



## Mobile LH2-Befüllstation für Anwendungen in der Luftfahrt im Rahmen des Hydrogen Aviation Lab Hamburg

Sebastian Altmann, ZAL GmbH, 29.09.2022, Dresden

- 1) ZAL GmbH
- 2) Hydrogen Aviation Lab
- 3) Problem LH2-Versorgung
- 4) Speicher- und Versorgungseinheit
- 5) Sicherheit im Betrieb
- 6) Behördliche Zulassung
- 7) Zusammenfassung & Ausblick

## Hintergrund

- gegründet 2009 auf Initiative der Freien und Hansestadt Hamburg (FHH) im Rahmen des Spitzenclusters Hamburg Aviation
- erfolgreiche öffentlich-private Partnerschaft
- Status als unabhängiges Kleines und Mittelständisches Unternehmen

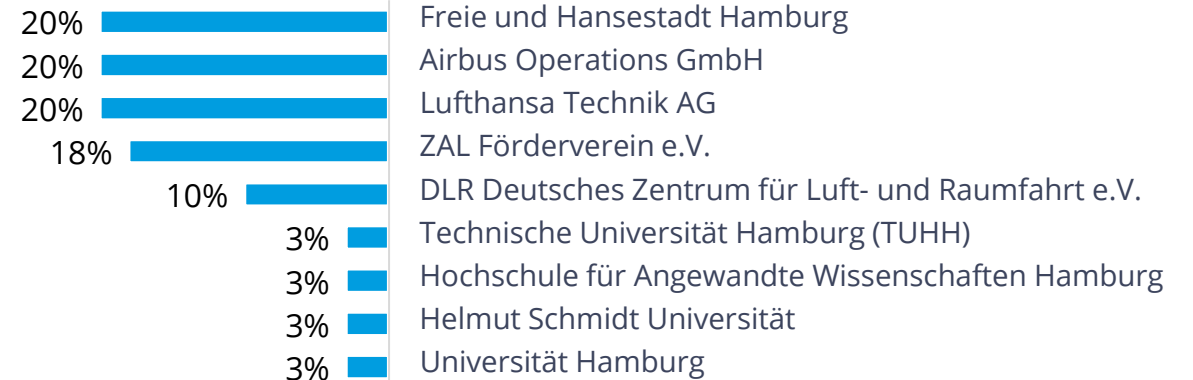
## Geschäftsfelder

- Forschung und Innovation    Expertise in 8 Technologie Feldern
- Forschungs-Infrastrukturen    Projektierung und Vermietung
- FoLuHH    Forschungsnetzwerk Luftfahrt
- ZAL TechCenter    Vermietung und Gebäudebetrieb

## ZAL TechCenter in Zahlen

- Fläche    ~ 26,000 m<sup>2</sup> (280,000 sq ft)
- Arbeitsplätze    ~ 600 / 35 partners
- Gesamtinvestition    ~ 100m €


## Gesellschafterstruktur




## ZAL R&T

 35 Technical Experts

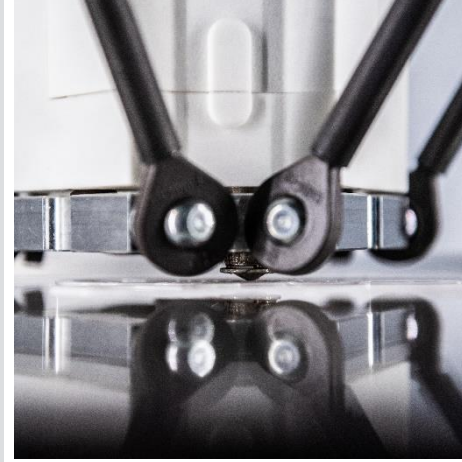
 8 Technology Fields

 250 m<sup>2</sup> Lab Space

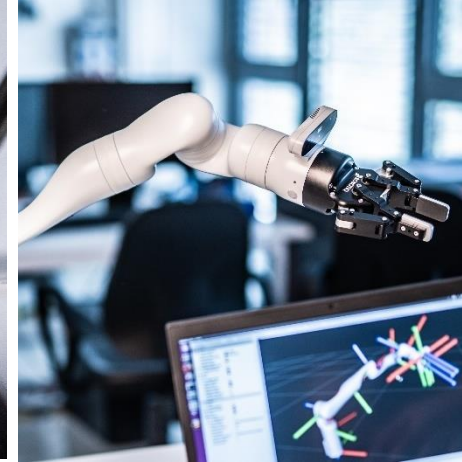
 6 Large scale test facilities

 TRL 4 - 6

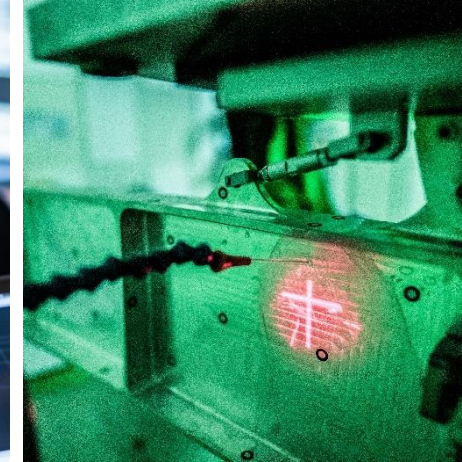
## Additive Manufacturing



## Automation & Robotics



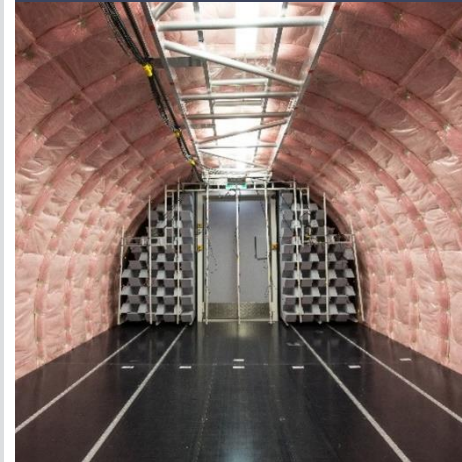
## Laser Shock Peening



## Industrial AI



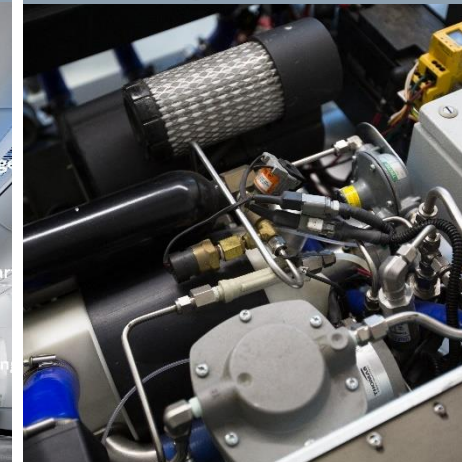
## Acoustics & Vibration



## Intelligent Digital Cabin



## Fuel Cell & Electrical Power Systems



## Data Acquisition & Processing



# HYDROGEN AVIATION LAB



Lufthansa  
Technik



DLR



Hamburg Airport



ZAL



Hamburg

#MakeChangeFly





## Tank für Hydrogen Aviation Lab

- Industriestandard
- Inhalt ca. **15 kg LH2**
- Rohrleitung **DN15**
- Bestimmung Füllstand mittels Waage
- Max. **4 bara Druck**

## Standard-Lieferfahrzeug für LH2

- Industriestandard
- Transport von ca. **4.000 kg LH2**
- Kupplung mit 2" Durchmesser (**DN 50**)
- Bestimmung Entnahme mittels Waage
- Bis **20 bara Druck**

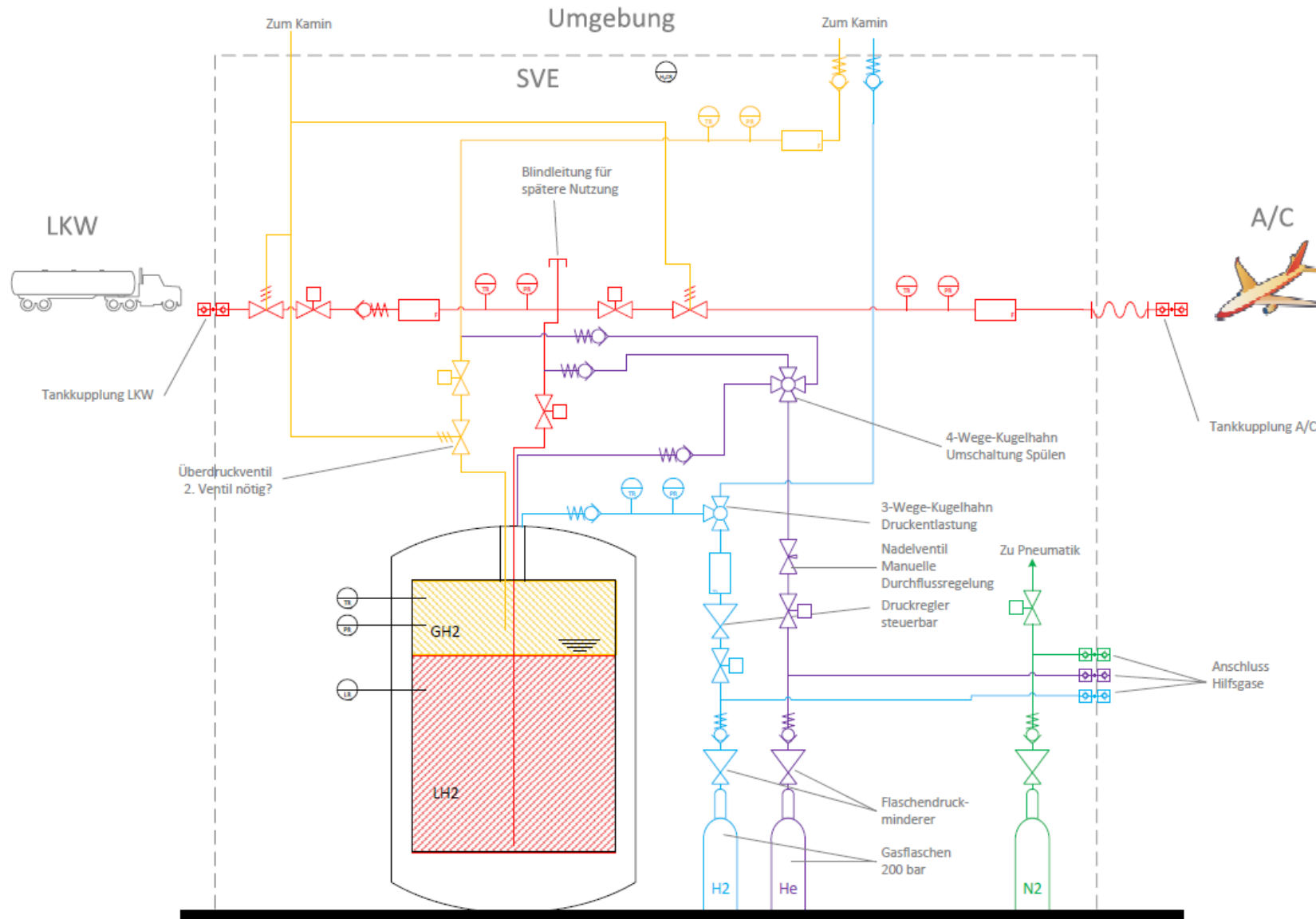
Anforderungen an die SVE, die sich aus der Problemstellung ergeben:

- Die SVE muss ohne weiteres Equipment von einem Standard-LKW befüllbar sein
- Die SVE muss einen Überfüllschutz haben
- Die SVE darf max. 10 g/s bei 4 bara an den Tank im Flugzeug liefern
- Die SVE muss eigensicher sein
- Die SVE muss auf Fehler-/Notfälle reagieren können
- Die Massenströme der SVE müssen bilanzierbar sein

Weitere Anforderungen:

- Die SVE soll unabhängig vom Flugzeug funktionieren
- Die SVE soll mobil sein (= Transport mit LKW)
- Die SVE soll es ermöglichen, ohne zusätzliche Geräte das Flugzeug zu befüllen
- Die SVE soll sowohl hoch automatisiert als auch manuell betreibbar sein

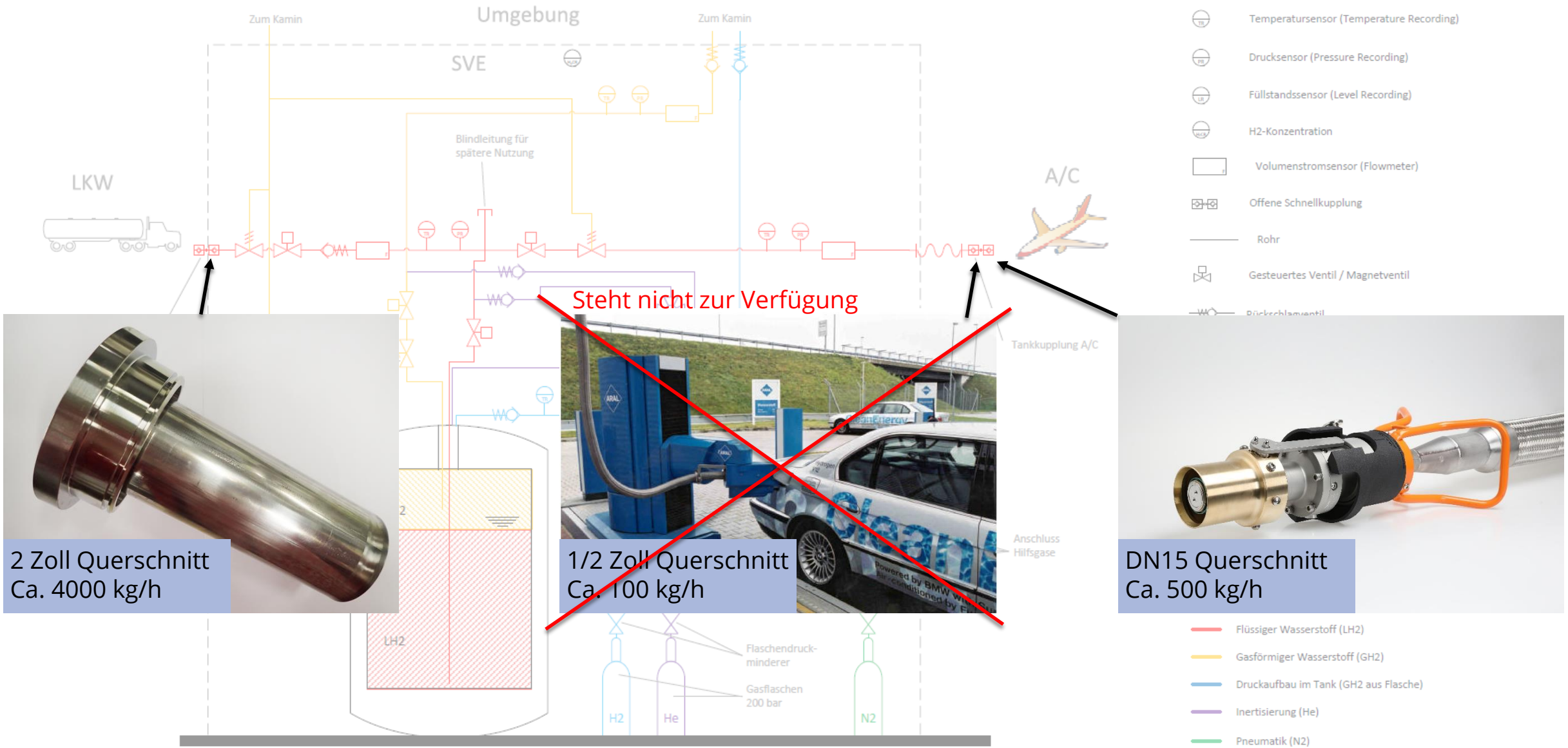
# Speicher- und Versorgungseinheit (SVE)



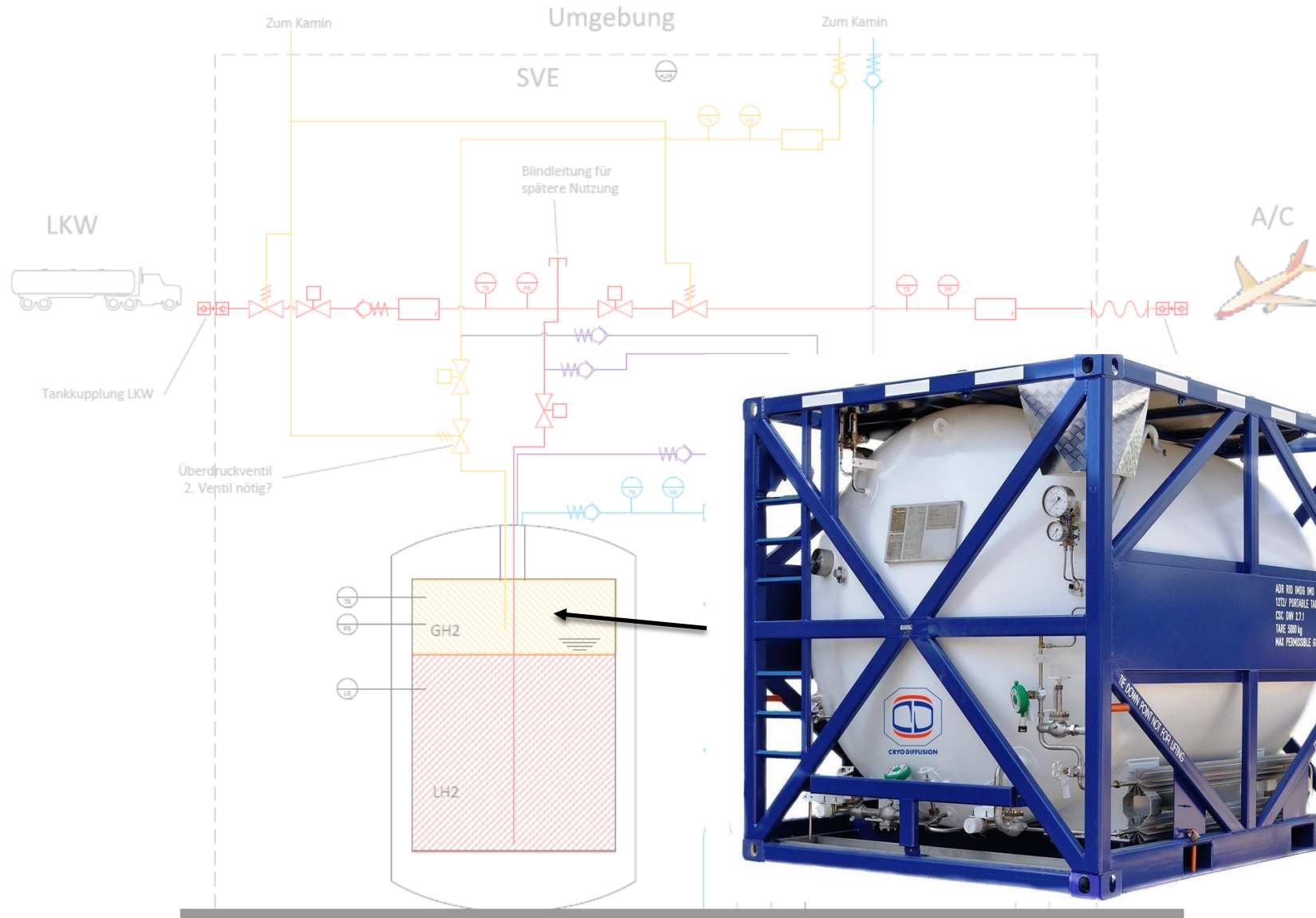
- Temperatursensor (Temperature Recording)
  - Drucksensor (Pressure Recording)
  - Füllstandssensor (Level Recording)
  - H2-Konzentration
  - Volumenstromsensor (Flowmeter)
  - Offene Schnellkupplung
  - Rohr
  - Gesteuertes Ventil / Magnetventil
  - Rückschlagventil
  - 4-Wege-Ventil
  - Schlauch
  - Nadelventil
  - Druckminderer
  - Überdruckschutz
  - Druckgasflasche
- 
- Flüssiger Wasserstoff (LH2)
  - Gasförmiger Wasserstoff (GH2)
  - Druckaufbau im Tank (GH2 aus Flasche)
  - Inertisierung (He)
  - Pneumatik (N2)



# Speicher- und Versorgungseinheit (SVE)



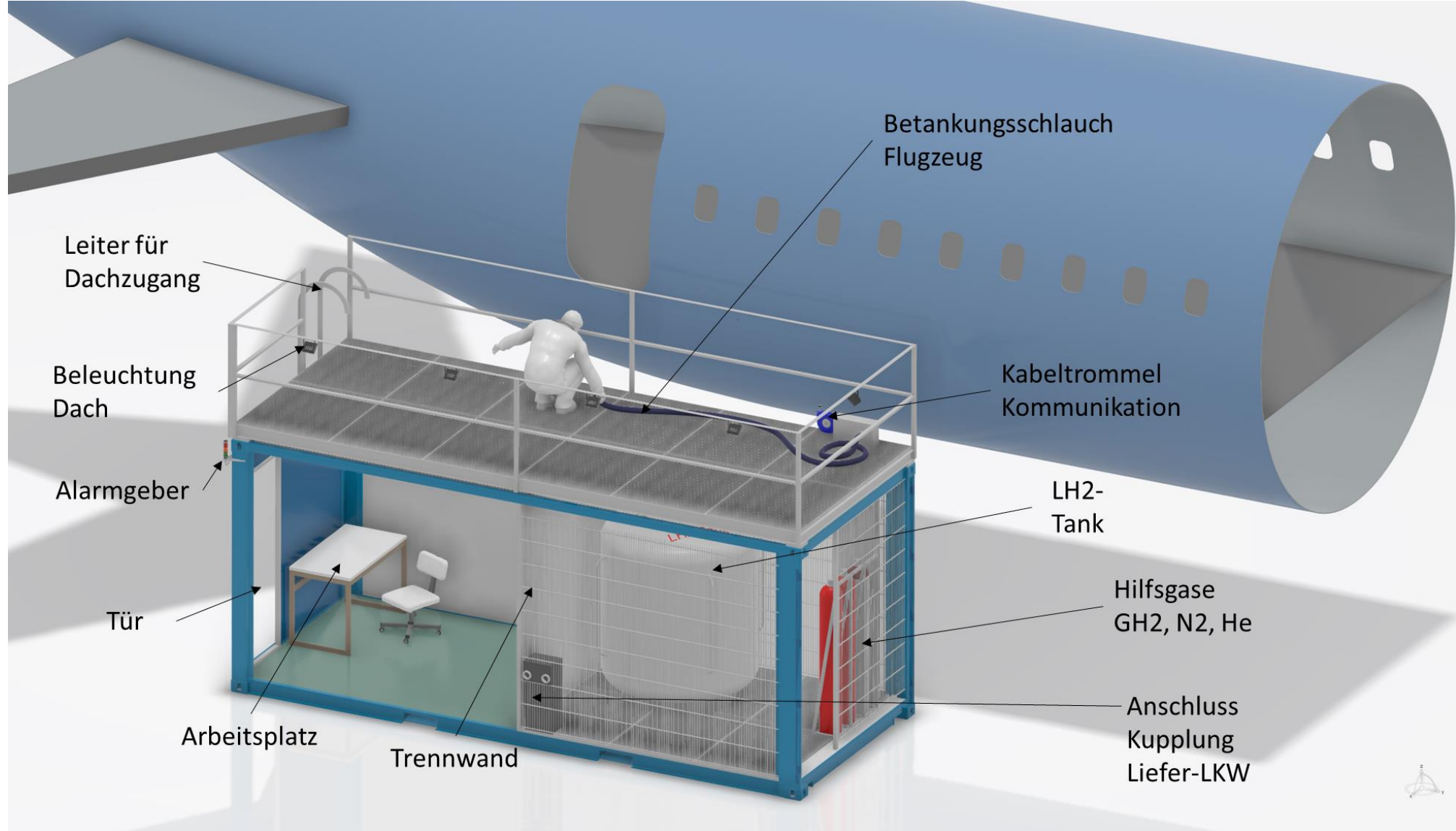
# Speicher- und Versorgungseinheit (SVE)



-  Temperatursensor (Temperature Recording)
-  Drucksensor (Pressure Recording)
-  Füllstandssensor (Level Recording)
-  H2-Konzentration
-  Volumenstromsensor (Flowmeter)
-  Offene Schnellkupplung
-  Rohr

- Tank mit mind. 100 kg Fassungsvermögen
- Druck ca. 15 bar
- In einem 20-Fuss-Container installierbar
- Füllstandssensorik
- Geringe Boil-off-Rate
- Zulassung / CE-Kennzeichen
- Lieferbarkeit
- Leitung zum Bedrucken

# Speicher- und Versorgungseinheit (SVE)



## Kerosin JET A-1



- H226 Flüssigkeit und Dampf entzündbar.
- H304 Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein.
- H315 Verursacht Hautreizungen.
- H336 Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.
- H411 Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.

## Flüssigwasserstoff



- H220: Extrem entzündbares Gas.
- H281: Enthält tiefgekühltes Gas; kann Kälteverbrennungen oder -verletzungen verursachen.

- Vermeidung Freisetzung von Treibstoff beim Kuppeln
- Vereisungseffekte im Bereich der Kupplung
  - Persönliche Schutzausrüstung (PSA) ist notwendig? Welche?
  - Längere Kupplungszeiten? -> Turn-around-Zeit
- Lage von Ex-Zonen -> H2 nach oben, JET A-1 unten

## Betriebsicherheitsverordnung §18 (1) Erlaubnispflicht

- **Dampfkesselanlagen** nach Anhang 2 Abschnitt 4 Nummer 2.1 Satz 1 Buchstabe a, die nach Artikel 13 in Verbindung mit Anhang II Diagramm 5 der Richtlinie 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt (ABl. L 189 vom 27.6.2014, S. 164) in die Kategorie IV einzustufen sind,  
**Nein, kein Dampfkessel**
- **Anlagen mit Druckgeräten** nach Anhang 2 Abschnitt 4 Nummer 2.1 Satz 1 Buchstabe c, in denen mit einer Füllkapazität von mehr als 100 Litern je Stunde bewegliche Druckgeräte im Sinne von Anhang 2 Abschnitt 4 Nummer 2.1 Satz 2 Buchstabe b mit Druckgasen zur Abgabe an Andere befüllt werden,  
**Ja, bis 36 kg/h LH2 und 5 bara**
- **Anlagen einschließlich der Lager- und Vorratsbehälter zum Befüllen von Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen mit entzündbaren Gasen** im Sinne von Anhang 1 Nummer 2.2 der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (ABl. L 353 vom 31.12.2008, S. 1) zur Verwendung als Treib- oder Brennstoff,  
**Ja, Luftfahrzeug (theoretisch)**
- **Räume oder Bereiche** einschließlich der in ihnen vorgesehenen ortsfesten Behälter und sonstiger Lagereinrichtungen, die dazu bestimmt sind, dass in ihnen entzündbare Flüssigkeiten mit einem Gehalt an **Aluminiumhalt von mehr als 10 000 Litern gelagert** werden (Lageranlagen), soweit Räume oder Bereiche nicht zu Anlagen nach den Nr. 5 bis 7 gehören,  
**Nein, weniger als 10.000 l**
- **Ortsfest errichtete oder dauerhaft am gleichen Ort** verwendete **Anlagen mit einer Umschlagkapazität von mehr als 1 000 Litern je Stunde**, die dazu bestimmt sind, dass in ihnen ortsfeste Behälter mit entzündbaren Flüssigkeiten befüllt werden (Füllstellen),  
**Nein, nicht ortsfest**
- **Ortsfeste Anlagen für die Betankung von Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen** mit entzündbaren Flüssigkeiten
- **Ortsfeste Anlagen oder Bereiche auf Flughäfen**, die die Kraftstoffbehälter von Luftfahrzeugen aus Hydrantenanlagen mit entzündbaren Flüssigkeiten befüllt werden (Flugfeldbetankungsanlagen),  
**Nein, nicht ortsfest**

- Flüssigwasserstoff stellt große Herausforderung als Treibstoff dar
- Umfangreiche Sicherheitsanalysen notwendig, aber wenig Expertise verfügbar
- Keine Betankungslösungen für kleine Menge LH2 (< 100 kg) verfügbar
- Lange Lieferzeiten für Komponenten durch H2-Boom, Fachkräfte-Mangel, Corona, Ukraine-Krieg  
=> Verzögerungen im Projektablauf  
=> Große Ungenauigkeiten bei der Kostenschätzung („Tagespreise“)
- Beschaffungsprozess abschließen (Vergaberecht)
- Detailplanung & Aufbau der SVE
- Inbetriebnahme der SVE beim Zulieferer
- Behördliche Genehmigung einholen
- Transfer nach Hamburg & Integration auf LHT-Basis
- Testkampagnen mit verschiedenen Betriebszuständen
- Digitalen Zwilling erstellen und nutzen



**ZAL Zentrum für Angewandte  
Luftfahrtforschung GmbH**

Hein-Saß-Weg 22  
21129 Hamburg, Germany

+49 40 248 595 105

[Sebastian.altmann@zal.aero](mailto:Sebastian.altmann@zal.aero)

[www.zal.aero](http://www.zal.aero)



| Folie | Quelle   |
|-------|--|
| 5     | Lufthansa Technik  |
| 6     | <a href="https://energypost.eu/dont-commit-to-hydrogen-pipelines-yet-trucks-can-do-the-same-job-more-flexibly/">https://energypost.eu/dont-commit-to-hydrogen-pipelines-yet-trucks-can-do-the-same-job-more-flexibly/</a><br><a href="https://www.cryotherm.de/produkte/lagerung/produktinformation/hydros">https://www.cryotherm.de/produkte/lagerung/produktinformation/hydros</a> |
| 9     | <a href="https://parts.acmecryo.com/bayonet-assembly-2-female-air-force.html">https://parts.acmecryo.com/bayonet-assembly-2-female-air-force.html</a><br>Dokument „HYDROGEN PROJECT AT MUNICH AIRPORT“   |
| 10    | <a href="https://www.chartindustries.com/Businesses-Brands/Cryo-Diffusion">https://www.chartindustries.com/Businesses-Brands/Cryo-Diffusion</a>  |
| 12    | Sicherheitsdatenblätter für JET A-1 und LH2  |