

# Sensoren zur Herstellungs- und Strukturüberwachung von Wasserstoffdruckspeichern

Dr.-Ing. Nico Liebers

Lars Trampe M. Sc.

Dr.-Ing. Caroline Lüders

Sven Ropte M. Sc.

Dr.-Ing. Sebastian Freund



Wissen für Morgen

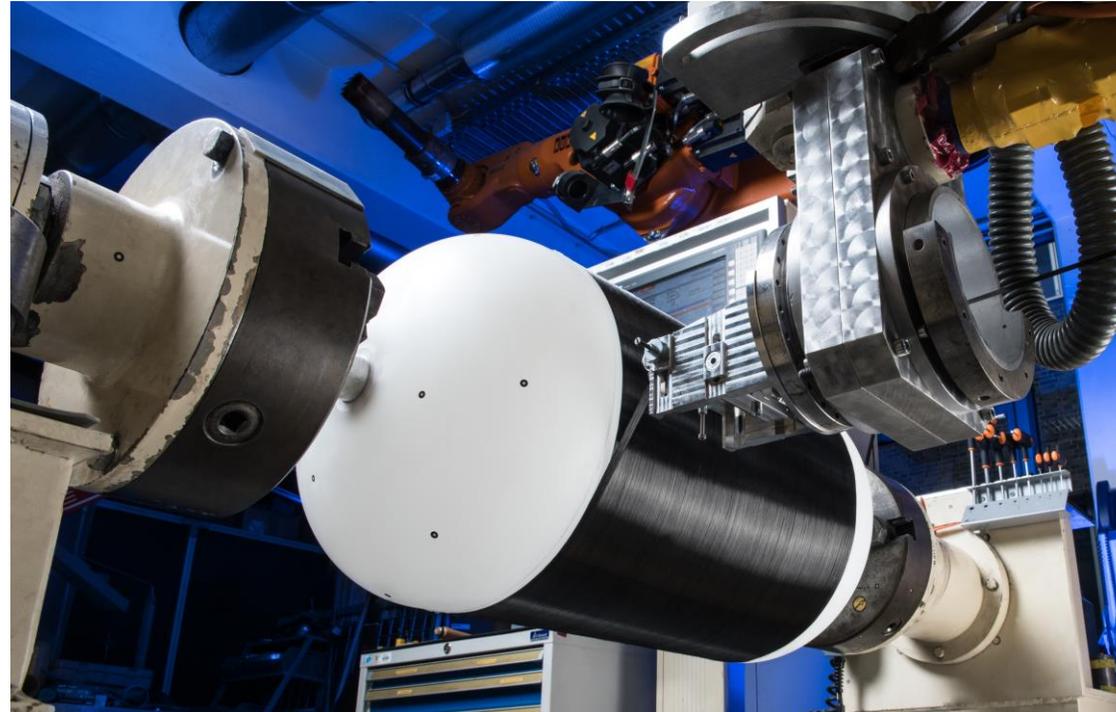


# Wasserstoffdruckspeicher aus CFK: Herausforderungen

**Schwankungen  
in der Fertigung  
und Material**

**Beschädigung  
im Betrieb**

**Unsicherheiten  
in Auslegung**

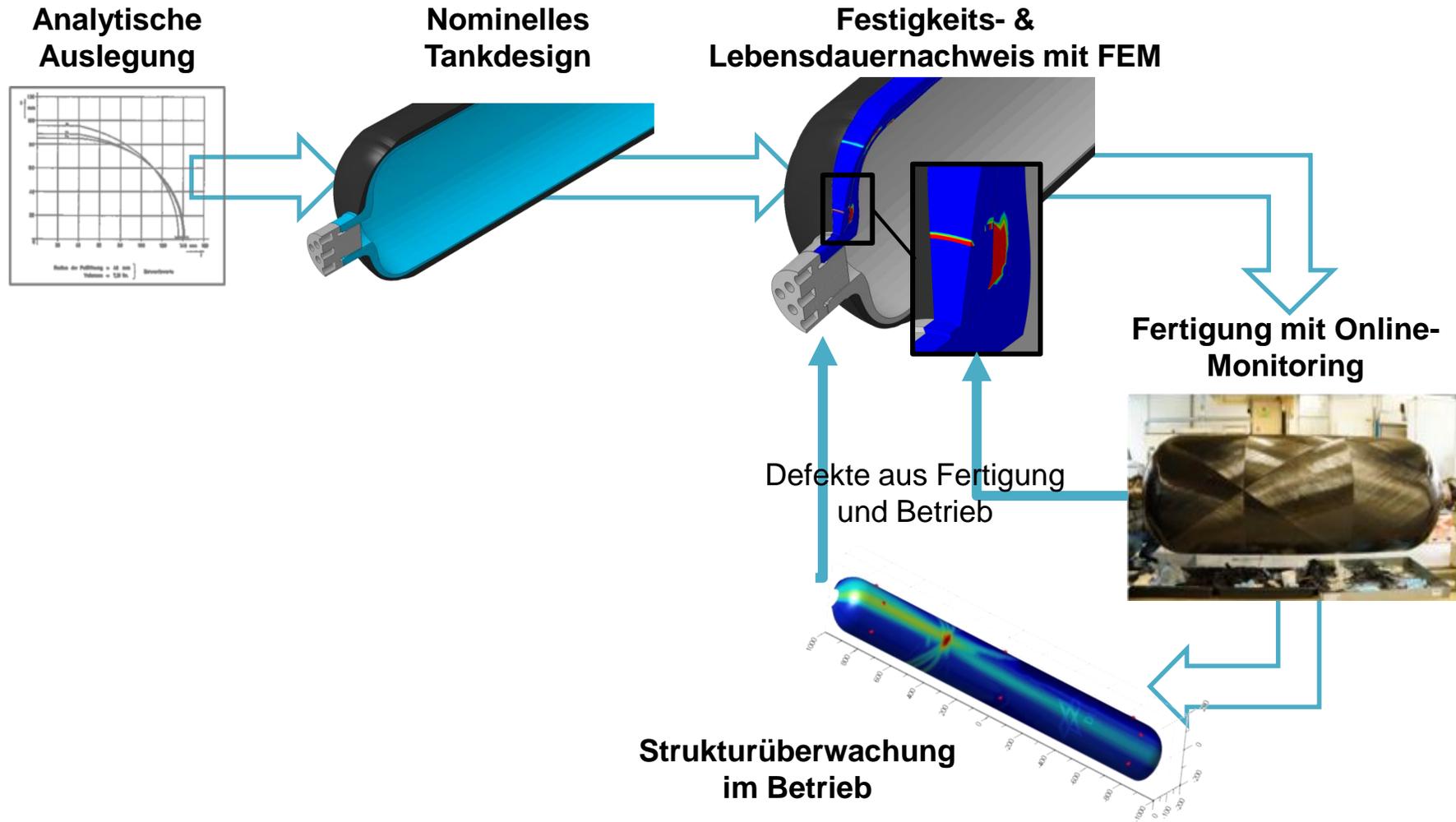


**Oversizing**

**Konservative  
Lebensdauer-  
vorhersage**



# Lösungsansatz (DLR-internes Projekt „NGT-BIT“)



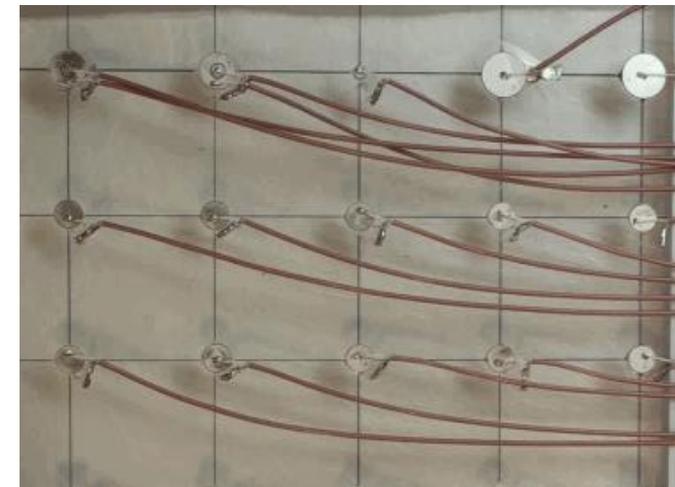
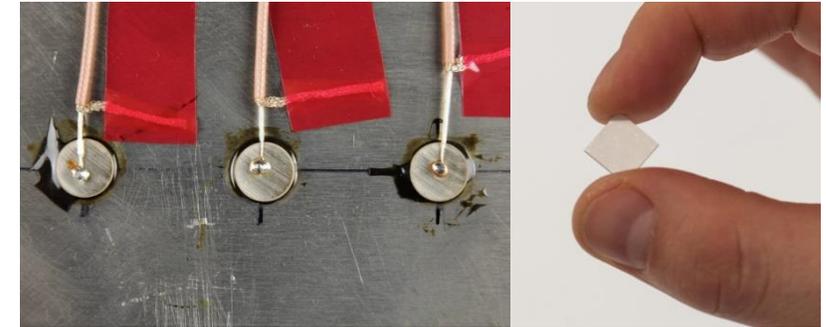
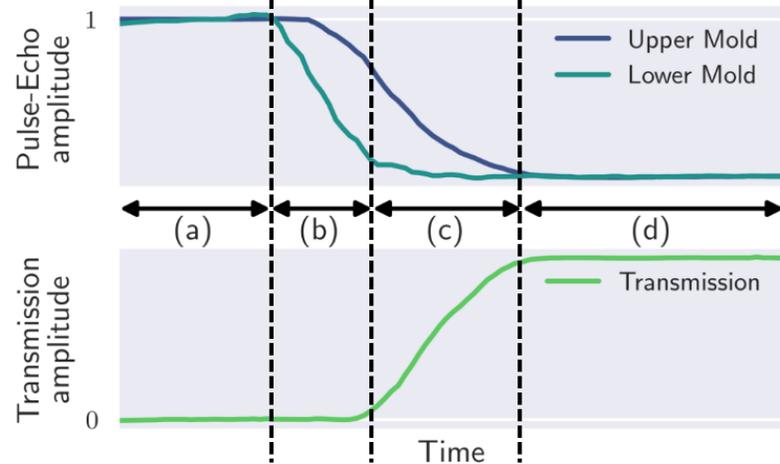
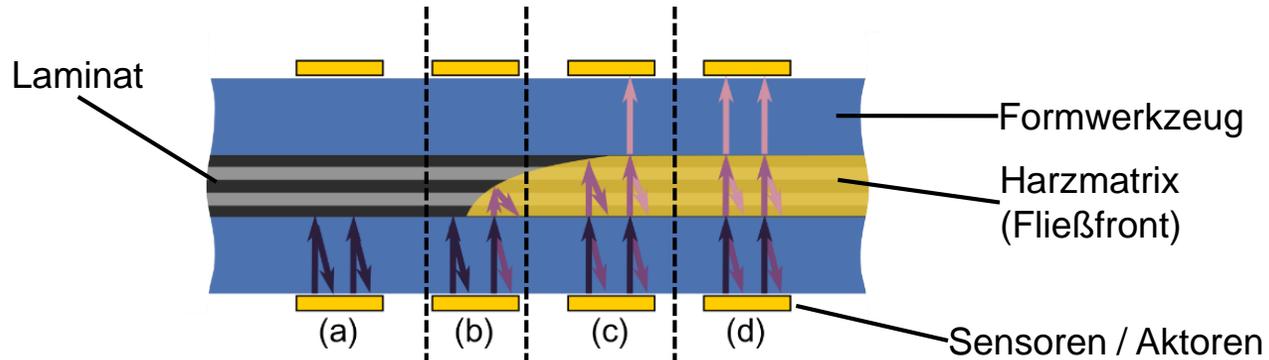
# Ziele

- Lebensdaueranalyse im Designprozess sowie eine durch das Fertigungs- und SH-Monitoring ermöglicht lebenszyklusbegleitende Lebensdauerbewertung erlaubt ...
  - ... erhöhte Sicherheit durch kontinuierliches Monitoring im Betrieb und dadurch ...
  - ... die Reduktion der Wandstärke (reduzierte Sicherheitsfaktoren) und damit eine Tankmassereduktion.
  - ... Erhöhung des Speicherdrucks auf 700 bar und damit mehr Reichweite bei gleicher Tankgröße oder weniger Bauraum bei gleicher Reichweite.
  - ... eine bedarfsgerechte Wartung und damit Kosteneinsparungen.



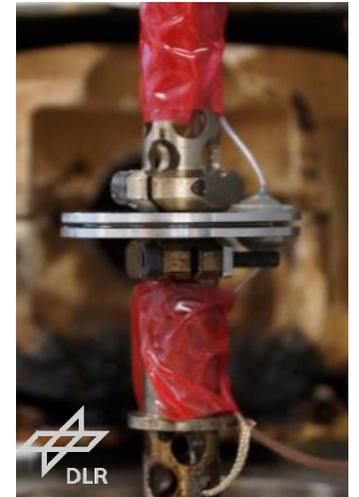
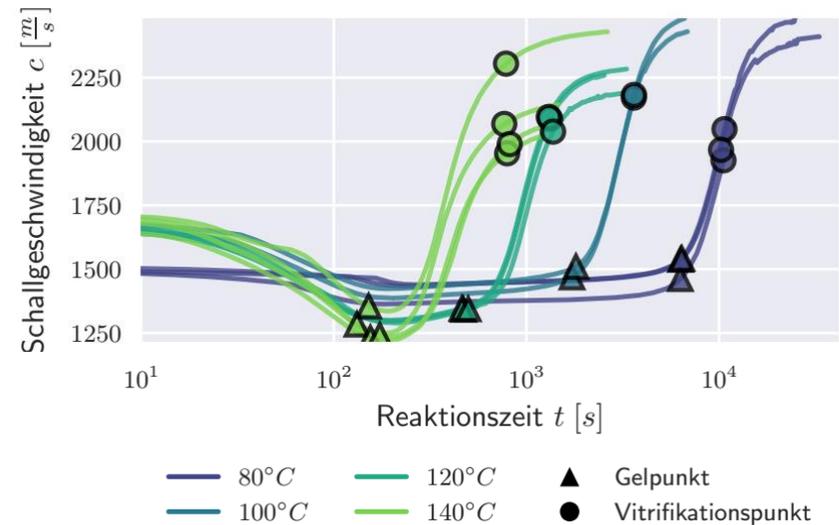
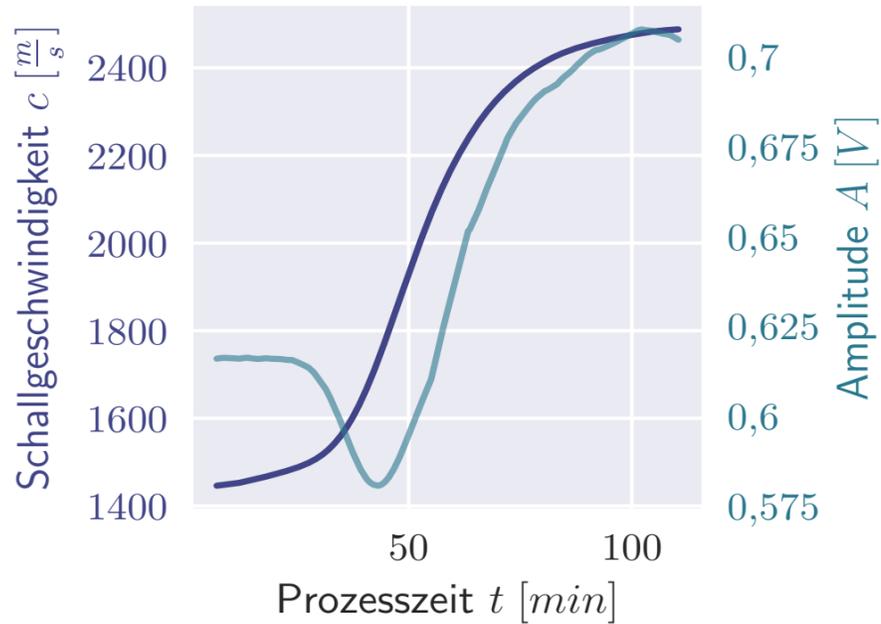
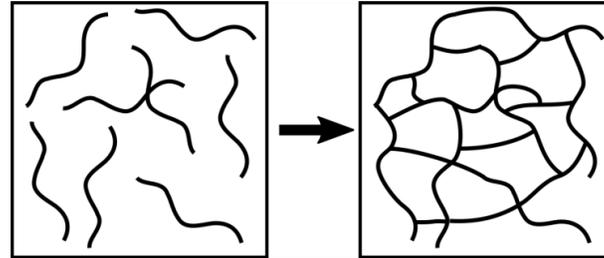
# Überwachung von Fertigung und Betrieb

## Prozessüberwachung: Imprägnierung



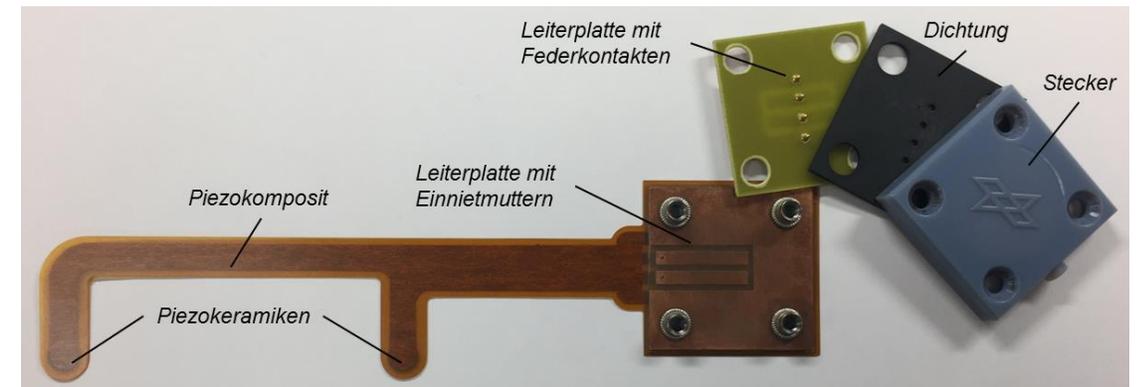
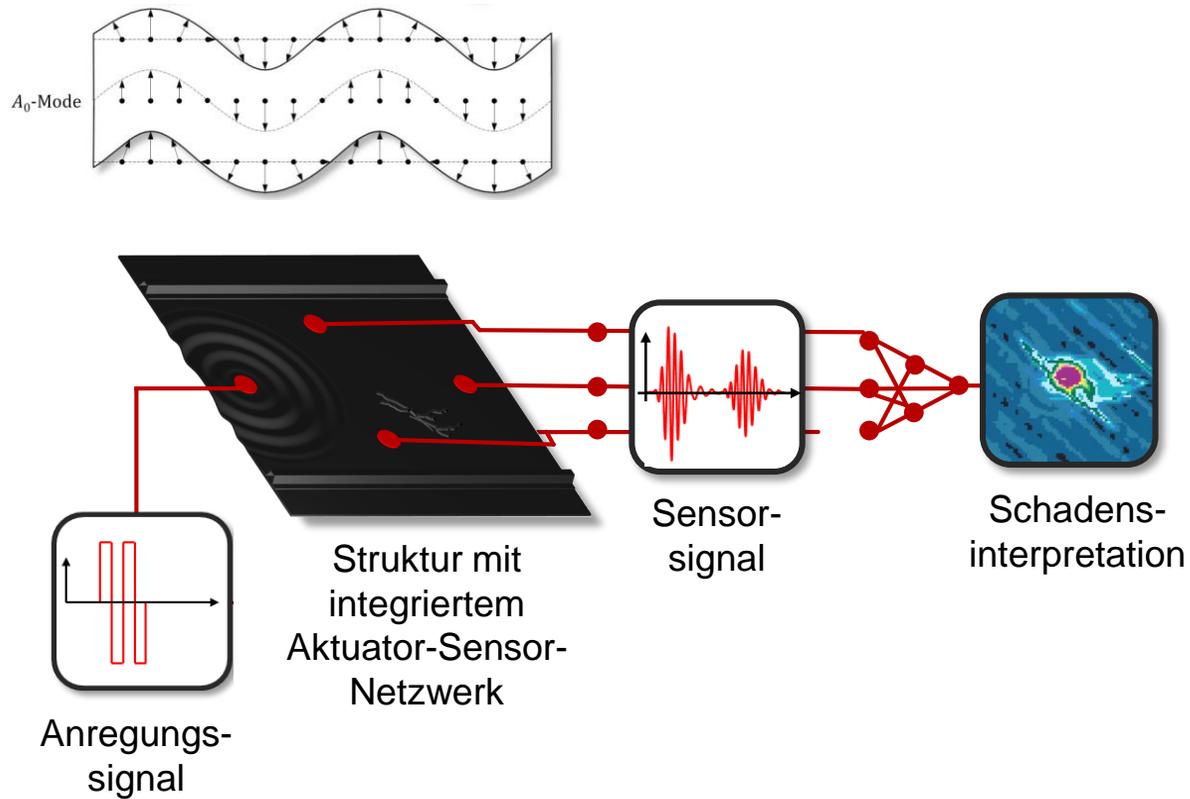
# Überwachung von Fertigung und Betrieb

## Prozessüberwachung: Aushärtung



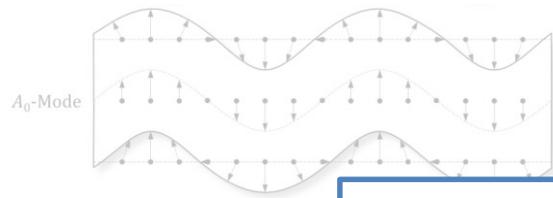
# Überwachung von Fertigung und Betrieb

## Structural Health Monitoring (SHM) - Strukturüberwachung im Betrieb



# Überwachung von Fertigung und Betrieb

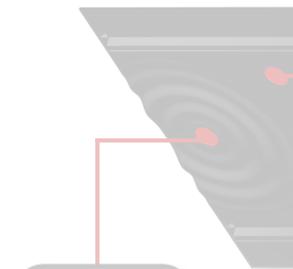
## Structural Health Monitoring (SHM) - Strukturüberwachung im Betrieb



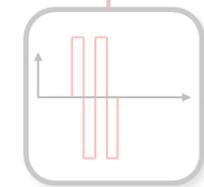
**Aktoren / Sensoren für beide Phasen nutzen:**

- Überwachung der Herstellung
- Defekte im Betrieb / bei der Wartung

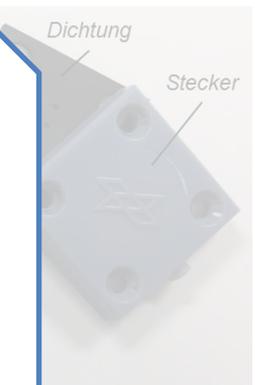
**Lambwellen für Herstellungsüberwachung  
Sensordaten in Lebensdaueranalyse einfließen lassen**



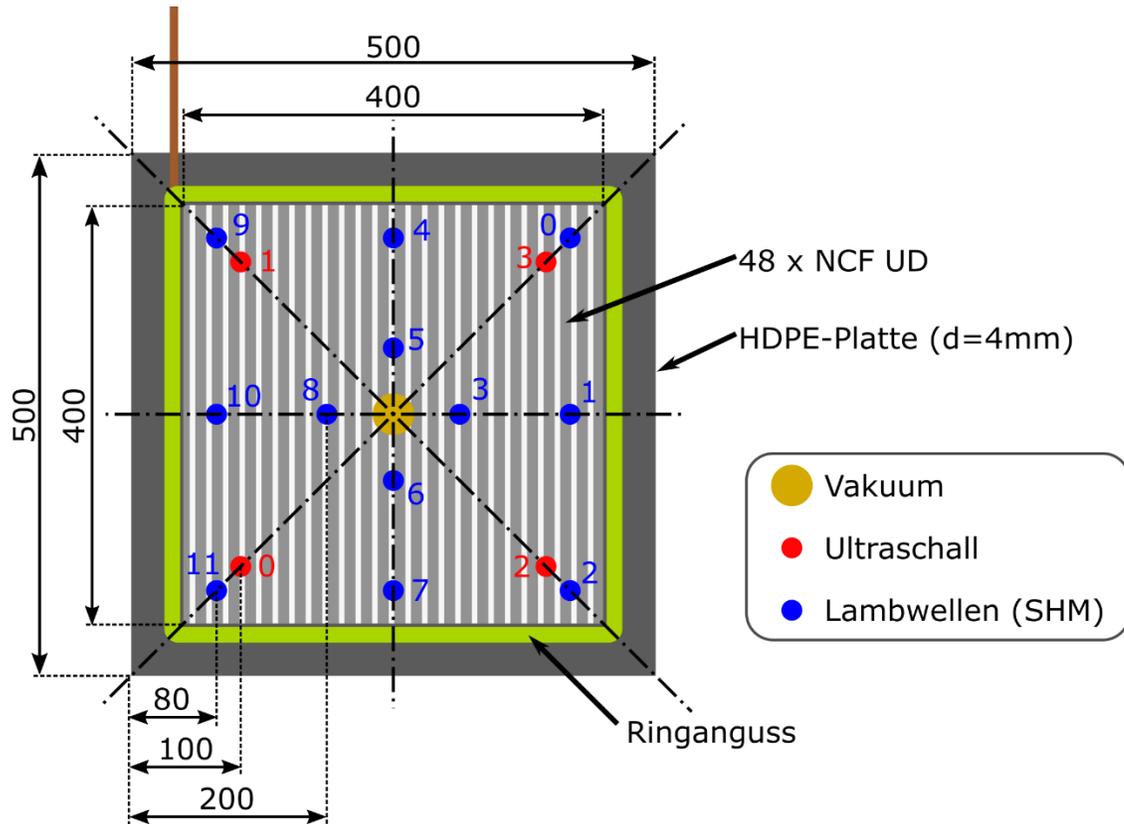
Struktur  
integriertem  
Aktuator-Sensor-  
Netzwerk



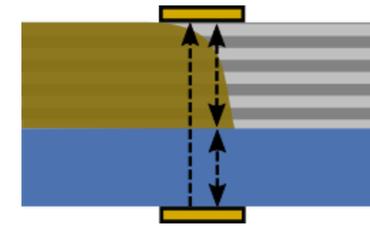
Anregungs-  
signal



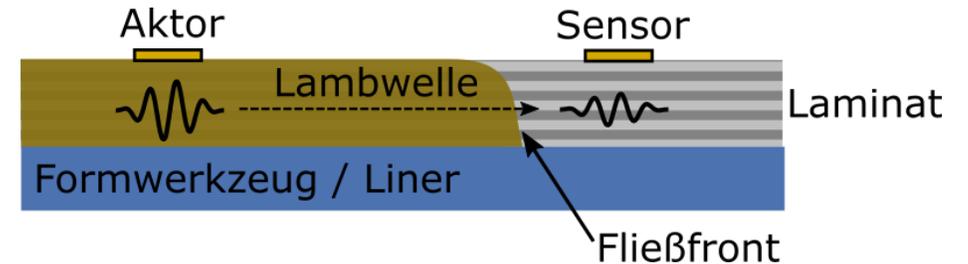
# Versuchsergebnisse: Prozessüberwachung mit Lambwellen



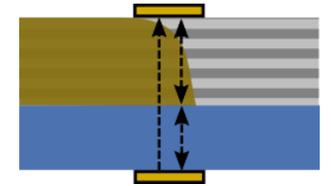
- Referenzmessungen “klassisch” mit Druckwellen (Rot)
  - Impuls-Echo (Fließfront)
  - Durchschallung (Fließfront und Aushärtung)



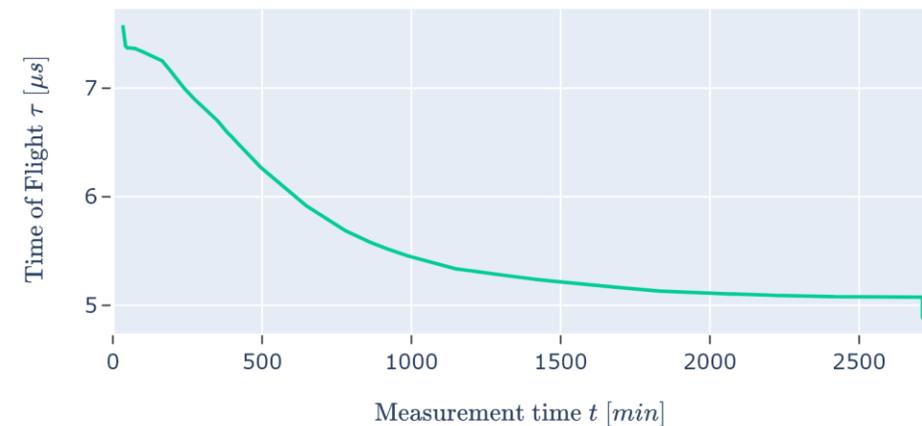
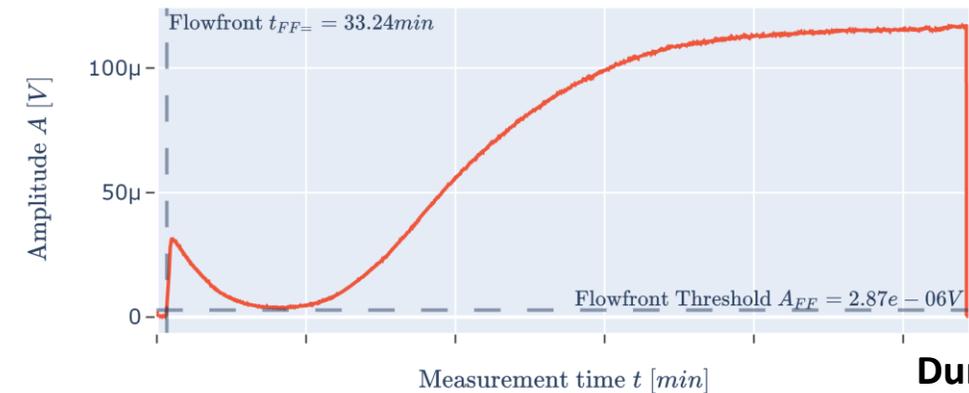
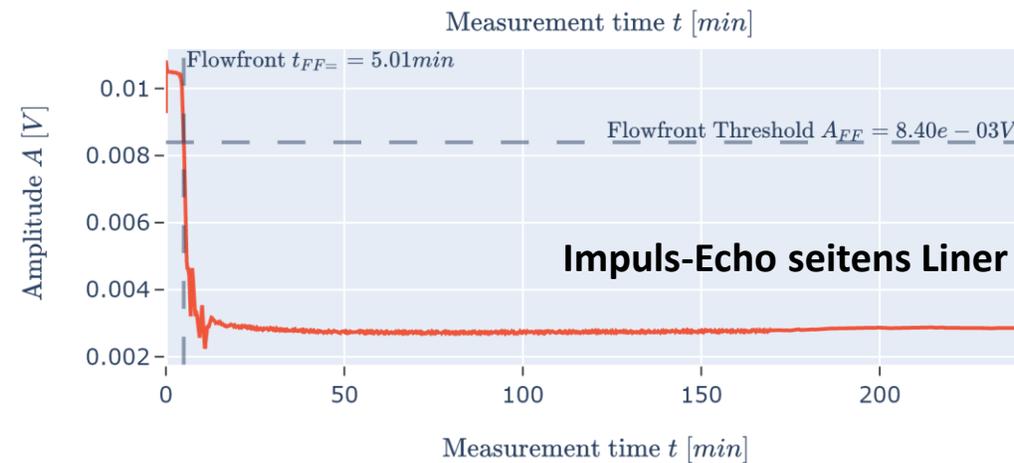
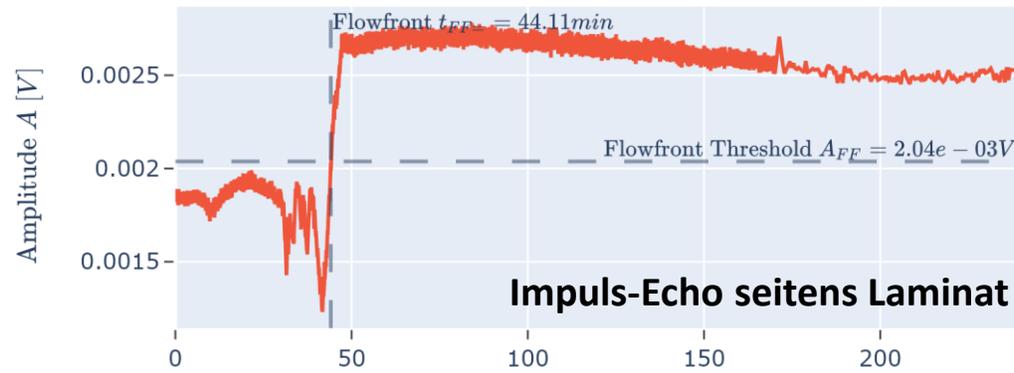
- Herstellungsüberwachung mit Lamb-Wellen (Blau)
  - Unterschiedliche Aktuator-Sensor-Kombinationen  
→ Amplituden und Laufzeiten mit Referenzmessung korrelieren



# Versuchsergebnisse: Prozessüberwachung mit Lambwellen

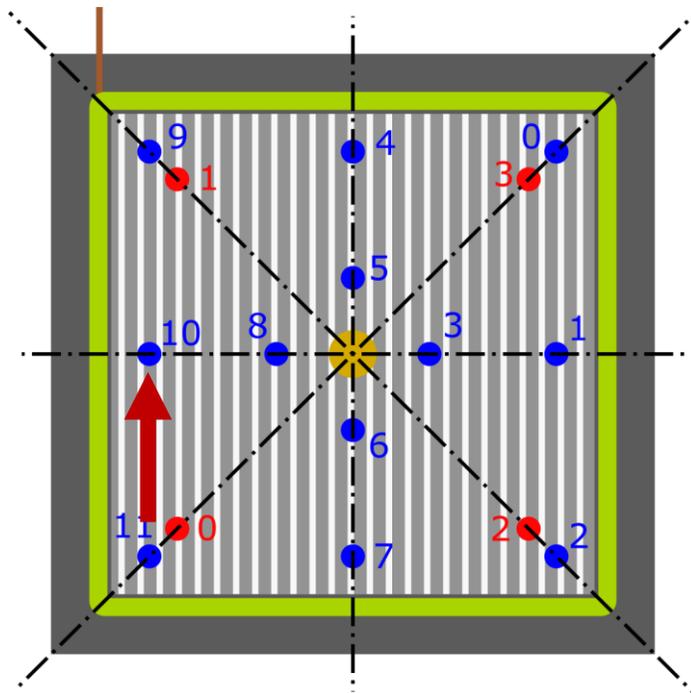


## Referenzmessungen "klassisch" mit Druckwellen

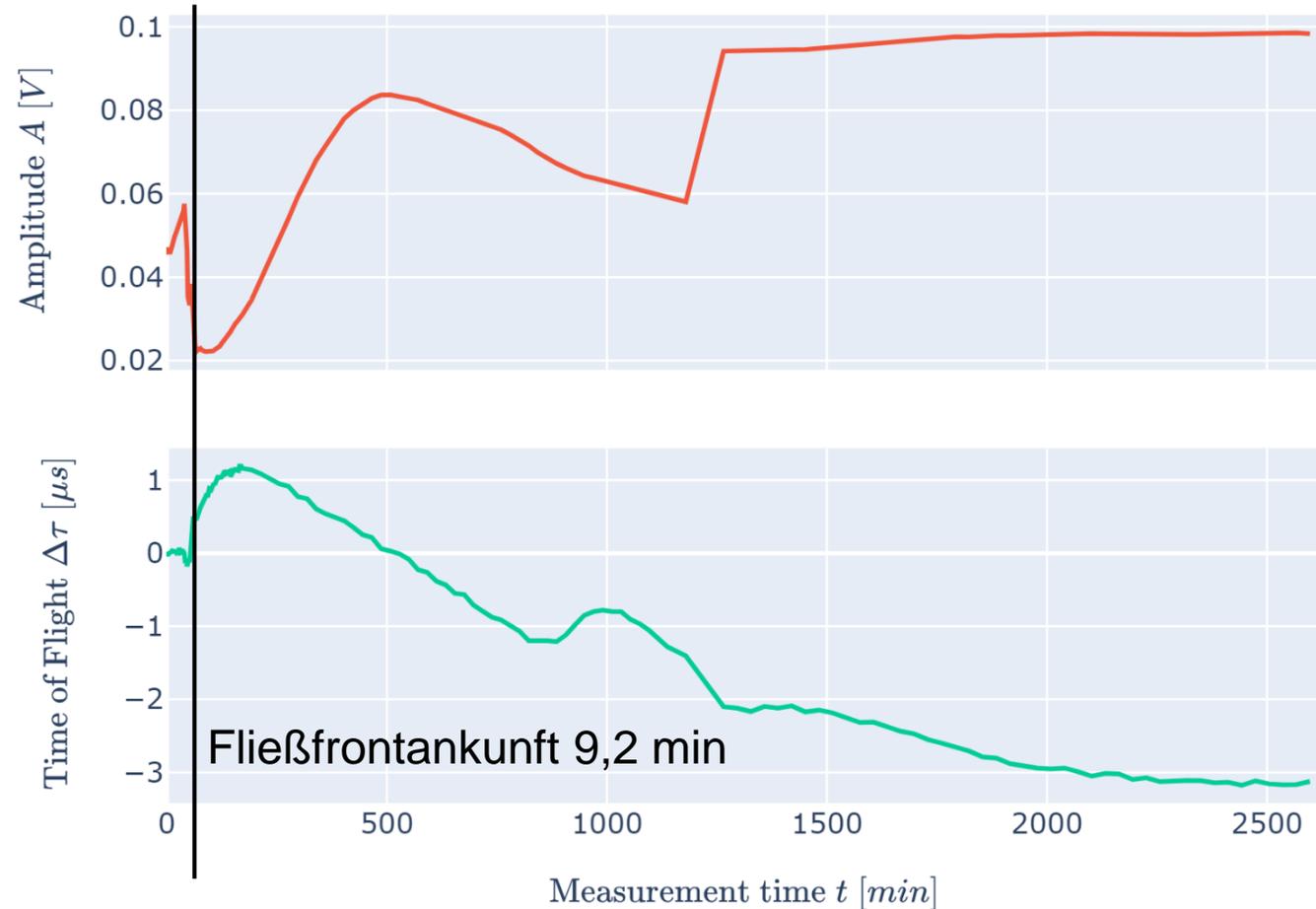


# Versuchsergebnisse: Prozessüberwachung mit Lambwellen

## Lambwellen in Faserrichtung: Fließfrontüberwachung

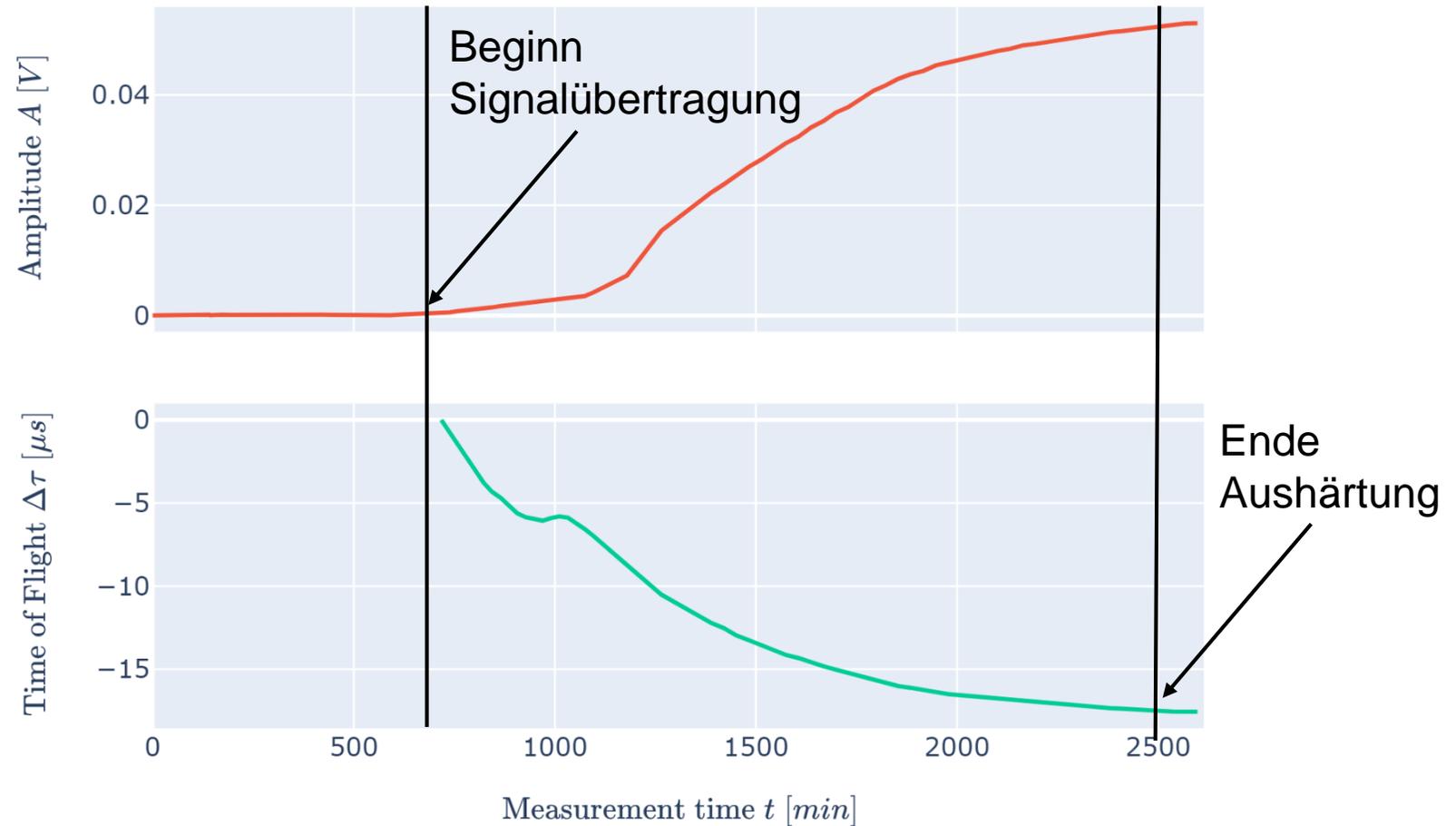
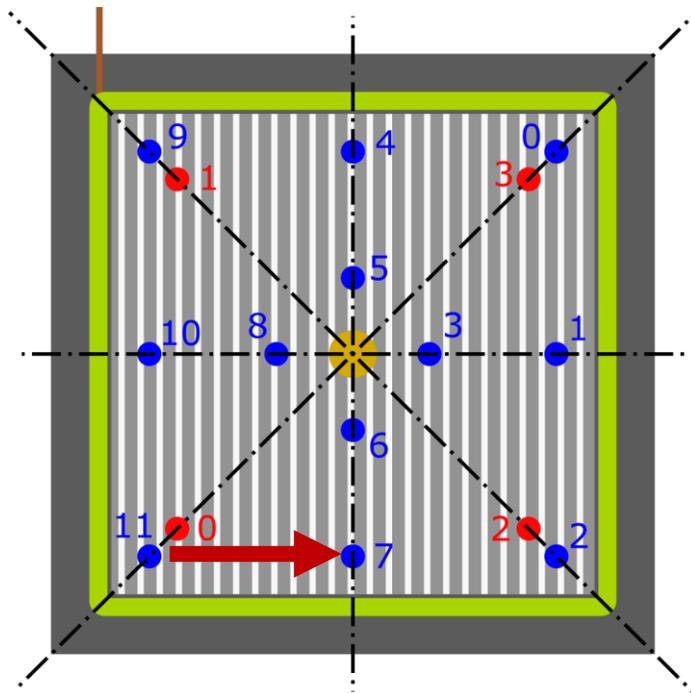


Referenz (Impuls-Echo):  
 Unterseite: 5 min  
 Oberseite: 44 min



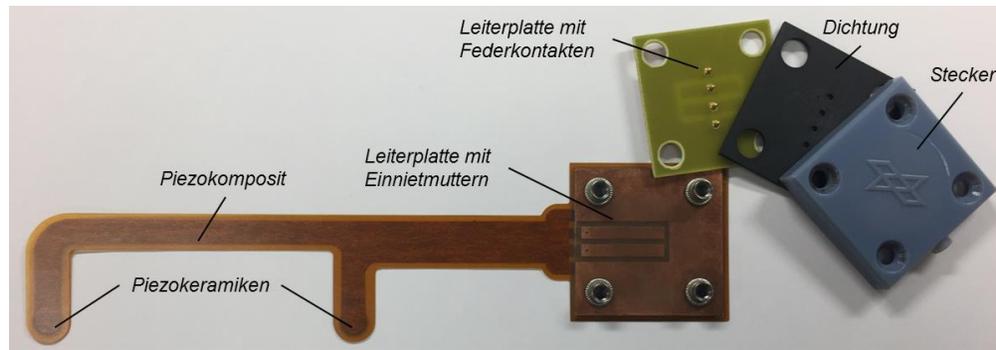
# Versuchsergebnisse: Prozessüberwachung mit Lambwellen

## Lambwellen quer zu Faserrichtung: Aushärtungsüberwachung



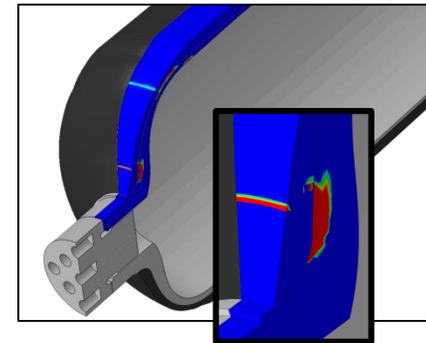
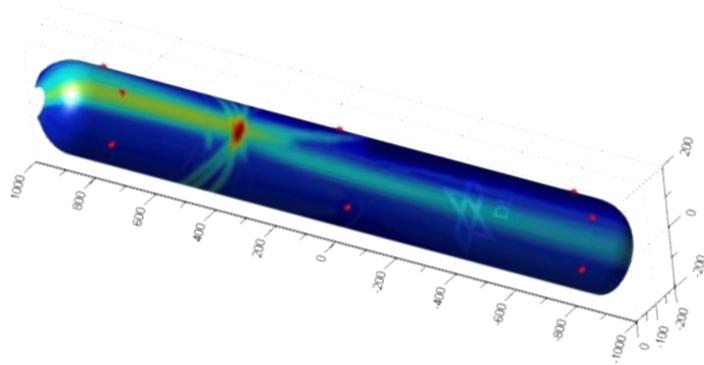
## Fazit

- Sensoren erfassen finale Bauteileigenschaften, Fertigungsfehler und Beschädigungen im Betrieb
- Daten werden in Lebensdaueranalyse gespiegelt
- Erlaubt genauere Auslegung und damit geringere Wandstärke → Höhere spez. Speicherkapazität
- Erlaubt individuelle Vorhersage der Lebensdauer und bedarfsgerechte Wartung



# Ausblick

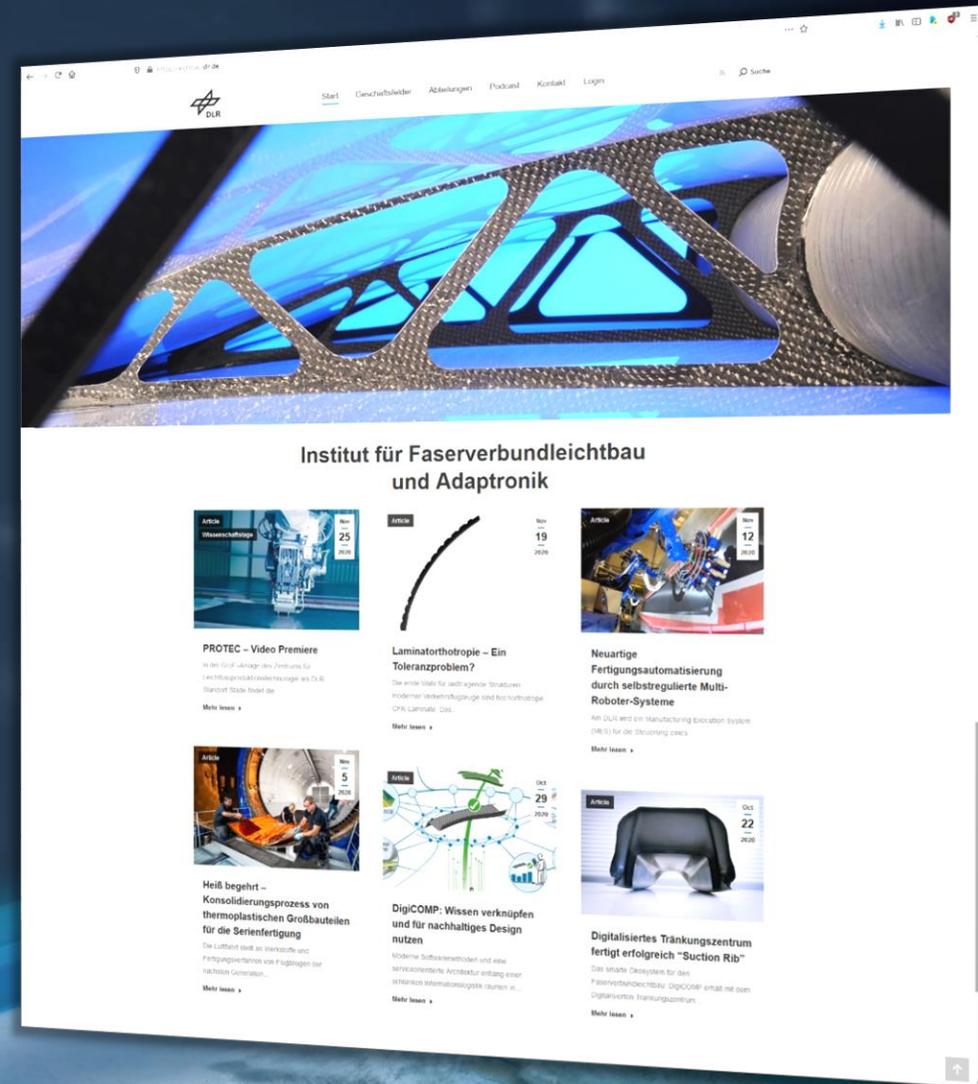
- Weiterentwicklung und Validierung des Sensorkonzepts
- Weitere Fertigungsversuche
- Validierung SHM-System durch Impact- und Berstversuche
- Validierung der Vorhersage des Berstdrucks



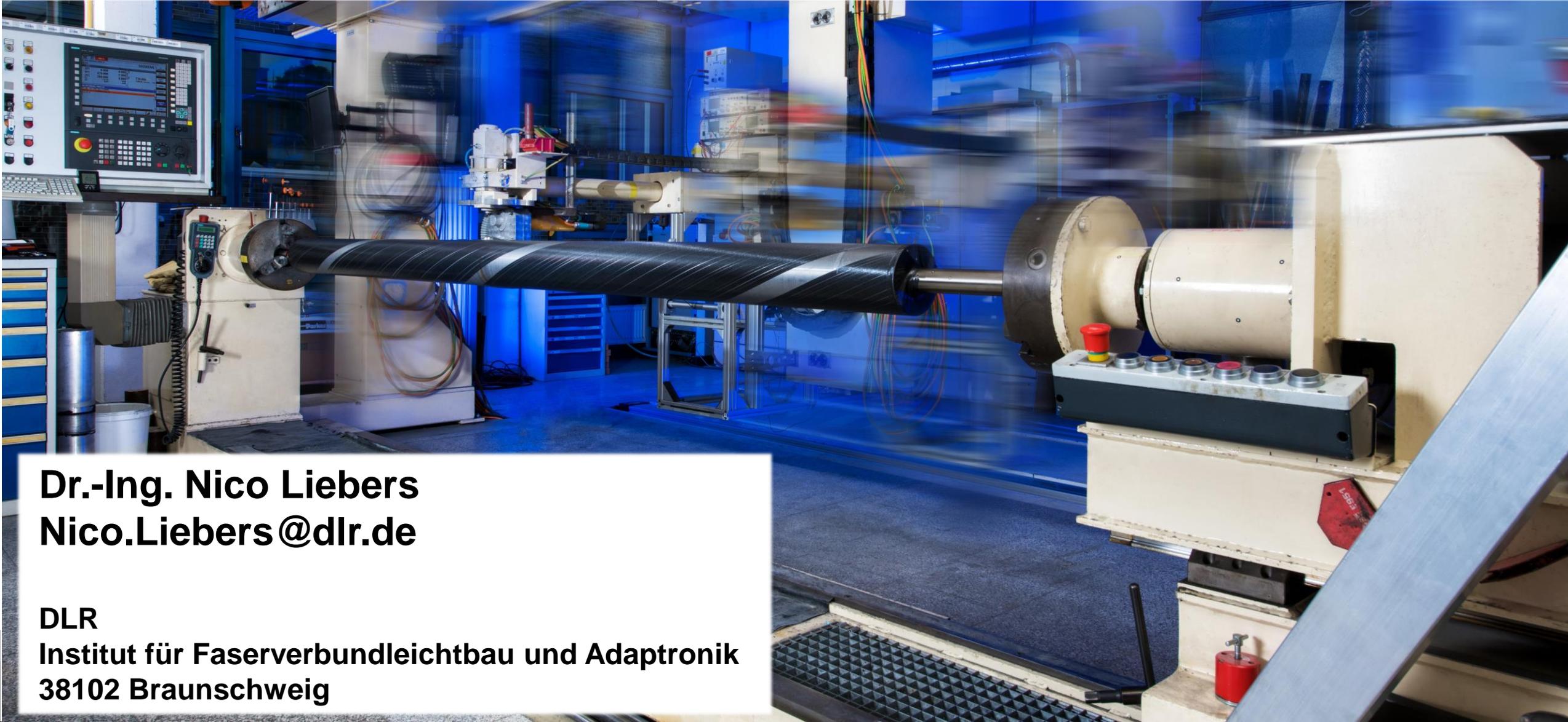


Would you like to find out more about our research?  
Welcome to lightweight system at DLR – visit:

<https://leichtbau.dlr.de>



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!  
Fragen?**



**Dr.-Ing. Nico Liebers**  
**Nico.Liebers@dlr.de**

**DLR**  
**Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik**  
**38102 Braunschweig**