

# Entwicklung eines kohlenstofffaser- verstärkten Ringdruckbehälters zur Wasserstoffspeicherung (HZwo:FRAME - Tank)

**Dipl.-Ing. Norbert Schramm**, Marc Neubert M.Sc.  
LSE GmbH

Jonas Ludwig M.Sc., Marc Reska M.Sc.  
FAE Elektrotechnik GmbH & Co. KG

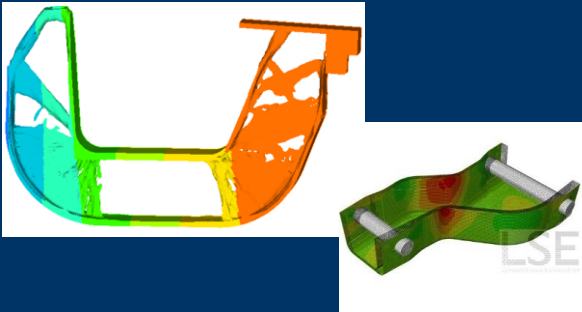
Prof. Dr.-Ing. L. Kroll, Dr.-Ing. M. Naumann  
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung,  
Technische Universität Chemnitz

Dipl.Wi.-Ing. Sebastian Nendel, Dipl.-Ing. Marcel Meyer  
Cetex Institut gGmbH



Ausgründung aus der Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung der TU Chemnitz in 2008.

## Berechnung und Auslegung

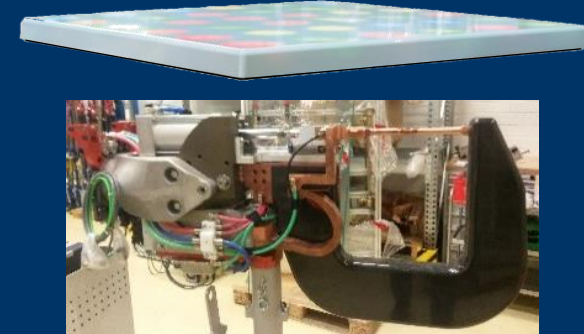


## Sensor- und Aktorsysteme

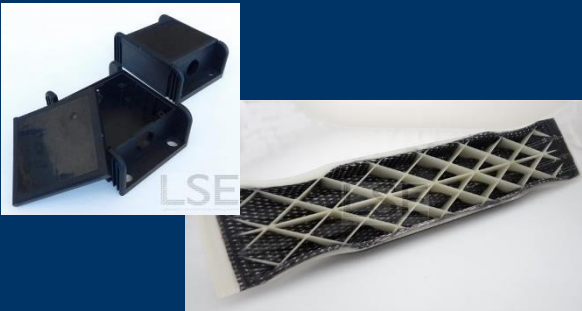
EP 1923680 B1  
EP 1923681 A1



## Duroplastverarbeitung



## Thermoplastverarbeitung



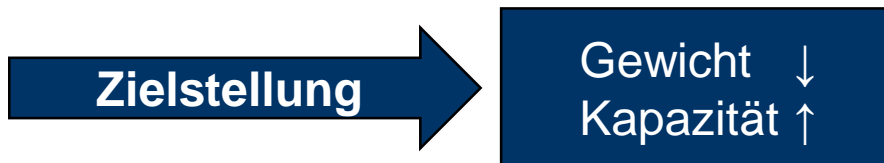
## Elastomerverarbeitung



## Werkzeug- und Formenbau



- FAE Elektrotechnik GmbH & Co. KG bietet einen brennstoffzellen-betriebenen mobilen 1 kW-Stromerzeuger mit einer schweren Stahlflasche (80 kg) oder der innovativen Hybridflasche GENIE® (33 kg) an
- Stand der Technik für die mobile Speicherung von komprimiertem gasförmigem Wasserstoff ( $\text{CGH}_2$ , 700 bar) sind CFK-Druckbehälter (Typ IV) mit thermoplastischen Liner
- Zulieferer wie Hexagon Purus GmbH vertreiben hauptsächlich zylindrische CFK-Druckbehälter
- bis zu 70% der Gesamtkosten werden durch die Kohlenstofffasern verursacht
- Toroidaler CFK-Druckbehälter bietet bis zu 30% Material- und Gewichtsersparnis



Quelle: Hexagon Purus GmbH



Quelle: FAE



## Stand der Technik

4 zyl. H<sub>2</sub>-Druckbehälter  
→ 144 L



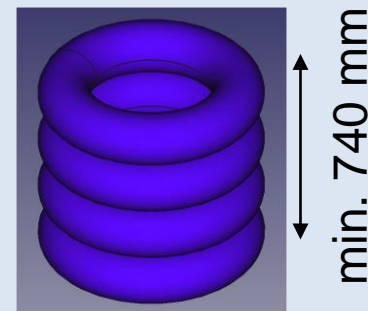
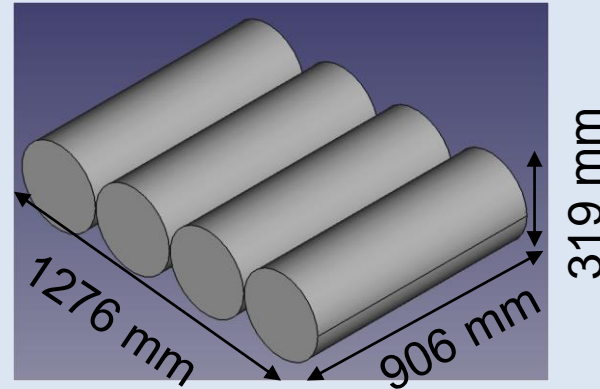
Quelle: Hexagon Purus GmbH



Hyundai NEXO (2018), 6,3 kg H<sub>2</sub>  $\triangleq$  157 L

4 toroidale H<sub>2</sub>-Druckbehälter  
→ 144 L

## Systemkonzept mit 4 Behälter



Abmessungen  
ohne Befüll-  
insert

780 mm

min. 740 mm

## Vergleich

Bauraum

0,369 m<sup>3</sup>

-3 %

0,358 m<sup>3</sup>

System-  
gewicht

136 kg

-31 %

94 kg

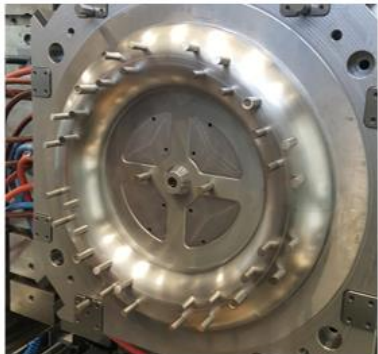
| Partner   | Aufgaben   |
|---|--|
| TU Chemnitz, Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung | <ul style="list-style-type: none"><li>• Materialentwicklung und Charakterisierung</li><li>• Entwicklung und Gestaltung der Ringwickelanlage in Kooperation mit dem Cetex Institut gGmbH, Chemnitz</li></ul>  |
| TU Chemnitz, Professur Alternative Fahrzeugantriebe                 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Strömungssimulation für die H<sub>2</sub> Betankung</li><li>• H<sub>2</sub> Permeationsanalysen</li></ul>  |
| Albert Polenz GmbH, Großweitzschen                                  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Entwicklung eines Spritzgusswerkzeuges für die Ober- und Unterschale des Kunststoffliners</li><li>• Integration eines metallischen Inserts in das Spritzgusswerkzeug</li></ul>   |
| <b>LSE GmbH</b> , Chemnitz  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Gestaltung, analytische und numerische Simulation eines Ringdruckbehälters</li><li>• Fügen der beiden Kunststoff Halbschalen durch Laserschmelzen in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik, Dresden</li><li>• Analyse und Optimierung der Ringwickeltechnologie in Kooperation mit dem Cetex Institut gGmbH</li><li>• Herstellung und Prüfung der Ringdruckbehälter</li></ul> |
| FAE Elektrotechnik GmbH & Co. KG, Heidenau                          | <ul style="list-style-type: none"><li>• Definition aller technischen Anforderungen und Spezifikationen</li><li>• Konnektivität zwischen Tank und Brennstoffzellensystem (BZS)</li><li>• Gestaltung der Sicherheitskette und Integration des Tanks in ein neuentwickeltes BZS</li></ul>   |

Laufzeit: **10/18 - 09/21**

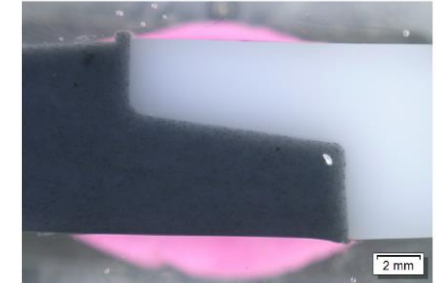
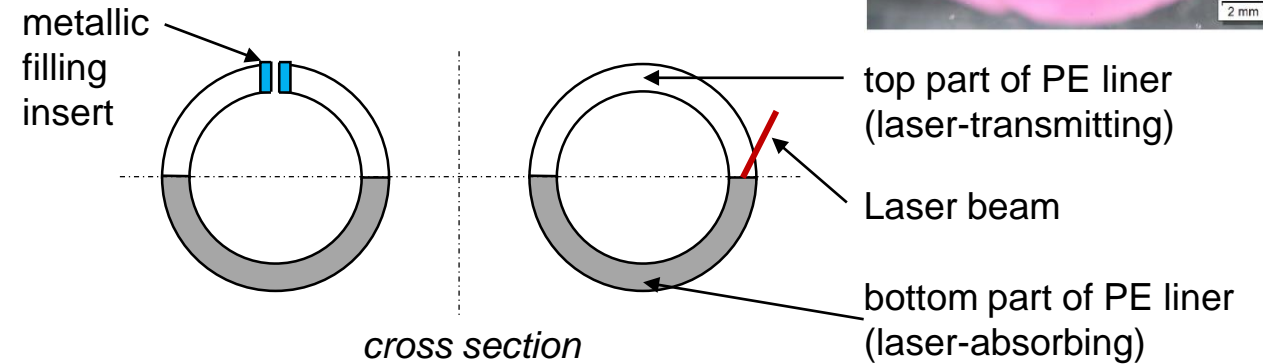
Gefördert durch: SAB Sächsische Aufbaubank

## Prozessablauf

- 1) Spritzgießen lasertransparente und laserabsorbierende Liner-Halbschale



- 2) Laserschweißen des Liners



- 3) Ringwickel-Verfahren



- 4) RTM-Verfahren



## Linermaterial

| Polymer           | Density*<br>in g/cm <sup>3</sup> | H <sub>2</sub> permeability<br>in cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d*bar | Price      |
|-------------------|----------------------------------|--|------------|
| <b>PE (HD-PE)</b> | <b>0.96</b>                      | <b>25-55</b>   | <b>low</b> |
| PP                | 0.9-1.0                          | 65   | low        |
| PA6               | 1.14                             | 7  | medium     |
| PVC               | 1.2-1.4                          | 10   | low        |
| PVDF              | 1.78                             | 3  | very high  |

## Matrix

Epoxy resin L +  
hardener GL 2  
- viscosity 250 mPas  
- approved by  
Germanischer Lloyd

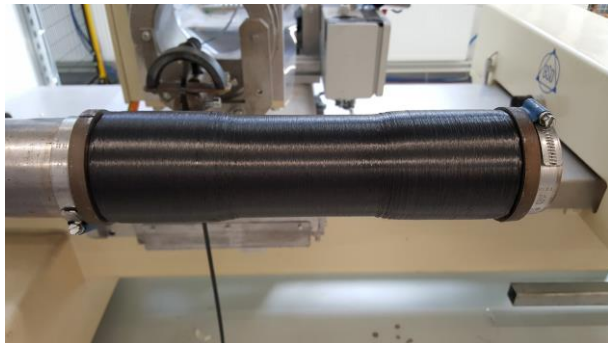
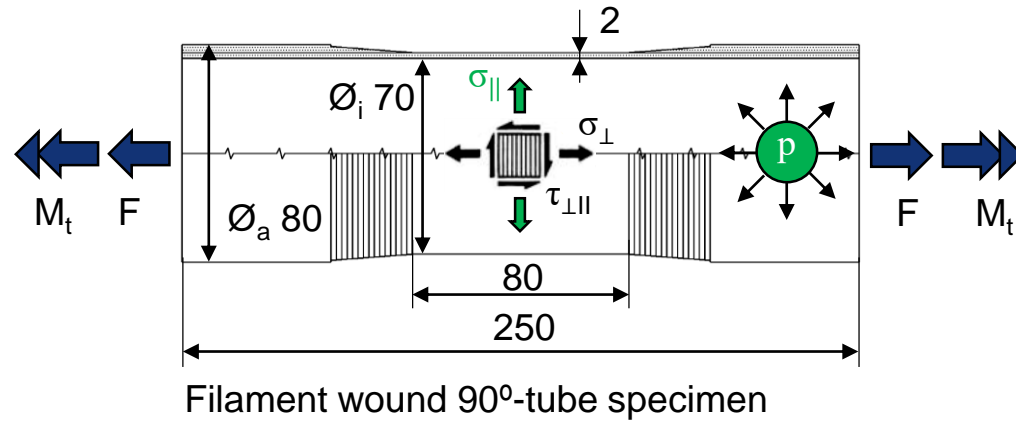
## Kohlenstofffaser

| Type                  | Density*<br>in g/cm <sup>3</sup> | Tensile strength*<br>in MPa | Young's modulus*<br>in GPa | Price         |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|
| Zoltek PX35 50K       | 1.81                             | 4137                        | 242                        | low           |
| <b>Toray T700 24K</b> | <b>1.80</b>                      | <b>4900</b>                 | <b>240</b>                 | <b>medium</b> |
| Tenax-E UTS50 24K     | 1.78                             | 5100                        | 245                        | medium        |
| Tenax-E IMS65 24K     | 1.78                             | 6000                        | 290                        | high          |

\* TDS of  
suppliers

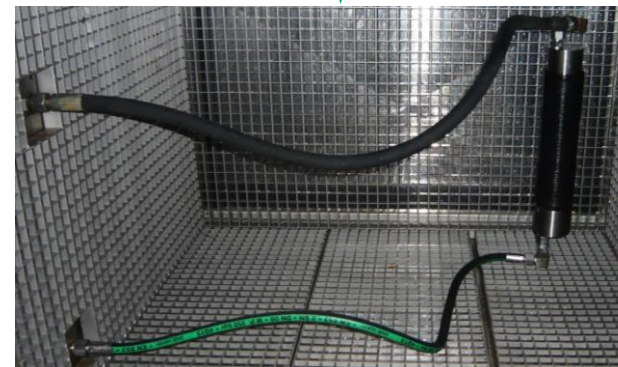
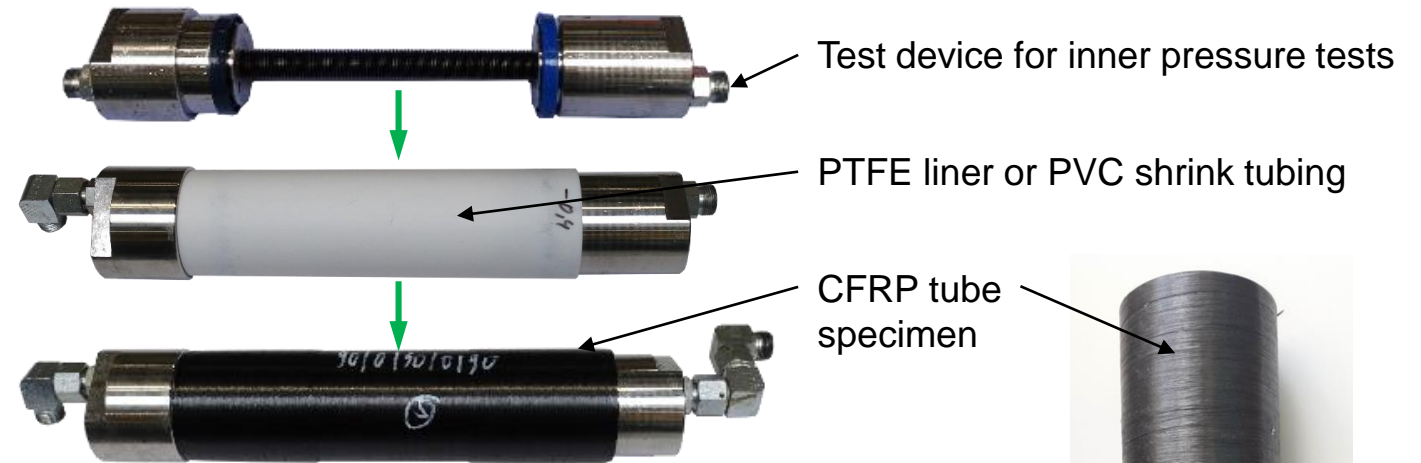


## Analyse der mechanischen Eigenschaften an gewickelten CFK-Rohrproben von -40°C bis +85°C

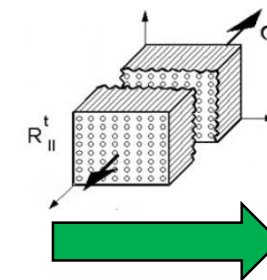


Filament winding machine Bolenz & Schäfer FWA II-4-1 with tube specimen

ZWICK universal testing machine Z250 with climate chamber



test rig with climate chamber for inner pressure

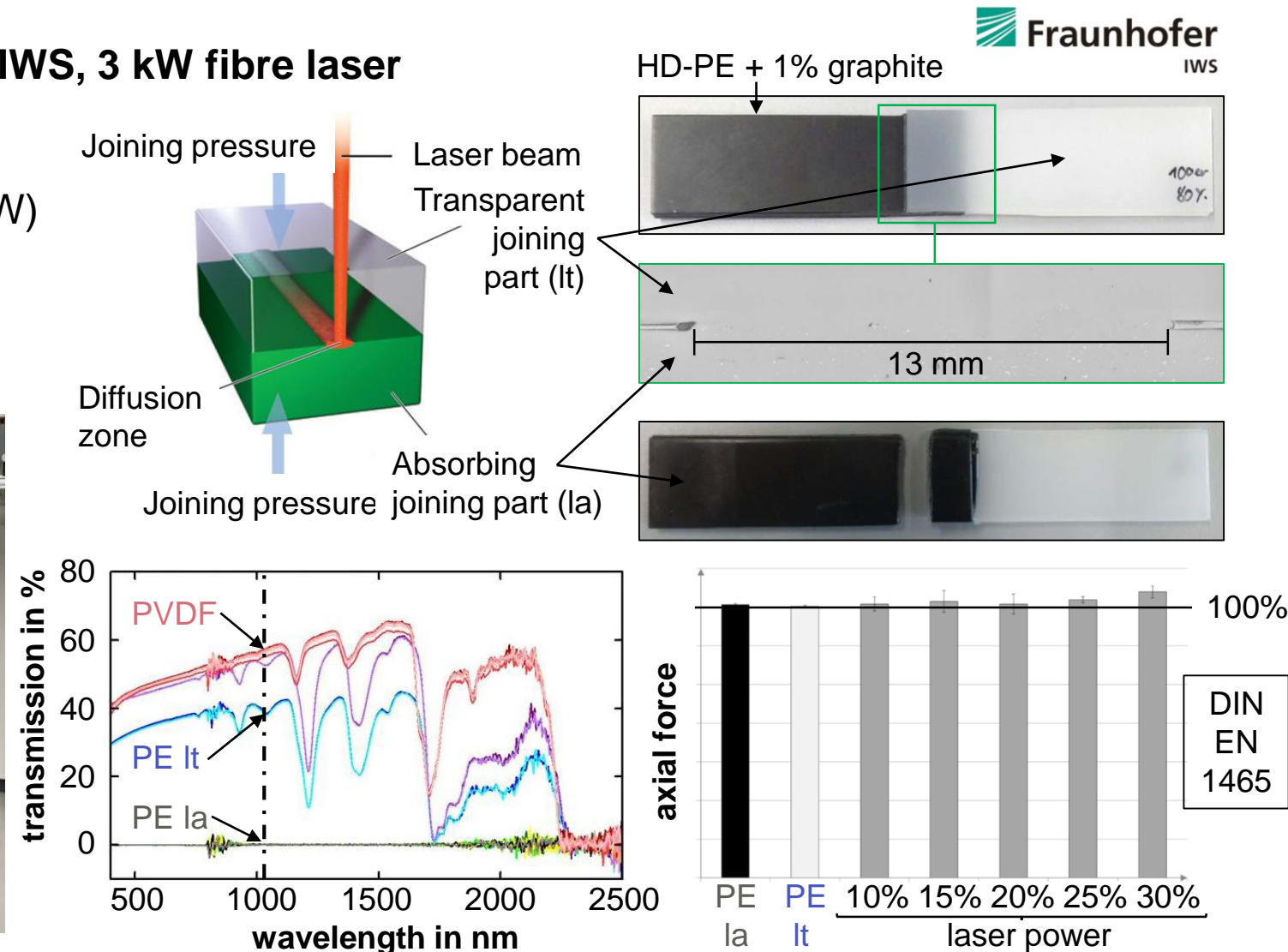


fibre tensile failure

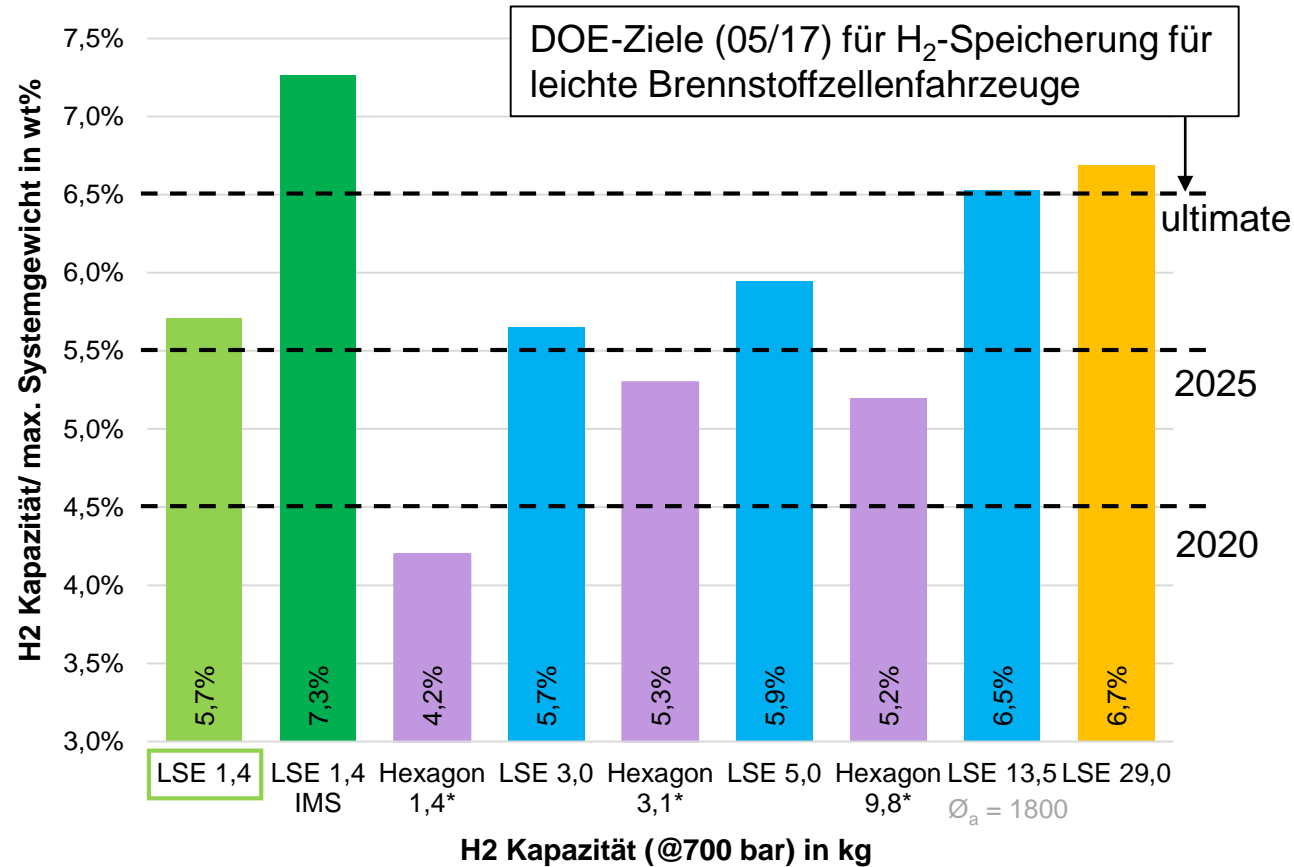


## Laser welding unit MuReA of Fraunhofer IWS, 3 kW fibre laser

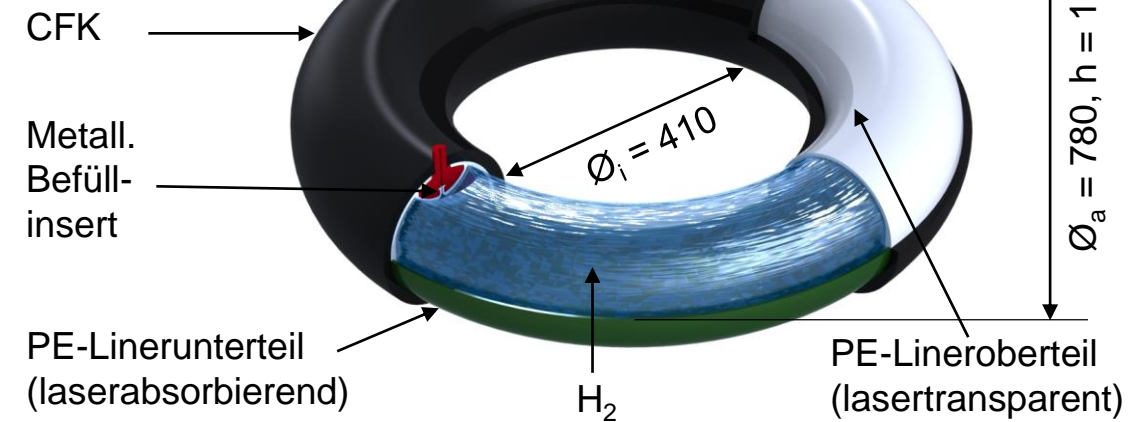
- $\lambda = 1060 \text{ nm}$
- Analysed laser power = 10-30% (300-900 W)
- Scanning speed = 5 m/s
- $t_{\text{specimen}} = 4 \text{ mm}$ , material = HD-PE



## Überblick von CFK-H<sub>2</sub>-Druckbehältern (700 bar)

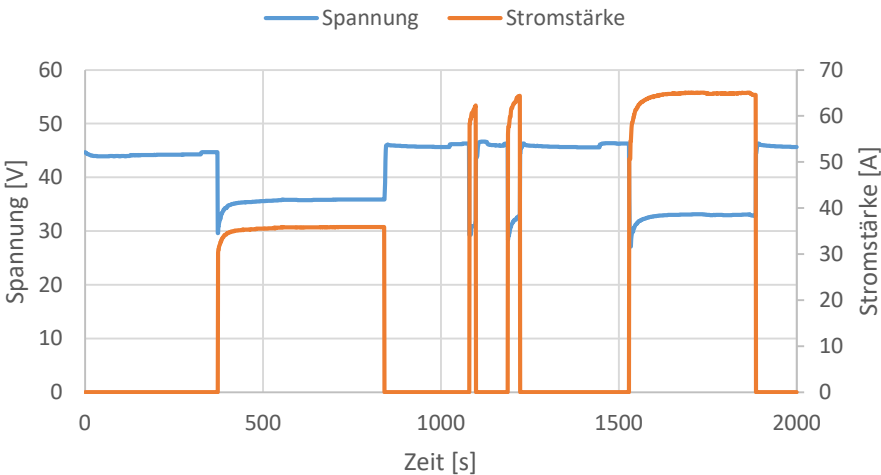


### Projektdemonstrator "LSE 1,4"

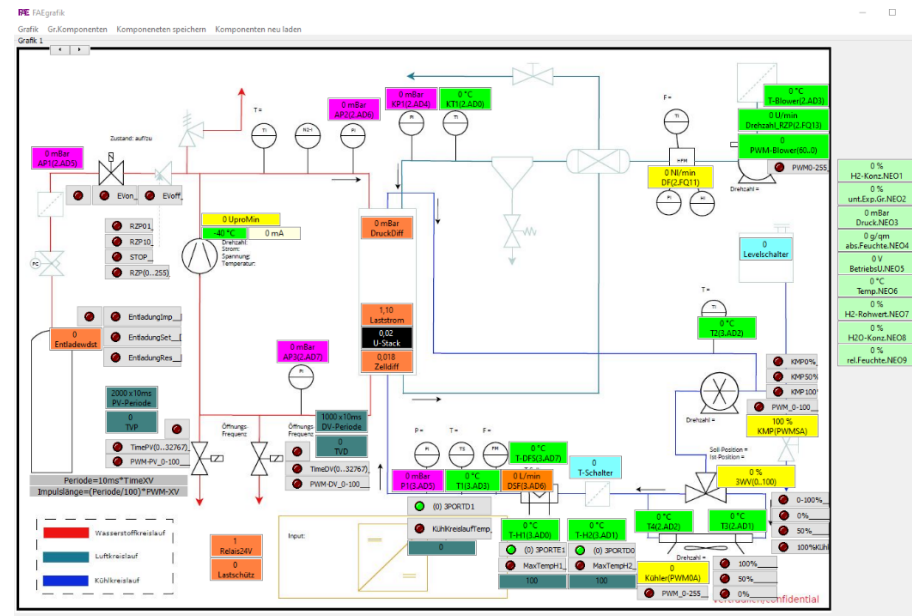


\* Hexagon Purus datasheet: Hydrogen type 4 tank information, 2021.

- Strategieerarbeitung zur Integration des Tanks in das BZS – enge normenbezogene Abstimmung mit TÜV Süd zur Anwendungsermittlung
- Erarbeitung einer Sicherheitskette zur Systemüberwachung
- Eigenentwicklung des Userinterface für Versuche
- Verschiedene Iterationsstufen für die Erstellung des Tank-Gehäuses



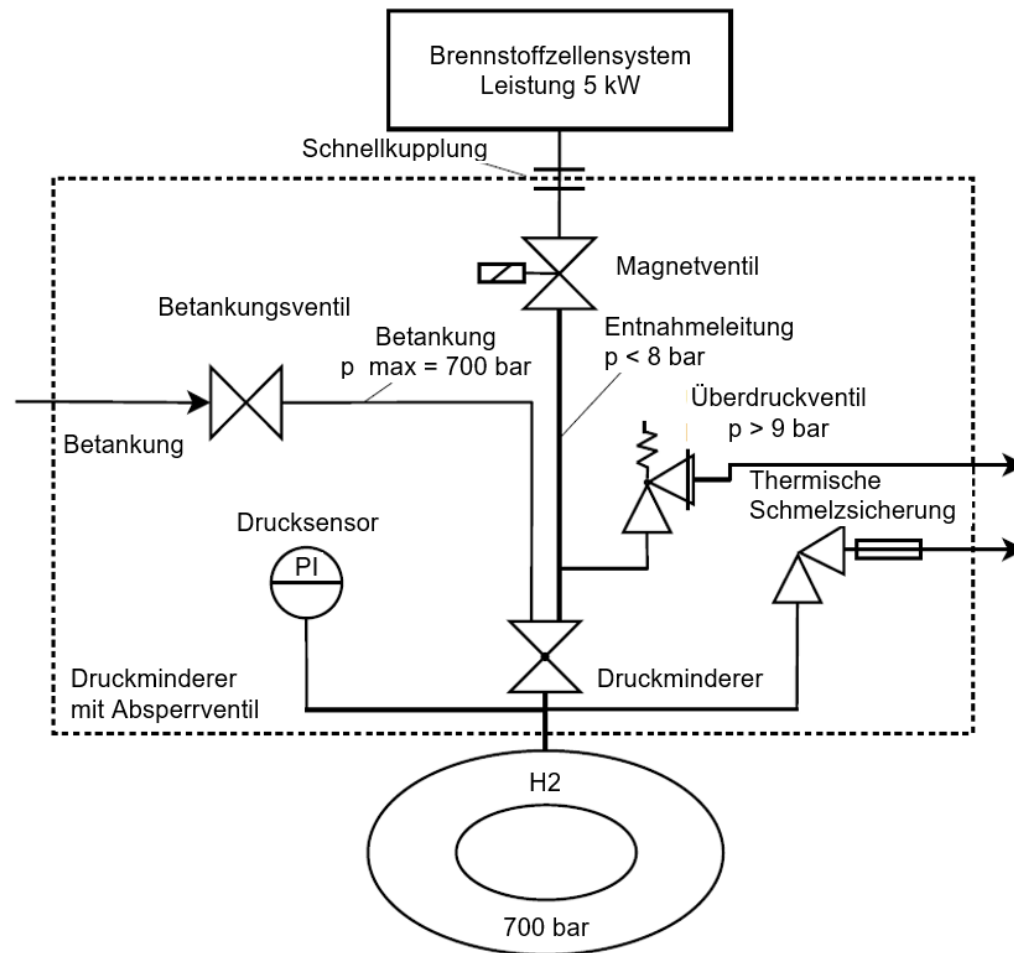
Messwerte des Brennstoffzellensystems



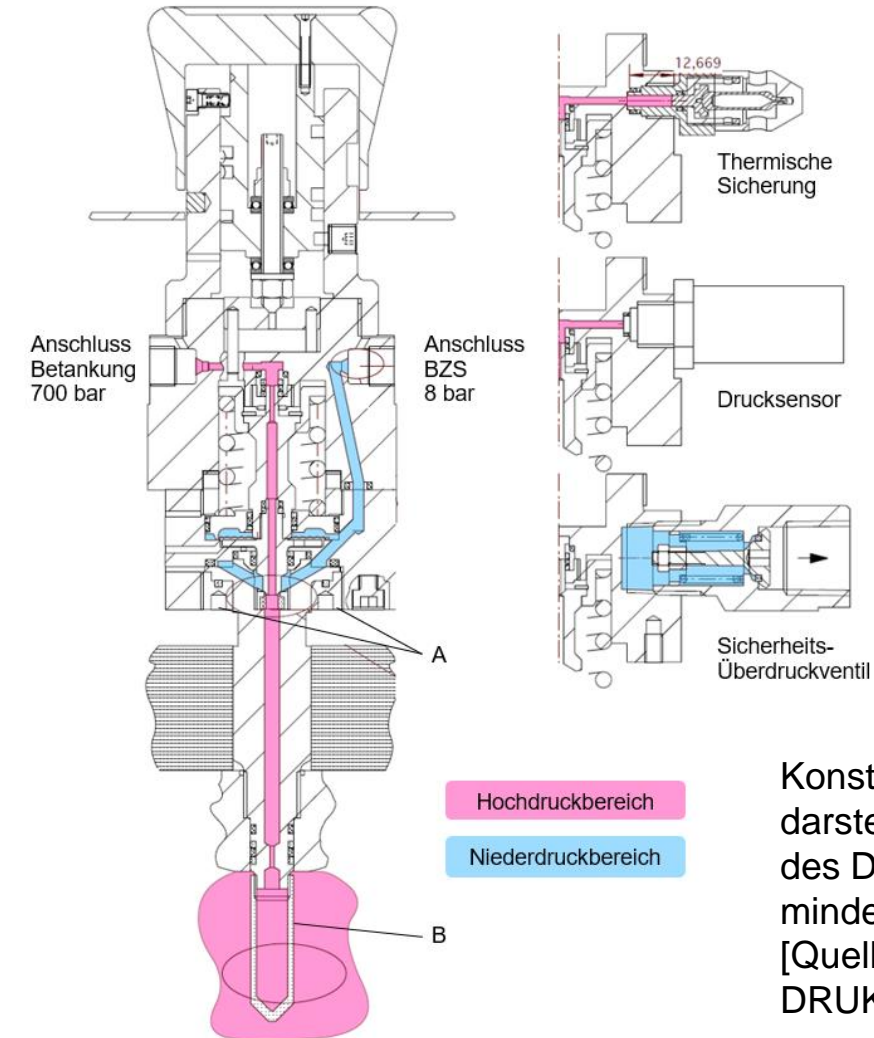
Ausschnitt User-Interface



Tankgehäusekonzept aus 3D-Druckteilen



Schema des Druckminderers mit integriertem Absperrventil

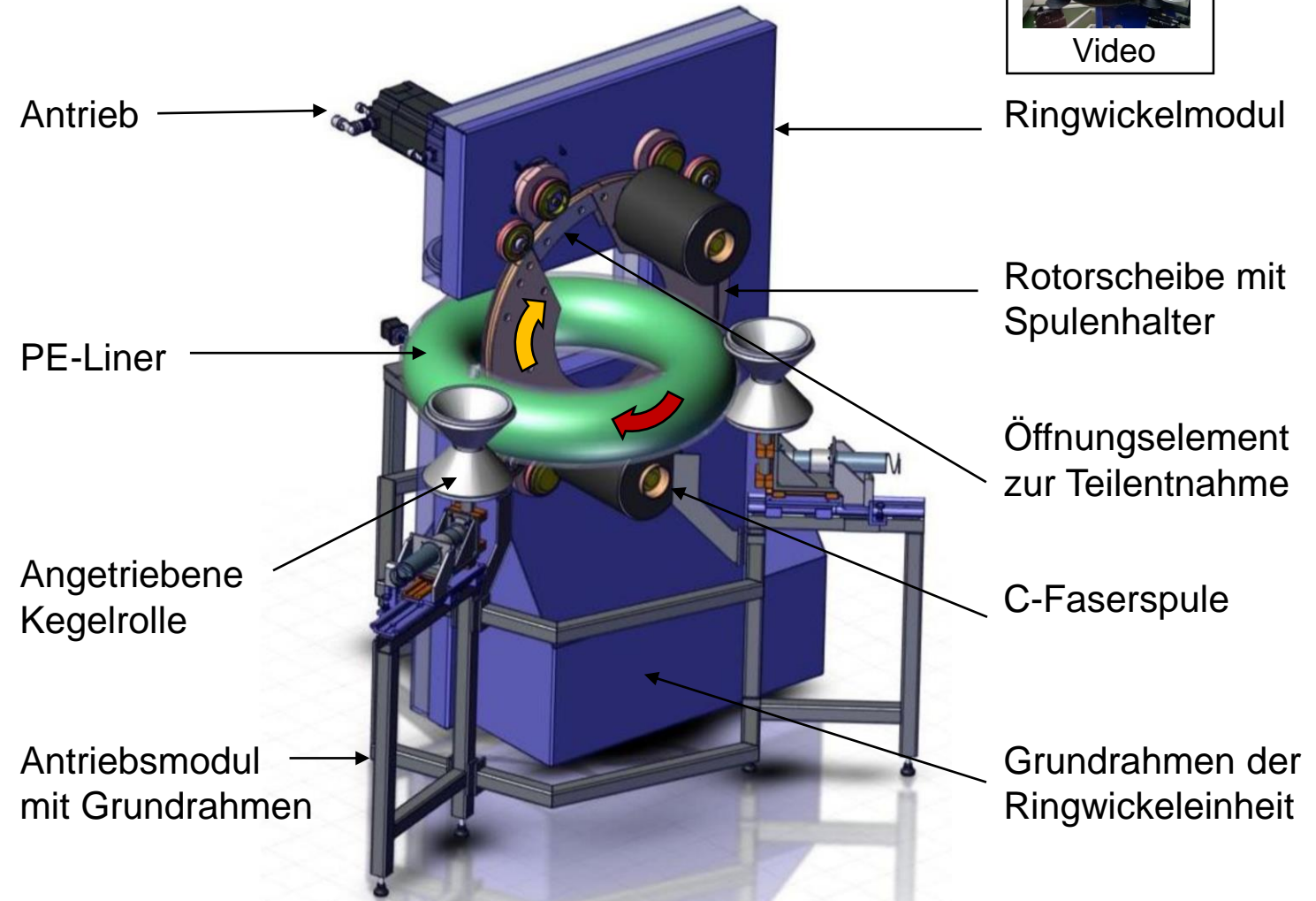


Konstruktions-  
darstellung  
des Druck-  
minderers  
[Quelle:  
DRUKON]



## Prototyp-Ringwickler

- Entwicklung und Herstellung durch Cetex Institut gGmbH, Chemnitz
- Abmessungen 1450x1650x1600 mm
- Ringwickelmodul mit 2 CFK-Roving-spulen und Antriebsmodul für Rotation



## Zusammenfassung

- HD-PE mit akzeptablen Wasserstoffpermeationskoeffizienten für das Spritzgießen und Laserfügen von Liner-Halbschalen ausgewählt → Lasergeschweißte Proben besitzen gleiche Permeationseigenschaften wie Grundmaterial
- Laserschweißverfahren an spritzgegossenen PE-Halbschalen durch Innendruckprüfung validiert
- Projektdemonstrator "LSE 1.4" erreicht DOE-Ziel für 2025 für leichte Brennstoffzellenfahrzeuge mit 31% weniger Gewicht und geringerem Faseranteil als ein vergleichbarer, zylindrischer CFK-Druckbehälter
- Prototyp-Ringwickler ermöglicht einen automatisierten Herstellungsprozess
- Entwicklung einer intelligenten Sicherheitskette zur Systemüberwachung
- User-Interface wird im Entwicklungsprozess weiterverwendet
- Entwicklung eines Brennstoffzellensystems

## Ausblick

- Optimierung und Weiterentwicklung des Ringwickelprozesses
- Betriebs(700 bar)- und Berstdruckprüfung (1575 bar) mit Wasserstoff
- Produktzulassung in Unterstützung mit der TÜV Süd AG
- Experimentelle Untersuchungen zur Substitution des RTM-Prozesses (TowPreg, Hybridgarn)
- Erreichung der Produktreife des mobilen Brennstoffzellensystems



## Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

**Kontakt: LSE-Lightweight Structures Engineering GmbH**  
Annaberger Str. 240  
09125 Chemnitz

Tel: +49 (0) 371 27095 140  
Fax: +49 (0) 371 27095 131  
E-Mail: [norbert.schramm@lse-chemnitz.de](mailto:norbert.schramm@lse-chemnitz.de)

<https://www.lse-chemnitz.de>

Onlineshop: <https://lse-shop.de/>

### Danksagung

Die Arbeiten werden finanziell unterstützt durch die ESF-EFRE  
Technologieförderung der SAB Sächsische Aufbaubank.  
Ein Projekt der Projektinitiative HZwo:FRAME.

