

Flüssigwasserstoff:

Vorurteile, Chancen und Lösungskonzepte

5. Vernetzungsveranstaltung im Bereich Energieinnovation – Chancen für sächsische und ostdeutsche Akteure

Dr. Udo Krause



► Flüssigwasserstoff (LH2) als Speicher

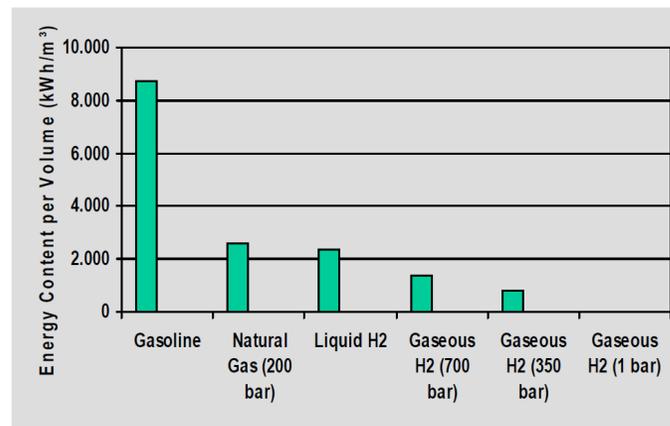


Flüssigwasserstoff als Speicher

- Höchste Speicherdichte von Wasserstoff in der tiefkalten, flüssigen Form
- Höchste Reinheit (8.0)
- Gebrauchsfertiges Produkt (stofflich, energetisch)
- Entkopplung Produktion (power to gas) von der Nutzung



bei Umgebungstemperatur / 1 bar!?



Darstellung: Linde

Wasserstoff, 1 kg:

@ 15°C, 1 bar: **12 000 l**

@ 15°C, 350 bar: **43 l**

@ 15°C, 700 bar: **25 l**

flüssig @ 20 K: **14 l**

Vorurteil #1: LH2 Technologie noch nicht ausgereift



Kobe, Japan
ETA: Feb 24, 21:00

Predicted ETA

Distance / Time

Kurs / Geschwindigkeit 17.7° / 11.1 kn

Aktueller Tiefgang 4.5 m

Navigation Status -

Position received 20 days ago

IMO / MMSI 9860154 / 43187400

Rufzeichen 7KGB

Flagge Japan

Länge / Breite 116 / 19 m

Gladstone, Australia
ATD: Feb 3, 10:59 UTC

LETZE HÄFEN

Gladstone, Australia		
Arrival (UTC)	Departure (UTC)	In Port
Feb 3, 04:08	Feb 3, 10:59	6h 51m
Hastings, Australia		
Arrival (UTC)	Departure (UTC)	In Port
Jan 20, 01:11	Jan 28, 07:09	8d 5h

[Historical AIS Data](#)



Vorurteil #1: LH2 Technologie noch nicht ausgereift

1892 erstmals verflüssigt durch James Dewar

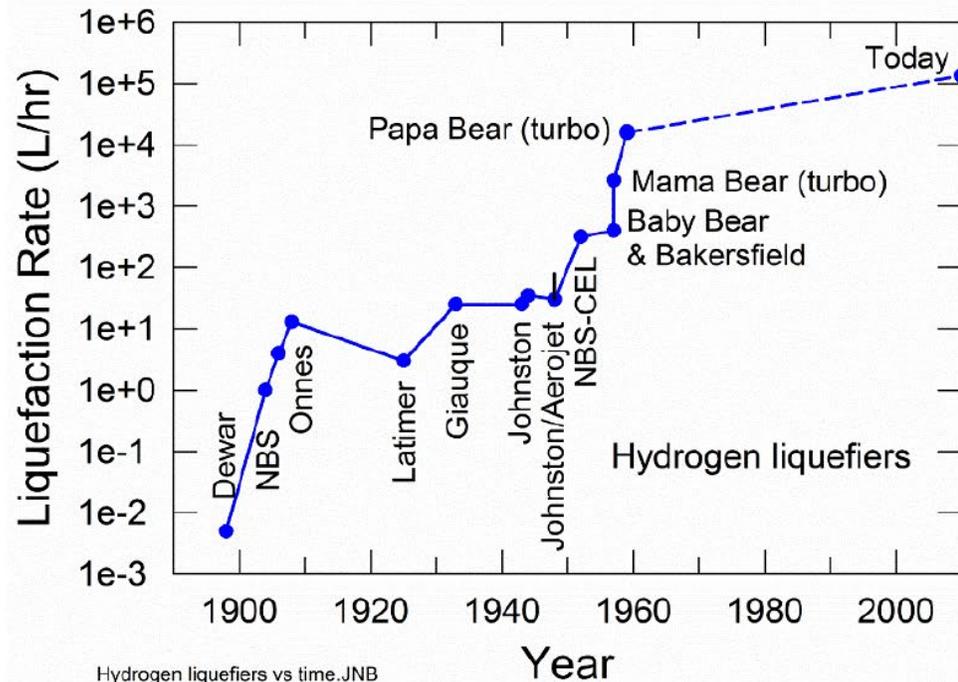
damit erstmals Temperaturen bis 20 K experimentell verfügbar

1945 -1959 USA-Militärprogramm, NBS (NIST) Boulder/Colorado gegründet;
erste größere Verflüssiger

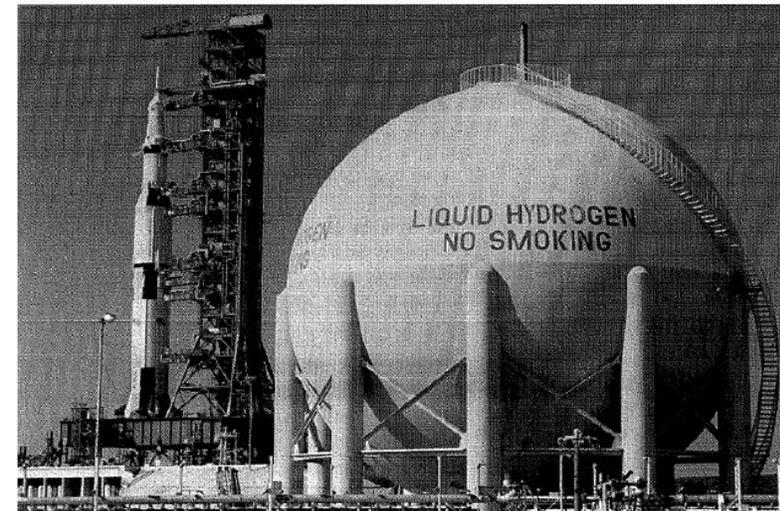
60er/70er Jahre: USA-Raumfahrt/-Apolloprogramm
LH₂-Blasenkammern f. Teilchenbeschleuniger



Ray Radebaugh
CEC conf. 2015



LH₂-Tank 3800 m³ Cap Canaveral

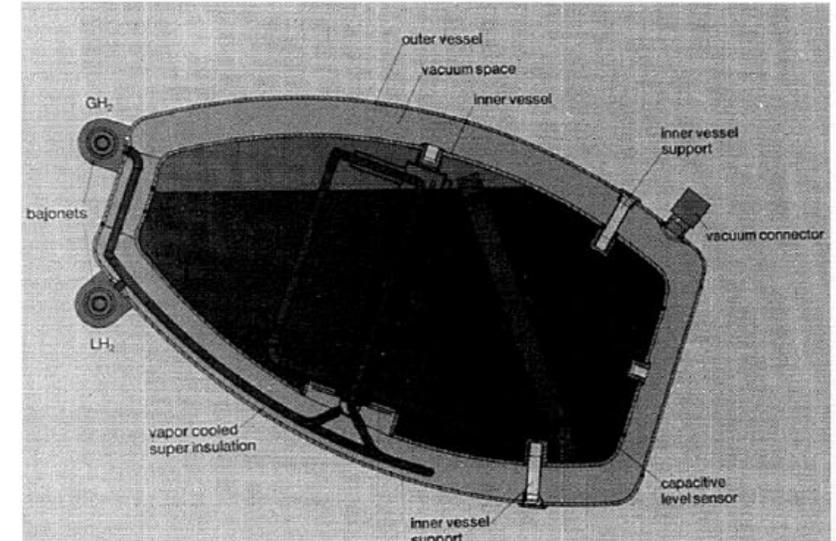
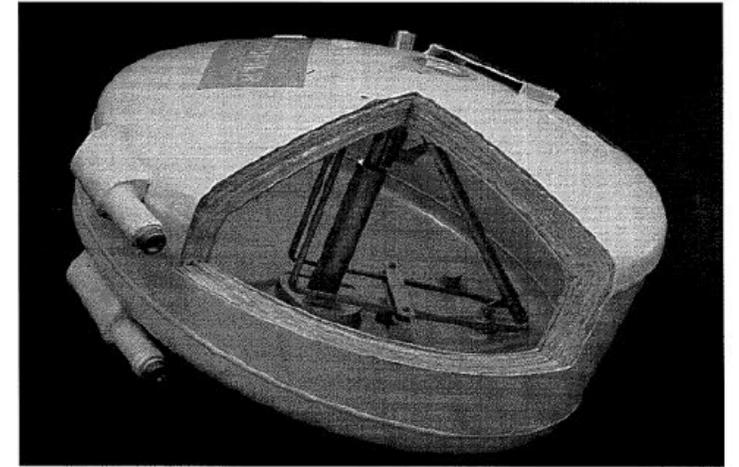


70er/80er Jahre: erste PkW mit LH₂-Tank; Prof. Peschka, Stuttgart



Testfahrzeug DFVLR – BMW 745i (1983)

erstes Fahrzeug mit LH₂-Zulassung in Europa, Tank Messer-Griesheim nach DFVLR-Design, 130 l, Leergewicht 65 kg, Ruheverdampfung 1,8 %/Tag)



[W. Peschka, Liquid Hydrogen]

„Wenn in der **Endanwendung Wasserstoff** genutzt werden soll, scheint **LH₂** im Vergleich zu NH₃ und LOHC in der **gesamten Wertschöpfungskette** die **höchste technologische Reife** aufzuweisen.“



Quelle: M. Roeb et al.: Wasserstoff als ein Fundament der Energiewende, Teil 1&2, Hrsg. DLR, Inst. für Solarforschung, September 2020
https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/03/20200930_dlr-studie-wasserstoff-als-fundament-der-energiewende.html



#2: Verflüssigung kostet zu viel Energie

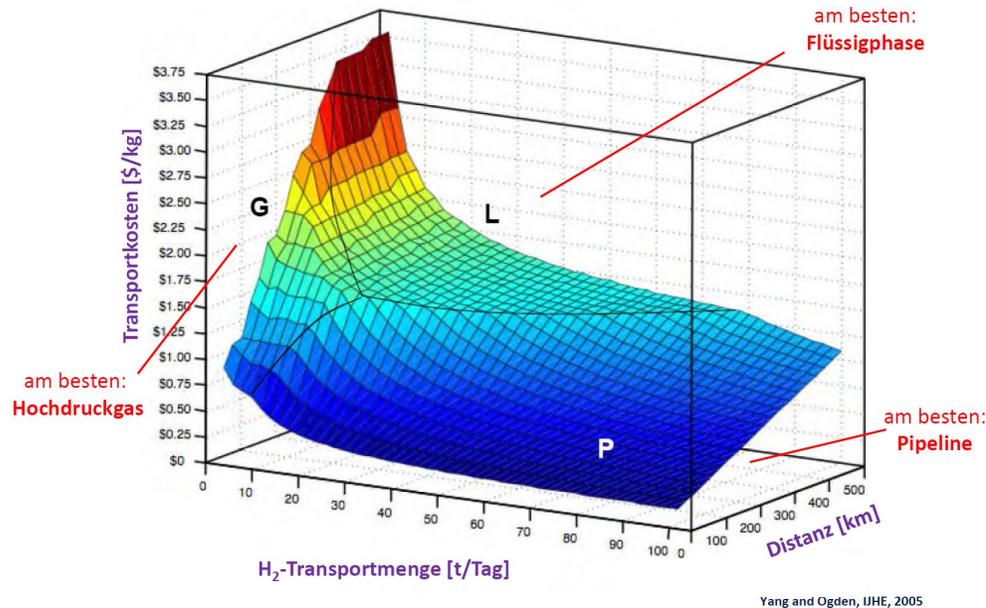
Heizwert $H_u = 119,95 \text{ MJ/kg}$
Brennwert $H_o = 141,79 \text{ MJ/kg}$

Verflüssigung	Energieaufwand Verflüssigung, inkl. o-p-Konvers.	spez. Energieaufwand pro l_{fl}	entspricht ... % von H_u
theoretisches Minimum	14,2 MJ/kg	0,279 kWh/ l_{fl}	11,8 %
Machbarkeitsstudie	22,4 MJ/kg	0,441 kWh/ l_{fl}	18,7 %
ältere Bestands- Verflüssiger	43 ... 54 MJ/kg	0,85 ... 1 kWh/ l_{fl}	36 ... 45 %

intolerabel!

heutiger Standard

#3: LH2 zu teuer



HD
NH₃
LOHC
...

LH₂-Vorteile

Höchste Speicherdichte

Höchste Reinheit des H₂-Gases

Gebrauchsfertiges Produkt

Zusätzlicher Energiebedarf
entsteht am Ort der Erzeugung!

„... kristallisiert sich LH₂ bis zum Jahr 2030 als kostengünstigste Transportmethode für den globalen Transportabschnitt heraus.“

Quelle: M. Roeb et al.: Wasserstoff als ein Fundament der Energiewende, Teil 1&2, Hrsg. DLR, Inst. für Solarforschung, September 2020
https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/03/20200930_dlr-studie-wasserstoff-als-fundament-der-energiewende.html

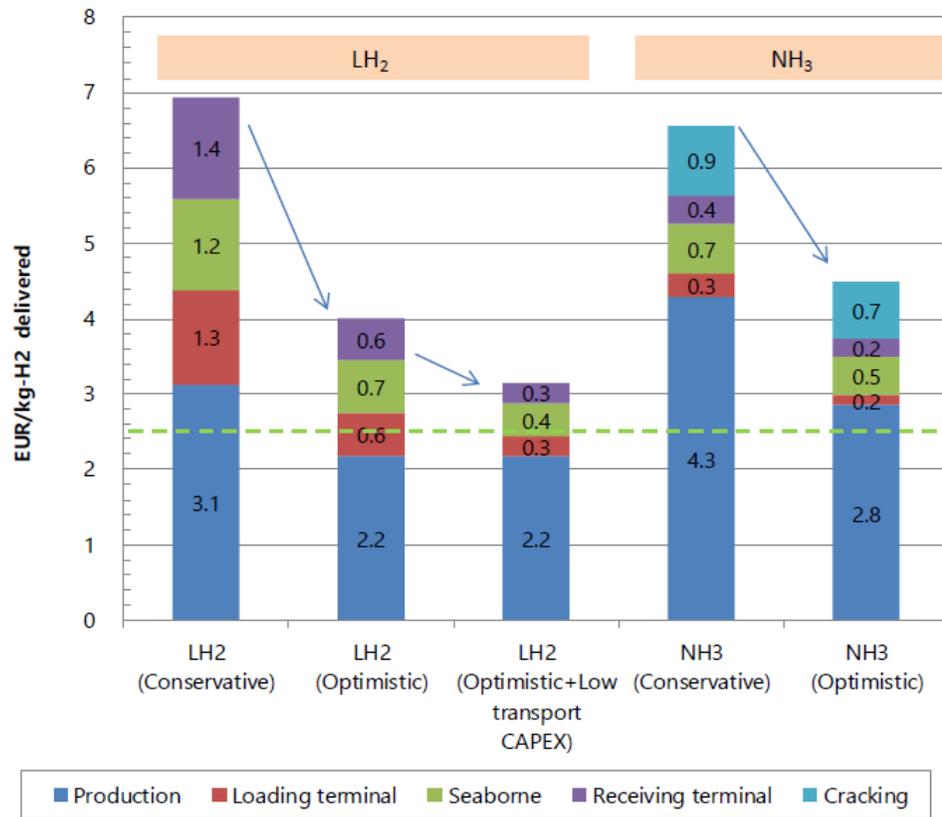


Fig. 18 – Cost comparison and reduction potential of both chains in the Tokyo case. The “Conservative” case refers to the base case, while the “Optimistic” and “Optimistic + Low transport CAPEX” cases refers to the cases described in Section Case study on cost reduction to meet Japan’s cost target.

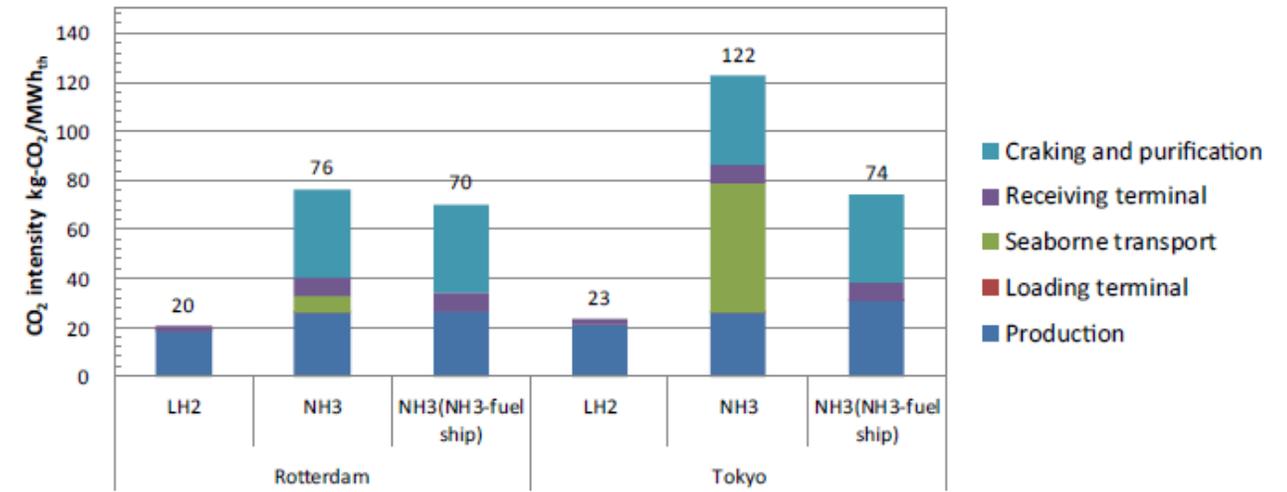


Fig. 11 – CO₂ intensity of the LH₂ and NH₃ chains.

LH₂-Herausforderungen

Zum Patent angemeldet

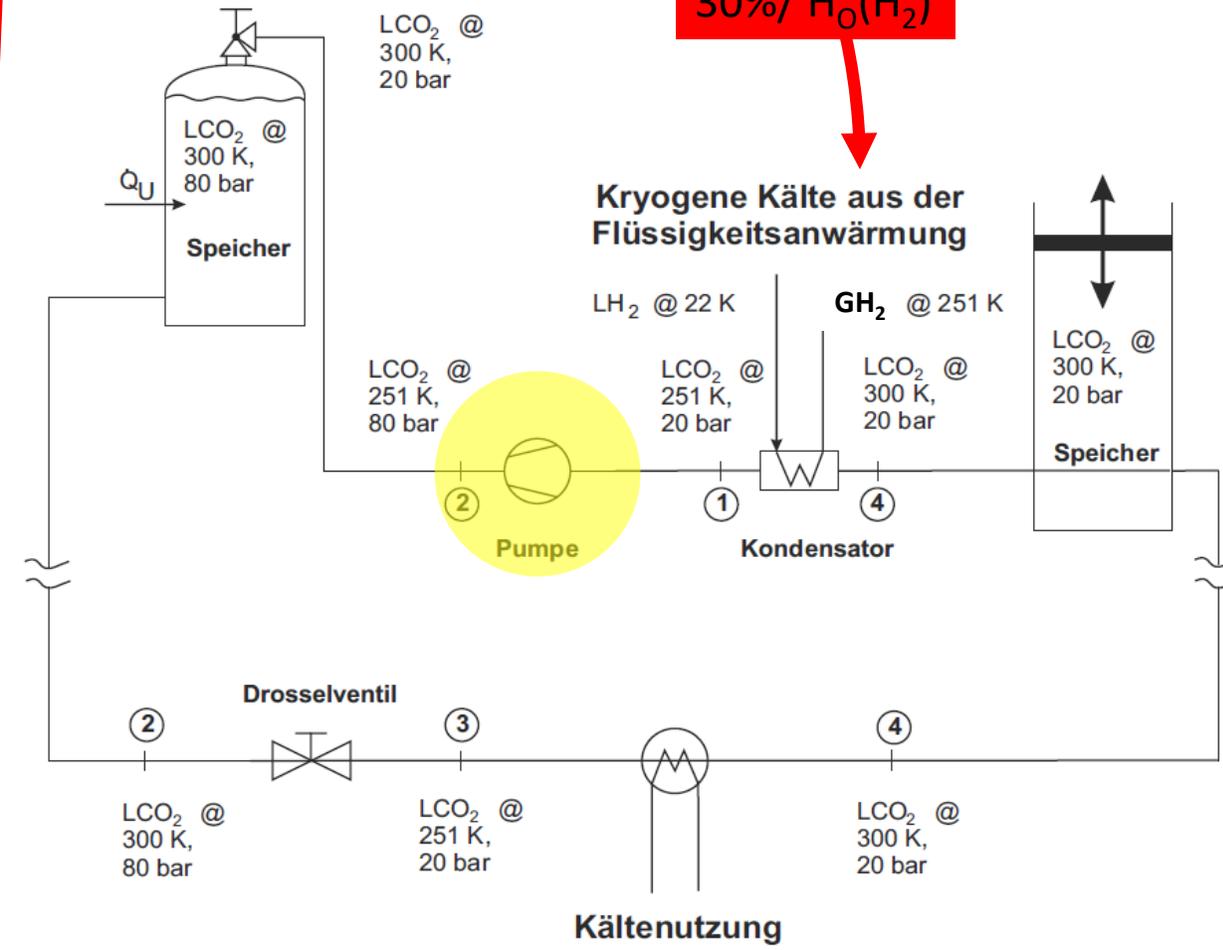
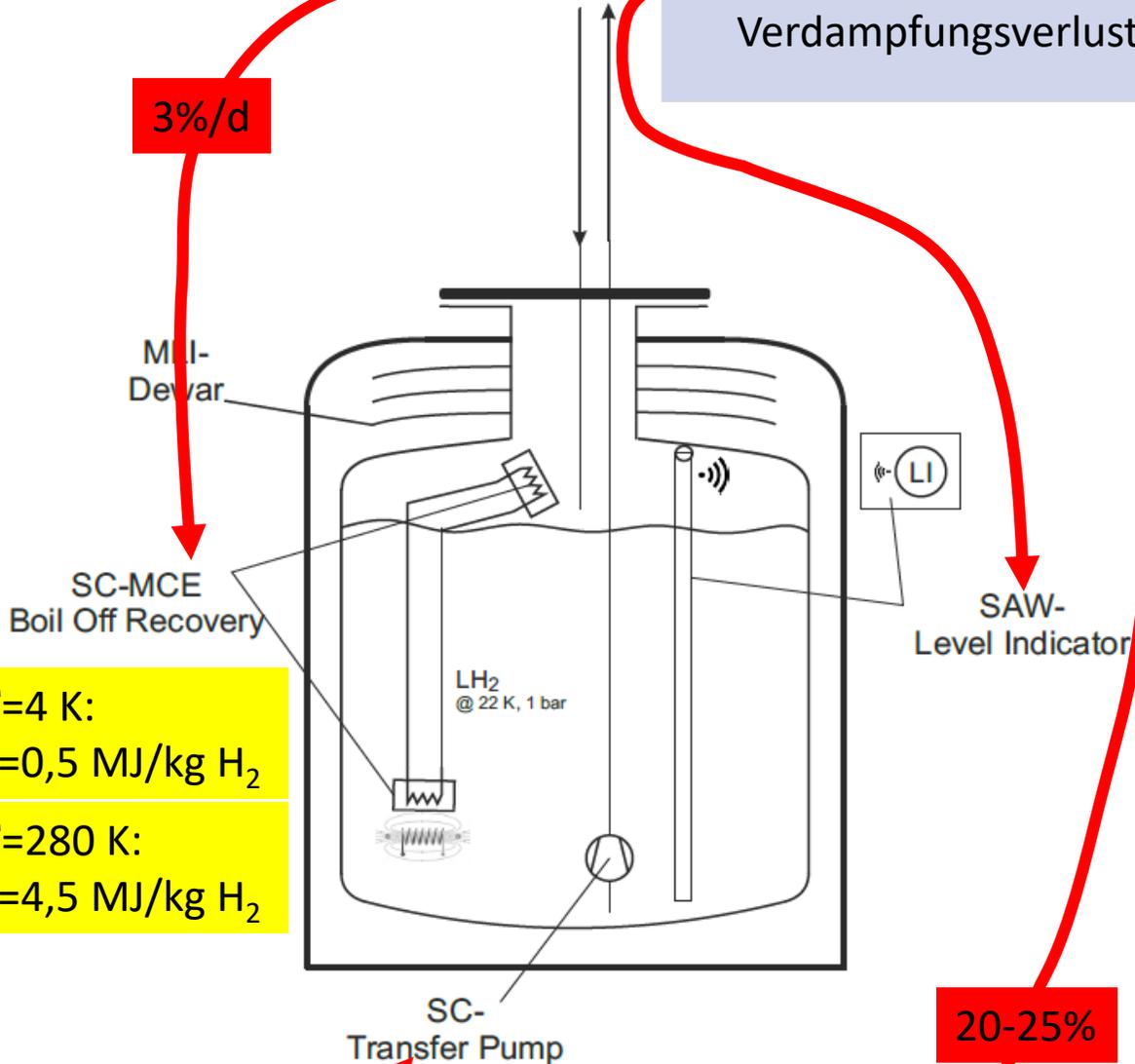
Hoher Energieaufwand bei der Verflüssigung

LH₂@ 20K: Abdampfverluste bis zu ca. 3%/d

Verdampfungsverluste bei jedem Umfüllvorgang

3%/d

30%/ H₂O(H₂)



20-25%

$\Delta T=4\text{ K}$:
 $\Delta h=0,5\text{ MJ/kg H}_2$

$\Delta T=280\text{ K}$:
 $\Delta h=4,5\text{ MJ/kg H}_2$

Laborverflüssiger TU Dresden (2004)

Diplomarbeit Th. Eisel; Bau: David Kirsten

Kapazität ca. 10 l/h LH₂

Kälteversorgung mittels LHe;

ca. 2 l LHe pro 1 l LH₂

Rohr-in-Rohr-
Wärmeübertrager

- Gegenstrom
- Gegenstrom + Kat.
- Gleichstrom + Kat.
- Joule-Thomson- Drosselung



Ausblick: Demonstratoren zur autarken LH₂-gekoppelten Energieversorgung

T!Raum
TransferRäume für die Zukunft von Regionen

**INNOVATION &
Strukturwandel**

HyLiq - Kompetenzzentrum
HUB

Mobiles LH₂-Testfeld

- Upscaling
- Systemintegration
- Lagerung
- Handling
- Verteilung
- Ausbildung
- ...

- **Erweiterung der Technologien**
- **Up- und downstream**



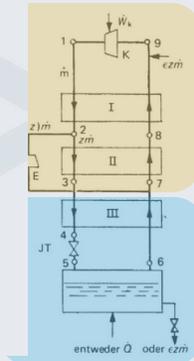
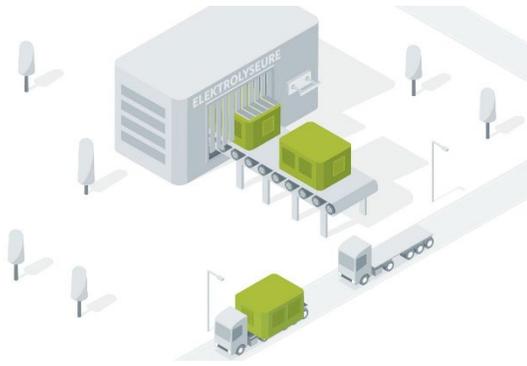
Demonstrator und Reallabor
09/2022-09/2025

Flüssigwasserstoff - Kompetenzzentrum

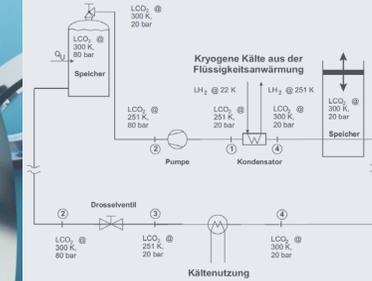
T!Raum

TransferRäume für die Zukunft von Regionen

INNOVATION & Strukturwandel



HyLiq HUB



H2-Produktion, z.B.:
 Gaseindustrie
 H2-Mare
 H2-Giga
 AquaVentus
 ...

Verflüssigung
 Gasprozesse
 MCE
 o-p-Katalyse

Speicherung, Handling
 Tankentwicklung
 Rückverflüssigung
Sensorik
 Transferpumpe
 MD-Pumpe (15 bar)

TT-Kältenutzung
 SL-Kabel, Spulen,
 Lager und
 Motoren
 Stromerzeugung

Kältenachnutzung
 Unabhängiger
 Sekundärkältekreis

LH2-Nutzung:
 Logistik
 Verkehr
 Industrie
 ...



Ihre Anwendungsidee mit LH2?

transfer@ifw-dresden.de

Vielen Dank!
für Ihre Zeit!