

Stand und Perspektive bei Wasserstoff-Fahrzeugen

Vorarlberger Technischer Verein

Dornbirn 18.11.21

Werner Tillmetz

Themen

- Prolog
- E-Mobilität mit Wasserstoff
- CO₂-freie Energieversorgung
- Strategische Zusammenarbeit



Prolog

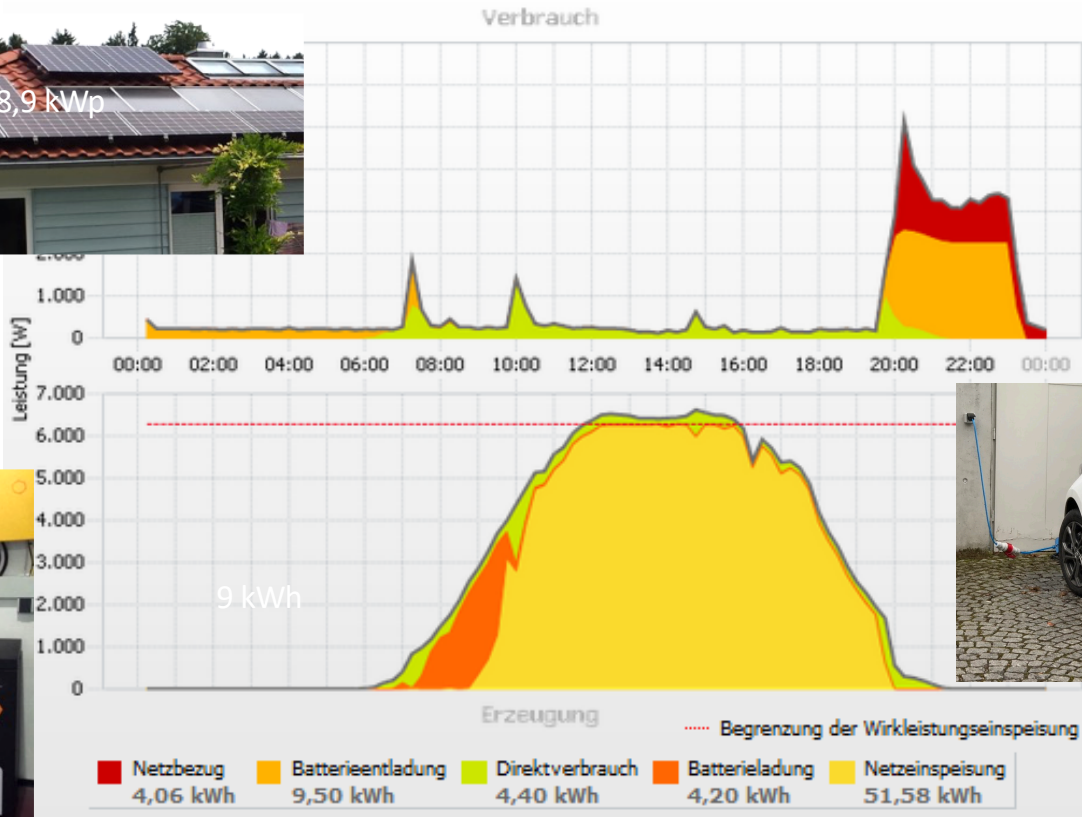
Strom kommt aus der Steckdose
und
Kraftstoff von der Tankstelle

Daran haben wir uns seit mehr als 100 Jahren gewöhnt!



Hinter der Steckdose: mal zu viel - mal zu wenig Strom

Beispiel 5.7.17



An der Tankstelle: E-Mobilität mit Wasserstoff



Avia Tankstelle St. Gallen

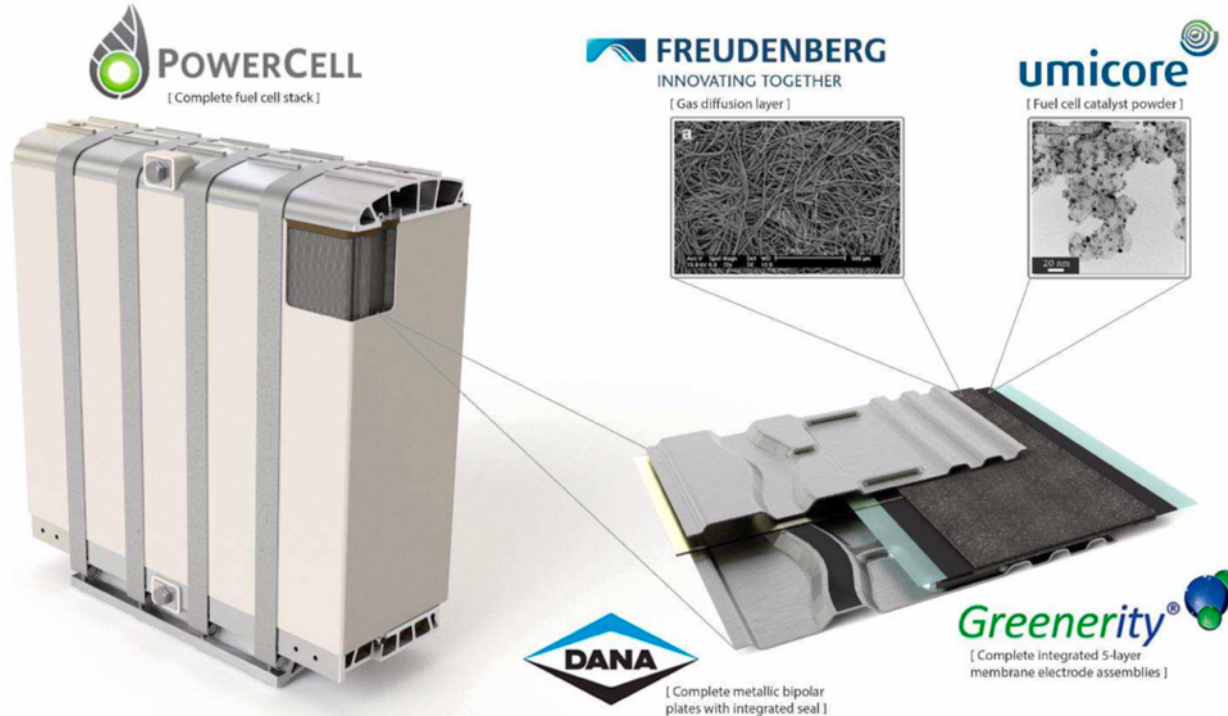


Themen

- Prolog
- E-Mobilität mit Wasserstoff
- CO₂-freie Energieversorgung
- Strategische Zusammenarbeit



Brennstoffzelle für die E-Mobilität



- 100 kW Dauerleistung
- 28 l / 33 kg
- 335 Zellen
- Kosten: 40 \$/ kW
(@ 120.000 Stacks p.a.)



E-Antrieb mit Brennstoffzelle/Wasserstoff

Brennstoffzelle

Batterie

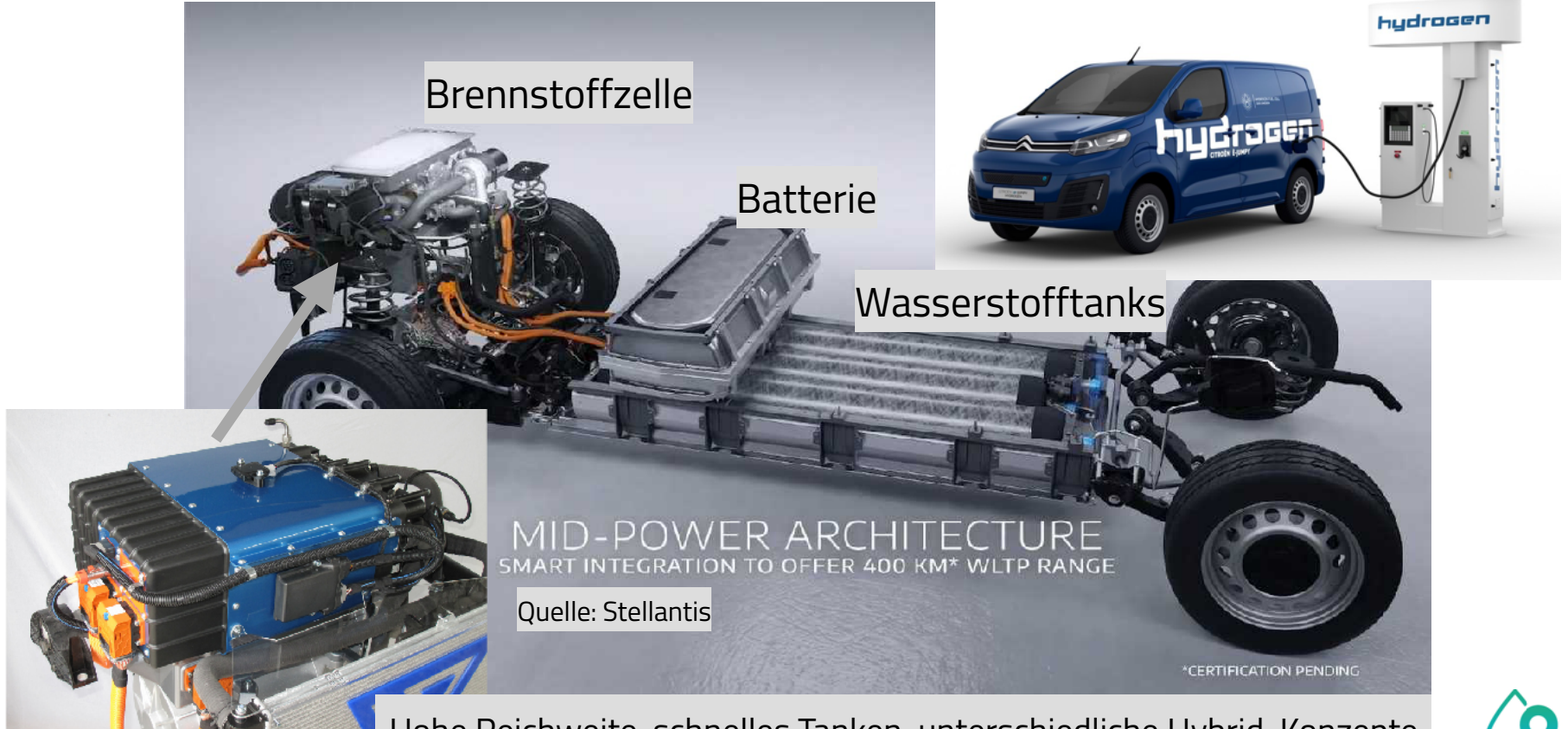
Wasserstofftanks

MID-POWER ARCHITECTURE
SMART INTEGRATION TO OFFER 400 KM* WLTP RANGE

Quelle: Stellantis

*CERTIFICATION PENDING

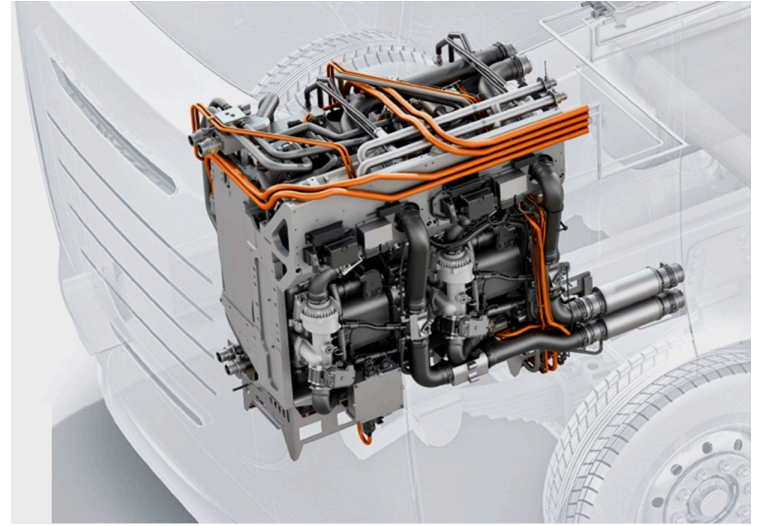
Hohe Reichweite, schnelles Tanken, unterschiedliche Hybrid-Konzepte



E-Fahrzeuge mit Wasserstoff

Hyundai, Toyota, Bosch, BMW, Daimler/Volvo,
Iveco, ElringKlinger, Opel/Stellantis, Renault/
Hyvia, Michelin, NEL Hydrogen, Linde, Siemens,
Airbus, Alstom, Engie...

.... eine Industrie im Wandel - weltweit



Bildquellen: Stellantis, ZSW, Bosch, Alstom, BMW, Toyota



E-Busse mit Wasserstoff



27 Daimler Busse für Heidelberg (2022)

- Weltweit 1.000 H₂-Busse, davon 300 in Europa
- ideal für täglich lange Fahrstrecken, bergiges Gelände und wenig Zeit zum Laden/Tanken
- Tankstellen für PKW und Nutzfahrzeuge nutzen



10 Caetano Busse für Wiesbaden



25 Solaris Busse für Bozen & Frankfurt



20 vanHool Busse für Wuppertal



Themen

- Prolog
- E-Mobilität mit Wasserstoff
- CO₂-freie Energieversorgung
- Strategische Zusammenarbeit



Energieversorgung heute: 80% fossil

Fossile Energiequellen
(—> CO₂ Emissionen)

Kohle

Erdöl

Erdgas

Förderung & Transport
Wirkungsgrad < 80%

Energieverbraucher

Wärme

Kraftstoff

Industrie

Stahl, Zement,
Chemie...

Strom

Kohle



Strom

Kraftwerk

Wirkungsgrad 30...40%

**einfach zu speichern,
bedarfsgerecht einsetzbar**



Energieversorgung morgen: 100% erneuerbar

Erneuerbare Energien
(fluktuierend)



Kurzzeit-Speicher
Wirkungsgrad ca. 80%



Energieverbraucher

Strom

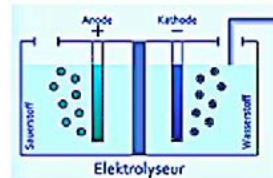
Wärme

Kraftstoff

Industrie

Stahl, Zement,
Chemie...

Strom



Elektrolyse
Wirkungsgrad 60...70%

Wasserstoff

einfach zu speichern
und zu transportieren

Stromerzeugung

**nicht regelbar und passt
häufig nicht zum Bedarf**



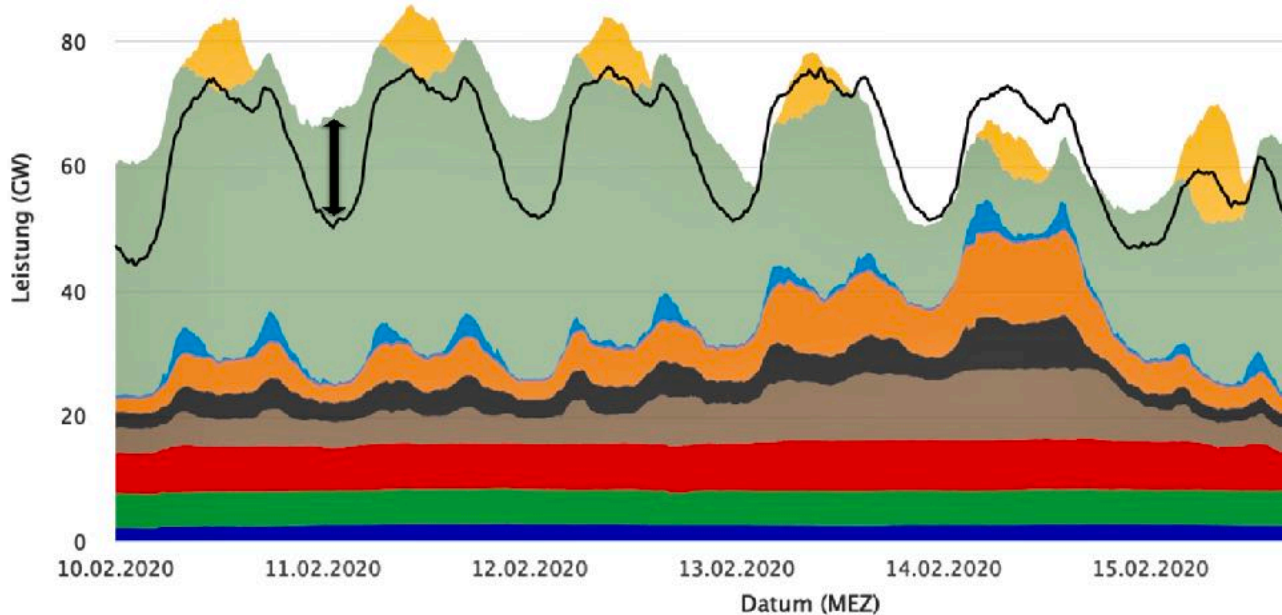
Die Versorgung mit grünem Strom im Verlauf der Tages- und Jahreszeiten

- Nachts scheint keine Sonne, viele Tage sind regnerisch und im Winter sehr kurz. Der Wind weht auch nicht immer. Woher kommt zu solchen Zeiten der grüne Strom?
- Der Import von Strom hat seine Grenzen
- E-Mobilität führt zu deutlich steigendem Stromverbrauch
- Die heutige Stromversorgung mit ca. 50% grünem Strom (im Jahresdurchschnitt) ermöglicht eine gute Analyse künftiger Entwicklungen - einige Beispiele:



Stromversorgung (D) im Februar 2020

(viel Wind)



● Pumpspeicher Verbrauch
● Kernenergie
● Gas
● Wind
● Import Saldo
● Braunkohle
● Andere
● Solar

● Wasserkraft
● Steinkohle
● Pumpspeicher
— Last

● Biomasse
● Öl
● Saisonspeicher
— Residuallast

Last (Verbrauch) heute 50 – 70 GW, künftig (zeitweise) deutlich höher

Heute an vielen Tagen zu viel Strom verfügbar, der nicht genutzt werden kann - künftig deutlich mehr

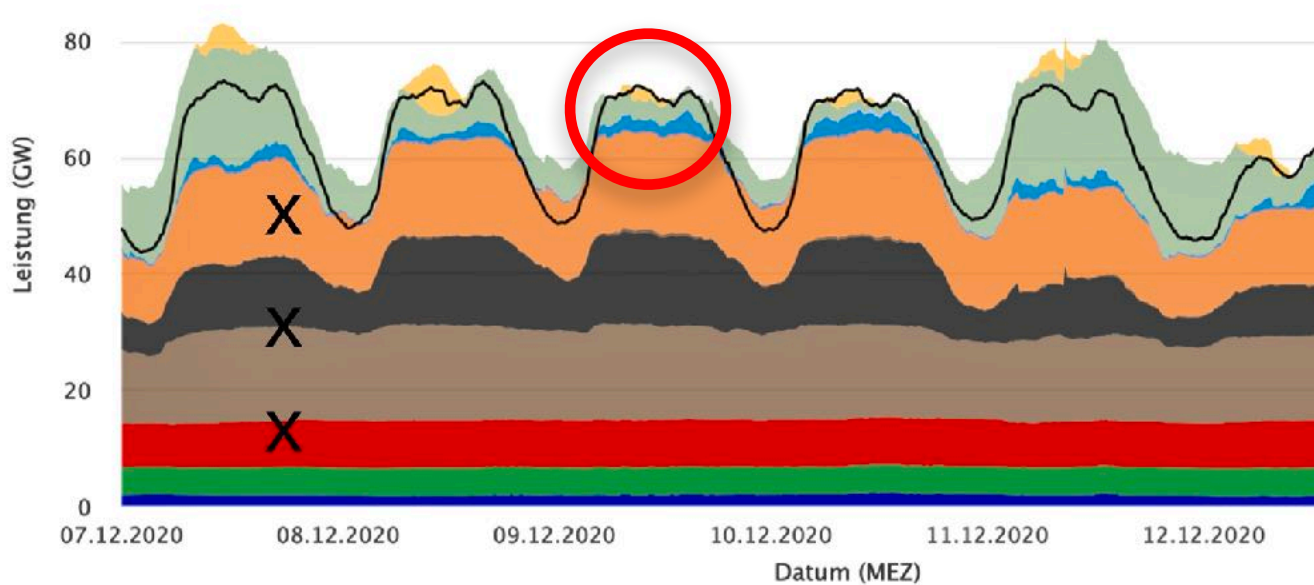
In 2020 wurden 6 TWh abgeregelt (Kosten: 1,4 Mrd. € p.a.) und 25 TWh exportiert (netto)

1 TWh reicht z.B. für den Betrieb von 4.000 H₂-Bussen



Stromversorgung (D) im Dezember 2020

(kaum Wind & Sonne)



● Pumpspeicher Verbrauch
● Biomasse
● Steinkohle
● Andere
● Wind

● Import Saldo
● Kernenergie
● Öl
● Pumpspeicher
● Solar

● Wasserkraft
● Braunkohle
● Gas
● Saisonspeicher
— Last

○ nur 4 – 6 GW aus Wind und PV (trotz installierter 120 GW und 50% EE-Strom im Jahresmittel)

x Geplante Abschaltung der Kern- und Kohlekraftwerke

Wo kommt dann der Strom her?

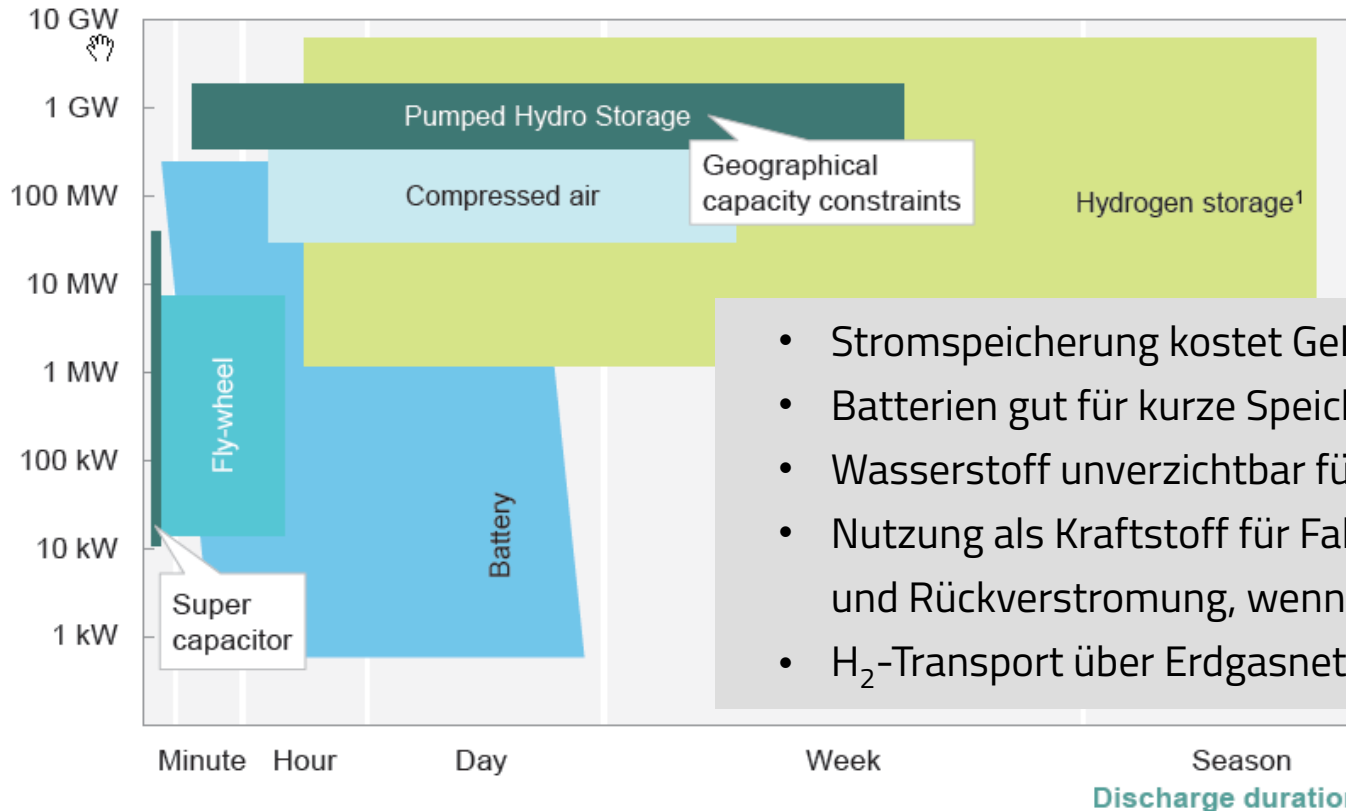
Zusätzlicher Bedarf zum Laden von Batterie-E-NFZ (nachts mehr als 150 GW für 3 Mio. NFZ)

Strom aus Zeiten mit Überschuss als Wasserstoff speichern - oder Gaskraftwerke massiv ausbauen



Stromspeicherung wird entscheidend

Capacity



- Stromspeicherung kostet Geld und Wirkungsgrad
- Batterien gut für kurze Speicherzeiten / viele Zyklen
- Wasserstoff unverzichtbar für große Energiemengen
- Nutzung als Kraftstoff für Fahrzeuge, Industrie und Rückverstromung, wenn notwendig
- H₂-Transport über Erdgasnetz



Stromspeicherung für die E-Mobilität

- Batterien bedarfsgerecht und direkt mit grünem Strom laden, funktioniert nur teilweise
- Große Strommengen können nur über Wasserstoff (oder andere chemische Speichermaterialien) sinnvoll gespeichert werden
- Die Rückverstromung von Wasserstoff über eine Gasturbine, um mit dem Strom wieder die Batterie des E-Fahrzeuges zu laden, ist sehr verlustreich ($0,4 \times 0,85 = 34\%$ Wirkungsgrad ohne Transportverluste)
- Die direkte Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff in Brennstoffzellen-Antrieben ist deutlich effizienter (ca. 60% Wirkungsgrad)
- Grüner Wasserstoff kann zu jeder Zeit und an jedem Ort getankt werden



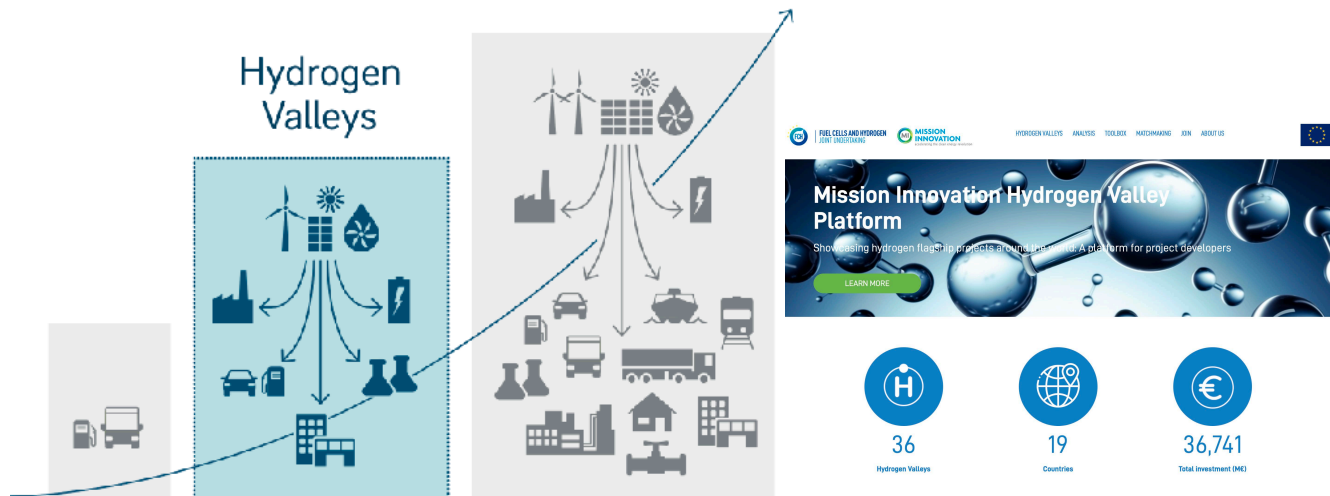
Themen

- Prolog
- E-Mobilität mit Wasserstoff
- CO₂-freie Energieversorgung
- Strategische Zusammenarbeit



Die Rolle von Netzwerken

- Starke Kooperationen über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg sichern Erfolg und Arbeitsplätze
- Umfangreiche politische Unterstützung in D & EU



36

Hydrogen Valleys



19

Countries

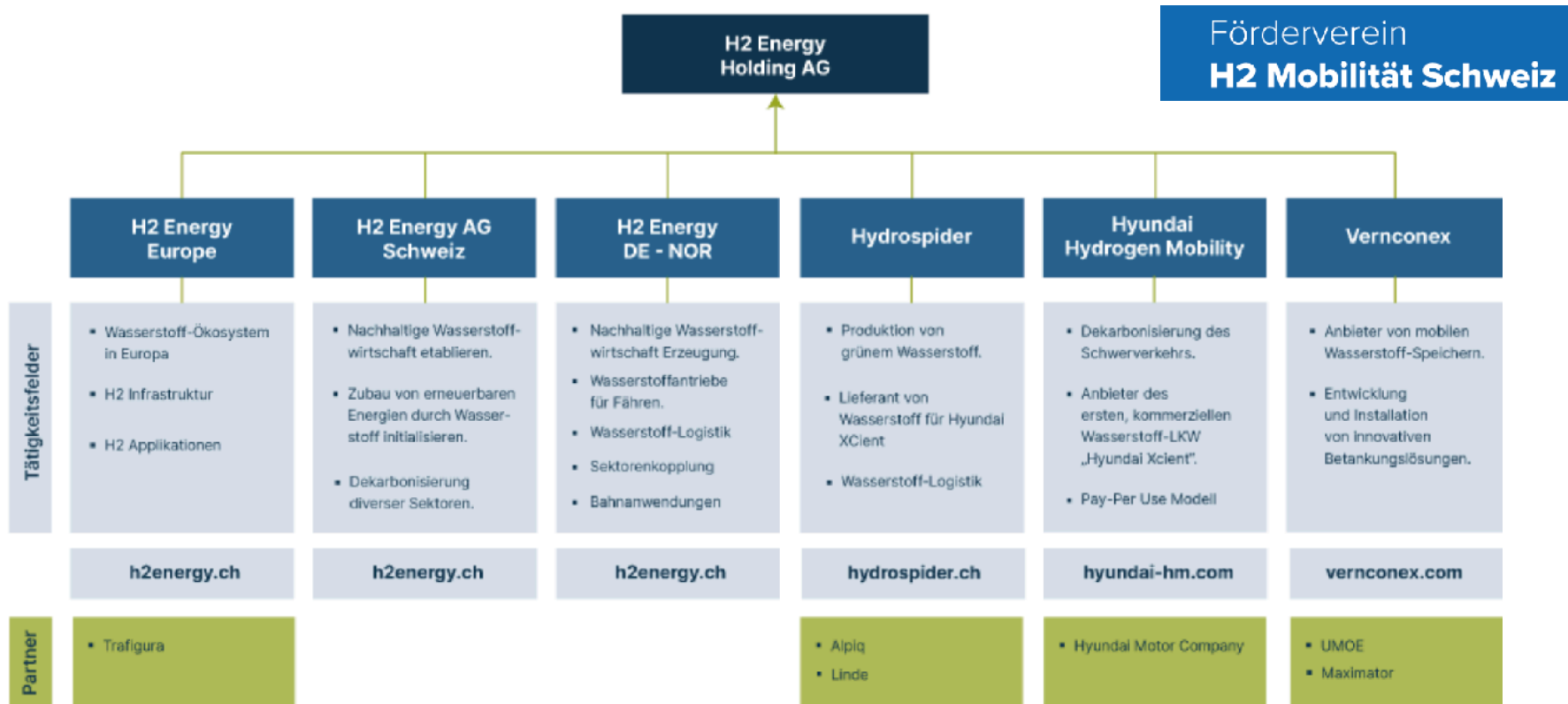


36,741

Total Investment (ME)



Die Rolle von Netzwerken - Beispiel Schweiz



Alles unter einem Dach: Wasserstoff-Erzeugung - Transport - Tankstelle - Fahrzeuge



Wasserstoff: Schlüssel zu einer erfolgreichen Energie- und Mobilitätswende

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



<https://h2connect.eco>

<https://www.facebook.com/h2connect.eco/>



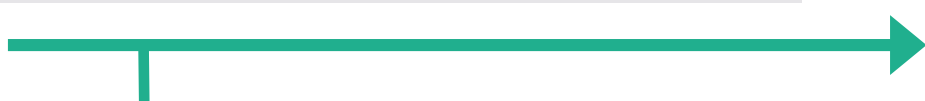
Anhang

- Wirkungsgrade in der realen Welt
- Zahlen zum Nachrechnen
- Informationen



E-Mobilität: Wirkungsgrade in der realen Welt

Genügend Strom aus Sonne (Wind), um **zeitgleich** Fahrzeugbatterie zu laden



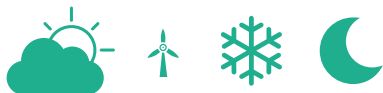
70 %

Nachts: **keine** Sonne (zu wenig Wind) - Strom vom Tag über eine Batterie zwischen speichern



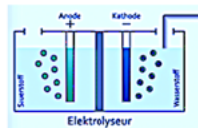
60 %

Über viele Tage **wenig** Sonne, **wenig** Wind: kein „grüner Strom“ zum Laden der Fahrzeugbatterie



30 %

Wasserstoff aus temporär **überschüssigem** grünem Strom - kann **jederzeit** getankt werden



55 %

Import über Erdgaspipeline möglich



1: Strom nur aus fossilen Kraftstoffen verfügbar - dann sehr hohe CO₂-Emissionen für Batterie-E-Fahrzeuge

2: kein Wirkungsgrad gerechnet, da Strom im Überschuss und sonst nicht nutzbar

Zum Vergleich: Wirkungsgrad Verbrennungsmotor inkl. fossile Kraftstoffherzeugung: ca. 15%

Details zur Rechnung siehe Anhang

Einige Fakten zum Nachrechnen

- 8.760 Stunden im Jahr muss genügend Strom verfügbar sein
- ca. 1.000 Volllaststunden bei der Photovoltaik - im Süden etwas mehr im Norden etwas weniger
- ca. 2.000 Volllaststunden bei Windkraft - im Süden etwas weniger im Norden etwas mehr
- Bis zu 4.000 Volllaststunden bei Offshore-Wind
- Wirkungsgrade:
 - Batteriespeicher (inkl. DC/AC/DC): 85%
 - Laden der Batterie im Fahrzeug: 85%
 - Elektrolyse: 70%;
 - Stromtransport oder Wasserstofftransport Pipeline: 95%;
 - Kompression Wasserstoff an der Tankstelle: 90%
 - Gasturbine für die Stromerzeugung: 40%
 - Verbrauch Limousine nach WLTP: BEV ca. 20 kWh (im Winter 25-30 kWh); FCEV: ca. ca. 27 kWh



Informationen

<https://www.electrive.net>

<https://fuelcellsworks.com>

<https://www.now-gmbh.de>

<https://www.fch.europa.eu>

<https://hydrogencouncil.com/en/>

