

# Entwicklung von Validierungsversuchen für die Simulation von Leckagenetzwerken in kryogenen CFK-Wasserstofftanks

## Ausgangssituation und Ziele

Wasserstoff ist in der Raumfahrt als Energieträger weit verbreitet. Die geringe volumetrische Energiedichte des Wasserstoffs wird dabei durch hohe Drücke und sehr niedrige Temperaturen erhöht. Dies hat jedoch hohe thermomechanische Lasten auf den Drucktank zur Folge.

In den Tanks aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) bilden sich unter diesen Bedingungen Risse. Bei ausreichender Schädigung entstehen so Leckagenetzwerke, durch die der Wasserstoff entweichen kann.

Ziel des Verbundvorhabens ist es, ein Berechnungskonzept zur Bildung dieser Leckagenetzwerke zu entwickeln und somit eine vorherige Bewertung zu ermöglichen. Das utg ist dabei für die Entwicklung und Durchführung der Validierungsversuche zuständig. Diese sehen eine Permeationsprüfung von Probekörpern unter thermischer sowie mehrachsiger mechanischer Last vor.

## Lösungsansatz

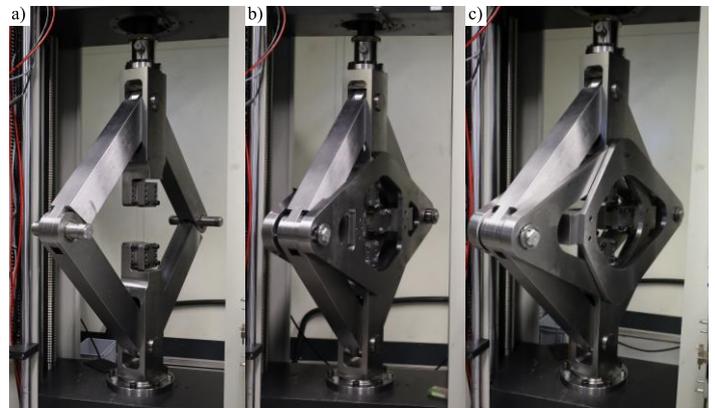
Die besonderen Validierungsversuche machen eine simultane kryogene Kühlung und mehrachsige Belastung von Proben bei gleichzeitiger Permeationsprüfung notwendig.

Die Permeation der Proben wird über eine Leckagemessung mithilfe von Helium ermittelt. Dabei wird eine Probe einseitig mit leichtem Überdruck und auf der gegenüberliegenden Seite mit starkem Unterdruck beaufschlagt. Sobald Heliummoleküle auf der gegenüberliegenden Seite detektiert werden können, liegt eine Leckage vor. Die Menge an detektierten Molekülen korreliert mit der Größe der Leckage.

Diese Messmethode muss anschließend mit der thermomechanischen Belastung verknüpft werden.

Hierfür wurde ein mechanischer Prüfstand entwickelt, der in einer Universalprüfmaschine verwendet werden kann. Die verwendete Kinematik erlaubt dabei die Transformation der uniaxialen Belastung in eine mehrachsige Belastung. So entfällt zusätzlich die Regelung von unabhängigen Achsen, wie sie in Biaxial-Zugmaschinen verwendet werden. Der Prüfstand erlaubt

einen beidseitigen Zugang zur Probe. So kann die gleichzeitige Kühlung und Permeationsmessung realisiert werden. Des Weiteren wurde der Prüfstand so gestaltet, dass mehrere Dehnungszustände möglich sind. Neben einem biaxialen Dehnungszustand kann durch einen anderen Aufsatz auch ein ebener Dehnungszustand angestrebt werden.



Prüfvorrichtung für mehrachsige Dehnungszustände  
a) Basis; b) ebene Dehnung; c) biaxiale Dehnung

Die Kühlung der Kreuzzugproben wird über eine Kontaktkühlung realisiert. Eine Kühlvorrichtung wird dabei mit flüssigem Stickstoff durchströmt, wodurch es zu einer Abkühlung der Probe kommt. Die notwendigen Anschlüsse für die Permeationsmessung sind dabei in der Kühlvorrichtung vorgesehen, sodass diese beiden Funktionen in einer Vorrichtung vereint werden können.

## Ausblick

Das entwickelte und validierte Berechnungskonzept macht in Zukunft eine genauere Auslegung von sicherheitsrelevanten Bauteilen für die Raumfahrttechnik möglich. Zusätzlich wird das Verständnis für Schädigungsmechanismen gesteigert. Die so gewonnen Erkenntnisse können auch auf andere Industriebereiche ausgeweitet werden und so die Kommerzialisierung von Wasserstoff als Energieträger erleichtern.