LH_2-SPEICHER FÜR FLUGZEUGBRENNSTOFFZELLENANTRIEBE

Sofiya Pracht, Jörg Weiss, Bing Ni, Cornelie Bänsch

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

DKV-Tagung, Magdeburg, 17.11.2022

DLR

Inhalt

- Motivation
  - Demonstrationsprojekte zu den Brennstoffzellenantrieben
  - Wasserstoffverbrauch für hochskalierte Passagierflugzeuge
- Vorstellung BALIS-Projekt
- LH2-Speicherkonzept und Infrastruktur
- Kritische Fragen im Sicherheitskonzept
- Geplante Forschungsarbeit und Aktueller Stand

Motivation

- CO2-Ausstoß vom Luftverkehr beiträgt ca. 2.6 % von jährlichen Gesamtausstoß und steigt jährlich auf 4,5-4,8 % [1]
- Grüner H2 hat hohes Potenzial als Treibstoff mit hoher Energiedichte ohne CO2-Ausstoß und schädlichen Reaktionsprodukten

		Gravimetrische Energiedichte, MJ/kg	Volumetrische Energiedichte, MJ/L
Kerosin [2]		43,2	35,4 *(1 bar, 20°C)*
Wasserstoff			
	CH2	120*	4,8 *(700 bar, 20°C)*
	LH2		8,5 *(1 bar)* … 7 *(6 bar)*
Li-Ion-Batterien [3]		ca. 0,7	ca. 1,8

**untere Heizwert*

- Gesamtwirkungsgrad des Prozess ab Treibstoff-Produktion bis Antrieb [4]:
  Brennstoffzellenantrieb: ca. 23 % Batterieantrieb: ca. 76 %
- Gewicht und Volumen spielen höhere Rolle im Luftverkehr

Demonstrationsprojekte für kleine Flugzeuge

Bilder: öffentliche DLR-Projektflyer, HEAVEN-Projektseite

Antares DLR-H2 [5]

2009 (Flughafen Hamburg)
1 Pilot
>750 km
BZ: 25 kW
GH2: 7…8 kg

DLR, Lange Aviation

HY4 [6]

2016 (Flughafen Stuttgart)
2-4 Passagiere
> 750 km
80 kW (Batterie + BZ 42 kW)
GH2: 9 kg

DLR, Flughafen Stuttgart, H2Fly, Hydrogenics, Pipistrel und der Universität Ulm

HEAVEN [7]

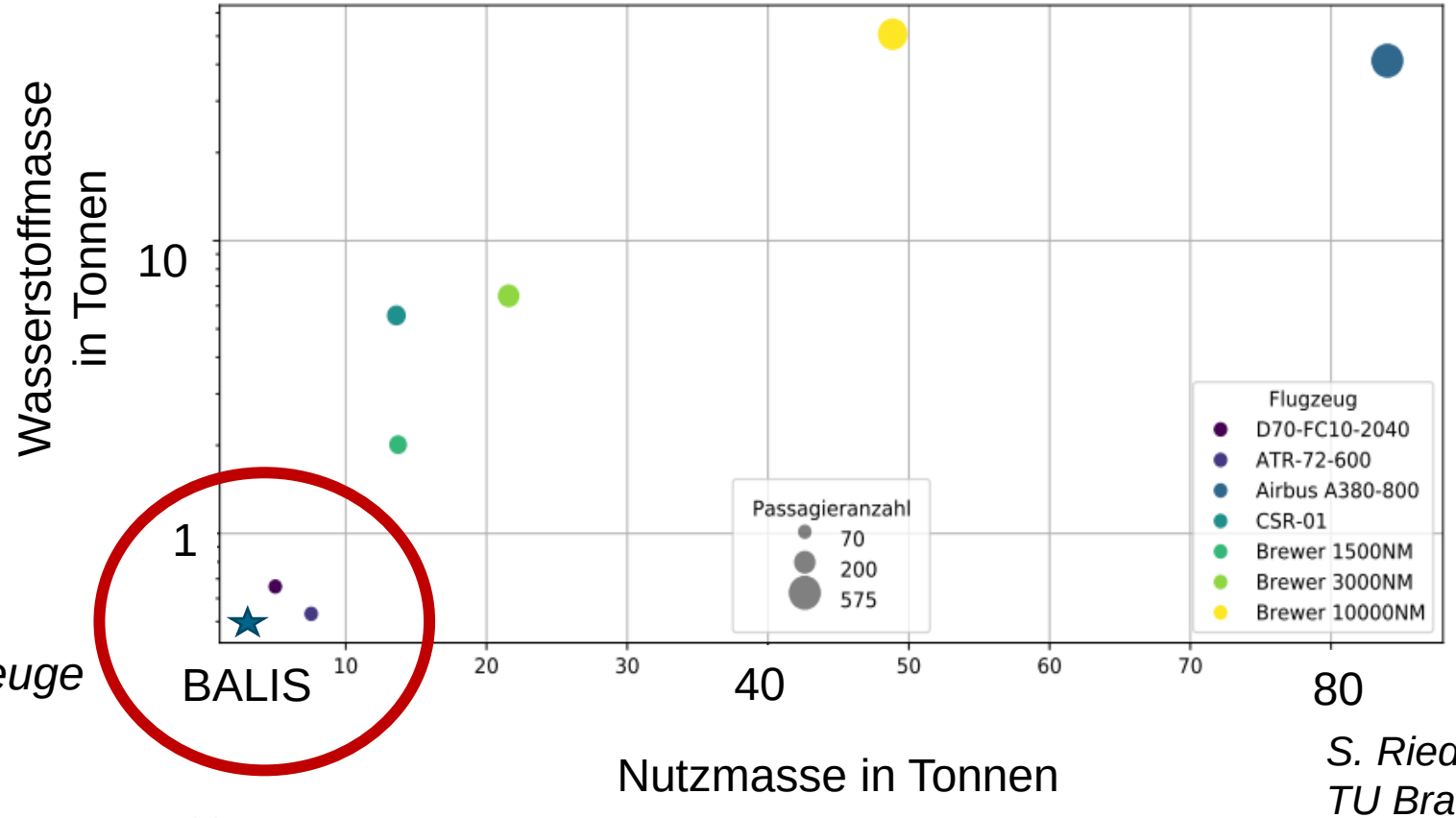
2020 - …
2-4 Passagiere
Bis 1800 km
BZ: 90 kW
LH2: 10..25 kg

Ayesa Foundation, ALAT, Elringklinger, DLR, H2fly, PVS

Hochskalierung auf Passagierflugzeuge

- Angekündigte Projekte von Airbus, Lufthansa Technik, Deutsche Aircraft, Universal Hydrogen, H2fly
- Beteiligung von DLR-Instituten: EXACT, Hydrogen Aviation Lab, BALIS
- Herausforderung: Gesamtsystemgroße erfordert deutliche Vergrößerung des Flugzeugrahmens

Äquivalente H2-Masse auf Basis der gespeicherten Kerosinenergie



Regionale Flugzeuge

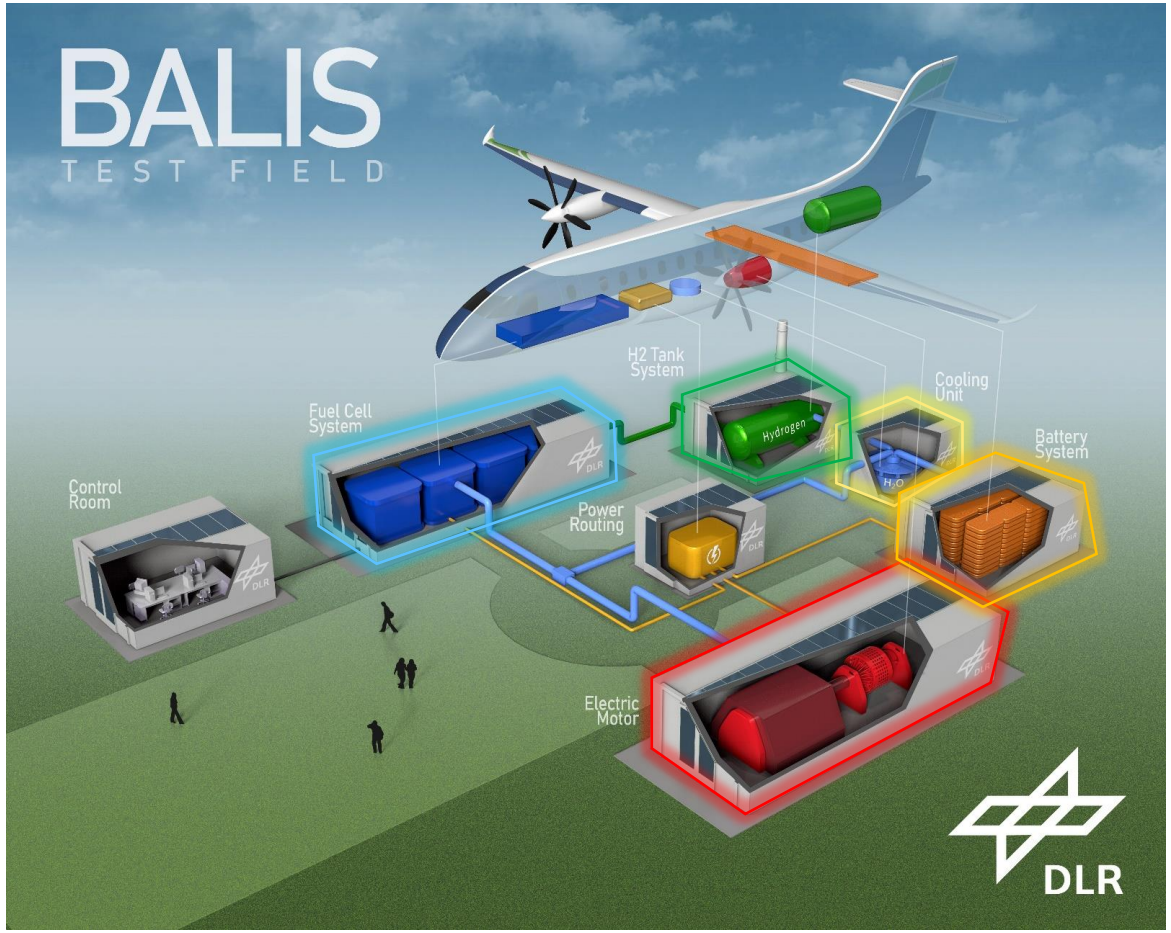
S. Riedel (Studienarbeit, DLR / TU Braunschweig, 2022)

BALIS Projekt

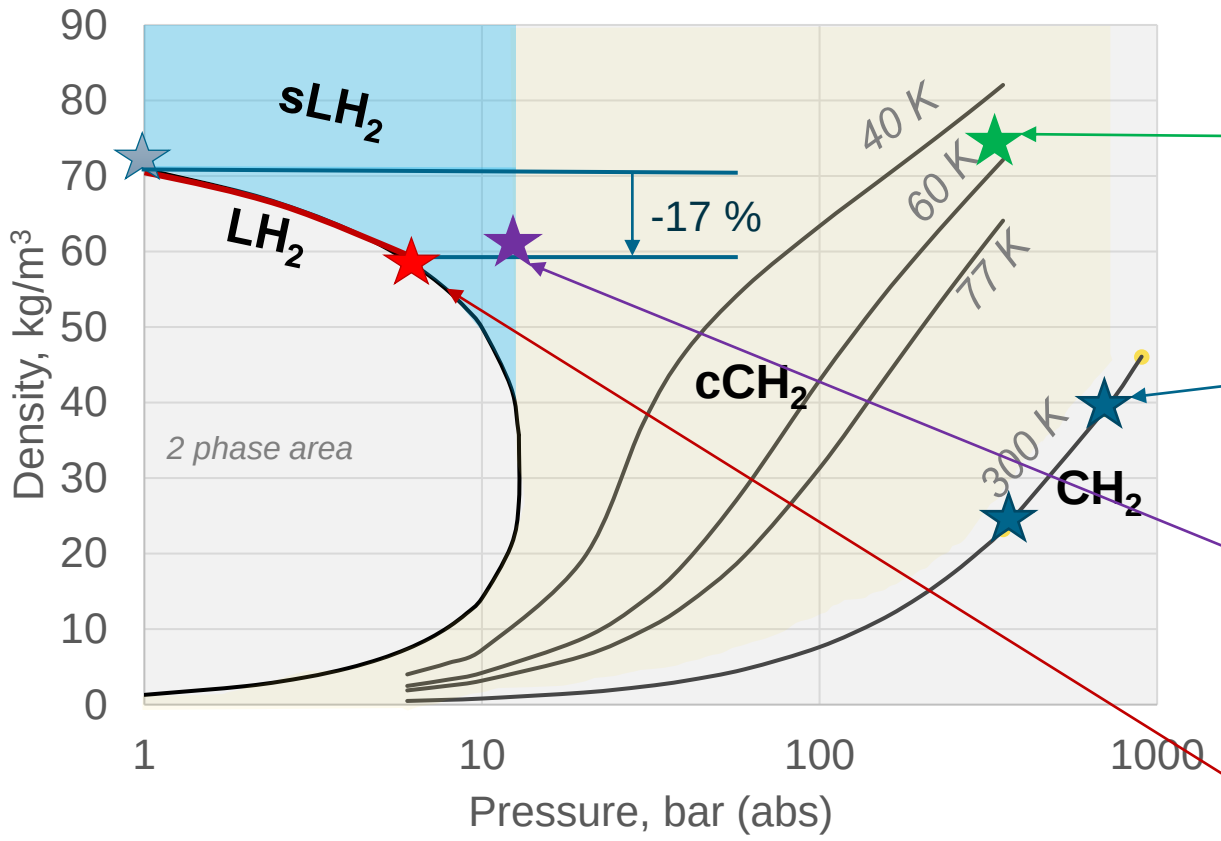
- **Vision:** Umsetzung eines emissionsfreien Multi-Megawatt Antriebs im Bereich Luftfahrt mit 40-160 Passagieren bis 1000 km Reichweite
- **Zielsetzung:** weltweit erster brennstoffzellenbasierte 1,5 MW Antriebsstrang als Basis für Multi-Megawatt (bis 10 MW) Antrieb für Luftfahrtanwendungen (bodengebunden)
- **Standort:** Innovationscampus Empfingen
- **Modularer Aufbau:**
  - Brennstoffzelle (12 Stacks)
  - E-Motor
  - Kühlsystem
  - H2-Versorgungssystem
  - Batterie (0,5 MW)
  - Power Routing + Control Room

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

NOW nip
Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie



Speicherkonzept von H2-Flugzeugtank



Kryokomprimierter Wasserstoff
40-72 kg/m³, **10…13 kg/kg H_2** (bis 40 kg Tank) [8]
→ Füllmenge hängt von Temperatur vor der Betankung ab → Reichweite nicht garantiert!

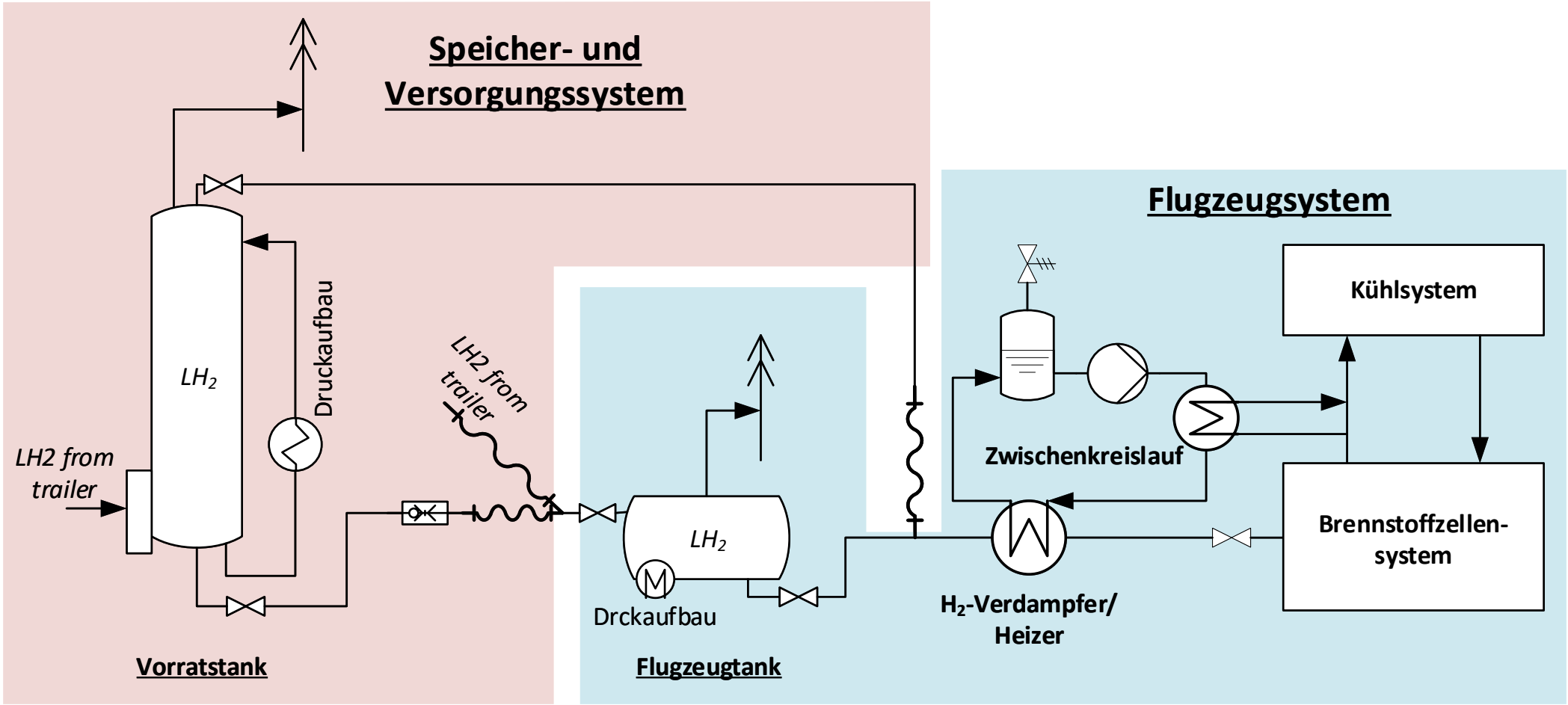
Komprimierter Wasserstoff
20-40 kg/m³, bis **20 kg/kg H_2** (Type 4)

Unterkühlter Flüssigwasserstoff
bis **60 kg/m³**, bei höherem Druck
→ Potenzial für Weiterentwicklung

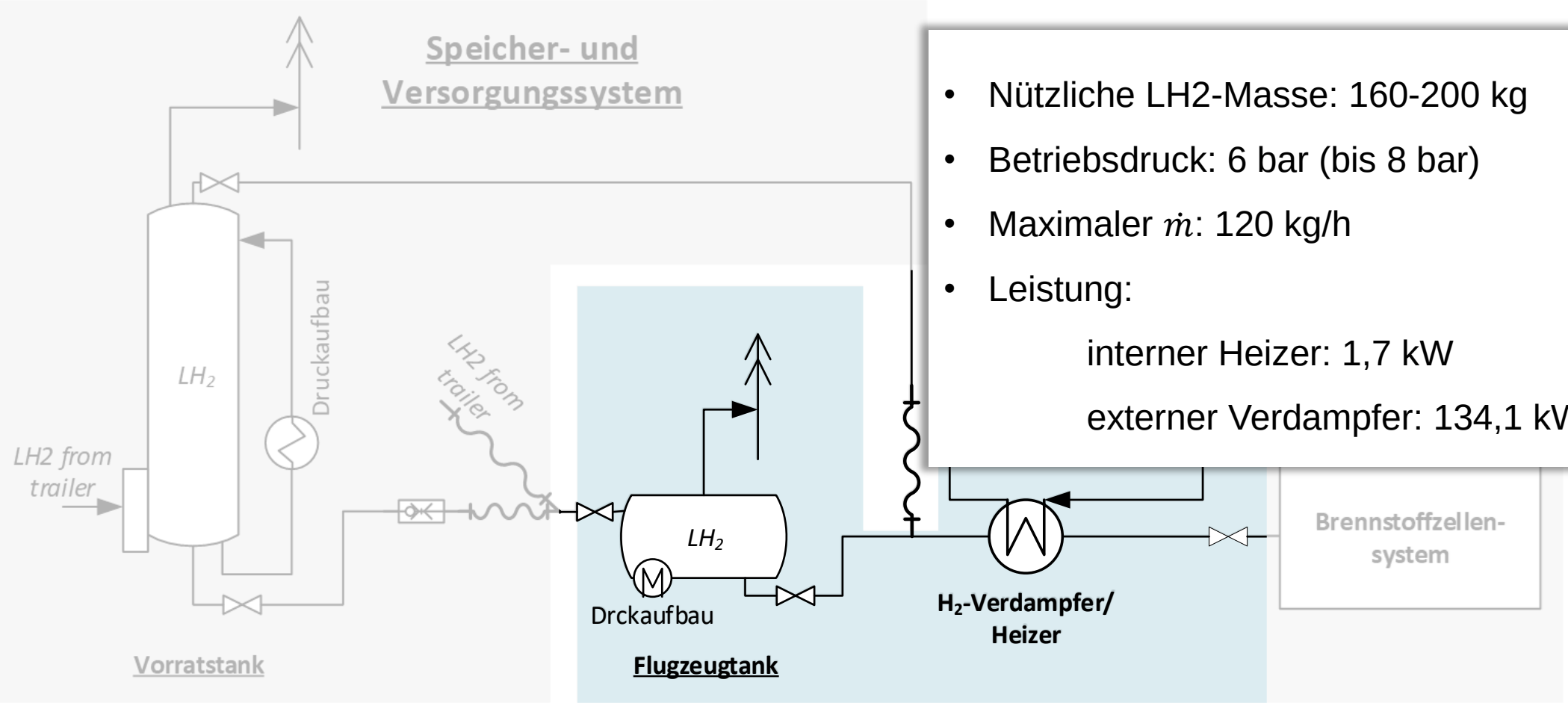
Flüssigwasserstoff
50-60 kg/m³, aktuell **15 kg/kg H_2**
HEAVEN-Projekt Zielsetzung: **6..7 kg/kg H_2** [9]
Clean Hydrogen JU Projekt-Call 2022 mit Zielsetzung: **3 kg/kg H_2** bis 2030 (!) [10]

BALIS-Projekt

LH2-Infrastruktur im BALIS-Projekt



LH2-Infrastruktur im BALIS-Projekt



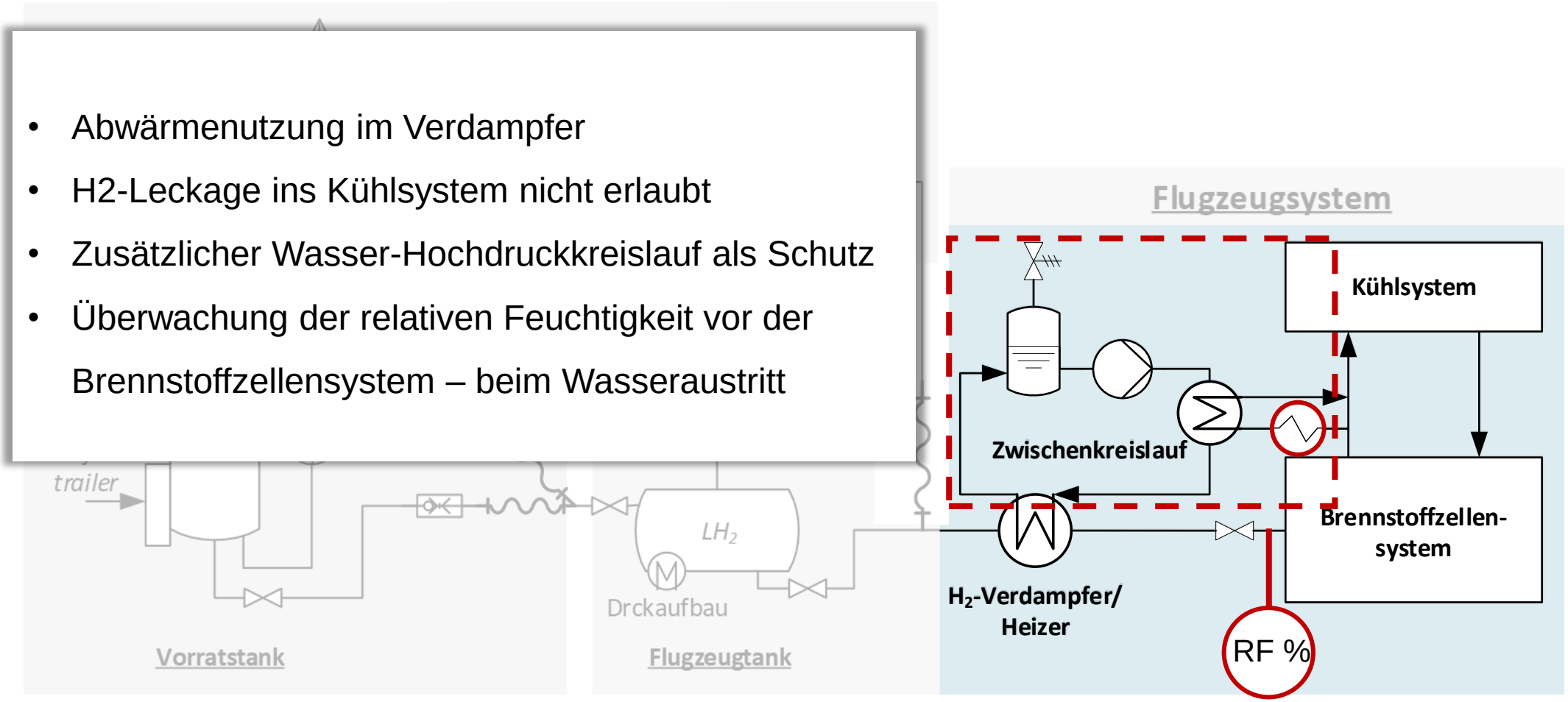
- Nützliche LH2-Masse: 160-200 kg
- Betriebsdruck: 6 bar (bis 8 bar)
- Maximaler $\dot{m}$: 120 kg/h
- Leistung:

  interner Heizer: 1,7 kW

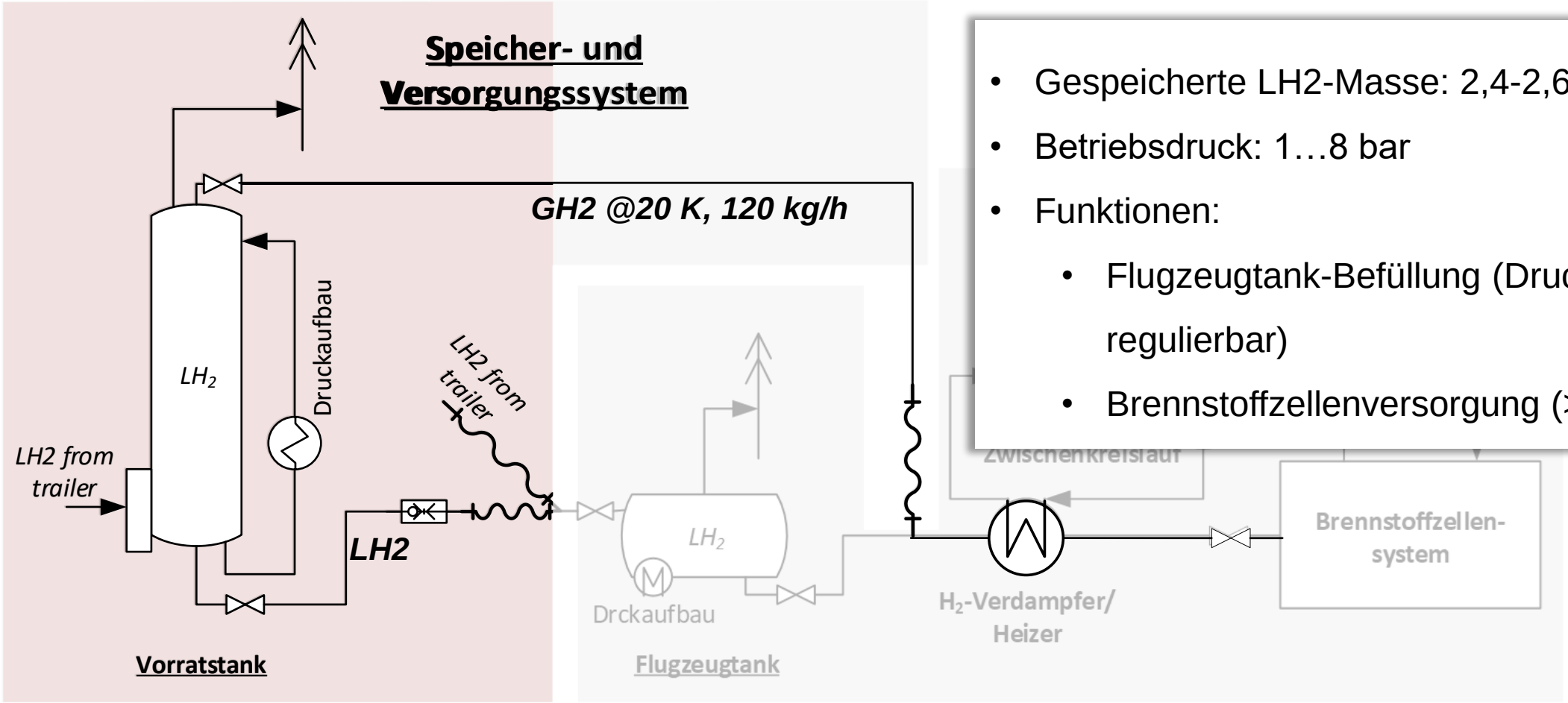
  externer Verdampfer: 134,1 kW

LH2-Infrastruktur im BALIS-Projekt

- Abwärmenutzung im Verdampfer
- H2-Leckage ins Kühlsystem nicht erlaubt
- Zusätzlicher Wasser-Hochdruckkreislauf als Schutz
- Überwachung der relativen Feuchtigkeit vor der Brennstoffzellensystem – beim Wasseraustritt



LH2-Infrastruktur im BALIS-Projekt



- Gespeicherte LH2-Masse: 2,4-2,6 Tonnen
- Betriebsdruck: 1…8 bar
- Funktionen:
  - Flugzeugtank-Befüllung (Druck regulierbar)
  - Brennstoffzellenversorgung (>6 bar)

Sicherheitskonzept

- Explosionsschutz:
  - Installation des Testtanks im Carport als Wetterschutz:
    - → trotz großen Öffnungen (13% der Grundfläche) wird die freie Luftzirkulation eingeschränkt
    - → ATEX Zone im gesamten Carport geschätzt vom Technologiepartner

- Brandschutz:
  - Abstände (>15 m, am Standort nicht realisierbar) oder Schutzmaßnahmen für mind. 90 Minuten beim Brand (Brandschutzwände, Isolierung, Dämmung usw.) erforderlich

→ Herausforderungen bei der Flugzeugintegration

Geplante Forschungsarbeit & Aktueller Projektstand

- Experimentelle Untersuchung des dynamischen Verhaltens bei Abbildung des Fluglastprofils (Trägheit, Stabilität, Regelung)
- Modellierung des LH2-Tanksystems und der Vorkonditionierung und experimentelle Validierung

  (Kühlsystem fertig (B. Ni), LH2-System: in Arbeit (Masterarbeit S. Riedel))
- Modellierung des Betankungsvorgangs und experimentelle Validierung
- Optimierung von Druckniveaus für die Boil-Off-Reduktion bei der Betankung

➢ ***Interesse an Zusammenarbeit im Bereich verschiedener Tankkonzepten und Betankungstechnologien***

➢ Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems: Q2-Q3 2023

➢ Geplante Installation der LH2-Infrastruktur: Q1 2024

VIELEN DANK FÜR IHR INTERESSE!

S. Pracht // sofiya.pracht@dlr.de

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Institut für Technische Thermodynamik | Energiesystemintegration | Pfaffenwaldring 38-40 | 70569 Stuttgart

Das Projekt BALIS wird im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert. Die Förderrichtlinie wird von der NOW (Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie) koordiniert und durch den Projektträger Jülich (PtJ) umgesetzt.

DLR

Quellen

[1] Choi, Y., Lee, J., Estimation of liqui hydroge fuel in aviation, Aerospace, 2022, 9, 564

[2] Kammermann, et al., Feasibility Study for a Full-Electric Aircraft Considering Weight, Volume, and Re-liability Requirements, International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS), 2020, 1-6

[2] Luntz, A. C., Voss, J., Reuter, K., Interfacial Challenges in Solid-State Li Ion Batteries, The Journal of Physical Chemistry Letters, 2015, 6 (22), 4599-4604

[4] Tsakiris, A., Analysis of hydrogen fuel cell and battery efficiency, World Sustainable Energy Days, Copenhagen, 2019

[5] Antares DLR-H2: Weltweit erstes pilotengesteuertes Flugzeug mit Brennstoffzellenantrieb, https://www.dlr.de/tt/desktopdefault.aspx/tabid-4935/8219_read-13587/

[6] HY4, Emissionsfreie Passagierflüge, Broschure, DLR https://www.dlr.de/tt/PortalData/41/Resources/dokumente/esi/DLR_Hy4_Broschure_DEUTSCH_ONLINE_191115.pdf

[7] HEAVEN Press release https://heaven-fch-project.eu/wp-content/uploads/2020/05/HEAVEN_PressRelease_1_EN.pdf

[8] Maus, S., Liquid Hydrogen for Trucks, Mission Hydrogen, 2022

[9] Heaven Newsletter 02 https://heaven-fch-project.eu/wp-content/uploads/2020/08/HEAVEN-12-monthly-newsletter-02.pdf

[10] Clean Hydrogen JU, Work Programme 2022, Annex to GB decision No CleanHydrogen-GB-2022-03, S. 143