

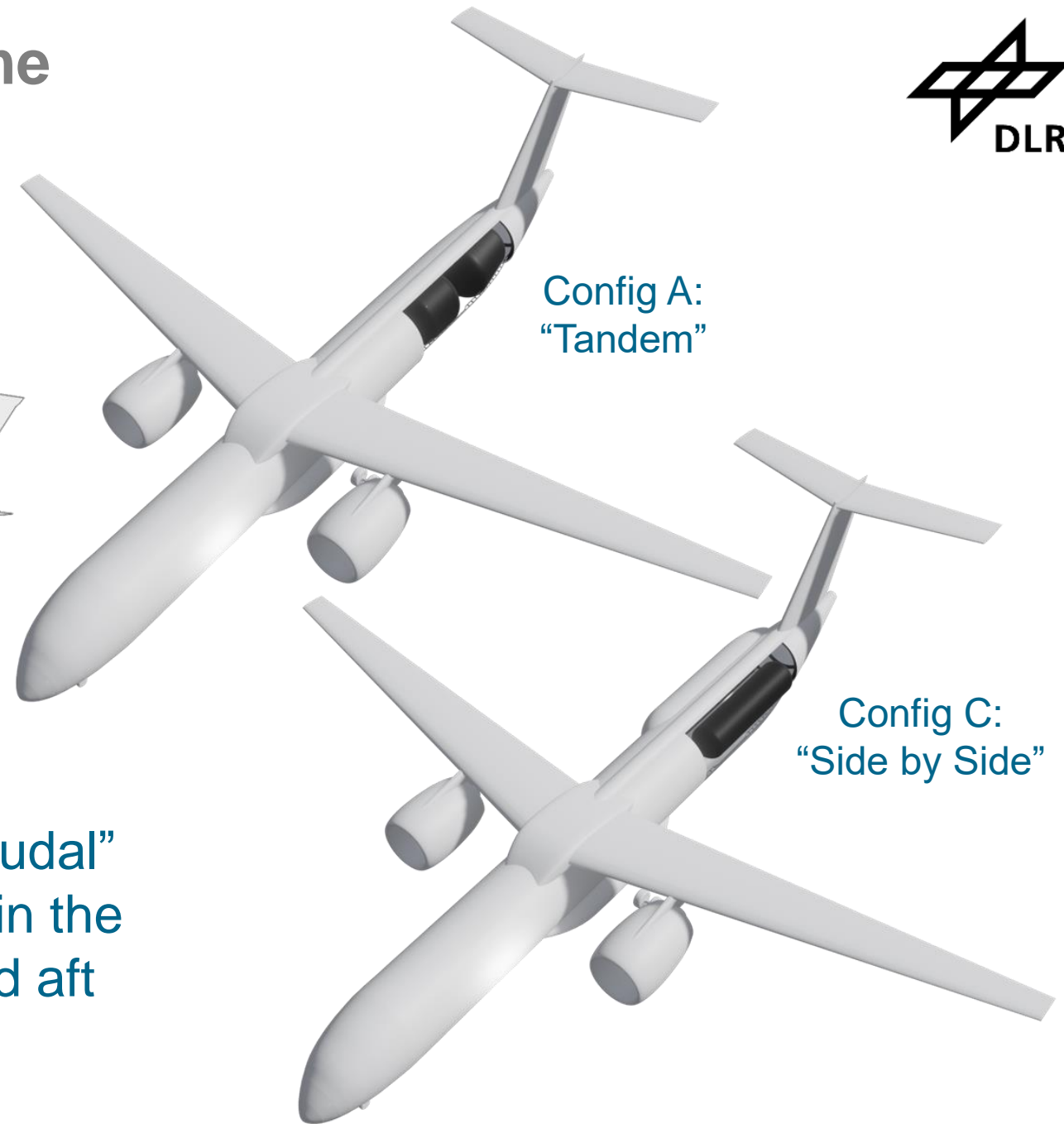
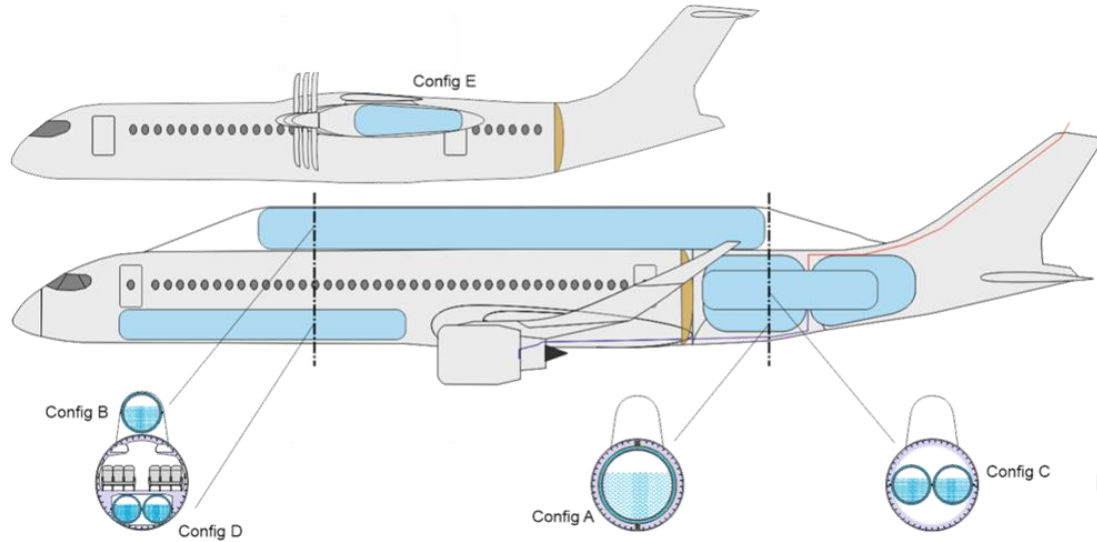
PROJEKT UPLIFT: KRYOGENE BODENPRÜFSTÄNDE

Dr.-Ing. Philipp Hilmer

DLR - Institut für Systemleichtbau

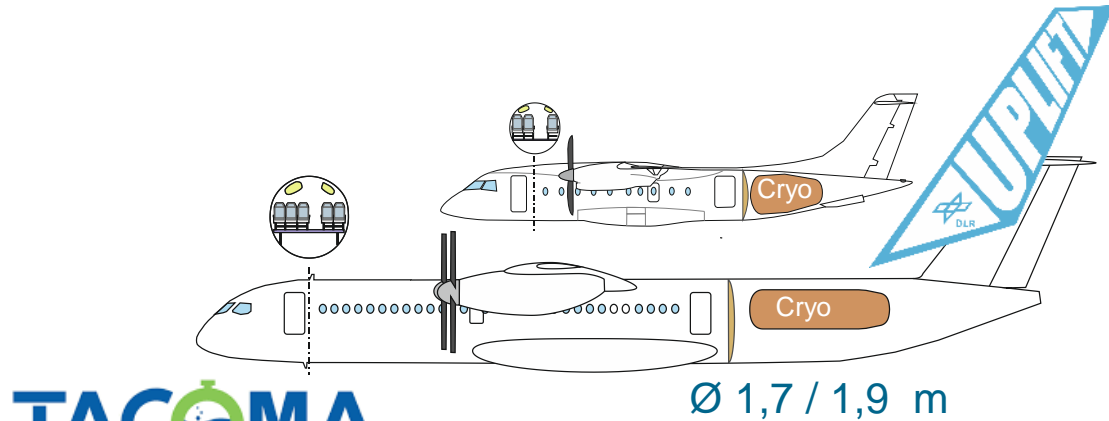


Wasserstofftanks und Systeme Konfigurationen

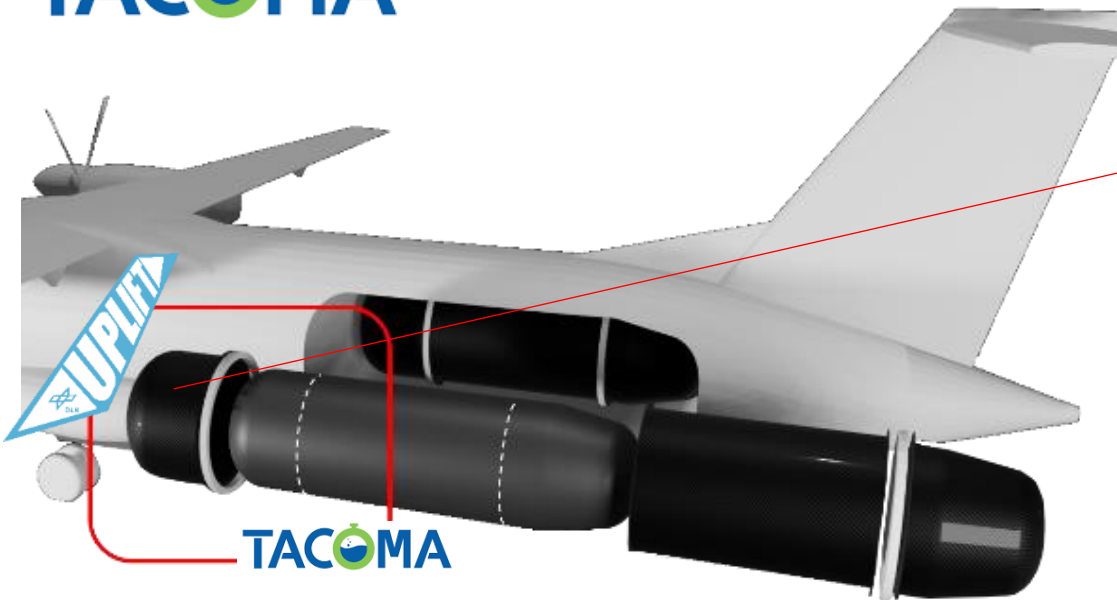


Focus:
Redundant, "Caudal"
hydrogen tanks in the
non pressurized aft
fuselage

Wasserstofftanks und Systeme Skalen



TACOMA



Up- and Downscaling

DLR - SY

Filament Winding

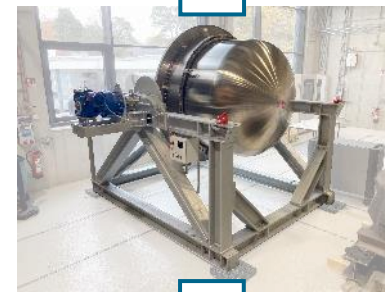


Test Facility:
Helium, Hydrogen,
Cryo & Low Pressure

Ø 0,4 m

Burst performance, permeation,
insulation

Autoclave
Infusion



Test Facility:
Helium, Hydrogen,
Cryo & Low Pressure

Ø 1,7 / 1,9 m

Permeation, insulation,
system integration



Robot
AFP



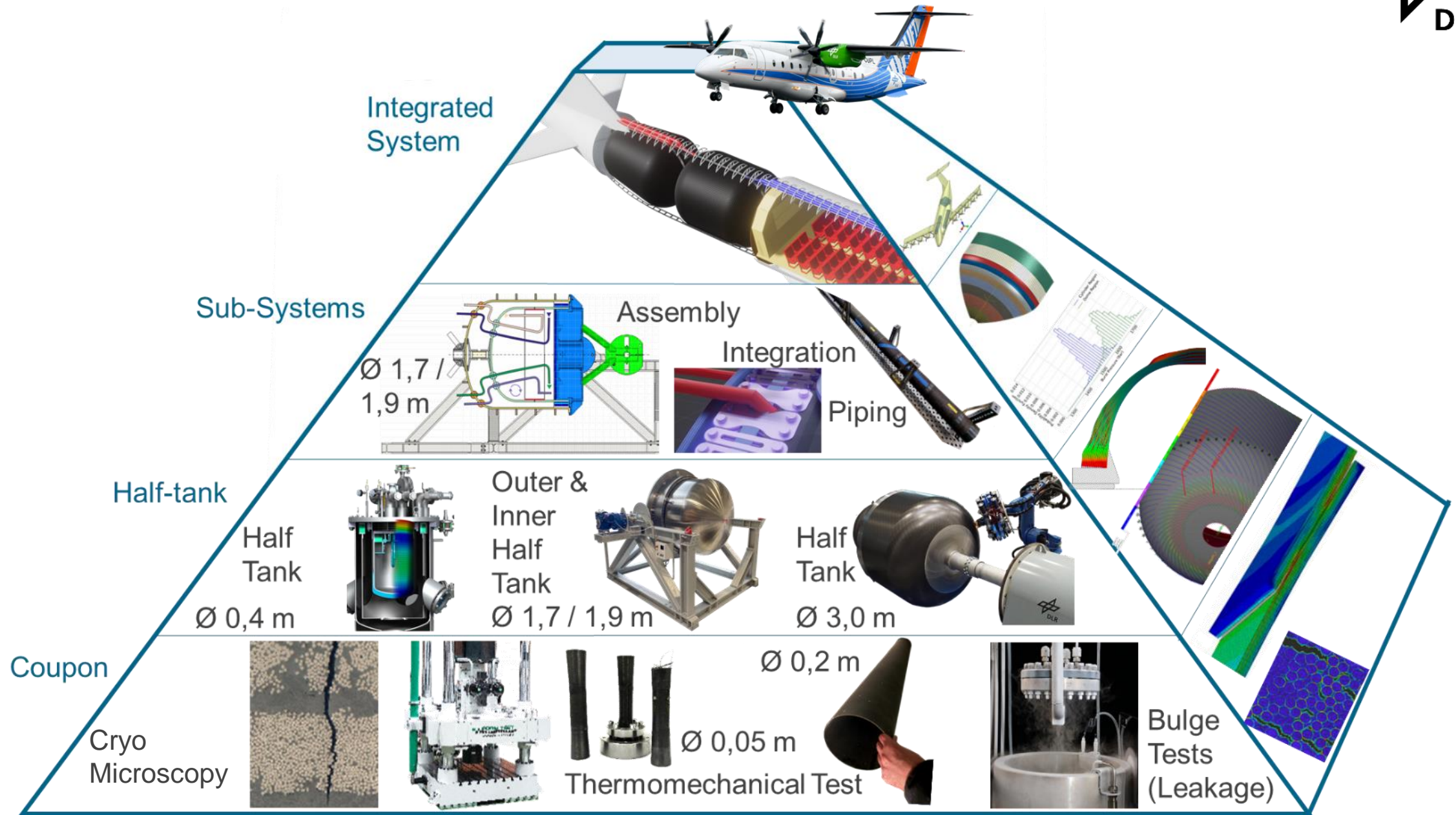
Manufacturing Strategies:
Multi robot / multi technology (AFP/ATL)
rotating mandrel,
alternative heating options,
inline QS

Ø 3,0 m



NBank

Institute of Lightweight Systems - UpLift Cryo Test Equipment



D328 UpLift Flying Testbed



Modifikationen vom Standardluftfahrzeug zum Flying Testbed D328

- Basismessanlage mit Erweiterungsmöglichkeit für den jeweiligen Versuch
- Arbeitsplätze für Mess- und Flugversuchingenieure
- Minimale Bestuhlung für maximalen Platz zur Einrüstung von Versuchsausrüstung
- Experimentelle Stromversorgung
- Nasenmast mit Luftdatenmesssonde
- Wing- und Fuselage-Hardpoints
- Telemetrie (Luft/Boden/Luft)

Dadurch sehr vielseitig einsetzbar für modifizierte Parts oder Luftfahrzeugsysteme, die zu einer klimavertäglicheren Luftfahrt führen



Gefördert durch:

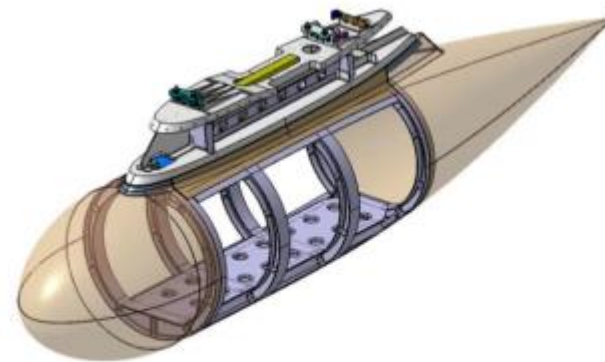


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

D328 UpLift Flying Testbed - Optionen

Wingpods

- Maximal 50 Kilogramm je Aufhängung
- Fest eingebaute Schnittstellen zur Kabine
 - Elektrische Versorgungsleitungen
 - Datenleitungen
 - Weitere möglich
- Designkonzept für 'Pod/Pylon' in Arbeit
 - Inneres Volumen ca. 1500mm x Ø 450mm
 - Flexibles Design
 - Aussenhaut ist modifizierbar für z.B.



Possible Design Pod
(for demonstration purposes only)



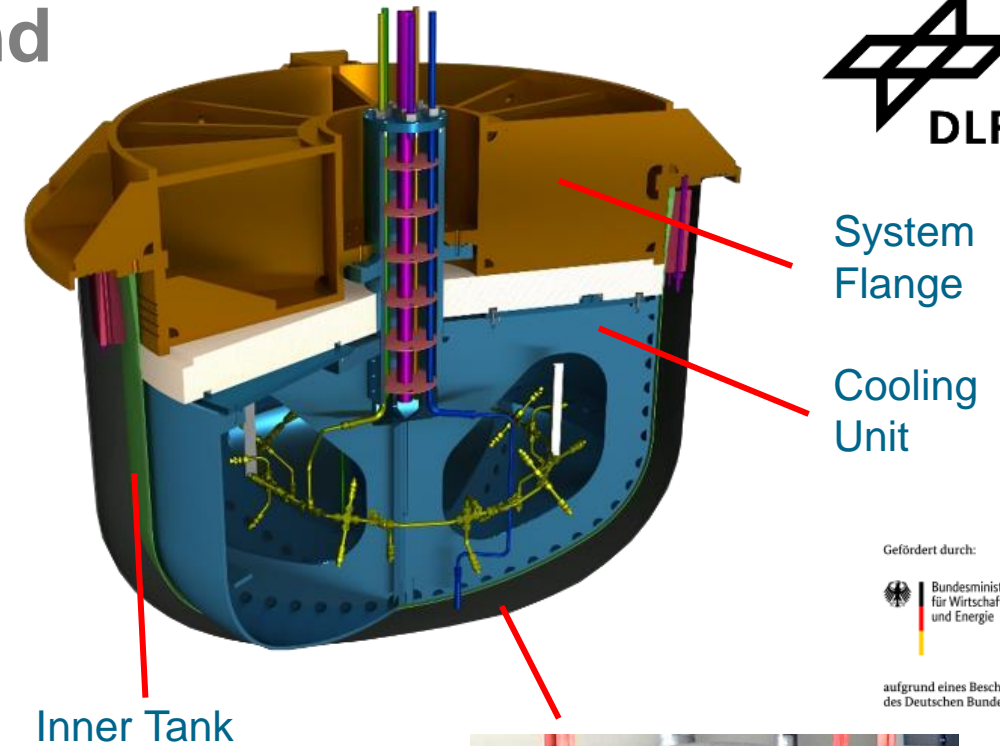
Integration von Sitzschienen
zur Aufnahme von Experimenten

Halbtank Berst- und System-Prüfstand



Zielstellung

- Untersuchung der Eigenschaften von Fullscale Halbtankstrukturen ($\text{Ø}1,7\text{m}$)
Eigenschaften unter realistischer Druckbelastung bei kryogener Umgebungstemperatur
 - Strukturelles Verhalten – Verformungen und Dehnungen
 - Permeations und Leckageverhalten unter Last (z.B. Mikrorissbildung)
 - Einfluss des Fertigungsverfahrens und der Fertigungsstrategie (z.B. Gaps- und Overlaps)
- Integration und Untersuchung von Details und Komponenten z.B.
 - Vakuumisolierung, MLI-Systeme
 - Joints, Feedtroughs, Stützstrukturen im Isolationsbereich
- **Aktueller Stand:**
 - Zentrale Komponenten vorhanden und aufgebaut
 - Strukturen zur Inbetriebnahme (Innen- und Außentank werden aufbereitet für den Einsatz im Prüfstand)
- **Ausstehende Arbeiten / Ausblick**
 - Finale Planung und Beschaffung Peripherie
 - Aufbau Steuer und Messwarte
 - Einsatz für Tacoma-Halbtanks



Gefördert durch:
 Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



$\text{Ø} 1,9 \text{ m}$
Autoklave Infusion
Outer-Tank

Skalierter Halbtank-Teststand

Zielstellungen

- Testen von kryogenen Tank-Strukturen in realistischen Bedingungen
- Transfer zwischen Material level and Full-scale demonstration
- Effiziente Technologie-Verifikation (Material, Durchführungen, Verbindungen, ...)
- Umfangreiche Messwerterfassung zur Validierung von numerischer Simulation

Ergebnisgrößen

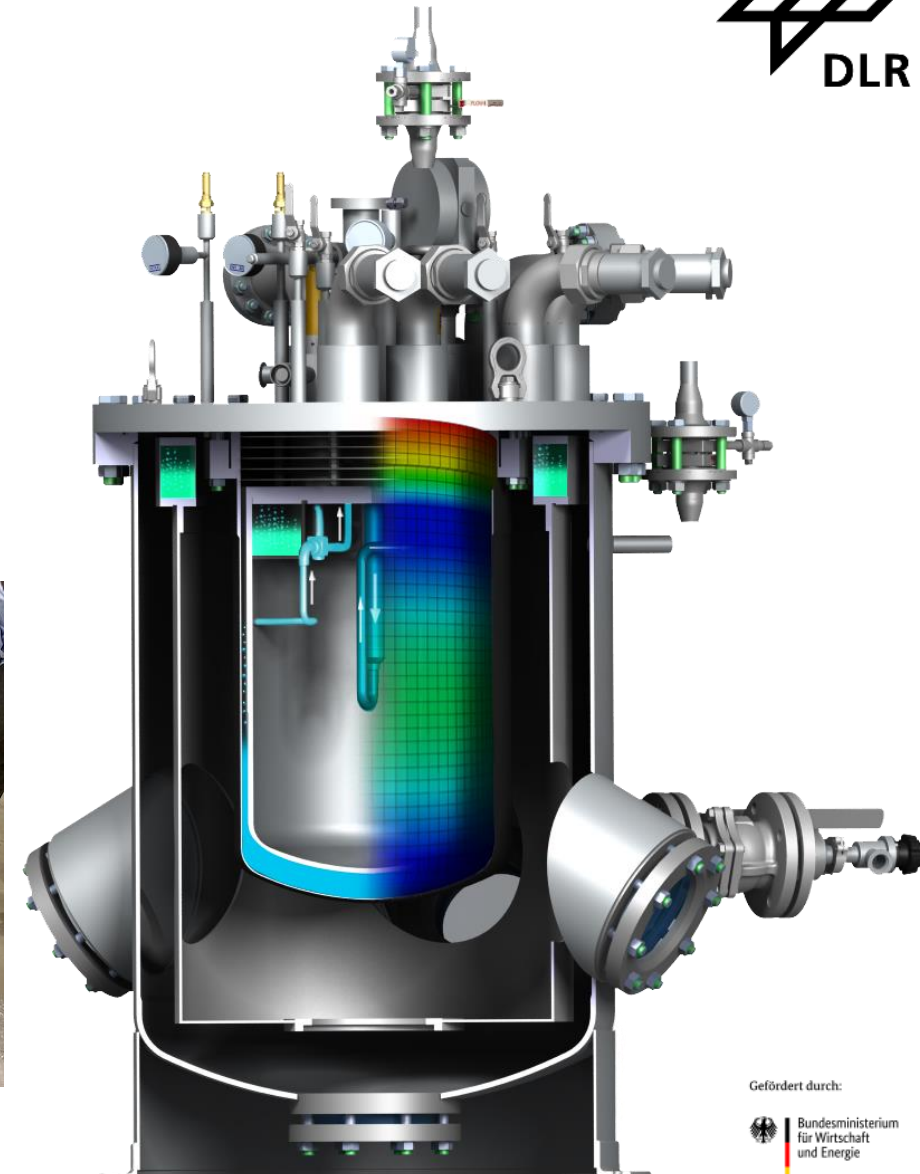
- Deformation als Funktion von Last und Temperatur
 $\varepsilon_{ij} = f(T \in \{ \approx 293K; 77k; 20K \}, p \in [0bar; 20bar])$
- Leakage als Funktion von Last und Temperatur
 $L = f(p, T)$

Zeitplan

- Subsysteme geliefert und aktuell in Erprobung
- Lieferung geplant für Ende Februar 2026
- Operation geplant ab April 2026



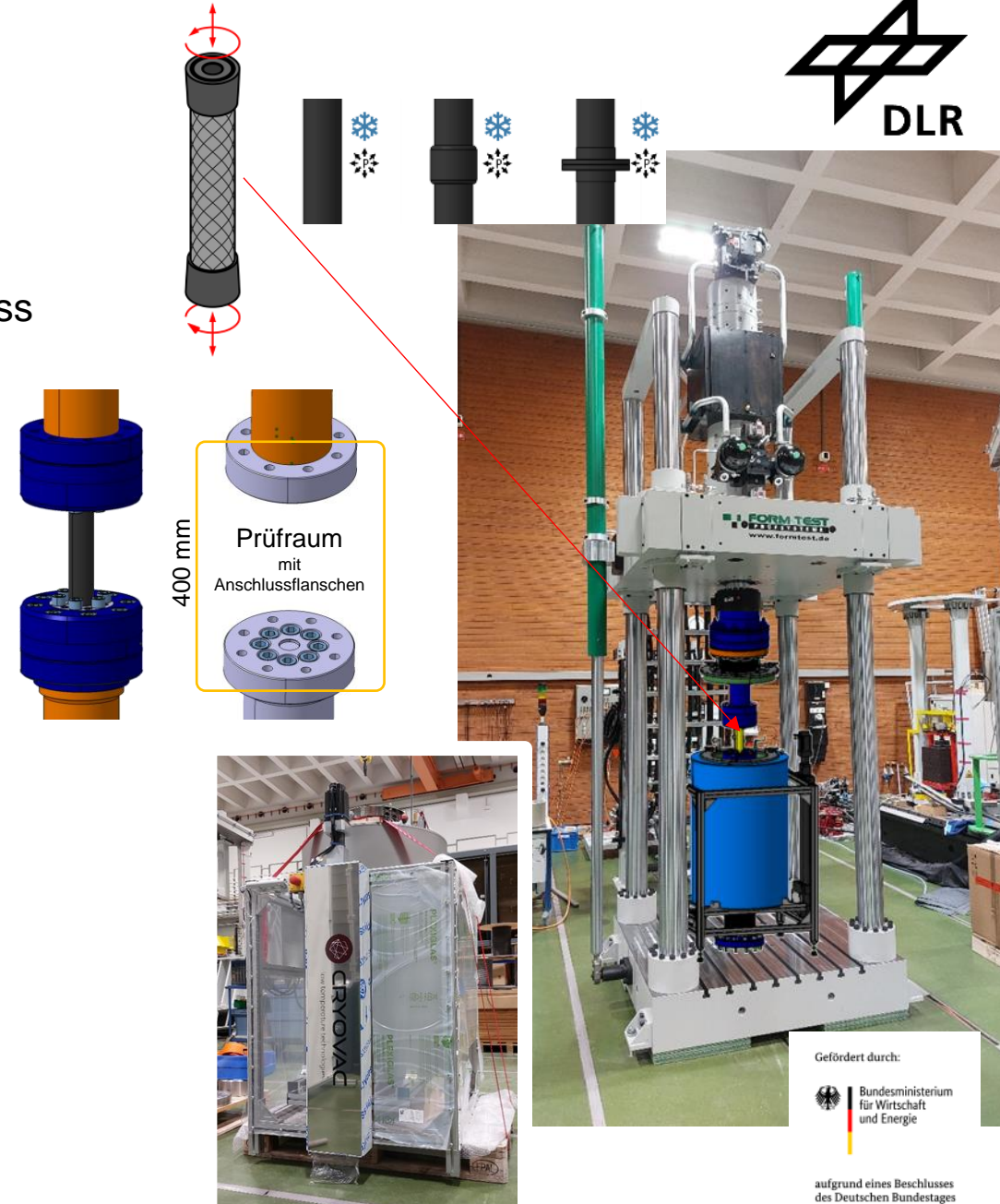
Inner Ø 0,4 m
Wet-Filament-Winding
(Cryo-) Inner-Tank



Kryo-Zug/Druck-Torsionsprüfstand



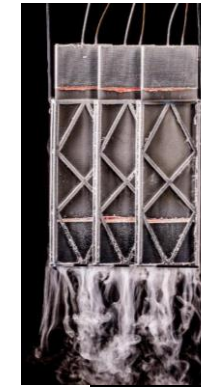
- Prüfstand für statische und dynamische Versuche unter kryogenen Bedingungen (LN₂)
 - ★ hohe Lasten: ± 630 kN (Zug/Druck) und ± 8 kNm (Torsion)
 - ★ Untersuchung tankspezifischer Fragestellungen (z. B. Einfluss von Fertigungsdefekten, Innendruck, Permeabilität/Leckage durch Mikrorissbildung)
 - ★ Test von 2“-Rohren und Rohrverbindungen
 - ★ Anschlussflansche für Verschraubung von Elementen/Komponenten (Höhe bis 400 mm)
- **Aktueller Stand:**
 - Alle Komponenten (Prüfmaschine, Kryo-System, Messtechnik, Stickstoffversorgung, Spannzeuge) geliefert
 - Prüfmaschine in Hydrauliksystem integriert und kalibriert
- **Ausstehende Arbeiten / Ausblick**
 - Endmontage und Inbetriebnahme bis Ende März 2026
 - Erweiterung Leckagedetektionssystem für Rohre
 - Erweiterung Flachprobenspannzeug



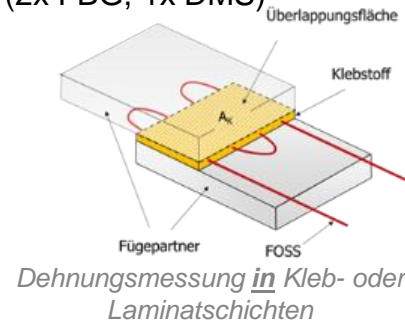
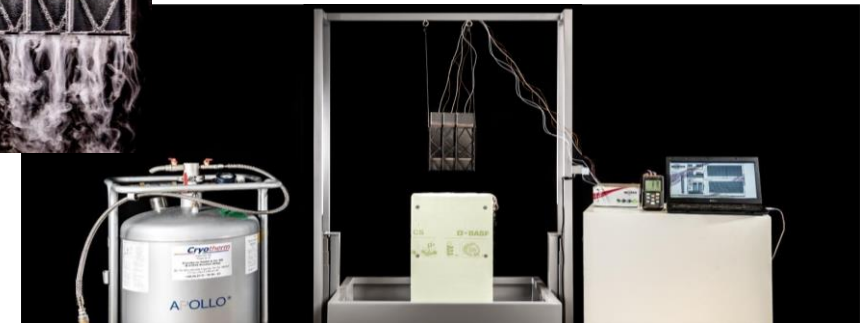
Mobiler Prüfstand für faseroptische Dehnungs- und kameraoptische Topologievermessungen

- Mobile, umfangreiche Ermittlung ingenieurwissenschaftlicher Kennwerte

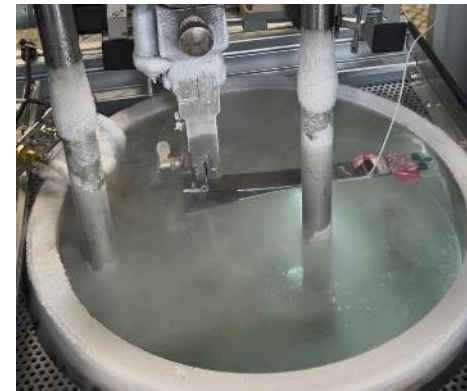
- Dehnungsmessungen in Laminaten / an Probekörpern (mech. und therm.)
 - Faseroptisch und quasi-kontinuierlich (FOSS)
 - Faseroptisch/elektrisch und punktuell (2x FBG, 1x DMS)
- Temperaturmessung im/am Bauteil
 - Faseroptisch
 - FOSS
 - FBG
 - TE+PT
- Distanzmessung
 - Kapazitiv
 - Bestimmen von Verfahrenswegen bei Tests im Kryobad
- Topologievermessung mit Übertragung der 3D-Daten
 - Zeiss T-Scan HAWK
 - Soll-Ist-Geometrieabgleich möglich
 - Kameraoptisch



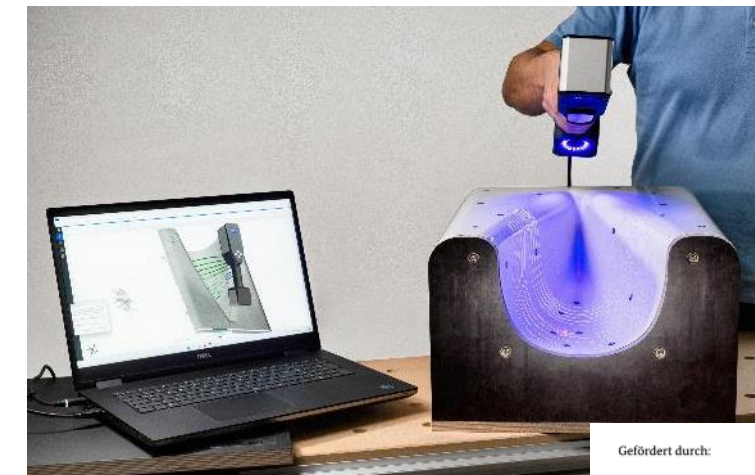
Dehnungsmessung in LN₂ zyklerten Laminaten



Dehnungsmessung in Kleb- oder Laminatschichten



FOSS-Messung des Rissfortschritts im LN₂ Bad



3D-Vermessung der Ist-Form

Gefördert durch:

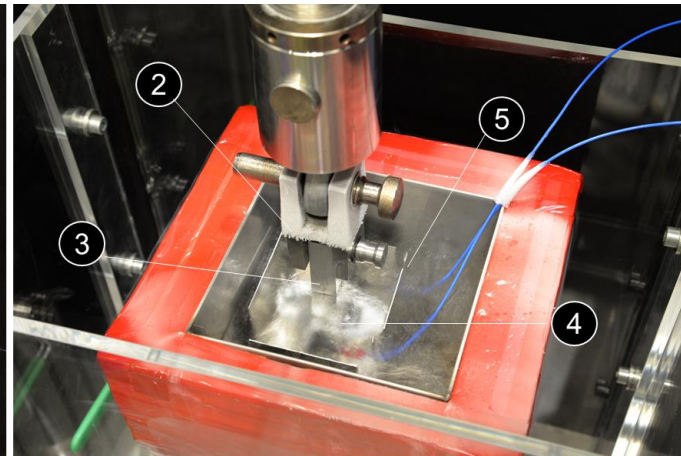
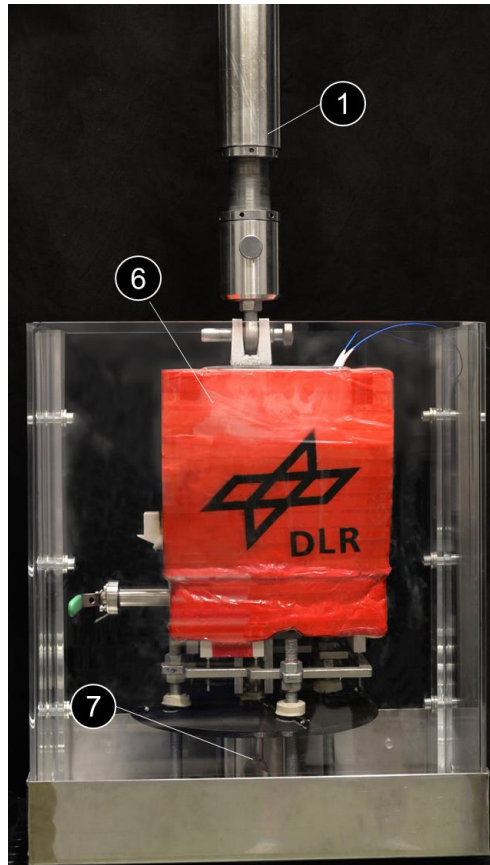


aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

CryoTAST – Klebstoffcharakterisierung

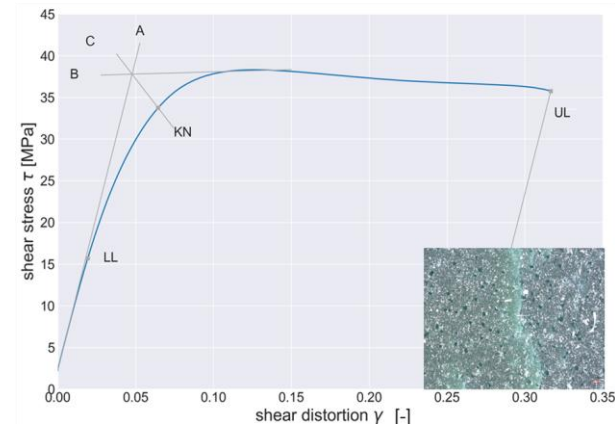
Bestimmung von Klebstoffeigenschaften bei -196 °C in Anlehnung an ASTM D5656

- Schubspannungs-Gleitungskurven
- Schubmodul,
- Schubspannung, and Schubverformung bei LL and UL

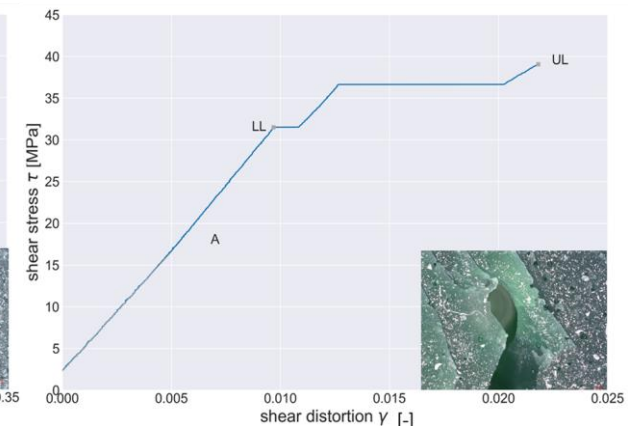


- 1 Rigid connection to load cell
- 2 Hinged bearing (top and bottom)
- 3 TAST Specimen
- 4 CT Configuration - Capacitive Extensometer
- 5 LN2 bubble shield
- 6 LN2 container
- 7 Rigid connection to traverse

Room Temperature



Cryogenic Temperature



Status Januar 2026

- Drei pastöse und ein Filmklebstoff charakterisiert
- Klebstoffdicken von 0.2, 0.5 and 1.0 mm untersucht
- Ergebnisse vorgestellt bei der AB2025 in Porto
- Paper veröffentlicht: [Examination of film and paste adhesive behaviour under cryogenic conditions under thick adherend shear test](#)

Gefördert durch:

CryoERR – Klebstoffcharakterisierung

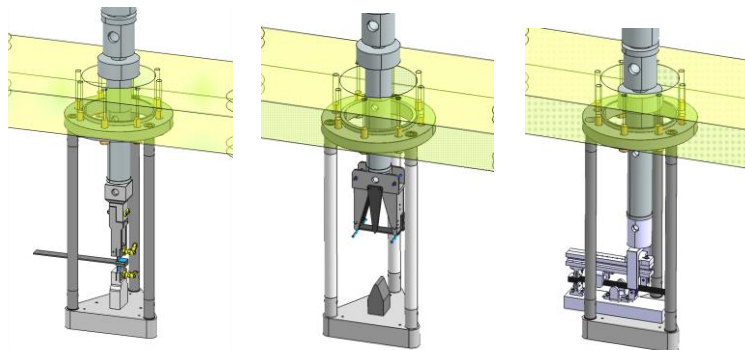
Bestimmung der Bruchfestigkeit von Klebstoffen und Matrices bei -196 °C nach

- ASTM D 5528 – DCB
- ASTM D 7905 – ENF
- (ASTM D 6671 – MMB)
- Modulares Design erlaubt eine Adaption für zusätzliche Lasteinleitungsstrukturen für Zug- und Drucktests bis zu 50 kN.

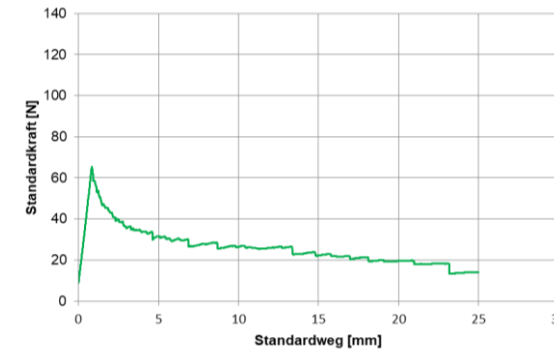
Gefördert durch:



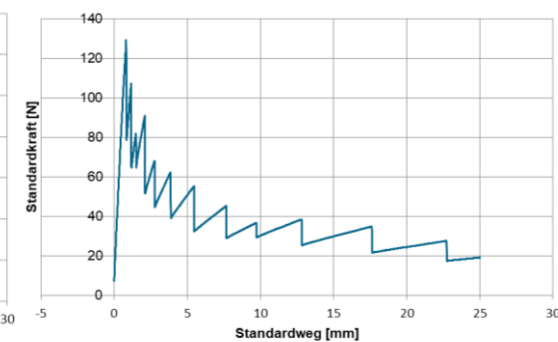
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Room Temperature



Cryogenic Temperature



Status September 2025

- Ein pastöses Klebstoffsystem befindet sich aktuell in Untersuchung (01.09 to 19.09)
- Verwendung integrierter faseroptischer Sensoren (FOS) und eines Boroskop-Kamerasystems zur Rissfortschrittsüberwachung.

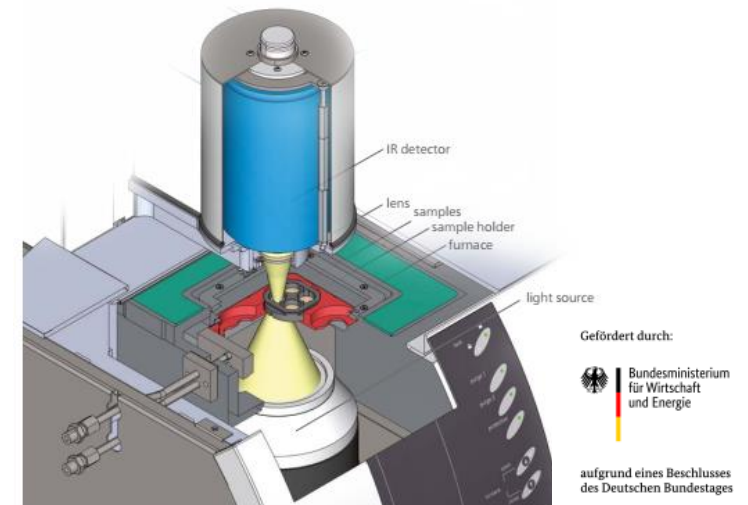
KryoLambda-Prüfstand

Netzsch „Hyper Flash“ LFA-467:

Vermessung der Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit von Klebstoffen, Laminaten und Folien bis -100°C

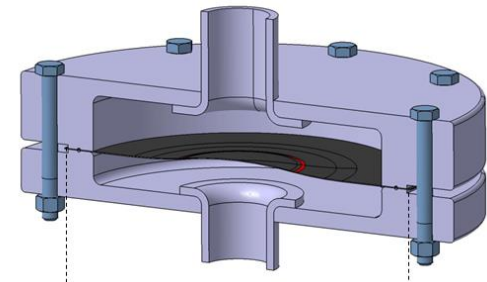
Kenndaten:

- Temperatur: -100°C ... $+500^{\circ}\text{C}$ (... $+300^{\circ}\text{C}$ effektiv)
- Messung Wärmeleitfähigkeit: in-plane und out-of-plane
- Probenanisotropie von bis zu 1:100
- Probengröße: bis $D=25.4$ mm // Rechteckprobe (12.7x12.7) mm^2



Bulge-Prüfstand

LN2 



150 – 200mm



Bulge Prüfstand



- Mehrachsige Belastung bei kryogenen Temperaturen
- In-situ Leckagemessung
- Messtechnik (HBK Quantum X)

Druck-Zyklier-Anlage



- Ziel ~1.000 Zyklen/Tag
- Kompatibel mit Bulge-Prüfstand

TVAC – Thermal-Vakuum-Kammer



Validierung des thermischen Verhaltens von Faserverbundstrukturen in TVAC

Dimensionen:

- D=600 mm, L=900 mm

Betriebstemperaturen:

- -80°C...+170°C im Normalbetrieb
- Bis zu -196°C mit passiver LN2 Zuführung

Vakuum Qualität:

- $<1 \times 10^{-7}$ mbar

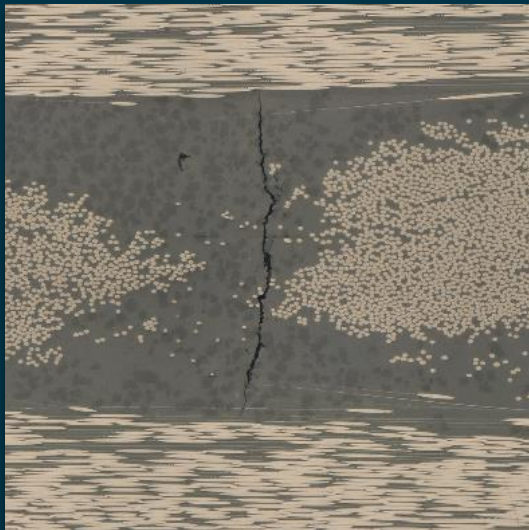
Zusätzliche Spezifikationen:

- Durchführungen für PT-100 Thermoelemente, FOS, LN2, Strom
- Fenster für optische Vermessungen

Kryo-Mikroskopie

verknüpft thermisches Zyklieren mit bildgebenden Verfahren

Produkt



Fähigkeiten



Optische **Mikroskopie** von Schlifffbildern von RT bis nahezu **LN₂ Temp.**



Beobachtung von **Risswachstum** während **Abkühlphase**



Kompatibilität mit optischen Mikroskopen



GN₂ Atmosphäre für **frost-freie Sicht**

Weiterentwicklung & Projekteinbindung



Heizmodul zur Zyklusverkürzung **nachrüstbar**



Teil der **H2AM-Laboraausstattung**



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt:

Philipp Hilmer

Philipp.Hilmer@dlr.de

Uplift-website:

<https://www.uplift-h2-aviation.de/uplift/>

Kryo-Prüfstände @ DLR-SY:

[Projekt Uplift: Kryogene Techniken](#)

Youtube:

[Institut für Systemleichtbau - YouTube](#)