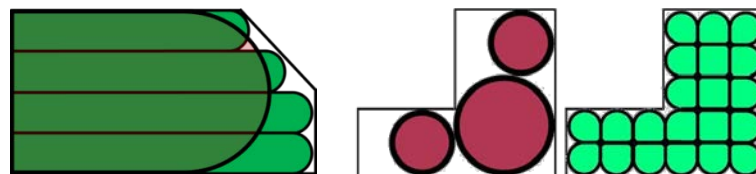


8. Zusammenfassung und Ausblick

Volumenvergleich Flaschentanks vs. DLR-Wabentank (ungünstigste Vergleichsvariante für den DLR-Wabentank!)



→ Volumengewinn des Modells → **+18%**; $m/V=0,46\text{kg/l}$



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



Vielen Dank für Ihr Interesse

Dipl.-Ing. Roland Schöll, MBA

roland.schoell@dlr.de

Tel.:0711/6862-592

DLR Institut für Fahrzeugkonzepte

Stuttgart



Wissen für Morgen