

## CU-Thementag

Faserverbund-Technologien für Rohre, Hülsen, Behälter & Co.

**In die Röhre gucken: Faserverbund einmal anders erleben**

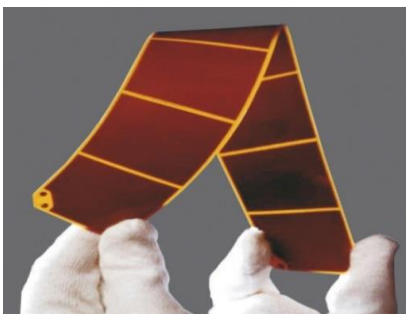
Markus Kleineberg, Matthias Bock, Dirk Röstermundt

# DLR – Institute of Composite Structures and Adaptive Systems (FA)

Director: Prof. Dr.-Ing. Martin Wiedemann  
Vice Director: Prof. Dr.-Ing. Peter Wierach

## Multifunctional Materials

Prof. Dr. P. Wierach

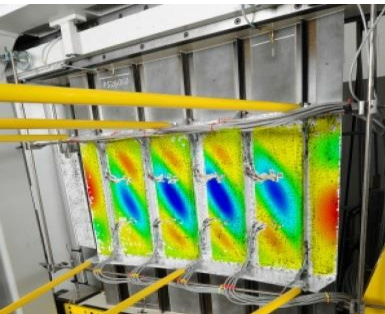


*From materials to intelligent composites*

- Fiber- and nanocomposites
- Smart materials
- Structural health monitoring
- Material characterization

## Structural Mechanics

Dr. T. Wille

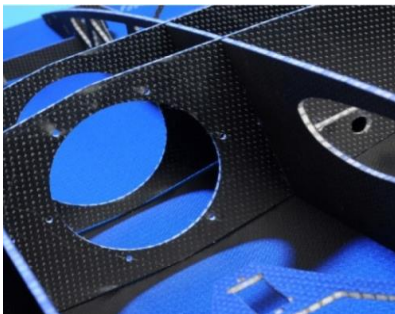


*From the phenomenon via modeling to simulation*

- Global design methods
- Stability and damage tolerance
- Structural dynamics
- Thermal analysis
- Multi-scale analysis
- Process simulation

## Composite Design

Prof. Dr. C. Hühne



*From requirements via concepts to multi-functional structures*

- Design and sizing
- Structure concepts and assessment
- Multifunctional structures
- Shape-variable structures
- Hybrid structures

## Composite Technology

Dr. M. Kleineberg

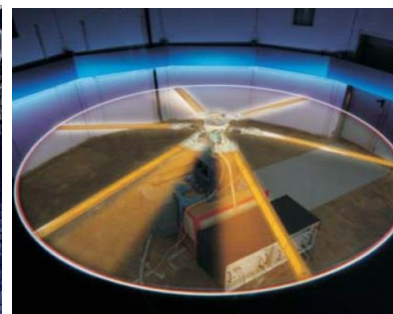


*From the idea via processes to prototypes*

- Manufacturing and assembly strategies
- Digital production network
- Process simulation
- Functional demonstrators
- Design to cost modelling

## Adaptronics

Prof. Dr. H. P. Monner/  
Dr. J. Riemenschneider



*From functional composites to adaptive systems*

- Simulation & demonstration of adaptive systems
- Active vibration control
- Active noise control
- Active shape control
- Self-sufficient systems

## Composite Process Technologies

Dr. J. Stüve



*New methods in industrial scale*

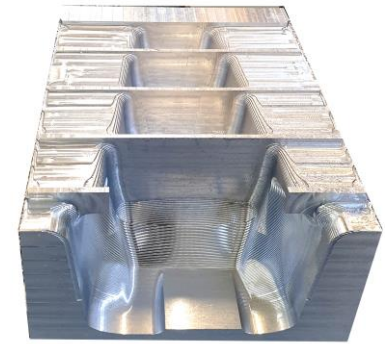
- Automated Fiber placement and Tape Laying
- Online Quality assessment within autoclaves
- Automated manufacturing for mass production
- Simulation methods for process reliability and assessment



# Metall- versus Faserverbundhalbzeuge

## Metallhalbzeuge (typische)

- Metallhalbzeuge werden bereits mit einem ausgewiesenes Leistungspotential bezogen
- Bei Umformung oder volumetrischer Bearbeitung bleibt das Leistungspotential weitgehend erhalten
- Fügen ohne signifikante Strukturschwächung durch Schweißen und Hartlöten möglich



## Faserverbundhalbzeuge (Duromere Matrix)

- Faser und Matrix werden erst während des Fertigungsprozesses zu einem Strukturmaterial und Bauteil
- Umformen und volumetrische Bearbeitung sind kaum möglich oder problematisch (Verspannungszustand)
- Verstärkungsfasern bleiben bei der Fügung getrennt. Kraftübertragung in der Fügezone nur über die Matrix



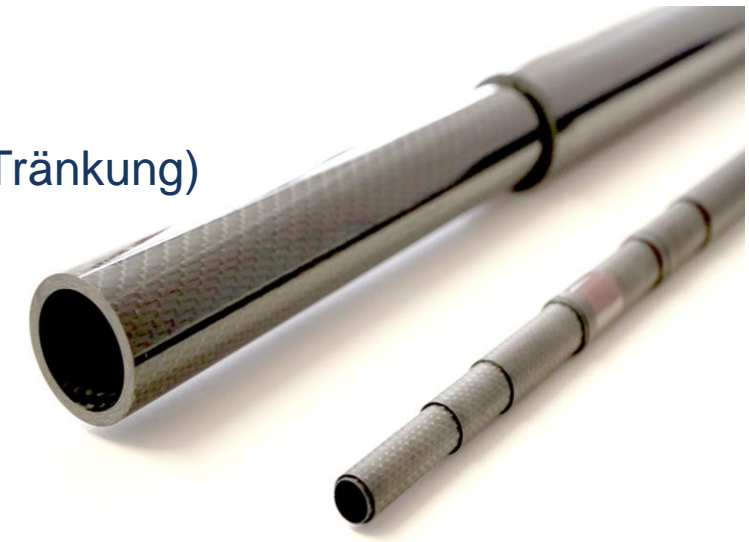
# Das Composite Rohr

**Besonderheit:** Composite Rohre lassen sich mit wenig Abfall und hohem Automatisierungsgrad herstellen.

**Prinzip:** Die Vorspannung beim Umwickeln (pos. Radius) erzeugt eine Kompaktierung des Laminates. Auf eine weitere Kompaktierung (z.B. Autoklav) kann ggf. verzichtet werden.

## Herstellungsoptionen:

- Wickeltechnik (Towpreg, Slitttape, getränkter Roving, trockener Roving + Tränkung)
- Flechttechnik (trockener Roving + Tränkung)
- Ablage von 2-D Halbzeugen (trockenes Gewebe, Gelege + Tränkung)
- Ablage von 2-D Halbzeugen (Prepreg-Gewebe, -UD-Bänder)
- Pultrusion (Roving (trockenes Gewebe, Gelege) + Tränkung)



**Einschränkung:** Bei geodätischer Ablage sind die Faserwinkel besonders bei kleineren Rohrdurchmessern nicht beliebig. I.d.R. lassen sich Faserorientierungen kleiner  $\pm 10^\circ$  nicht darstellen.



# Anwendung

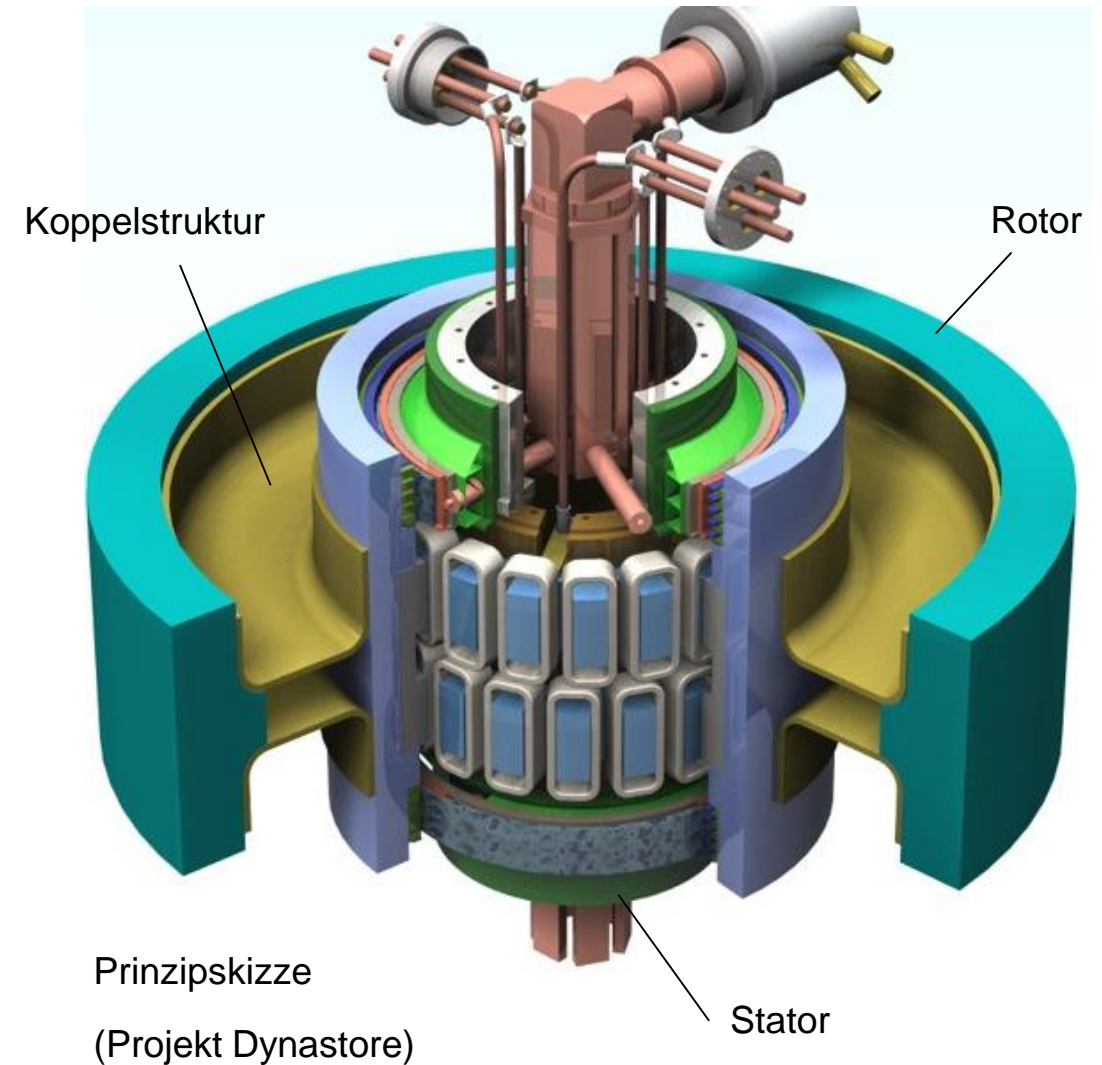
## Schwungrad-Energiespeicher Enersphere

### Überlegung:

- Ziel: 500kW Leistung in 1 min entnehmen
- Berührungslose Magnetlager
- GFK/CFK/Metall Hybridaufbau
- Kühlung über belüfteten Stator

### Ausführung:

- Vakuumdichter Stator mit Polblechen
- 65K Supraleitungs-Lager im Vakuum
- CFK/GFK Hybrid Rotor mit elastischer Koppelstruktur



# Anwendung

## Schwungrad-Energiespeicher Enersphere

### Status:

- Für den Demonstrator wurden 9 Bauteile gewickelt
- Vakuumtest des Stators erfolgreich
- Gesamtaufbau wurde bis 12.000 rpm getestet
- Funktionstest Gesamtsystem

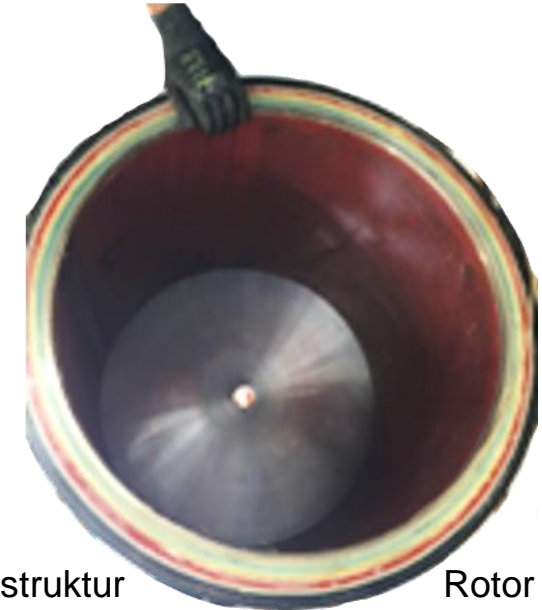
### Ausblick:

- Flywheels als Energiespeicher möglich, aber technische Herausforderung sehr hoch
- Vakuumdichte Wickelstrukturen möglich und nachgewiesen

Stator



Koppelstruktur



Rotor



# Anwendung

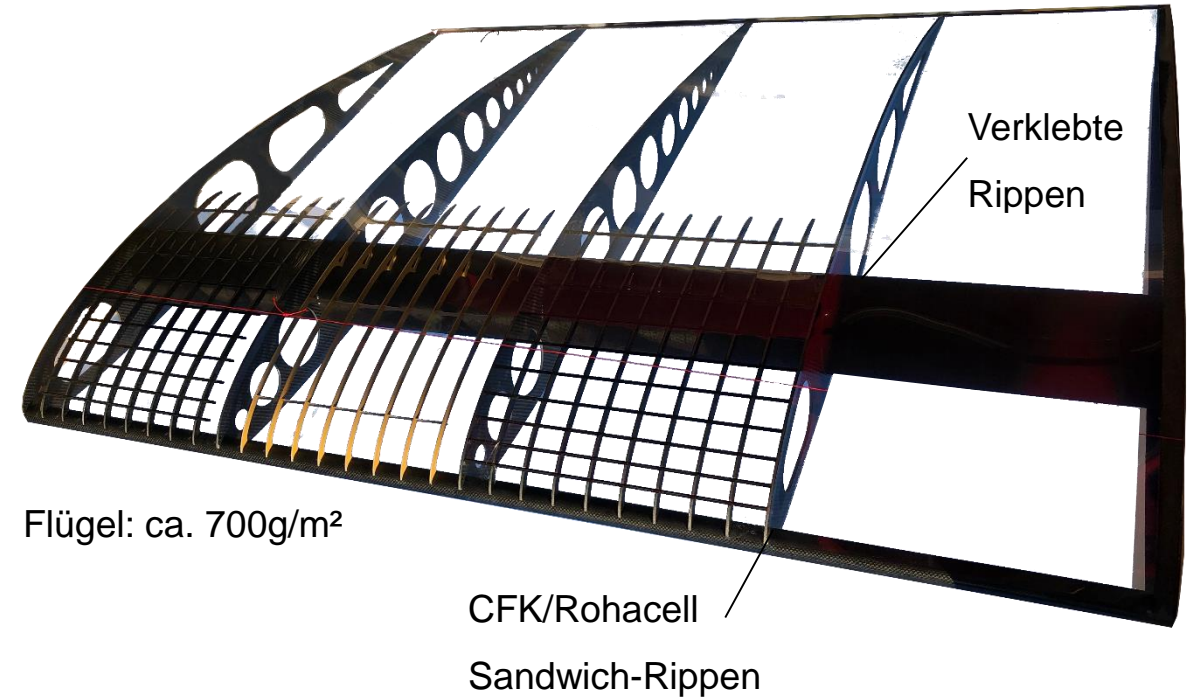
## Rohrholm für Höhenplattform

### Überlegung:

- Leichtbau im absoluten Grenzbereich
  - Kastenholm als Biegeträger besser geeignet
  - Rohrholm vermeidet Spannungsspitzen, lässt sich einfach teleskopisch verlängern und verkleben
- Entscheidung für Rohrholm

### Ausführung:

- Rohr in Prepreg-Wickeltechnik
- Slitttape ¼ Zoll
- UD-Zusatzlagen für die Holmgurte
- Fügung der Rohre über Schäftung



# Anwendung

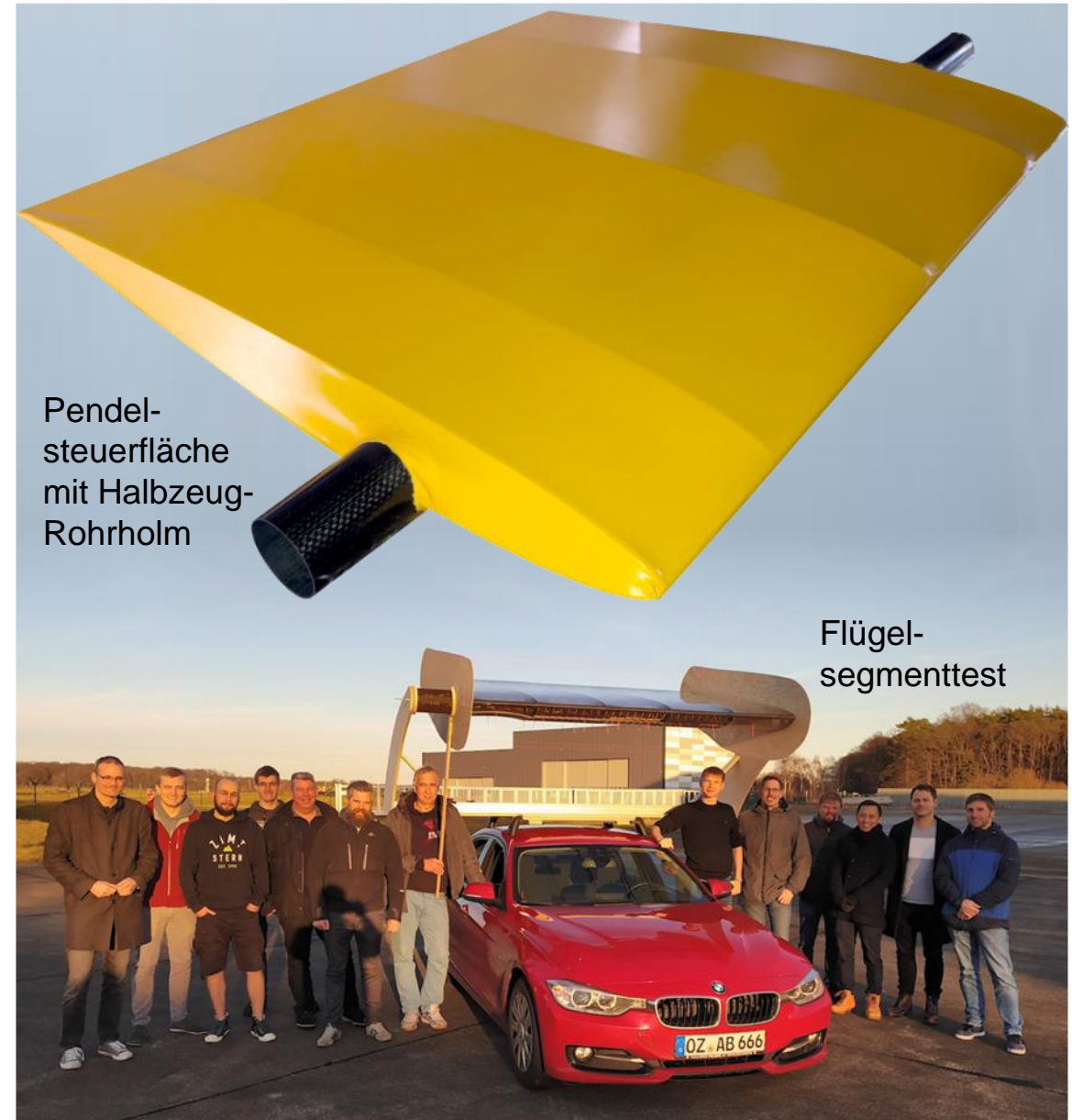
## Rohrholm für Höhenplattform

### Status:

- Vier Rohrholmsegmente mit 3m Länge hergestellt
- Flügelsegment erfolgreich im Bodentest erprobt
- Kraftübertragung der Schäftung getestet
- Steuerfläche mit Halbzeugrohrholm hergestellt

### Ausblick:

- Untersuchung eines gefügten Holmes mit repräsentativer Länge
- Montage und Test eines Flügels mit Rippen und Bespannung
- Erstflug HAP-Alpha für 2022 vorgesehen





# Anwendung

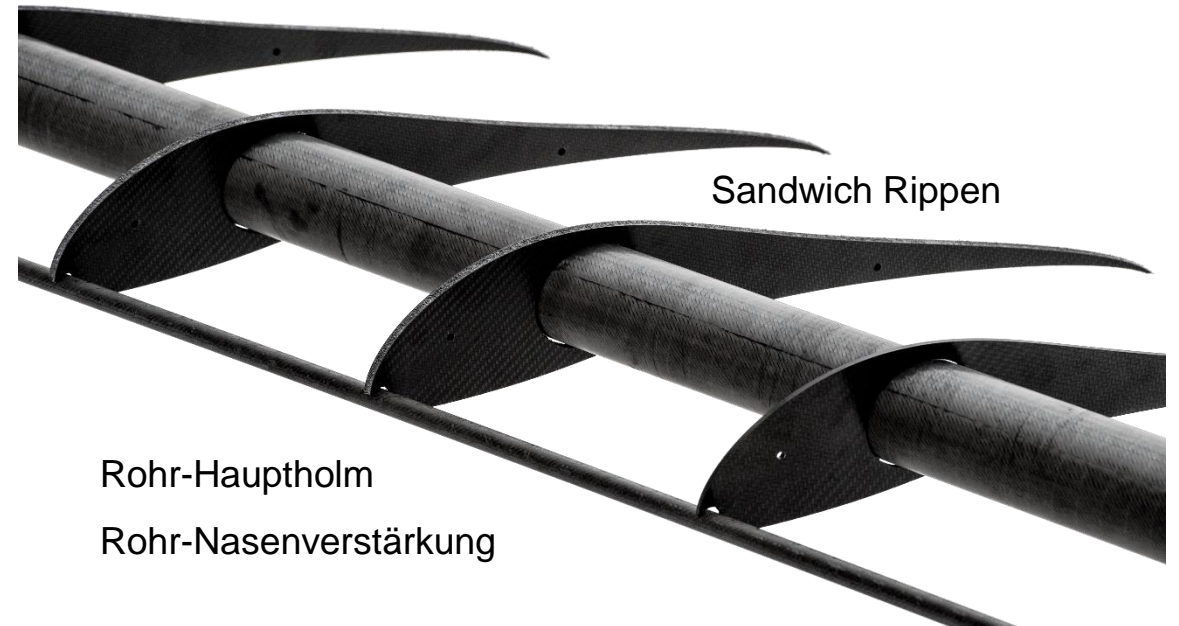
## Rohrholm für Flugwindanlage

### Überlegung:

- Kostendominierter Ansatz
- Passend dimensionierte Standardrohre verfügbar
- Lösbare Holmkopplung für Transport
- Herausfordernder, gepfeilter Nurflügler
- Größenskalierbarkeit gefordert

### Ausführung:

- Konfektionierte Rohrabschnitte
  - CFK Gewebe + Tränkung
- UD-Zusatzlagen für die Holmgurte
- Fügung der Rohre über Innenrohrabschnitte



# Anwendung

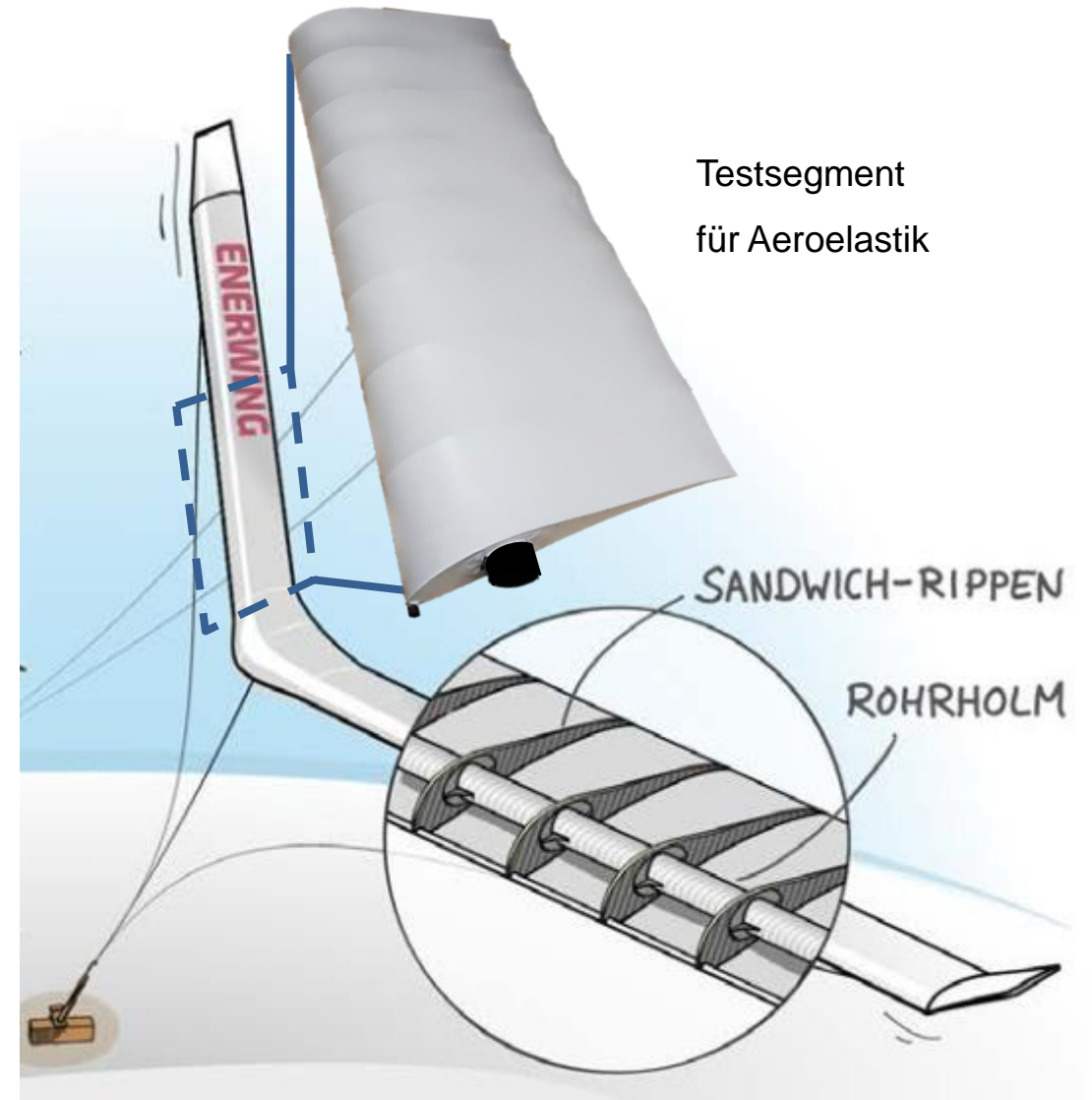
## Rohrholm für Flugwindanlage

### Status:

- Testsegmente für Aeroelastiktest hergestellt
- Aeroelastiktest durchgeführt
- Bauweise erlaubt Variation des Profils
- Kosten- und Gewichtsabschätzung durchgeführt

### Ausblick:

- Strukturtest bei Eigenschwingung
- Flügelwurzel und Winglets mit Rohrholmanschluss
- Erstflug ENERWING Prototyp in 2021 geplant
- Skalierung auf >40m Spannweite möglich



# Anwendung

## Flexibles Montagegestell

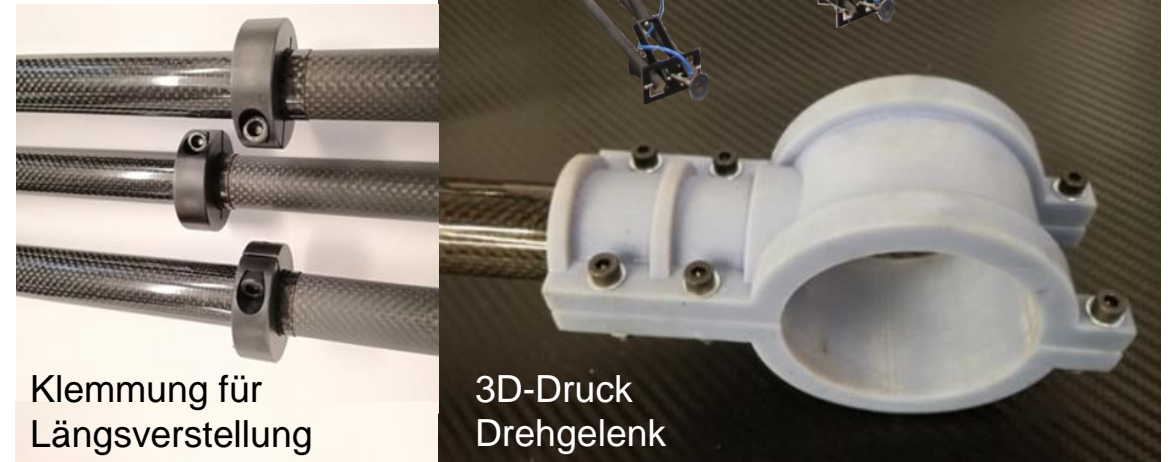
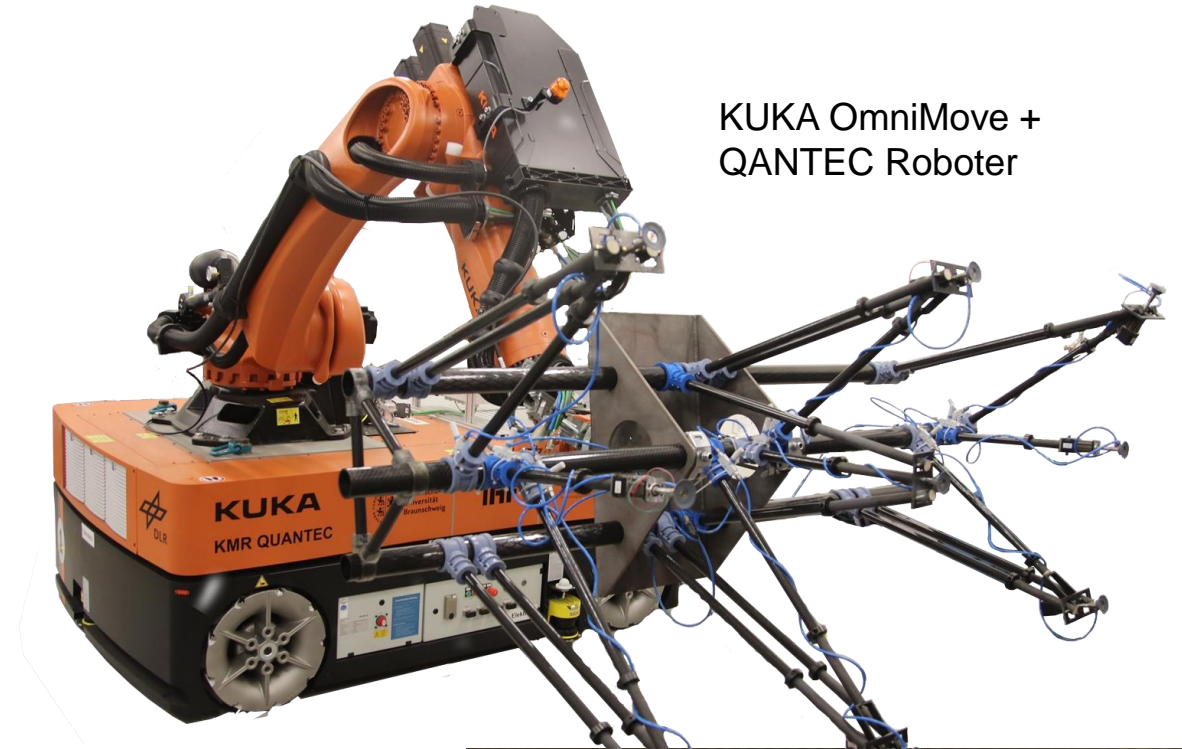
### Überlegung:

- Flexibel anpassbares, modulares Leichtbaugestell
- Mobile Einheit
- Kontinuierlich verstellbare Aufnahmen
- Universell einsetzbare Aufnahmen

### Ausführung:

- Mobiler KUKA Roboter mit Manipulator
- Aufnahme für 2,5 m x 1,1 m Flügeloberschale
- 3D-Druck Drehgelenke mit integr. Rohraufnahme
- Elektrische Aktuatoren, Bernoulli Saugnäpfe
- Teleskopierbare Rohre für maximale Flexibilität

KUKA OmniMove +  
QANTEC Roboter



Klemmung für  
Längsverstellung

3D-Druck  
Drehgelenk



# Anwendung

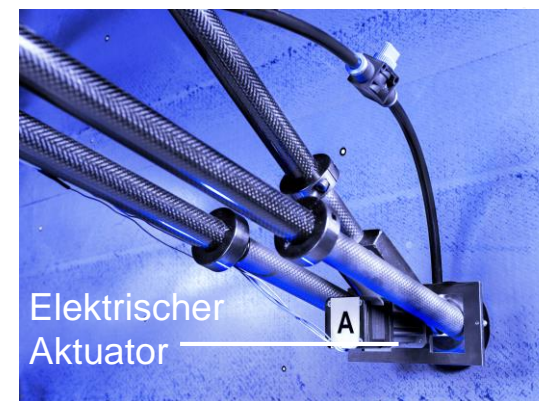
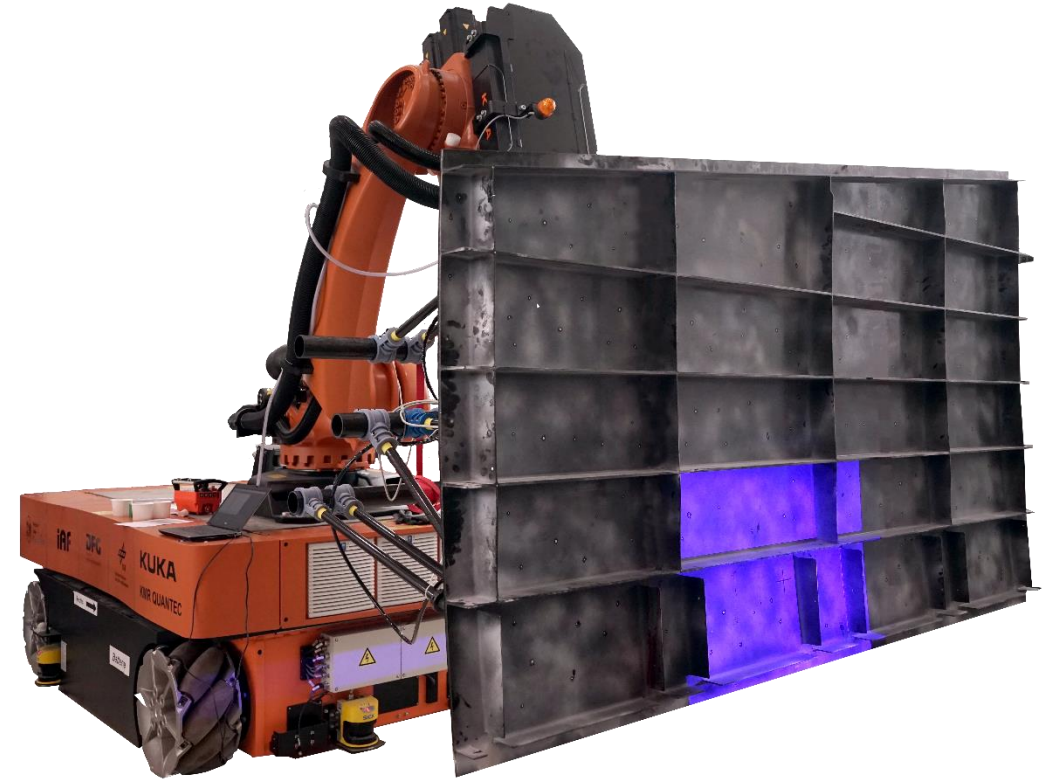
## Flexibles Montagegestell

### Status:

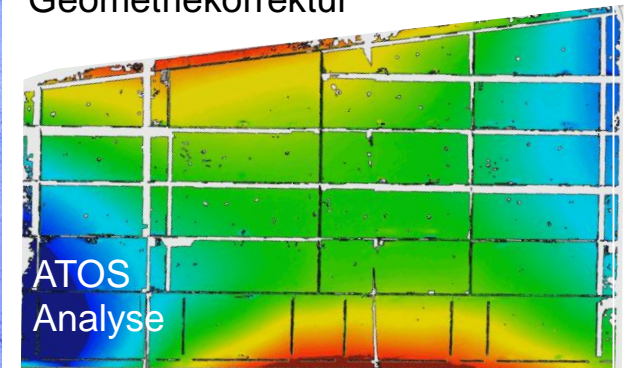
- Verformung aus GOM ATOS Vermessung
- Flügelschale erfolgreich korrigiert und montiert
- Leichtbaugestell einfach an unterschiedliche Geometrien adaptierbar
- Saugnäpfe lassen ein sicheres Transportieren und Verformen zu

### Ausblick:

- Einsatz zur reproduzierbaren Verklebung
- Kraftmessung zur Beurteilung der Steifigkeit
- Einbindung in ein Digitalisierungskonzept



Geometriekorrektur



# Anwendung

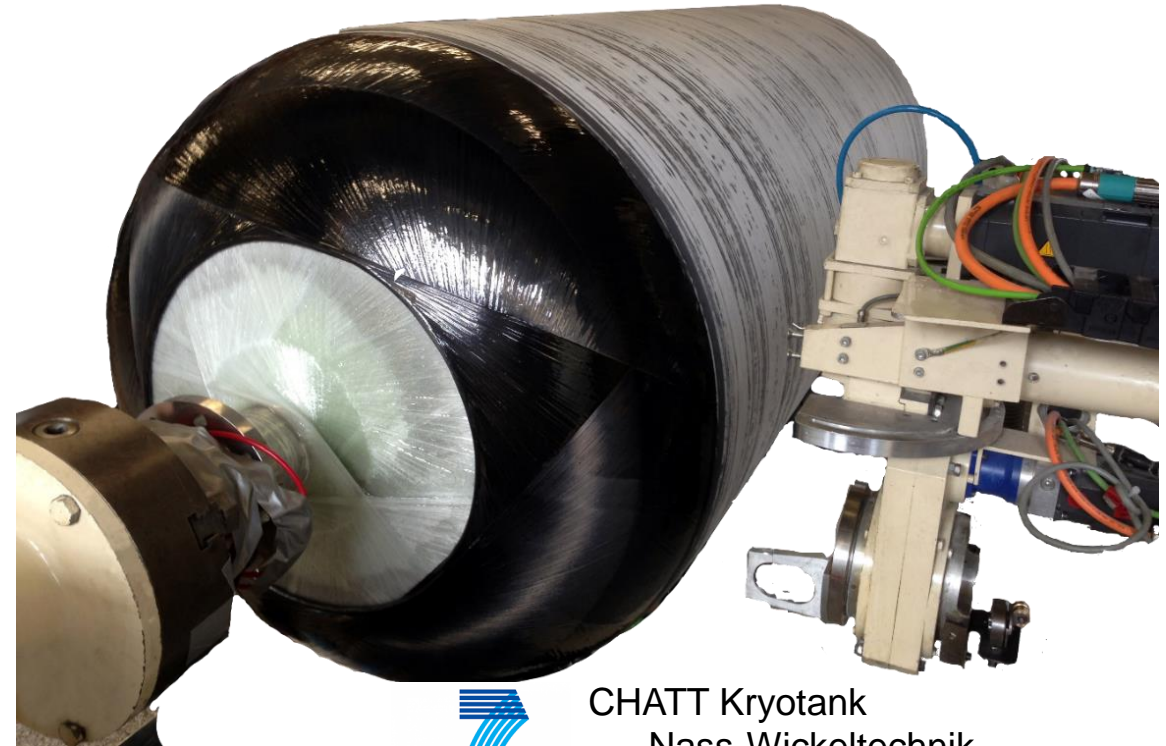
## Typ 3/4/5 Drucktanks / Druckrohre

### Überlegung:

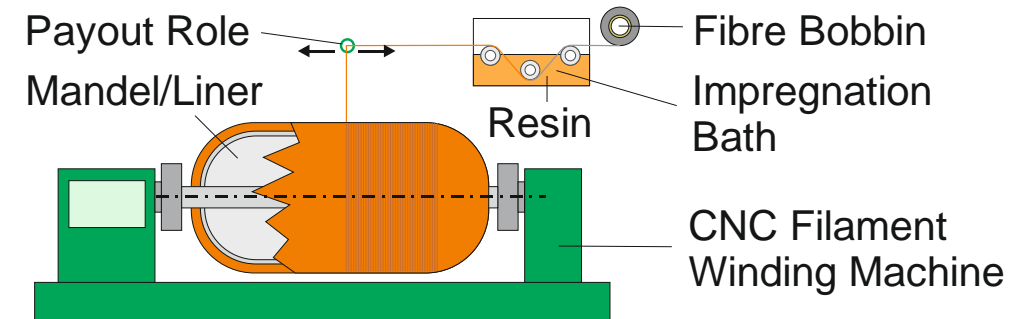
- Leichtbau Composite Hochdruck- & Kryotanks
- Linerlose Composite Druckbehälter
- Umwickelte Metall-Druckrohre
- Modulare Tanks (Variation zylindrischer Bereich)
- Trennstellen für Drucktanks / Druckrohre

### Ausführung:

- Carbon-Glas-Hybrid Verstärkung
- Variation des Kunststoffliners
- Regelung der Vorspannung
- Nasswickeln, Harzinfusion, Prepreg



CHATT Kryotank  
- Nass-Wickeltechnik  
- PE Liner



# Anwendung

## Typ 3/4/5 Drucktanks / Druckrohre

### Status:

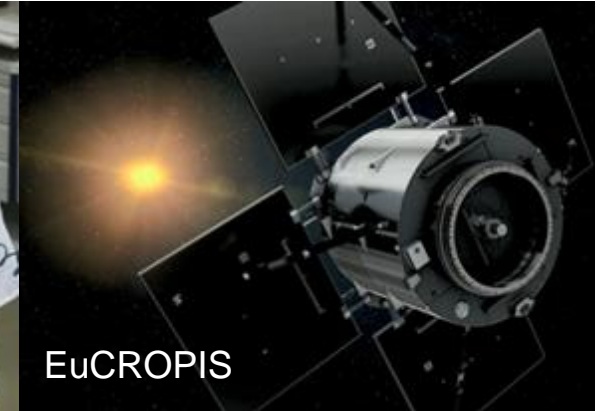
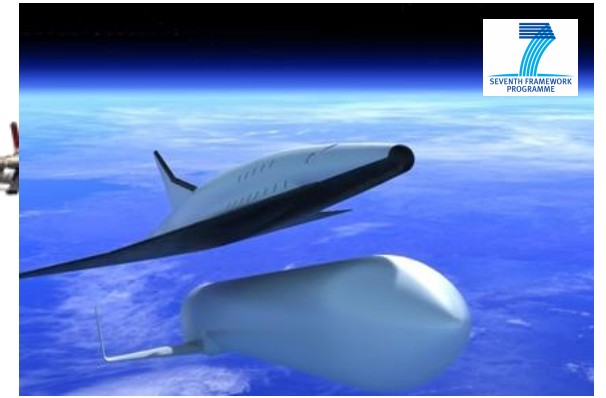
- CHATT Kryotank erfolgreich mit LN<sub>2</sub> getestet
- Eucropis Infusionsbehälter zeigt hervorragende Gasdichtigkeit, Mission abgeschlossen
- Hochdrucktanks in Trocken-Wickeltechnik und Harzinfusion erprobt

### Ausblick:

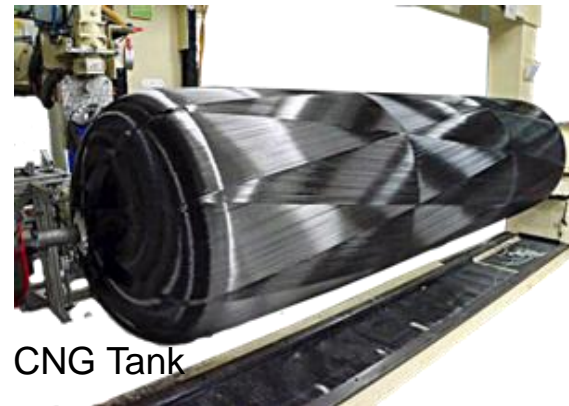
- Optimierung der Dome und der Inserts zu Befüllung und Entleerung
- Betrachtung der Belastung durch zyklisches Befüllen und Entleeren



CHATT



EuCROPIS



CNG Tank

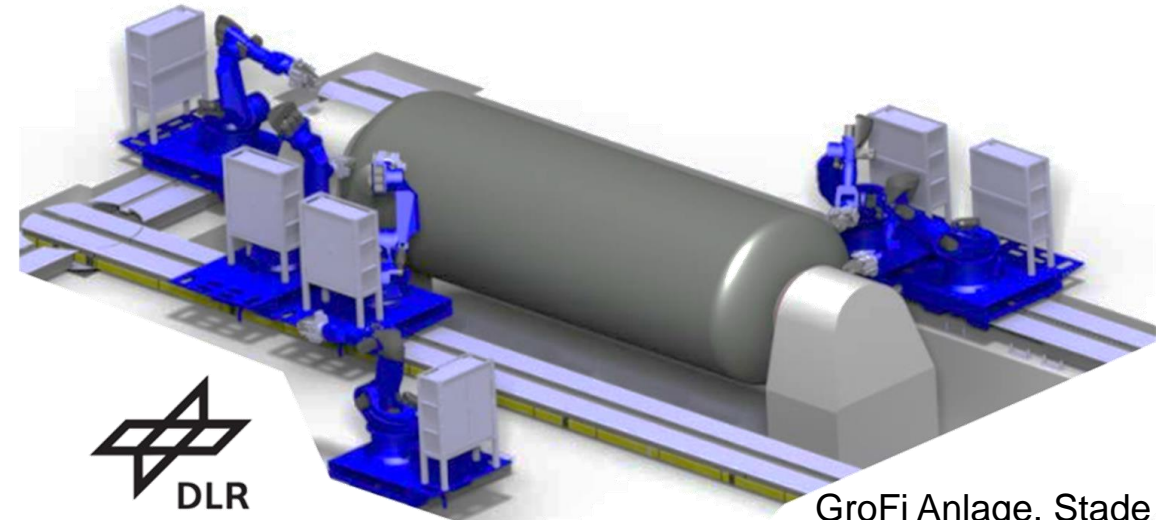


Anwendungsbeispiel: [www.minaraway.com](http://www.minaraway.com)



## Ausblick Faserablage

- Skalierung der Ablegetechnik auf Großstrukturen (bis zu  $\varnothing$  5,5 m 20 m Länge)
- Erweiterung der Fertigungsoptionen durch Kombination von Fertigungstechnologien
- Mehrkopfablage zur Steigerung der Produktivität
- Flexibler Innenkern zur Verbesserung der Faserausrichtung und des Tragverhaltens
- Prozessprotokoll als „Digitalen Zwilling“

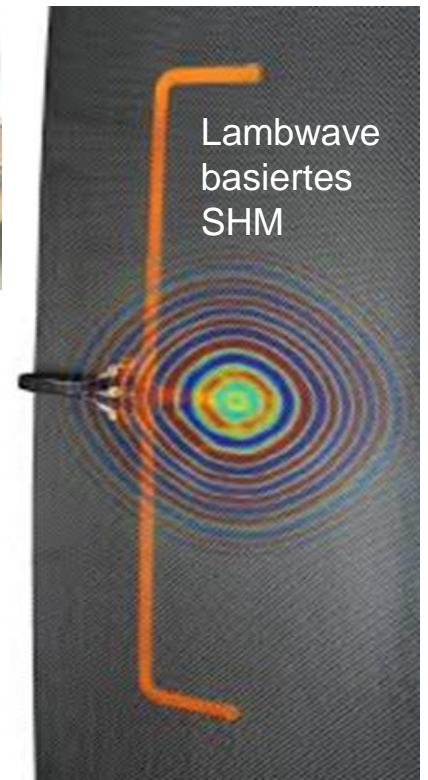
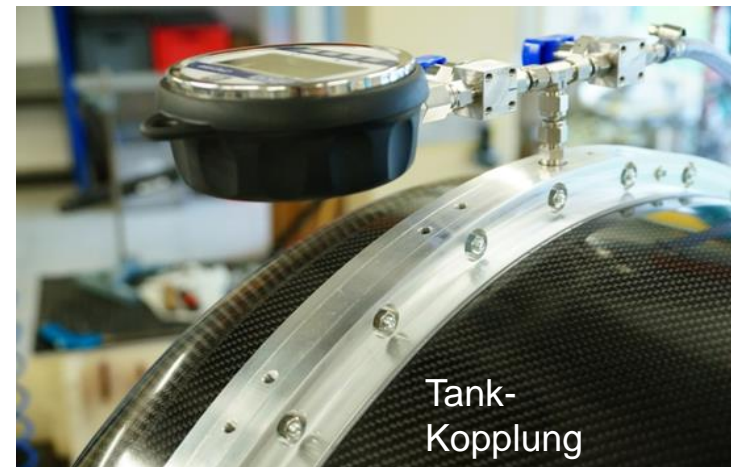
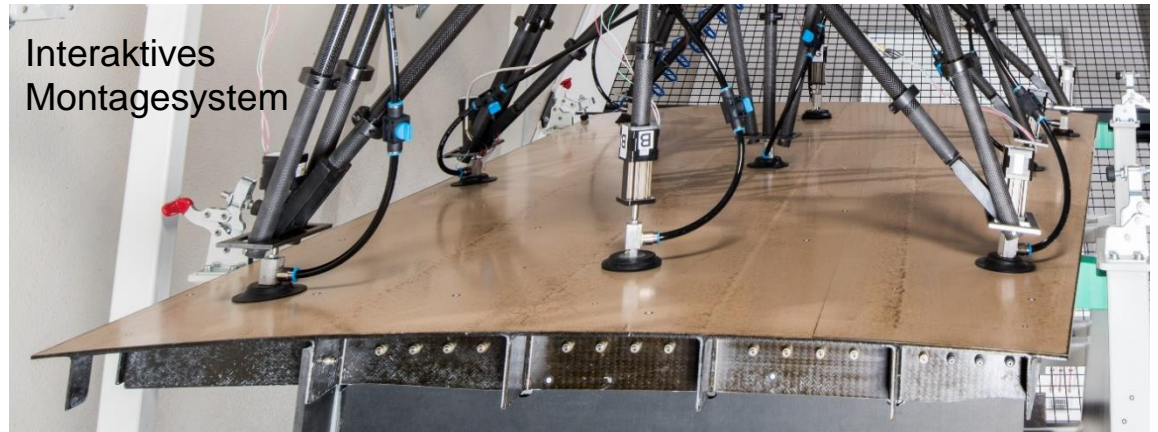


GroFi Anlage, Stade



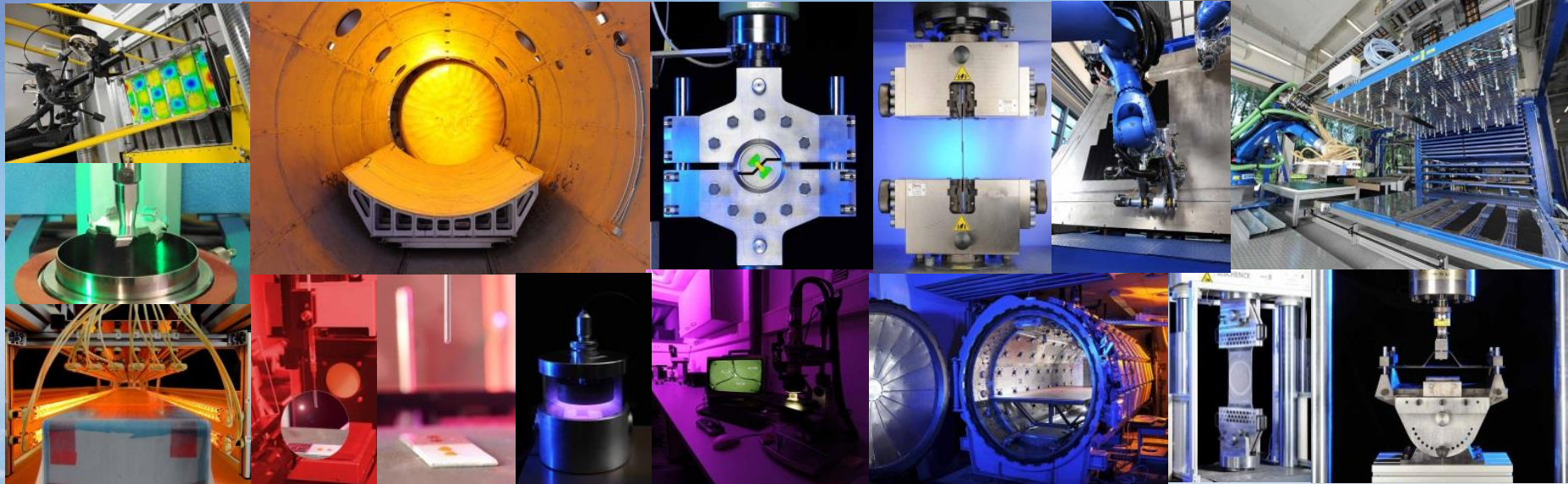
## Ausblick Allgemein

- Erweiterung des Rohrholmansatzes auf den Bereich des (drucklosen) Rumpfes  
→ Mögliche Anwendung: „Silent Air Taxi“
- SHM (Structural Health Monitoring) Systeme zur Tanküberwachung
- Qualifikation von Verbindungsmöglichkeiten für Tanks und Rohre (CFK/CKF, CFK/Metall)
- Vollautomatisiertes Montagegestell mit Kraftregelung und FEM Rückführung Analyse
- Montageprotokoll als „Digitaler Zwilling“





# Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)**

Institut für Faserverbundeichtbau und Adaptronik

Lilienthalplatz 7 | 38108 Braunschweig

[www.DLR.de/FA](http://www.DLR.de/FA)