

LIQUID H₂ (LH2) ON BOARD Für Schwerlasttransport/Schiene ZERO-EMISSION

55 YEARS **Cryotherm**®



Cryotherm®

*Experts in cryogenic
solutions and
equipment*

Vereinfachende Anwendung



z.B. USA:
– vom Importeur
zum Exporteur LNG



Klimaneutralität Kreislaufwirtschaft

The diagram features two large, dark blue curved arrows forming a circle. The top arrow points from 'Kreislaufwirtschaft' on the right to 'Klimaneutralität' on the left. The bottom arrow points from 'Klimaneutralität' on the left to 'Kreislaufwirtschaft' on the right, indicating a mutual or cyclical relationship between the two concepts.

Wasserstoff – alternativer LKW, Schienen ...- Kraftstoff der Zukunft ?

Beispiele erprobte Wasserstoffanwendungen für Antriebe



Figure 3.19

Tractor (1959) and golf cart (1962) developed by Allis-Chalmers.

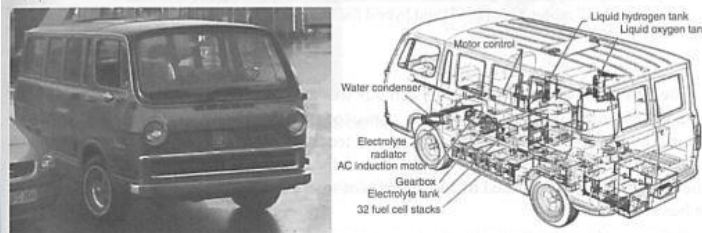


Figure 3.20

General Motors Electrovan (1966).

Source: Hydrogen, the post-oil fuel ? S. 97

1967



Lead batteries at
the front of the vehicle



Fuel cell system at
the back of the vehicle



Figure 3.21

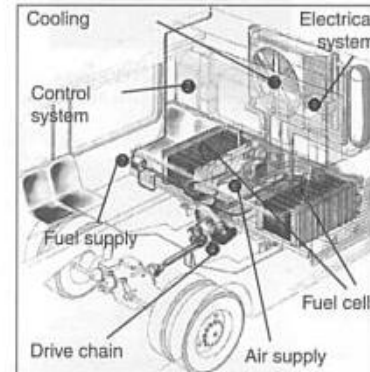
Fuel cell motorcycle (1967) and hybrid fuel cell / lead battery car (1970) developed by Karl Kordesch.

Source: Hydrogen, the post-oil fuel ? S. 98

1991-92



a) Ballard – Proof of concept of a fuel cell bus P1 (1991-1992)



b) Ballard – Fuel cell bus prototype P2

Figure 3.22

First developments of a fuel cell bus produced by *Ballard*.

Source: Hydrogen, the post-oil fuel ? S. 99



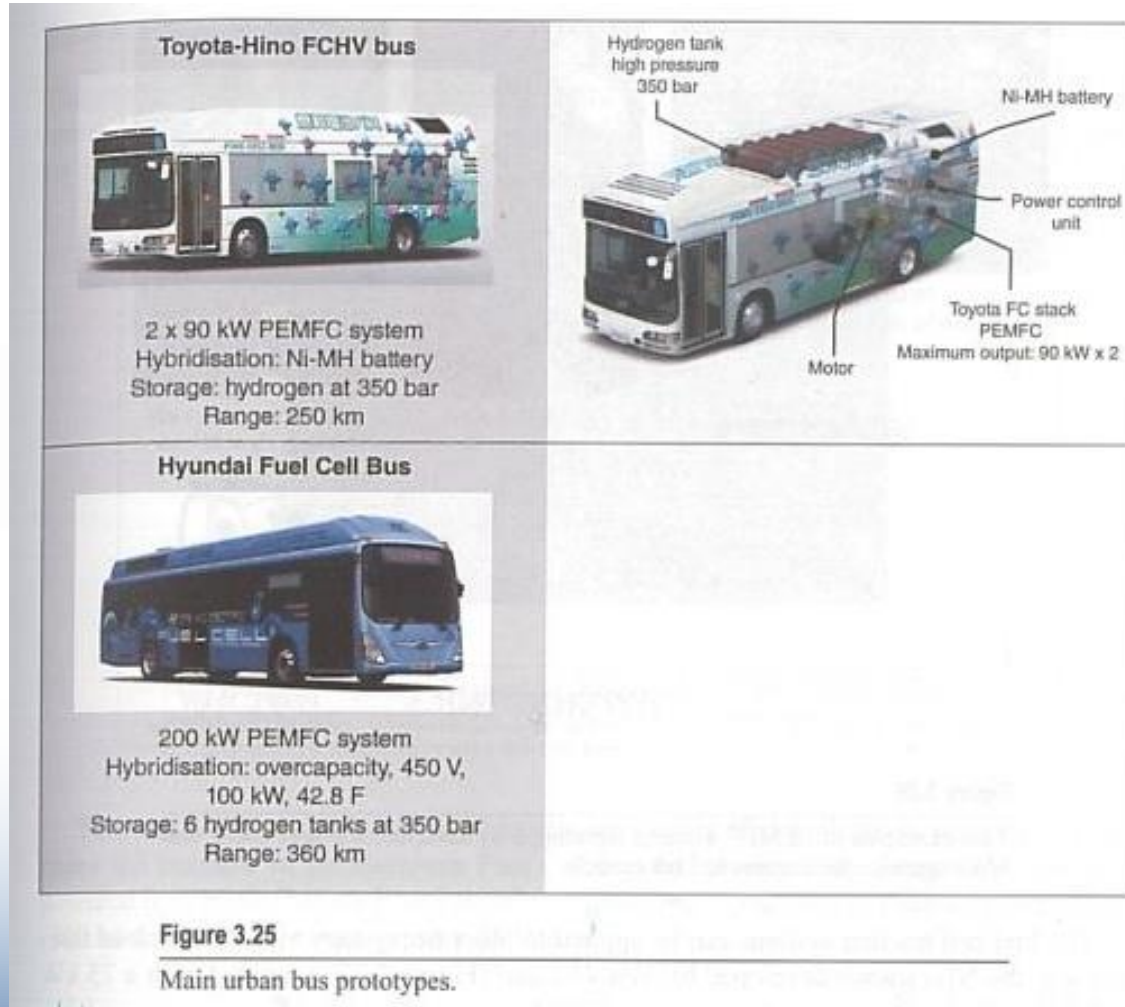
Figure 3.24

Source: Hydrogen, the post-oil fuel ? S. 103

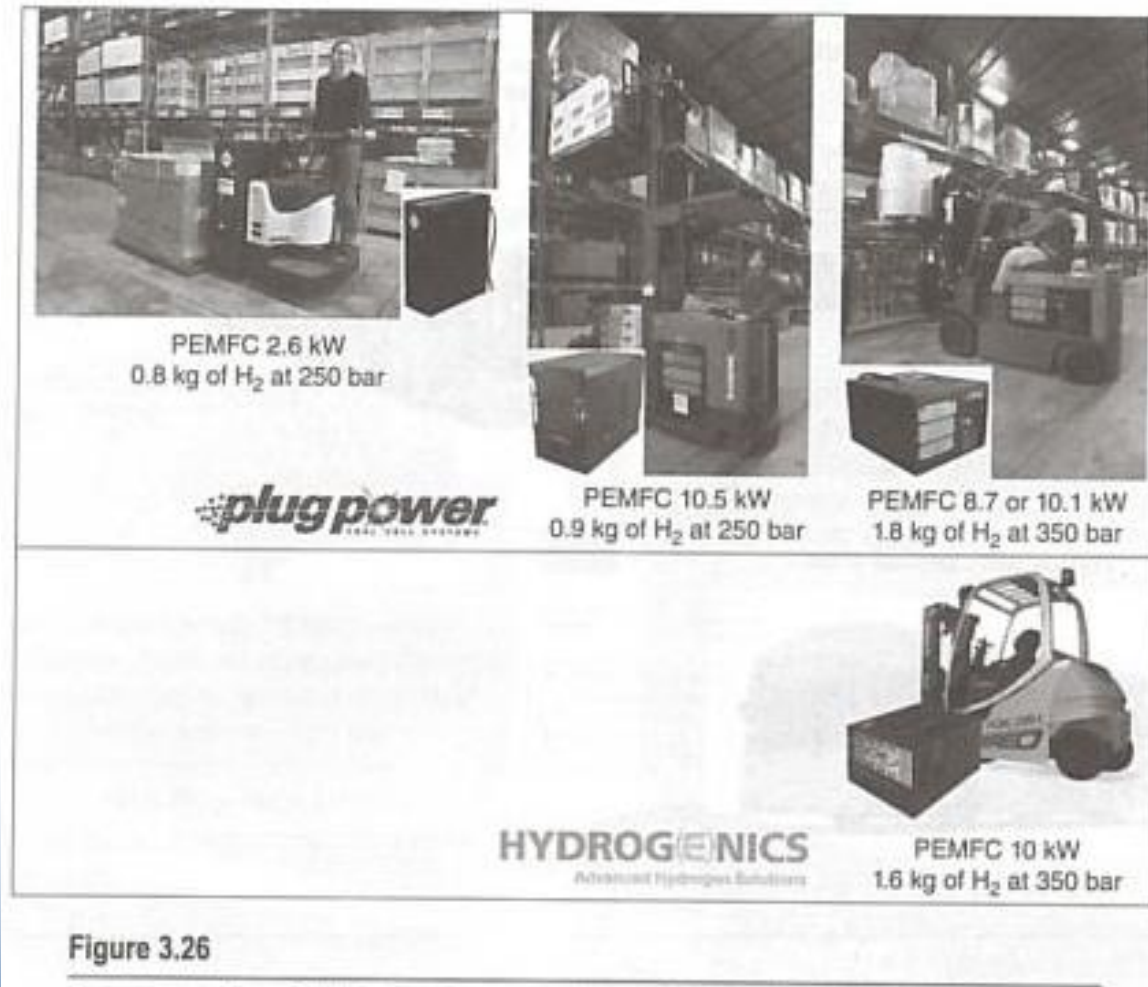


Figure 3.25

Source: Hydrogen, the post-oil fuel ? S. 106



Source: Hydrogen, the post-oil fuel ? S. 107



Source: Hydrogen, the post-oil fuel ? S. 108

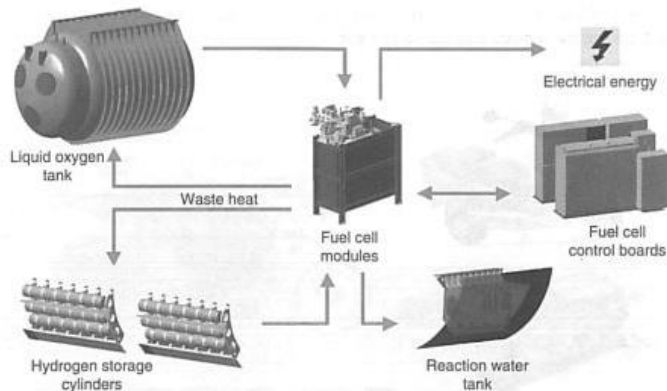
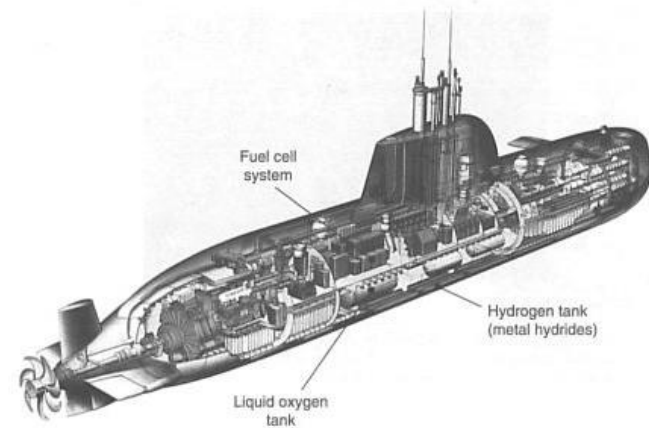


Figure 3.30

Main components of a PEMFC system for submarines (e.g.: U 214 submarine manufactured by HDW).

Source: Howaldtswerft Deutsche Werft - HDW

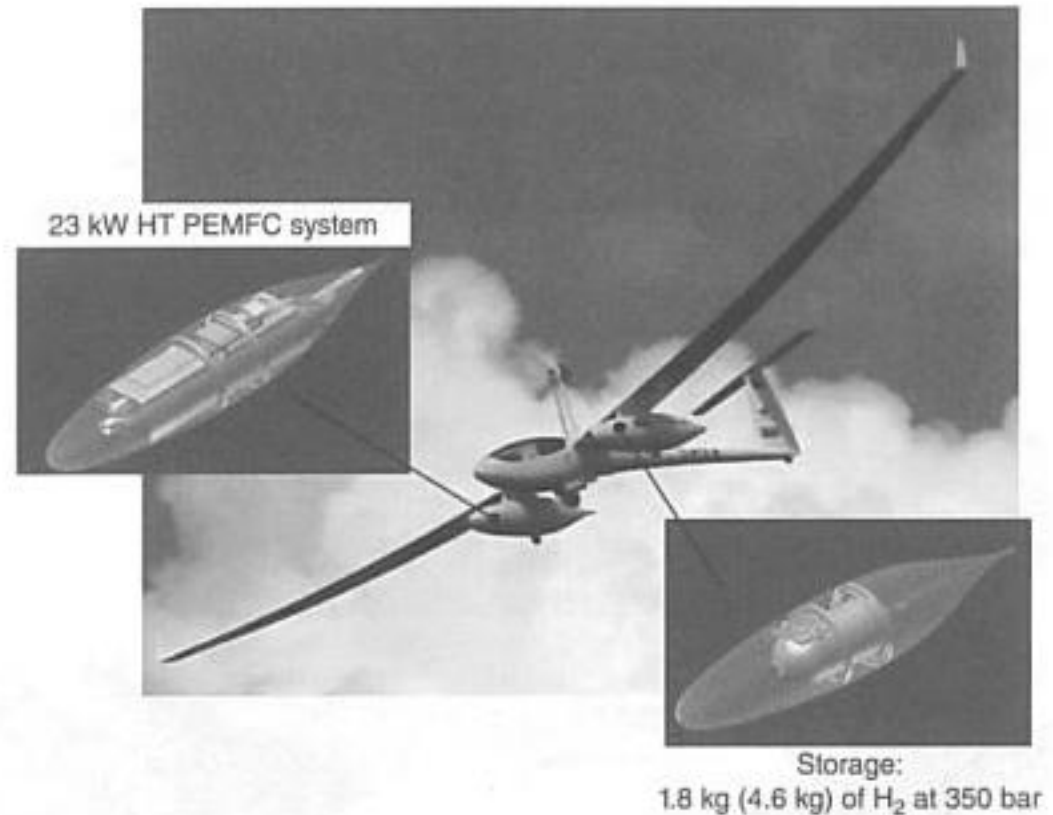


Figure 3.32

The DLR Antares single-seater glider.

Source: hydrogen, the post-oil fuel? S. 110

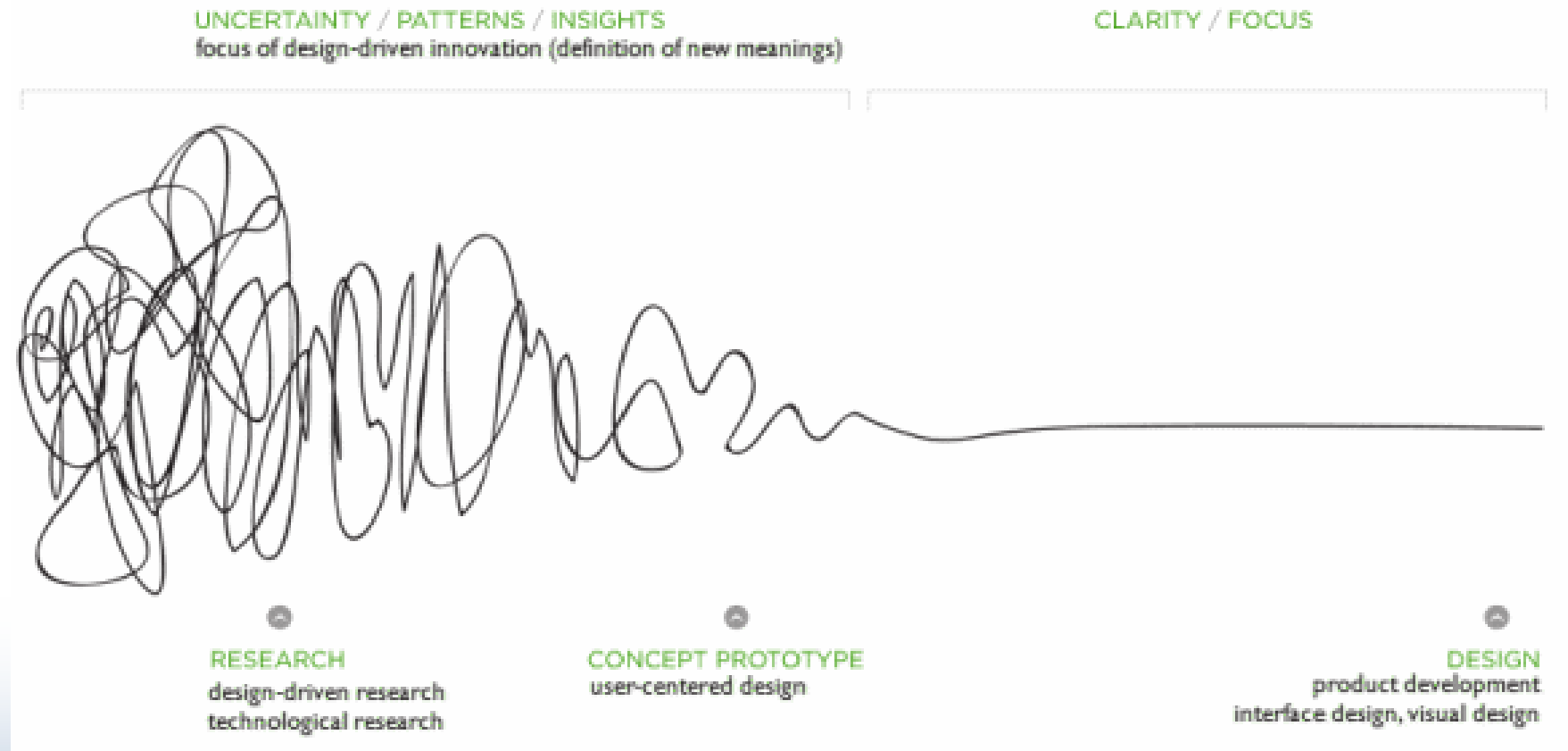
H2 Flüssig Tank



Volumen: 148l
LH2 inh: 8kg
zul. Betriebsdruck: 5 bar
Baujahr: 1999
Für Verbrenner 7er BMW

Verdichtung Innovationsprozess

55 YEARS **Cryotherm**®



Source: *The Process of Design Squiggle*, Damien Newman

1. Sinnvollere Logistik – LH2

55 YEARS **Cryotherm**®



➡ Es ist sinnvoll H₂ flüssig zu transportieren, wenn größere Mengen benötigt werden:

- 1 GH2 Trailer = 200 to 800 kg H₂
- 1 LH2 Trailer = 4.000 + kg H₂

2. Höhere „On-board“ Kapazität LH2

55 YEARS **Cryotherm**®

➔ Hohe Energiedichte LH₂ erlaubt minimales Gewicht & weniger Volumenverbrauch, als GH2 Tanks:

- Höher Kapazität je Fahrzeug LH2
- – SICHERHEIT- Low potential burst energy (LH2 20K @ <6bar vs. GH2 300K >200 bar)



3. Schätzung Kostenvorteil LH2 Tanks per kg H₂

➔ Industrielle Fertigung: LH2 ON-Board Storage (10.000 units manufacturing batch)

- **LH2 Tank** – Kapazität (stainless steel)
per kg H₂ – Price index 100
- **GH2 Tank** – Kapazität (carbon 700bar)
per kg H₂ – Price index 400



4. Reichweitenvergleich

55 YEARS **Cryotherm®**



| | Powertrain Volume | Powertrain MASS | Reichweite | Power Drain on grid at station (KW) |
|----------------------|----------------------|--------------------|------------|-------------------------------------------|
| FC + LH ₂ | 3 m3 | 1500 kg | 970 km | 0.05 |
| FC + GH ₂ | 3 m3 | 1600 kg | 550 km | 1 |
| BATTERY | 3 m3 | 5000 kg | 580 km | 2 |



Competitive
Solution!

Source: Air Liquide

5. Boil – Off

- LH2: Ohne tagelange Entnahmepausen LH2 – Tank kein Boil-Off bei Dauerbetrieb.
- LH2: Bei langen Entnahmepausen kann der zu erwartende (relativ gering kleiner 1 %) Gasstrom z.B. alternativ über eine Brennstoffzelle zur Stromerzeugung / Aufladung einer Batterie dienen.
- GH2 Höhere Drücke
GH2 Hochdrucktanks können wegen der hohen Kompressionswärme oft nicht komplett gefüllt werden



6. Kältepotential LH2 -253 C

- Vorteilhafte Nutzung des Kältepotentials flüssiger Wasserstoff z.B.:
 - zur Kühlung der Ladeluft eines Verbrennungsmotors. Durch Kühlung kann eine Aufladung erreicht werden, mit dem Vorteil höherer Motorleistung bzw. Reduzierung Motorgröße.
 - zur Kühlung der Brennstoffzelle im Betrieb
 - zur Klimatisierung – Fahrerhaus
 - zur Kühlung des Transportraumes
Pharma- & Lebensmitteltransporte



7. Energetische Vorteile verflüssigter Wasserstoff:

55 YEARS **Cryotherm**®

- Energetischer Aufwand ca. 20 % der vorhandenen Energie zur Verflüssigung.
- Transportmengenvorteil LH2 vs. GH2 – ca. 1-4
- Transportlogistik Flüssiggase: Analog LNG / LN2 ... „proven technology gasindustry“
- Grüne Energie wie Wind, Sonne & Wasser liegt ohne Emission und mit Überschüssen vor.
- Kompressionsaufwand: 700bar H2 ist auch zu berücksichtigen ca. 9 %



- Erheblicher Treiber Produktionszuwachs... für Jahrzehnte durch schrittweise Ablösung bestehender Antriebe wie LKW... , xx%
- Gesundheitsschädigung nimmt ab: Vermeidung NOx + Feinstaub... - Zero Emission
- Ballungszentren werden lebenswerter
- CVC Wave – Demonstratoraufbau Unimog technologieoffen GH2 & LH2



Klimaneutralität **Kreislaufwirtschaft**

**THANK YOU FOR
YOUR ATTENTION!**



Tel.: +49 2741 9585-50 | eMail: peter.siara@cryotherm.de; bernd.gottschlich@cryotherm.de | www.cryotherm.de