



Wasserstoff als Energieträger & Kraftstoff

LeadIng.



THE LINDE GROUP

Fürstenfeldbruck, 19. Februar 2016
Christoph Stiller

Wasserstoff als Industriegas

Wasserstoff als Energieträger und -Speicher

Wasserstoff als Kraftstoff

Wasserstoff, was ist das überhaupt?



Wasserstoff

THE LINDE GROUP

Wasserstoff (H ₂)	Info
Molare Masse	2,02 g/mol
Dichte	0,071 kg/dm ³
Kovalenter Radius	31 pm
Elektronenzahl	2
Dampfdruck *	70 mbar
Schmelzpunkt	13,9 K
Siedepunkt	20,4 K

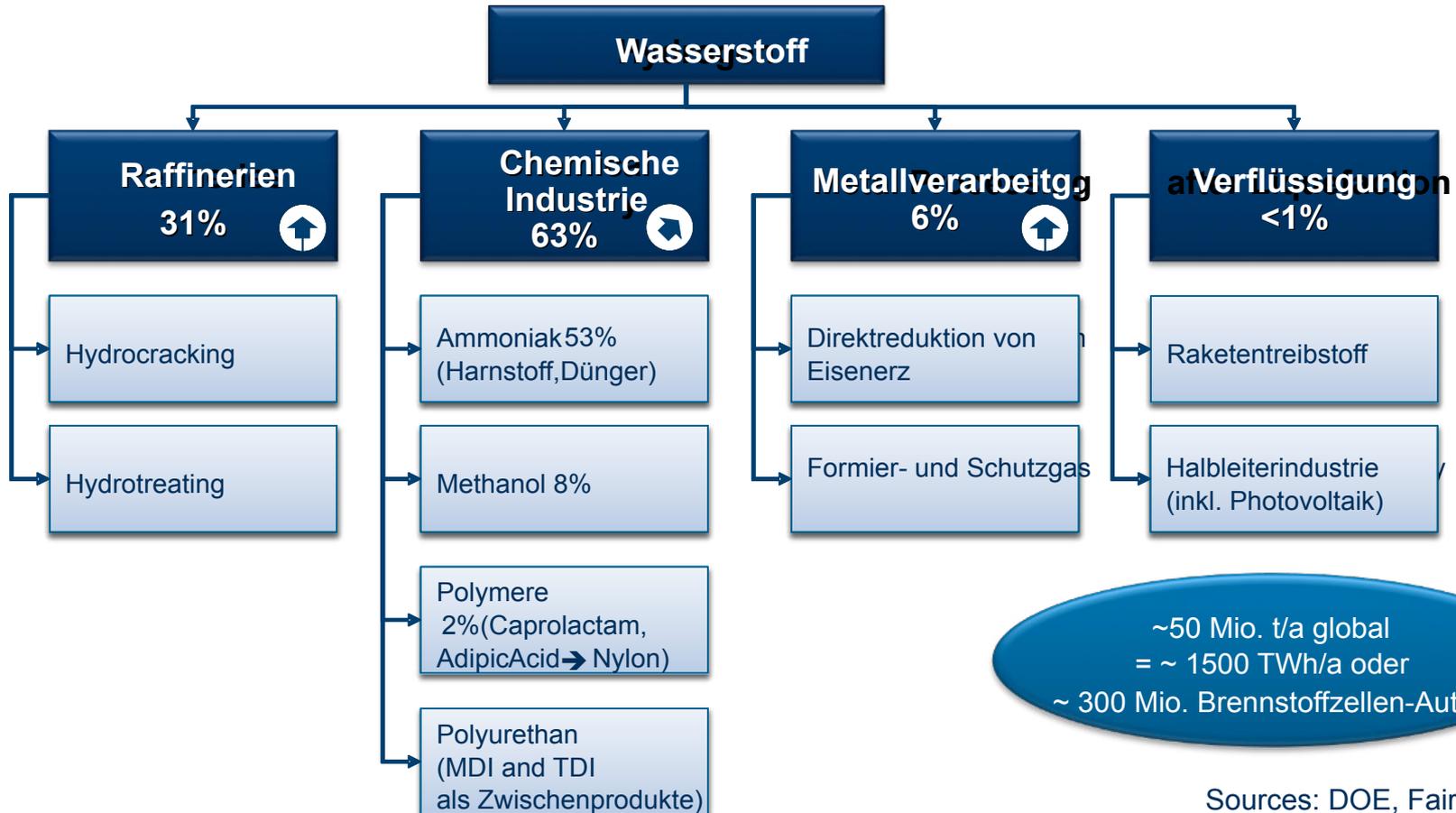
H₂ He N₂ O₂ Ar Kr
N₂O NH₃ Xe CO₂ CH₄ C₂H₄

Wasserstoff (H₂) ist das leichteste und häufigste Element im Universum. Auf der Erde ist der größte Teil des Wasserstoffs in Form von Wasser gebunden. Da er bei der Verbrennung nur Wasser und keine weiteren Emissionen liefert, handelt es sich auch um einen umweltfreundlichen und zukunftssträchtigen Energieträger. → [Download on the App Store](#)

- Farb- und geruchloses Gas
- Hoher massenbezogener Heizwert (3,3 x Heizöl)
- Geringe Dichte (14 mal leichter als Luft)
- **Nicht** selbstentzündlich, brandfördernd, giftig, korrosiv, radioaktiv, ansteckend, wassergefährdend, fruchtschädigend, krebserregend...
- Das Sonnensystem besteht zu 75% aus Wasserstoffatomen
- Aber: keine natürlichen Vorkommen von Wasserstoffmolekülen

Industrielle Anwendung von Wasserstoff

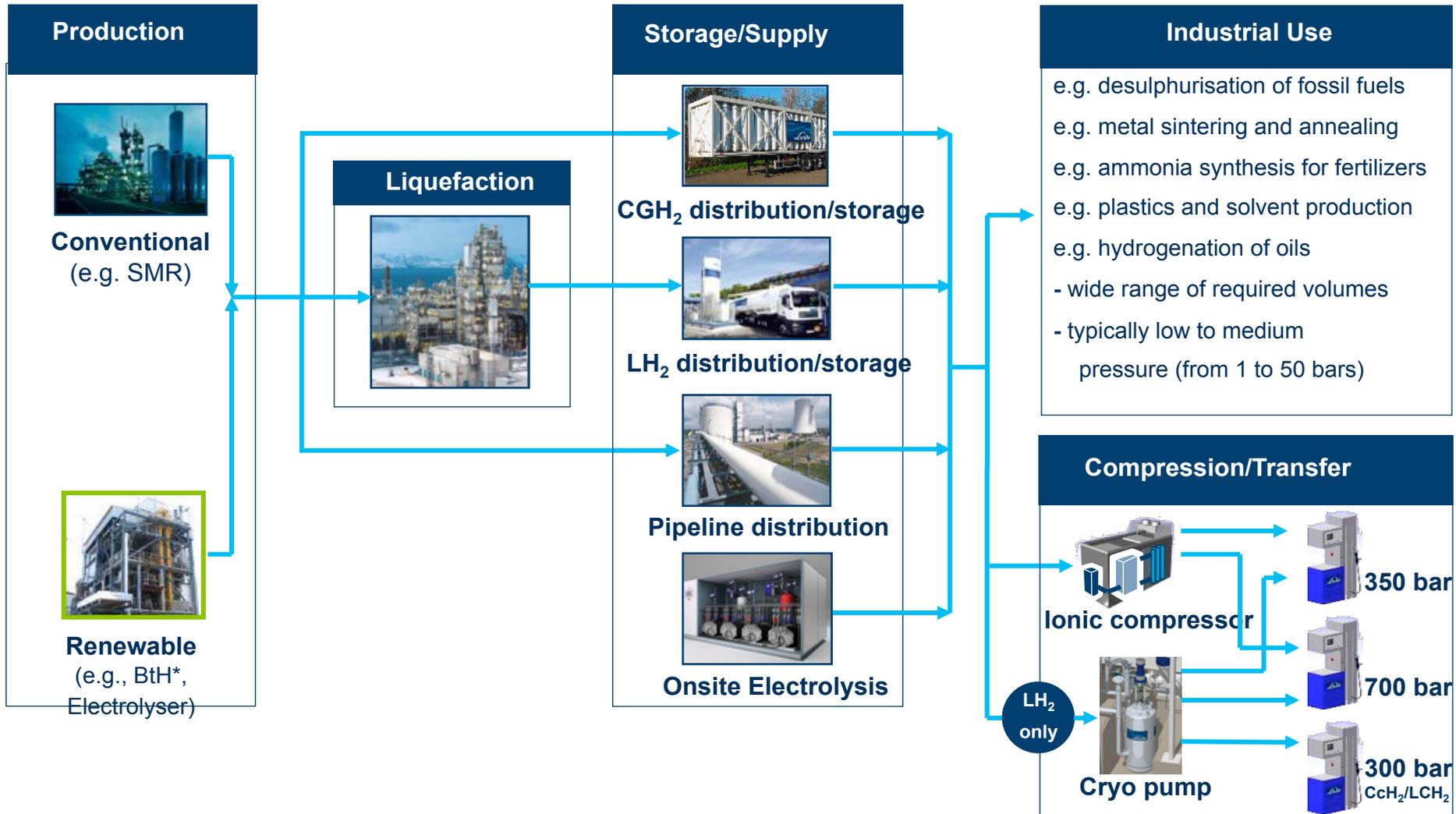
Märkte und Anwendungen



- Weitere Anwendungen: (<1000 Nm³/h): Flachglas, Nahrungsmittelindustrie, Generatorkühlung
- Nur ca. 5% des H₂ wird transportiert (95% vor Ort hergestellt & verbraucht)

Produktion und Distribution von Wasserstoff

Viele Wege führen nach Rom



* Biomass to Hydrogen

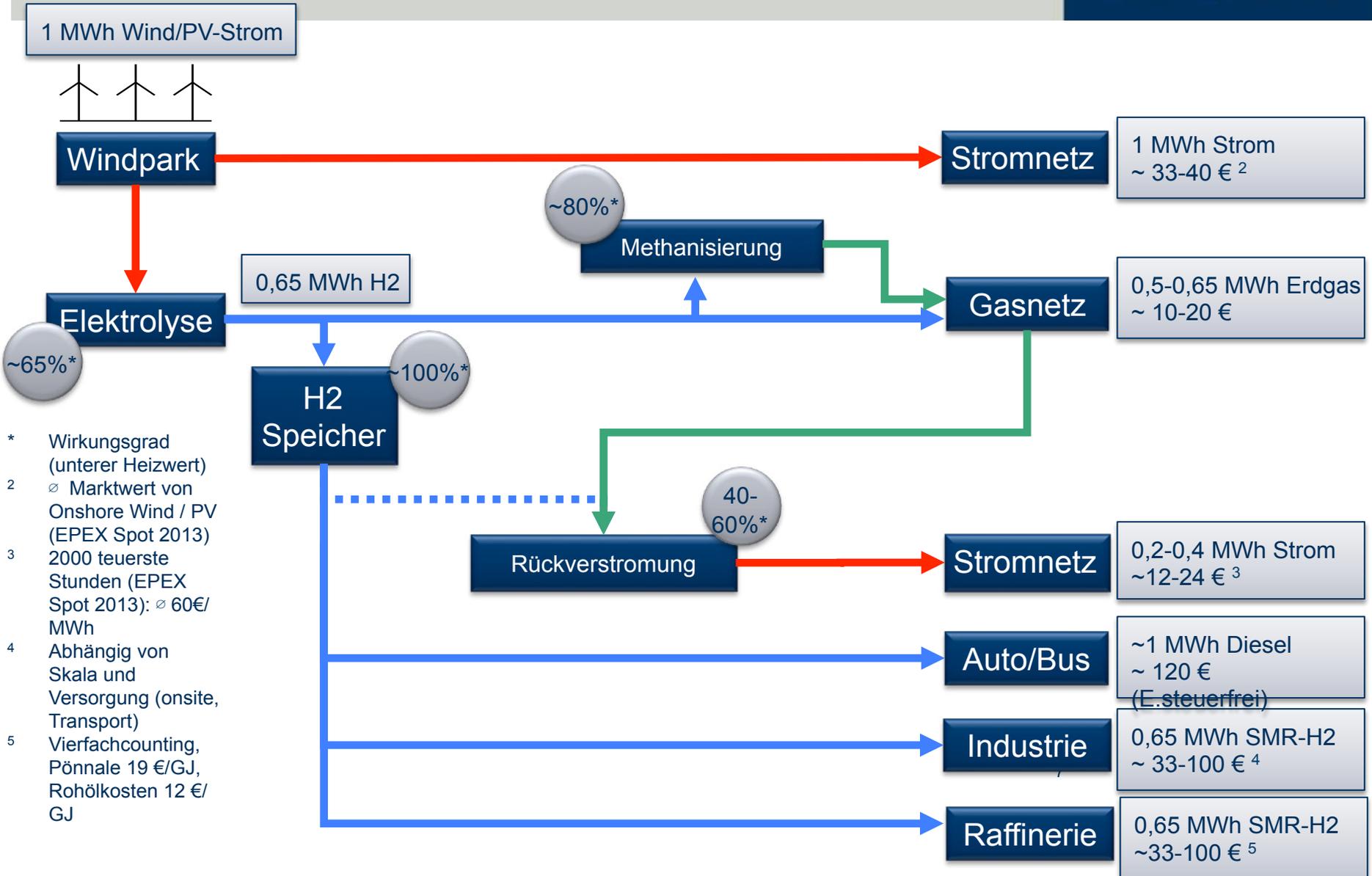
Wasserstoff als Industriegas

Wasserstoff als Energieträger und -Speicher

Wasserstoff als Kraftstoff

Möglichkeiten der Nutzung von H₂ im Energiesystem

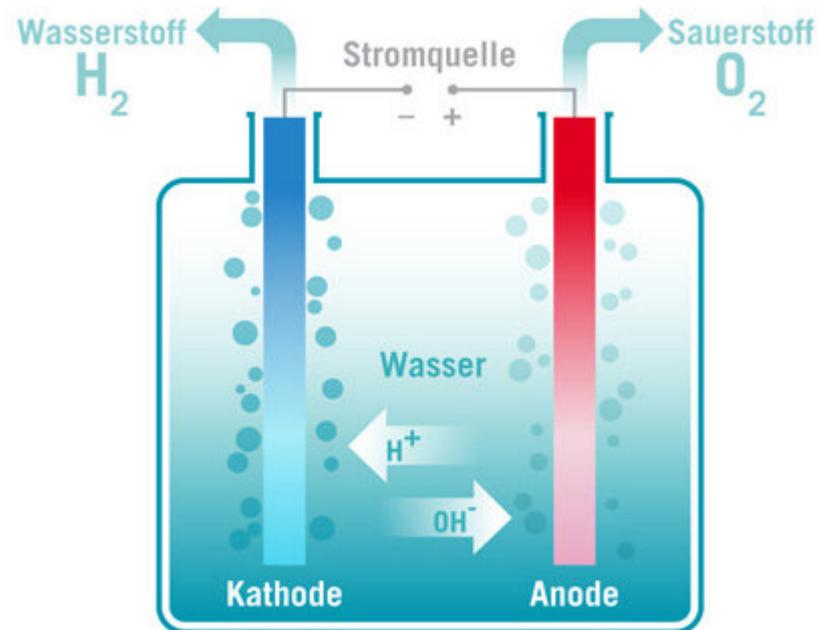
Substituierte Energie und ökonomischer Wert von 1 MWh Windstrom



* Wirkungsgrad (unterer Heizwert)
² ∅ Marktwert von Onshore Wind / PV (EPEX Spot 2013)
³ 2000 teuerste Stunden (EPEX Spot 2013): ∅ 60€/MWh
⁴ Abhängig von Skala und Versorgung (onsite, Transport)
⁵ Vierfachcounting, Pönnale 19 €/GJ, Rohölkosten 12 €/GJ

Wasserstoffherzeugung mit Elektrolyse

Funktionsprinzip



Wasserstofferzeugung mit Elektrolyse

Typen, Vorteile/Nachteile

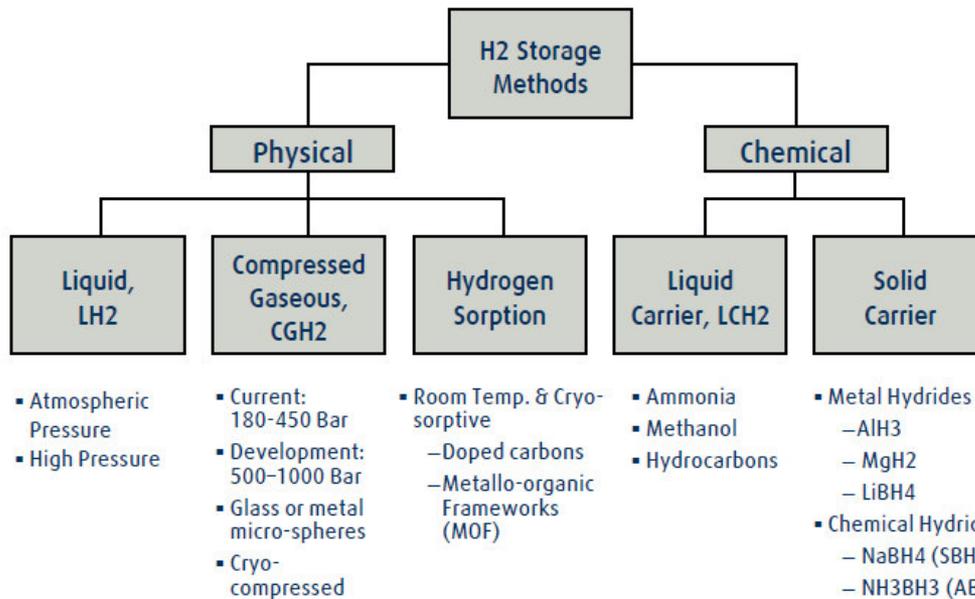
	Alkali Elektrolyse AEL	PEM Elektrolyse PEMEL	Solid oxide Elektrolyse SOEC
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Etabliert • Betriebserfahrung • Keine Edelmetall-Katalysatoren • Druckbetrieb möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Stromdichte • Hohe Drücke möglich • Teillastfähigkeit, Dynamik • Hohe H₂-Reinheit • Einfaches System 	<ul style="list-style-type: none"> • Niedriger Stromverbrauch • Keine Edelmetall-Katalysatoren • Potential zu hoher Stromdichte • Möglichkeit der Einkopplung von Wärme, Koproduktion z.B. von CO
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Relativ niedrige Stromdichte • Korrosiver Elektrolyt • Komplexes System 	<ul style="list-style-type: none"> • Edelmetall-Katalysatoren • Hohe Investitionskosten • Wenig Erfahrung zu Betrieb/ Haltbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Noch im Entwicklungsstadium • Hochtemperaturwärme benötigt • Keine Erfahrung zu Haltbarkeit / Dynamik • Komplexes System



PEM stack from Siemens



Solid oxide stack from Topsoe FuelCell

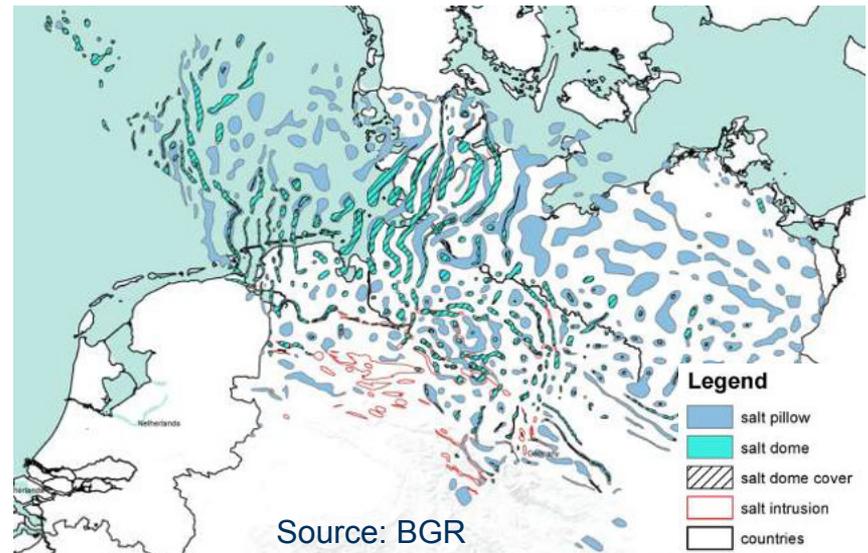
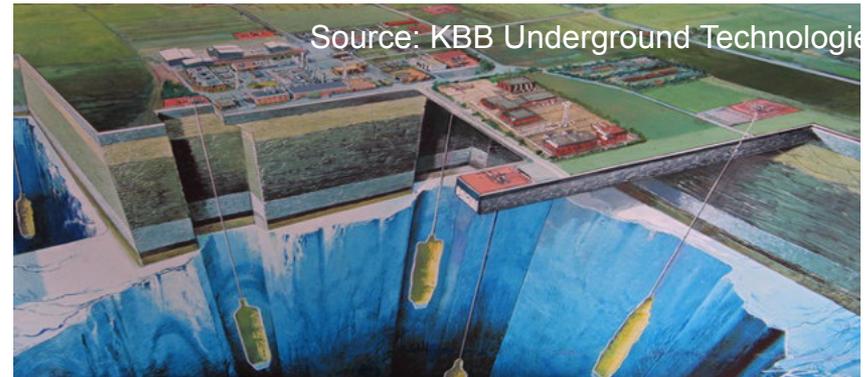


300 bar composite vessel for small-scale fuel cell

- H₂-Verflüssigung (LH₂) ist energieintensiv (-250 °C)
- LH₂ und CGH₂ Speicher sind industrieller Stand der Technik
- Druckgasspeicher sind einfach und zuverlässig (aber Gefahrenpotenzial/Wahrnehmung)
- Chemische Speicher / Sorptionstechnologien: Bei der H₂-Aufnahme wird Wärme abgegeben, für die H₂-Abgabe wird Wärme benötigt; Rezyklierbarkeit kann problematisch sein
- Volumetrische Dichte ähnlich in allen Systemen, 20-50 kg/m³, oder 670-1700 kWh/m³)

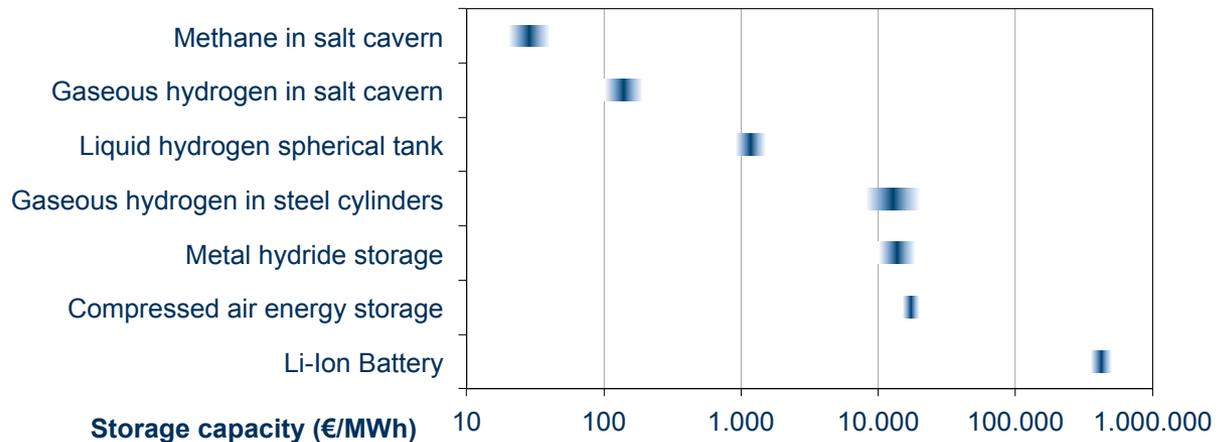
Großskalige Wasserstoffspeicherung in Salzkavernen

- Salzkavernen sind **künstlich geschaffene** Hohlräume in Salzstöcken
- Heute intensiv genutzt zur Speicherung von Erdgas, Öl und Chemikalien; auch Wasserstoffkavernen existieren bereits (GB/USA)
- Typisches Volumen $\sim 500,000 \text{ m}^3$; typischer Druckbereich 60-200 bar \rightarrow eine Kaverne kann ca. 5000 t H_2 speichern (**$\sim 170 \text{ GWh}_{\text{LHV}}$**)
- Nur möglich, wo geeignete Salzformationen bestehen, z.B. in Norddeutschland
- Vorlaufzeit ~ 10 Jahre (Genehmigung, Probebohrung, Aussolung, Komplettierung, Erstbefüllung)
- Gut für saisonale Speicherung geeignet durch niedrige Speicherkapazitäts-Kosten



- **Spez. Investitionskosten Kavernenspeicherung um 3-4 Größenordnungen unter Batterien**
- **Gut für Langzeitspeicherung geeignet**
- **Flüssigwasserstoff (LH₂) günstigste obertägige Speichertechnologie**

Investitionskosten für Speicherkapazität*



* Nur Speichersystem (ohne Elektrolyse, Turbinen, etc.); basiert auf Heizwert(LHV); grobe Schätzung

Stromerzeugung aus Wasserstoff ("Rückverstromung")

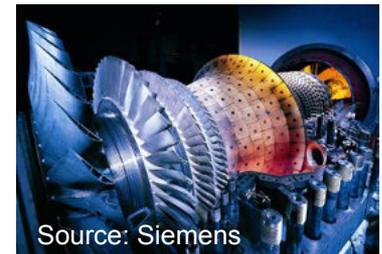
	Brennstoffzelle (PEMFC/SOFC)	Verbrennungsmotor	Gasturbine/ Gas-und-Dampf
Status	Frühkommerziell	Frühkommerziell (100% H ₂)	Unter Entwicklung (Wasserstoffbrenner)
Elektrischer Wirkungsgrad (basiert auf Heizwert/LHV)	~40-50% (SOFC-GT hybrid: bis 70%)	<40 % (+Wärmenutzung)	40-60%
Skala	W bis einzelne MW	kW bis einzelne MW	Zwei/dreistellige MW
Vorteile/Nachteile	+ Wirkungsgrad, Skalierbarkeit - Hohe Investition	+ Robustheit, Brennstoffflexibilität - No _x -Emissionen, niedriger Wirkungsgrad	+ Wirkungsgrad (GuD), niedrige spez. Investition, Brennstoffflexibilität - Niedriger Teillastwirkungsgrad, limitierter Lastbereich



Source: BOC



Source: 2G



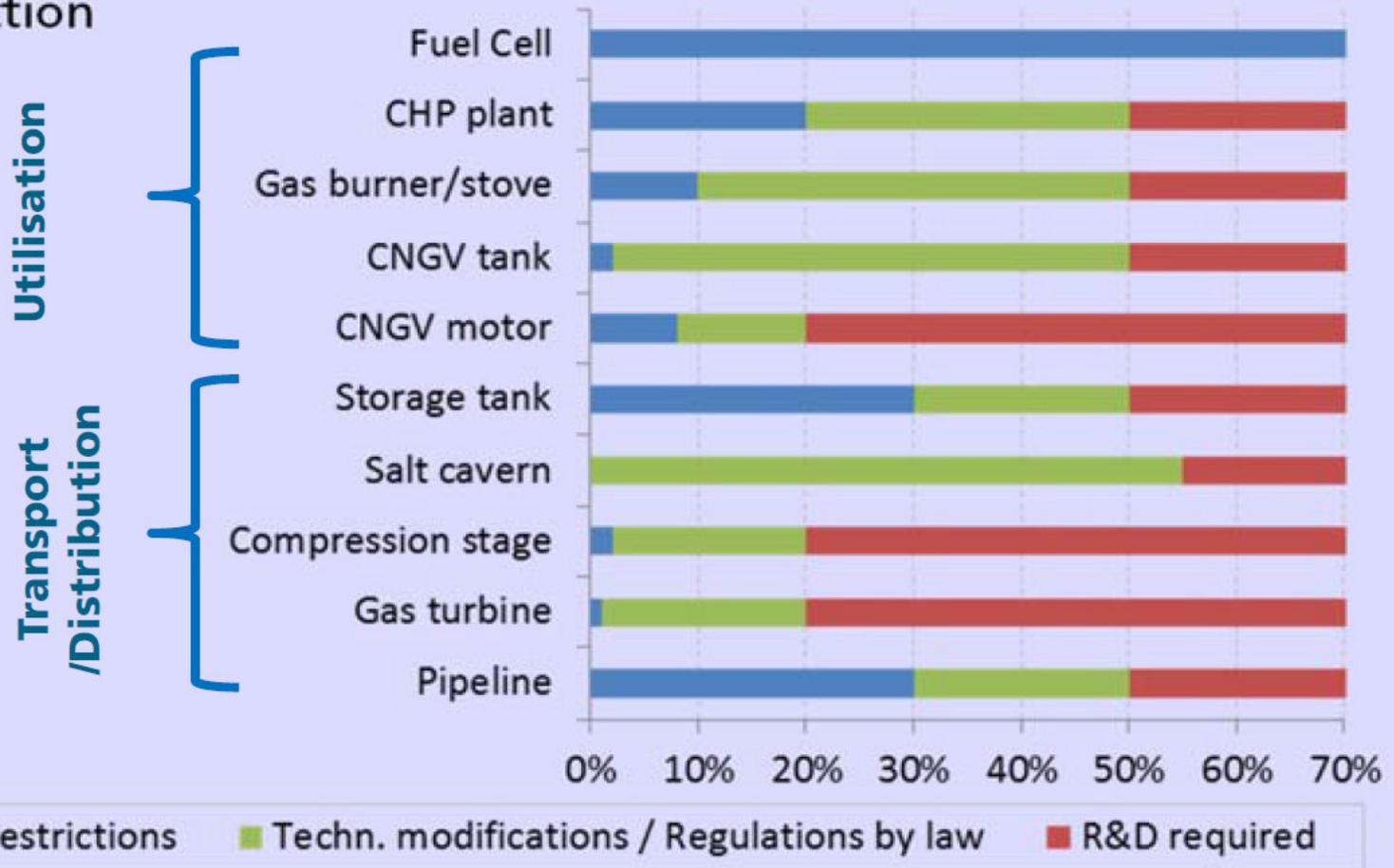
Source: Siemens

„Power-to-Gas“ / Wasserstoffeinspeisung ins Erdgasnetz

Wasserstofftoleranz

■ Chart according to DVGW study 2013 [1]

■ Short selection



[1] DVGW (2013): „Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz“

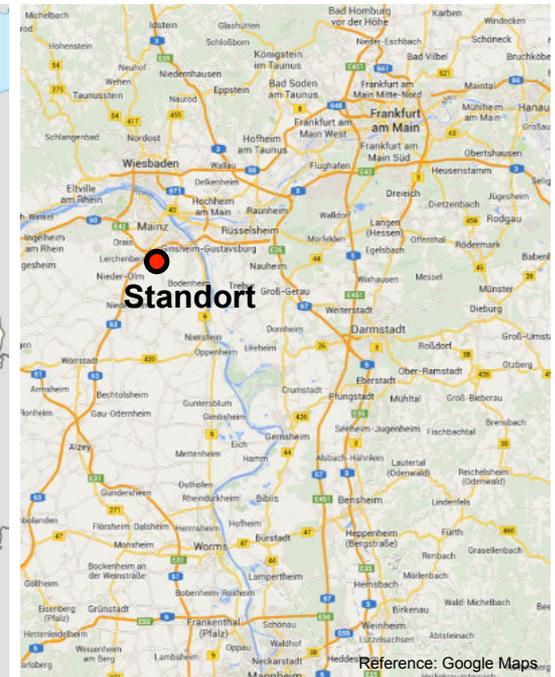


Energiepark Mainz – Projektvorstellung

Fokus und Anlagendaten

Entwicklung einer H2-Speicheranlage im netzrelevanten Maßstab

- Standort: Mainz, Stadtteil Hechtsheim
- Anschluss an Windpark (10 MW)
- 6 MW Spitzenleistungsaufnahme
- Ca. 800 kg Speicherkapazität
- Trailer-Betankung und Lieferung an für Industriekunden
- Einspeisung ins Erdgasnetz
- Budget: Summe ca. 17 Mio. €
- Förderung: ~ 50% (BMWi)
- Dauer: 4 Jahre
(10/2012 – 12/2016)



Reference: Google Maps



Energiepark Mainz – Projektvorstellung

Elektrolyse

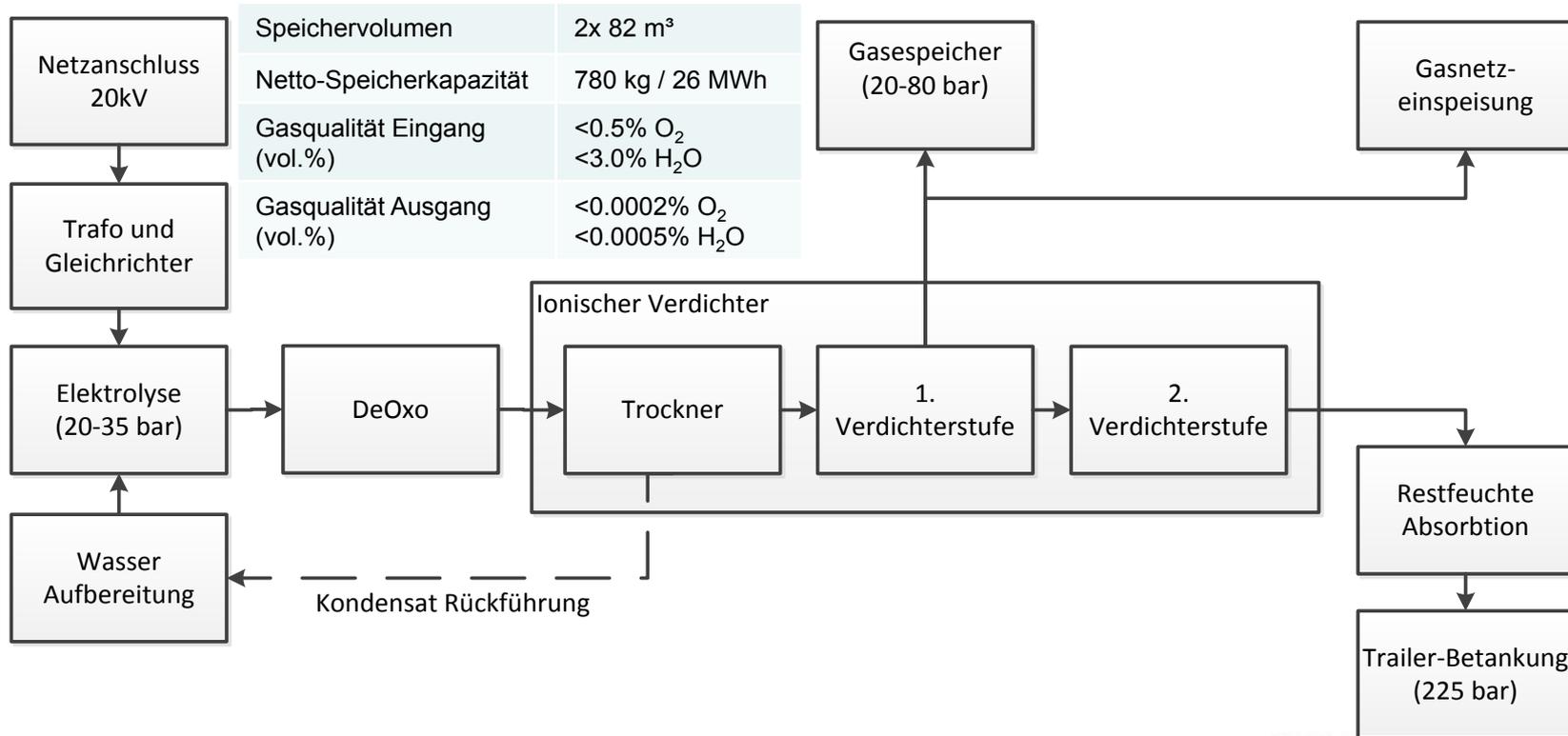
- Drei SILYZER 200 PEM-Elektrolysesysteme
- 1.3 MW DC-Dauerleistung mit 2.0 MW zeitlich begrenzter Spitzenleistung je System
- Hohe Dynamik: Lastwechsel in Sekunden, in weiten Grenzen teillastfähig
- 35 bar Ausgangsdruck





Energiepark Mainz – Projektvorstellung

H₂-Handling und -speicherung





Energiepark Mainz – Projektvorstellung

Ionischer Verdichter

- 2-stufig, 2 Zylinder je Stufe
- Integrierte Gastrocknung
- Max. Fördermenge 1250 Nm³/h;
112 kg/h
- Min. Ansaugdruck 15 bar
- Max. Enddruck 250 bar
- Max. Leistungsaufnahme 350 kW
- Lastbereich 10-100%
- Multivariabler Betrieb





Energiepark Mainz – Projektvorstellung

Öffentlichkeitsarbeit

- Erfolg von Infrastrukturprojekten (spez. im Energiebereich) abhängig von der sozialen Akzeptanz.
- Die Projektpartner informieren transparent über lokale Medien und das Internet.
- Information der lokalen Stakeholder: Genehmigungsbehörden (09/2012), Ortsbeirat Mainz-Hechtsheim (06/2012), öffentliche Projektpräsentation im Bürgerhaus Hechtsheim (07/2012).
- Grundsteinlegung (05/2014) mit Bundesminister für Wirtschaft und Energie Siegmund Gabriel.
- Feierliche Eröffnung der Anlage (07/2015) mit Vertretern aus Politik und Wirtschaft.



Wasserstoff als Industriegas

Wasserstoff als Energieträger und -speicher

Wasserstoff als Kraftstoff

Wasserstoff bietet...

CO₂ Reduktionspotenzial



Diversifizierung von Primärenergiequellen



Null Emissionen am Auspuff



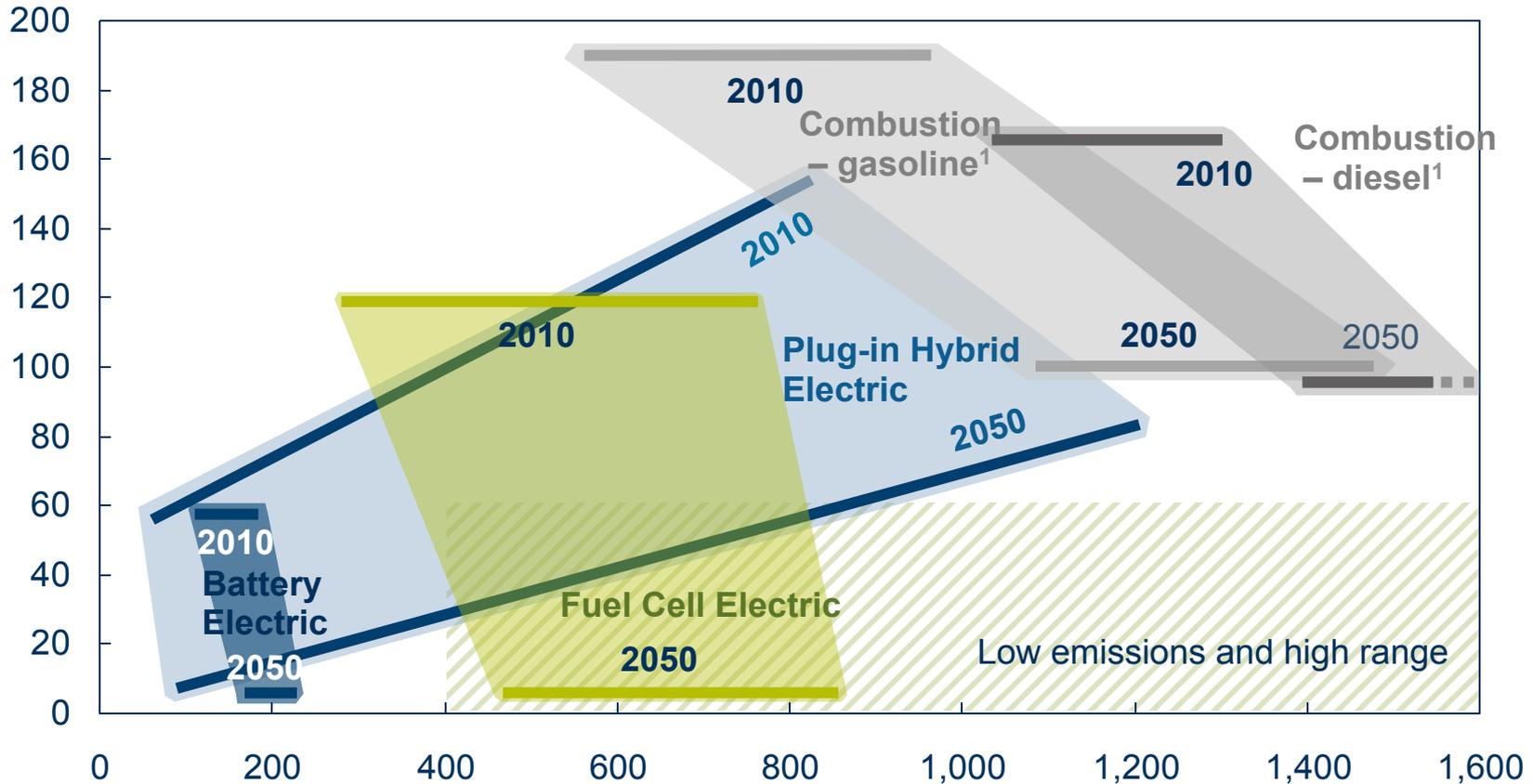
Viele Anwendungen



...just like batteries

Wie können wir die Treibhausgasemissionen senken und unsere gewohnte Reichweite beibehalten?

CO₂ emissions
gCO₂ / km



Range
in Km

¹ ICE range for 2050 based on fuel economy improvement and assuming tank size stays constant. Assuming 24% CO₂ reduction due to biofuels by 2050
This study assumes biofuels blending in gasoline and diesel is limited to 24% beyond 2030

Konzeptfahrzeuge geben einen ersten Ausblick auf künftige Wasserstoffmobilität



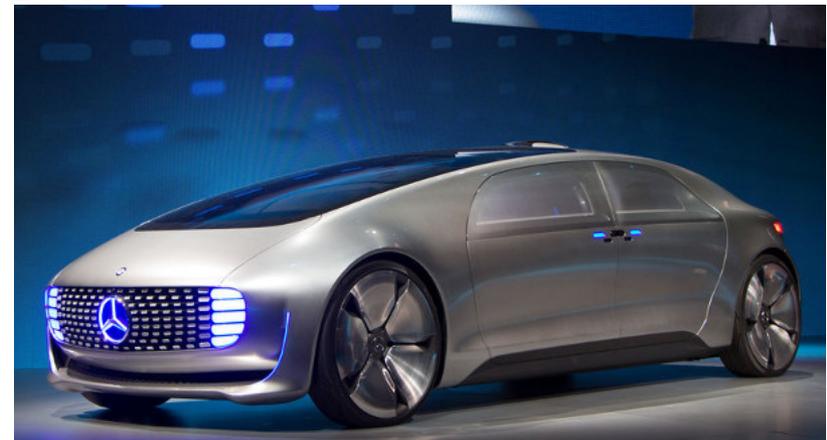
Audi A7 h-tron concept car, 2014



Honda FCEV concept car, 2014



Hyundai Intrado concept car, 2014



Mercedes F015 concept car, 2015

... und "echte" Fahrzeuge gibt es auch!



Hyundai ix35 FCEV
Start of production: Feb. 2013



Toyota „Mirai“ FCEV
Start of production: Dec. 2014



Honda FCV
Start of production: 2016
(expected)

Das innovative Linde H2-Bike macht die Vorteile der Wasserstofftechnologie erlebbar

Komponenten

- 1 Wasserstofftank mit Druckregler. Über einen Anschluss lässt sich ganz unkompliziert eine Füllkupplung zur Betankung aufsetzen.
- 2 Brennstoffzelleneinheit mit Lüfter. Mit dem Ein-/Aus-Schalter lässt sich die Brennstoffzelle für die Tretunterstützung aktivieren.
- 3 H₂-Speichertank-Anzeige für verbleibende Reichweite.

Das Linde H2 Bike



Vorteile

- ✓ Lange Reichweite von bis zu 100 km
- ✓ Schnelle Betankung in weniger als 6 min
- ✓ Dank grünem Wasserstoff eine absolut grüne Lösung
- ✓ Keine blei- und säurehaltigen Batterien mehr

Technische Spezifikationen

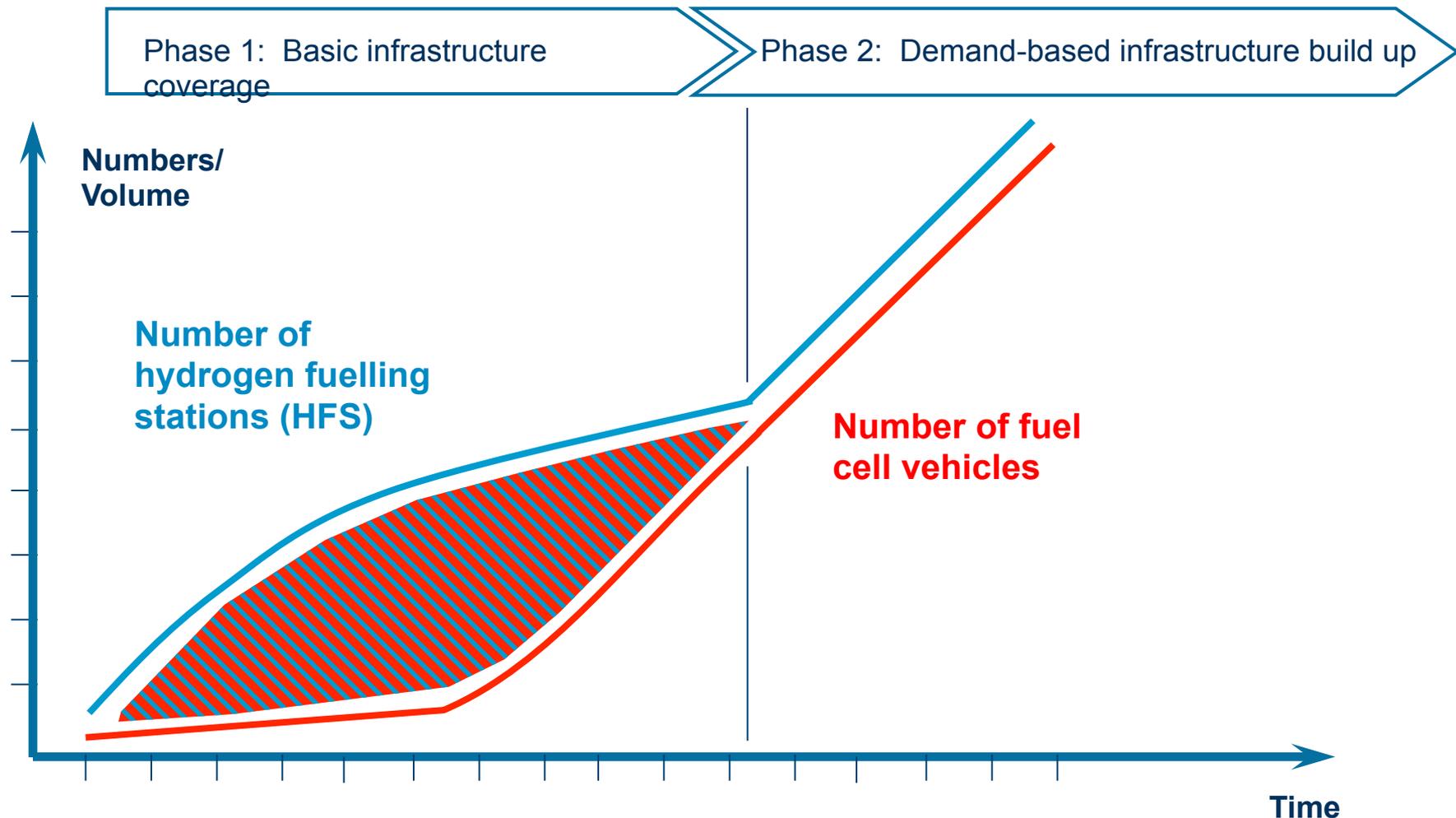
Fahrrad

Gesamtgewicht	~23,6 kg
Höchstgeschwindigkeit im Elektromodus	25 km/h
Motorleistung	250 W
Rahmenmaterial	Aluminium
Schaltung	Shimano deore M610
Reifen	Schwalbe Big Ben 55-559/ 26 x 2,15
Felgen	Sun Ringle Single Track 26"
Pedale	Wellgo Co98 Blk

H₂-System

Gewicht des Brennstoffzellen-Systems	3,7 kg
Max. Arbeitsdruck der Gasflasche	340 bar
Speicherkapazität	33 g H ₂ , entspricht 1.000 Wh
Reichweite pro Gasflaschenfüllung	> 100 km
Betankungszeit	1-6 Minuten
Lebensdauer der Brennstoffzelle	5 Jahre
Effizienz der Brennstoffzelle	~50 %
Pufferbatterie	60 Wh

Brennstoffzellenfahrzeuge benötigen zuerst eine Grundabdeckung an Infrastruktur



H2 Mobility – Entwicklung einer Wasserstoff-Betankungsinfrastruktur in Deutschland

Who we are

- The H2 Mobility project is a **cross-industry initiative gathering Air Liquide, Daimler, Linde, OMV, Shell, and Total** who are working on implementing a business model to build up a nationwide hydrogen refuelling station network in Germany.
- The objective of this initiative is to prepare for the planned series launch of fuel cell electric vehicles (FCEVs) and to **create a hydrogen refueling station (HRS) network infrastructure covering the whole country by 2023**.
- Beyond the **six partners, five associated partners** from the automotive industry (BMW, Honda, Intelligent Energy, Toyota, and Volkswagen) as well as the National Organization of Hydrogen and Fuel Cell Technology (NOW) as interface to Germany's Ministry of Transport are also accompanying the H2 Mobility initiative.



DAIMLER


THE LINDE GROUP



H2 Mobility – Entwicklung einer Wasserstoff-Betankungsinfrastruktur in Deutschland

Our goals

- Synchronize HRS roll-out with FCEV ramp-up
- Create a common structure to de-risk HRS deployment
- 100 hydrogen refueling stations in the next four years
- 200 to 400 Hydrogen refueling stations by 2023, distributed all over the country
- 250,000 FCEVs on the roads in 2023
- 350 MEUR planned investments

H₂ Mobility Initiative

Action plan for the construction of a hydrogen refuelling network in Germany by 2023

~400

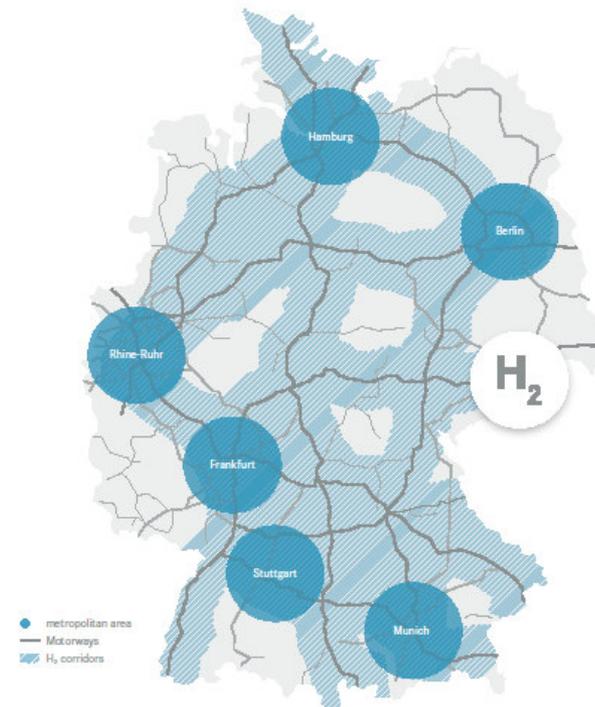
Stations
will Germany's public hydrogen refueling network cover by 2023.

~90

Kilometers
lie between the H₂ filling stations on the motorways around the metropolitan areas by 2023

>10

H₂ filling stations
will be available in each metropolitan area from 2023





The Ionic Compressor

- High throughput of 33 kg/h @ 900 bar¹
- Energy consumption reduced by 25%²
- Very small number of moving parts (liquid piston)
- Reduced wear and long service life
- Four times longer maintenance intervals*
- Fulfills industry standard SAE J 2601

¹ For one system. Modular setup allows for higher throughputs.

² In comparison to a conventional piston compressor

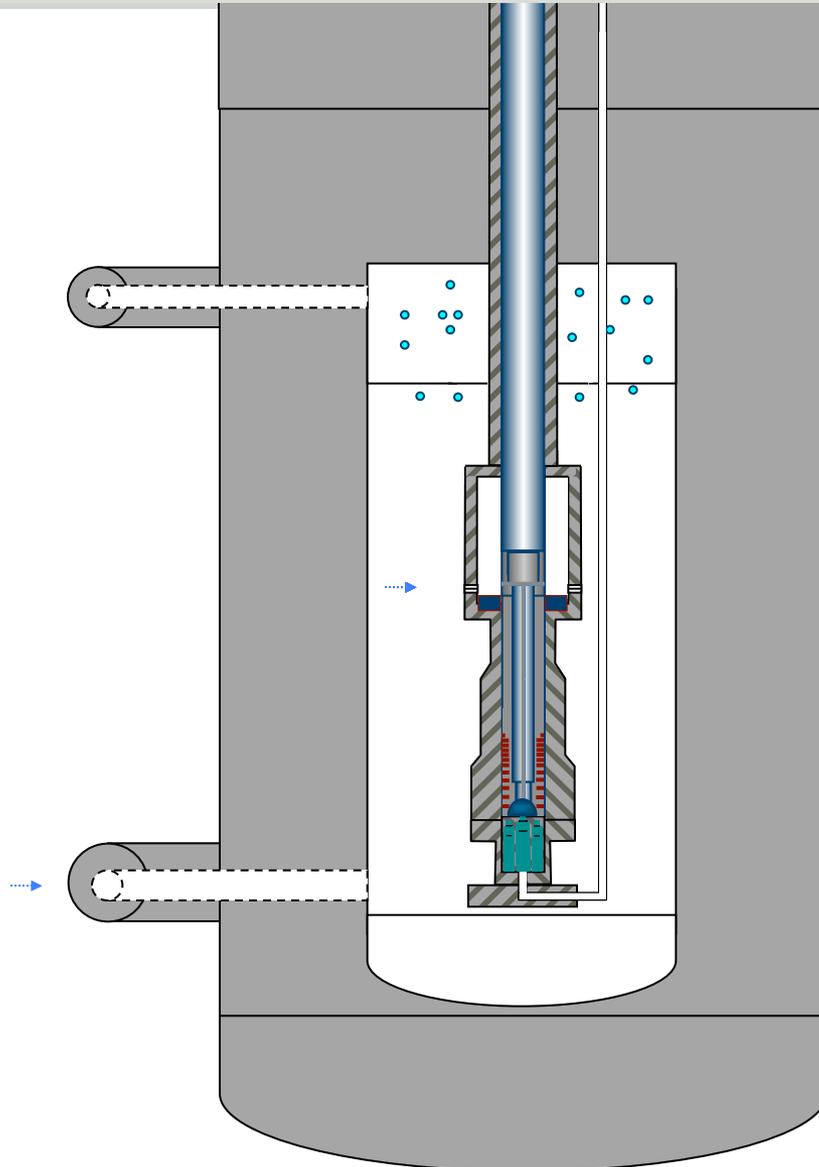


The Cryo Pump

- Very high throughput of up to 100 kg/h @ 900 bar
- Energy consumption reduced by 70%²
- Hydrogen with highest purities
- No additional cooling system
- High reliability, little maintenance effort and low costs
- Fulfills industry standard SAE J 2601

LH2-Kryopumpe zur Betankung mit gasförmigem H2

Wie funktioniert das?



Special design provisions :

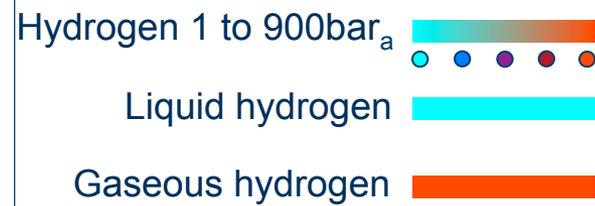
Super insulated Design

Slow frequency drive (1,44 Hz),

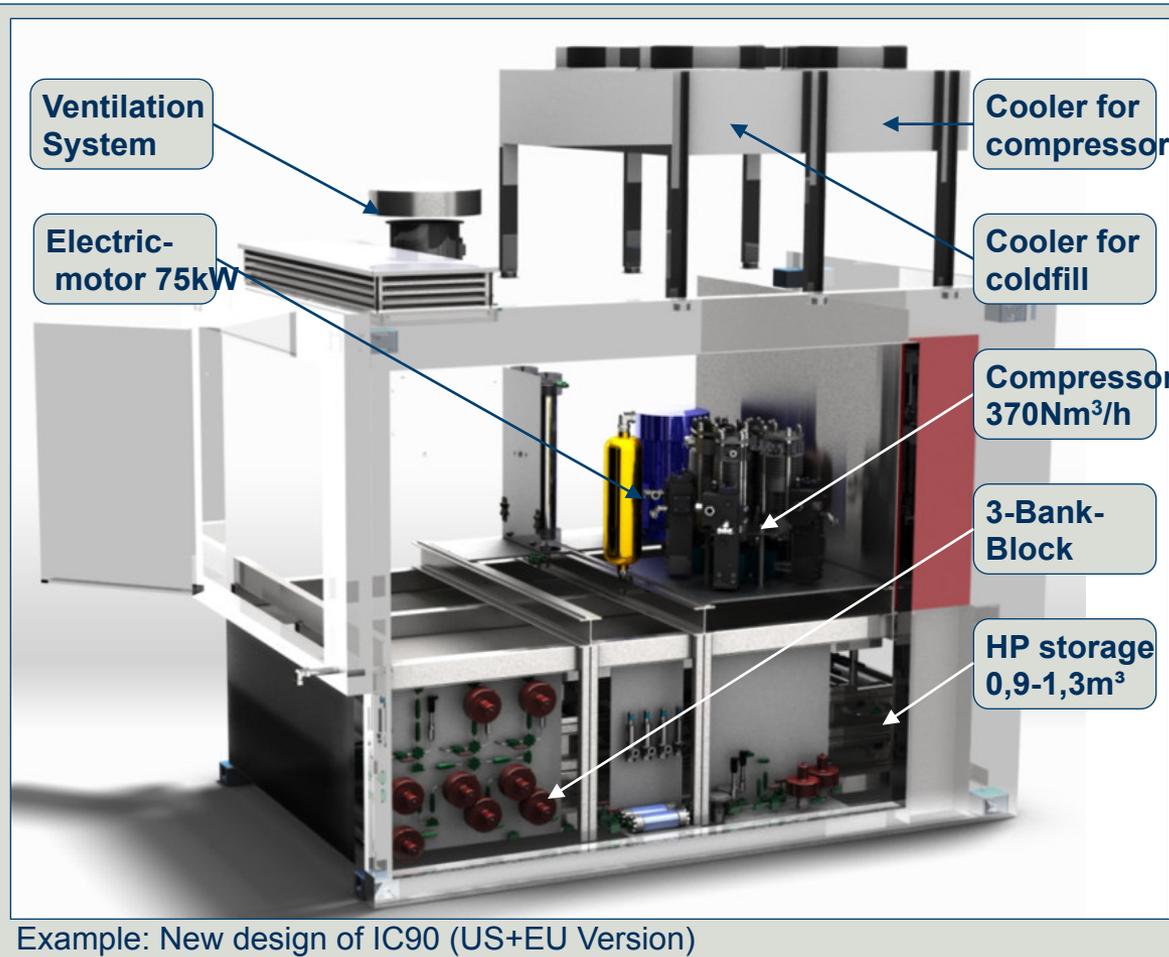
Cylinder Volume design for 120 kg/h

Pump immersed in liquid hydrogen

Double stage compression with LH2 feeding piston



Tankstelle mit ionischem Verdichter "IC 90"



Layout & performance

- Small footprint: **2,7m x 4,3m**
- Connected load: 105kW
- **Specific energy consumption: 2,7kWh/kg H₂** (= energy saving of around 40%)²
- Compressor type: **ionic compressor for H₂ – IC90**
- Noise emission: <75dB(A)
- Supply: **gaseous or liquid**
- Option for capacity upgrade (**33,6kg/h => 67,2kg/h**)
- Fuelling protocol: **SAE J2601-A70**
- Same container for **US** and **EU** model



- **Wasserstoff ist ein vielseitiger und umweltfreundlicher Energieträger:**
 - **Als Langzeitspeichermedium verbessert er die Systemintegration erneuerbarer Energie.**
 - **Er kann neue Brücken im Energiesystem bauen (Wind → Mobilität, Chemie, Gas)**
- **Kosten und Effizienz können durch Skalierung, Mengensteigerung und Standardisierung sukzessive verbessert werden.**
- **Der Infrastrukturaufbau ist herausfordernd, aber machbar.**
- **Linde ist Technologieführer bei Wasserstofftankstellen und betreibt mit dem Energiepark Mainz die weltweit größte Produktionsanlage für grünen Wasserstoff mit PEM-Elektrolyse.**



**Thank you for your
attention!**

Leading.



THE LINDE GROUP

Anwendungsbereiche für H2 als Kraftstoff und Linde's Erfahrung



Today's focus area

Linde's experience



Passenger cars

- > 70 stations delivered
- > 80,000 fuellings



Public transport

- > 10 stations delivered
- > 25,000 fuellings



Material handling

- > 10 stations delivered
- > 1,000,000 fuellings



Backup power

- > 10 units delivered

Linde's experience



Maritime

- 2 stations delivered
- Ferry and submarines



Aviation

- Supply of pilot projects
- Market studies



Portable power

- Early market introduction
- Economical advantages



Advanced customer applications

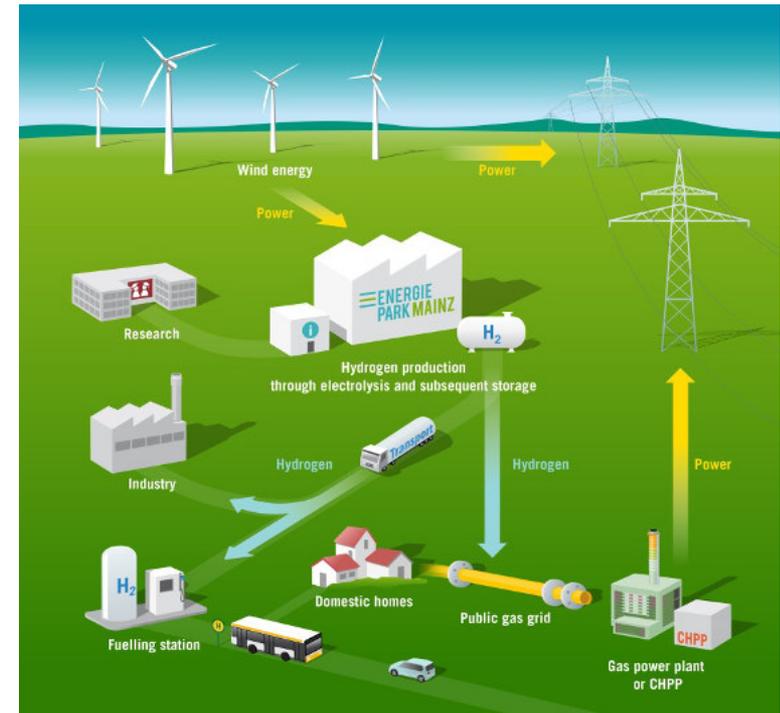
- Multiple projects implemented



Energiepark Mainz – Projektvorstellung

Technische und wissenschaftliche Ziele des Forschungsprojektes

- **Netzoptimierung** durch die Speicherung erneuerbarer Energie.
- Bereitstellung von **Systemdienstleistungen** im Stromnetz (inkl. negative Regelleistung)
- Erstmalige Erprobung und Weiterentwicklung der **Megawatt-PEM-Elektrolyse**
- Intelligente und effiziente **Wasserstoffkonditionierung, -speicherung und -handling**
- Erforschung der Auswirkungen erhöhter Wasserstoffkonzentrationen auf **Endgeräte im Gasnetz**
- Intelligente **Management- und Kommunikationssysteme**
- **Öffentlichkeitsarbeit** und soziale Akzeptanz





Energiepark Mainz – Projektvorstellung

H2-Trailerbefüllung

- Vollautomatische Befüllung
- Betriebsdruck im Trailer 200 bar
- Speicherkapazität der Trailer 300-600 bar
- Befülldauer ~3h





Energiepark Mainz – Projektvorstellung

H2-Gasnetzeinspeisung

- Kommunalgasleitung zum Stadtteil Mainz-Ebersheim:
 - Eigentümer: Stadtwerke Mainz AG
 - Betriebsdruck: 0.7 – 0.9 MPa
 - Volumenstrom: max. 1,000 m³/h
 - Im Sommer minimaler Durchfluss → Limitierung der Einspeisemenge.
 - Abrechnung → Stichleitung, daher keine 2%-Limitierung der Brennwertabweichung
- Option: Versorgungsleitung der Gaskraftwerke der Kraftwerke Mainz-Wiesbaden AG:
 - Eigentümer: Open Grid Europe GmbH
 - Betriebsdruck: 5 – 6.5 MPa
 - Volumenstrom: 60,000 – 70,000 m³/h (i.N)
 - Studien sehen H₂-Konzentrationen von max. 1% als unkritisch für den Gasturbinenbetrieb aber: keine empirischen Studien vorhanden → KMW skeptisch gegenüber Einspeisung



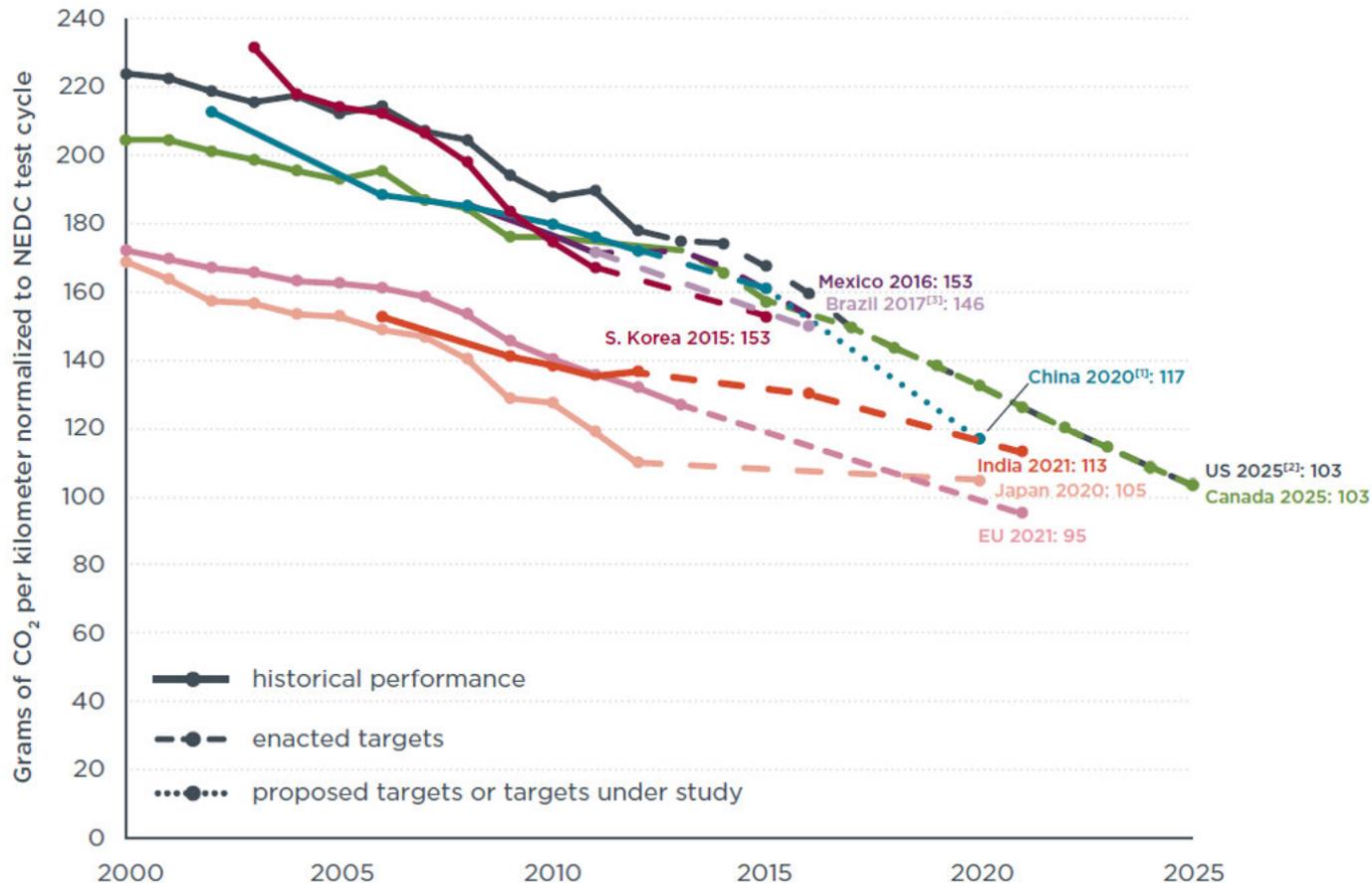


Energiepark Mainz – Ausblick

Planung bis Projektende

- 11/2015: Erweiterung der Programmierung zu vollautomatischem Betrieb; Anbindung KMW
- 12/2015: Test vollautomatischer Betrieb
- 12/2015: Zertifizierung nach TÜV Süd Zertifikat CMS 70
- Q1/2016: Anlagendispatch durch Windparkbetreiber
 - Ausgleich des Prognosefehlers
 - Vermeidung von Ausgleichsenergiezahlungen
- Q2-4/2016: Vermarktung der Anlage am Regelleistungsmarkt
 - Minutenreserve
 - Sekundärregelleistung (pos/neg)
 - Pooling mit anderen Anlagen
- 12/2016: Projektende
- Ab 2017 Weiterbetrieb, falls wirtschaftlich

Emission regulations are the main driver for clean car developments.



[1] China's target shown here reflects gasoline vehicles only. The target will be more stringent after new energy vehicles are considered.
 [2] US values reflect fuel economy standards set by NHTSA and exclude the credits for low-GWP refrigerants established under the GHG standards set by EPA.
 [3] Gasoline in Brazil contains 22% ethanol (E22); all data in the chart have been converted to gasoline (E00) equivalent.

Figure 4. Global comparison of passenger car efficiency standards (He & Yang, 2014c).

For supporting data, see www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards.

Today numerous H2 infrastructure initiatives are ongoing in USA, Europe, and Japan.



North America

H2 as fuel

- **Hot Spot California:** CARB Advanced Clean Cars Program / ZEV regulations
- First commercial market for **utility fleet vehicles (FLT)**

H2 infra.

- California H2 Stations Road Map:
By 2016: 51 stations

Europe

- **Hot Spot Germany:** Focus of German OEMs due to funding structure (NIP/CEP): **H2Mobility**
- Various other projects in **UK, Benelux, Scandinavia, etc.**
- 50 HFS Program of BMVI (NIP)
- EU: Clean Power for Transport Directive, Alternative Fuels Strategy, FCH 2 JU, CEF

Asia

- **Hot Spots Japan & Korea:** Focus of OEMs due to funding structure (METI)
- **China: growing activities**
- Japanese NEV funding
Around 2015: 100 stations
- Regional Korean HFS roll-out initiatives

Linde developments and projects along key dimensions



Performance

Shell Berlin: up to 1000 H2 fuellings/day



Linde developments and projects along key dimensions

Flexibility

AC Transit: 6000 bus & car fuellings



Linde developments and projects along key dimensions

Footprint

Total Hamburg: 10ft container,
underground H2 storage



Linde developments along key dimensions (1/2).

Economics

BMW Spartanburg: 600k FLT fuellings!



Linde developments along key dimensions (2/2).

Sustainability

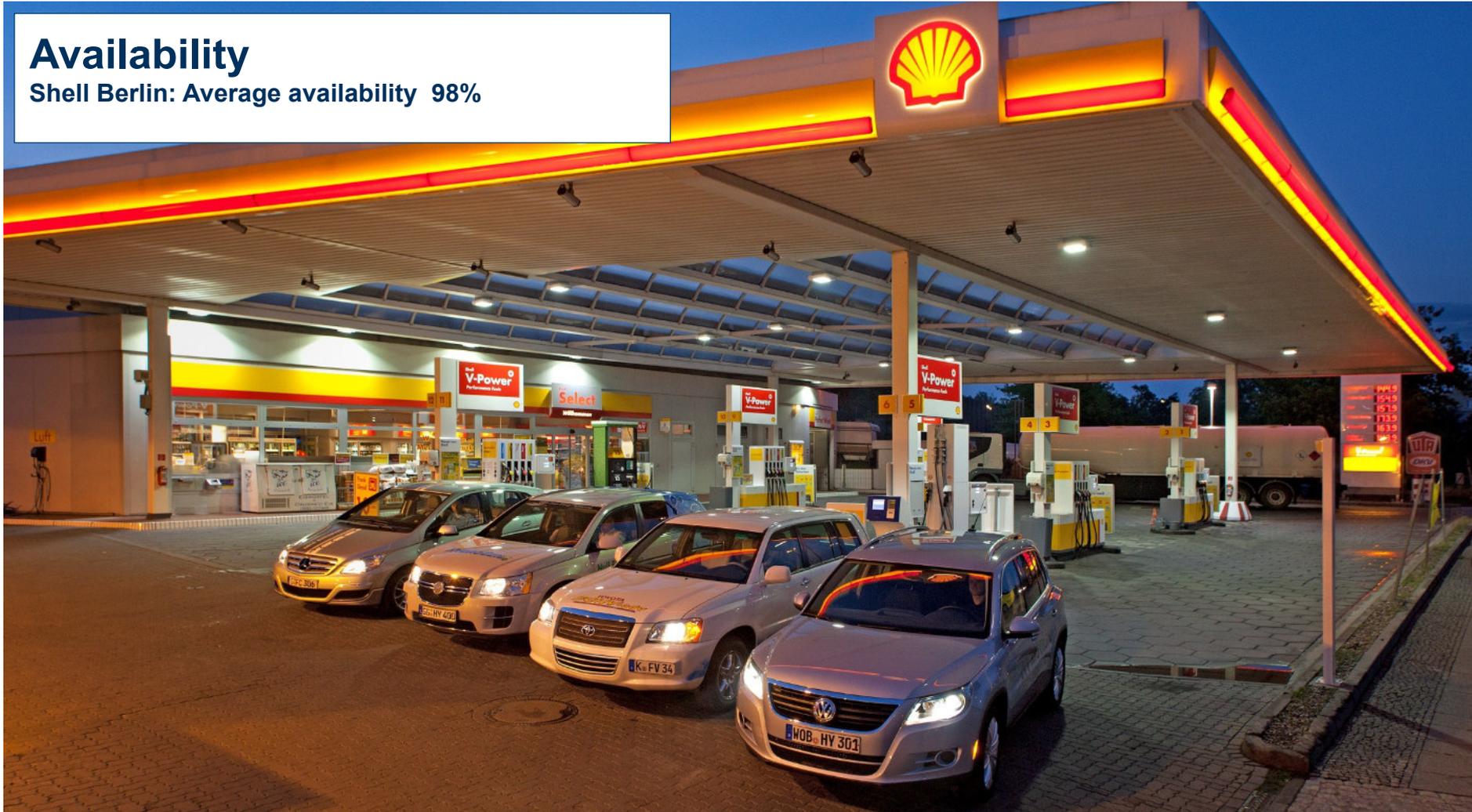
Vattenfall Hamburg: Combination of fluctuating renewable energy and H2 fuelling



Linde developments and projects along key dimensions

Availability

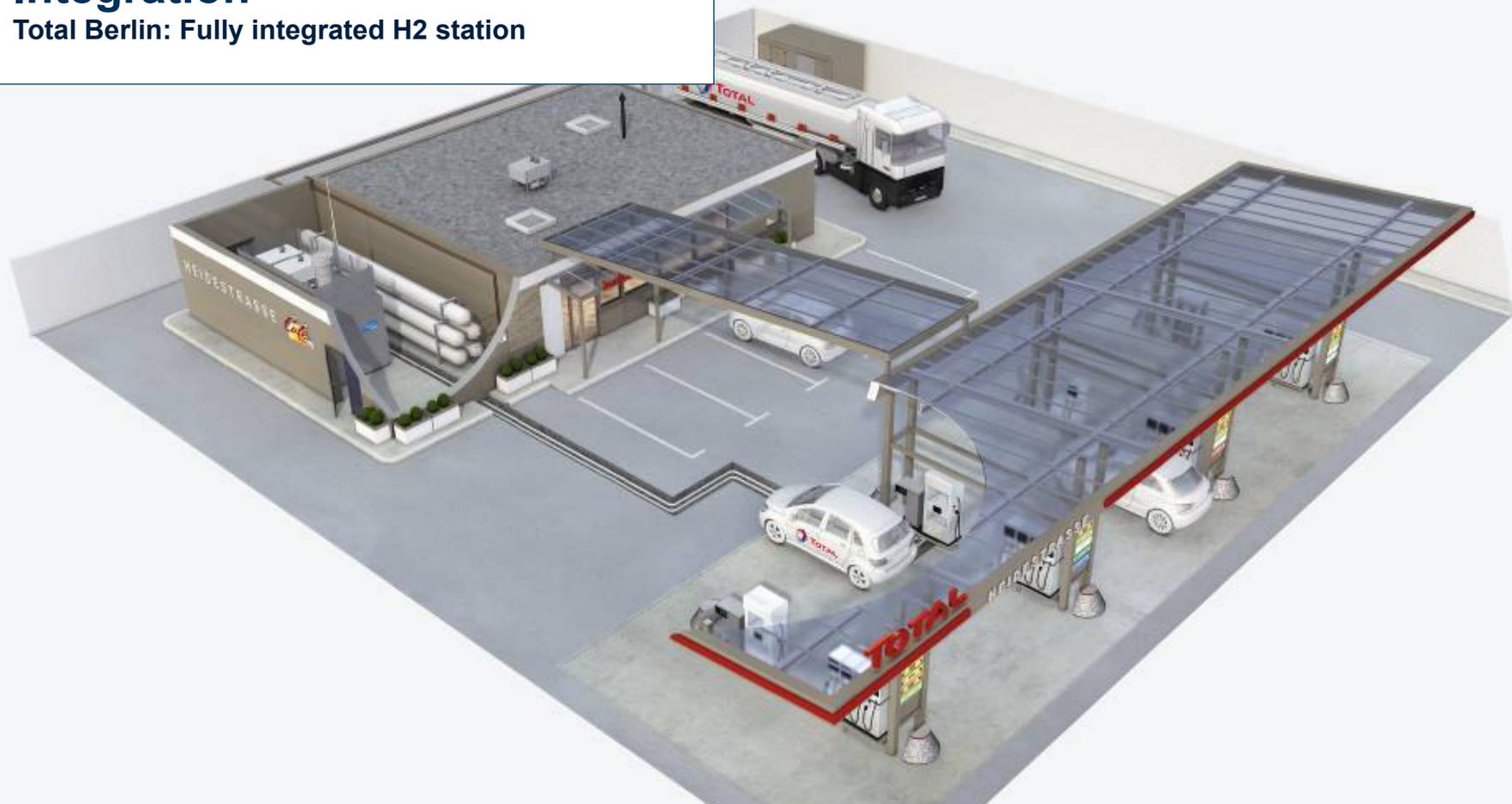
Shell Berlin: Average availability 98%



Linde developments and projects along key dimensions

Integration

Total Berlin: Fully integrated H2 station



Linde hydrogen fuelling portfolio:

Current Cryopumps serve the 100 to 120 kg/hr range



Linde hydrogen fuelling

portfolio

H₂ application

Linde fuelling technology for various pressure levels and flow rates

		CP 90	IC 90	MF 90	CP 50	IC 50	CP 30	IC 30	Hydrogear
Product name		CP 90	IC 90	MF 90	CP 50	IC 50	CP 30	IC 30	Hydrogear
Operating pressure		900bar	900bar	900bar	500bar	500bar	300bar	300bar	30-1100bar
Gas type		CGH ₂ /CCH ₂	CGH ₂	CGH ₂	CGH ₂ /CCH ₂	CGH ₂	CGH ₂ /CCH ₂	CGH ₂	CGH ₂
Typical capacity per unit		100kg/h	33,6kg/h	10kg/h	120kg/h	10kg/h	120kg/h	10kg/h	550kg/h
Compression technology		Cryo pump	Ionic comp.	Piston comp.	Cryo pump	Ionic comp.	Cryo pump	Ionic comp.	Ionic comp.
Fuelling station	700bar vehicle tank	●	●	●					●
	350bar vehicle tank	●	●	●	●	●			●
	350bar bus tank				●	●			●
	For 350bar bus tank (material handling)				●	●			
Mobile fuelling unit			●	●	●	●			
Industry and special-purpose application		●	●	●	●	●	●	●	●

● Recommended

● Optional

CGH₂: compressed hydrogen, CCH₂: cryo-compressed hydrogen, LH₂: liquid hydrogen

Production



Conventional
(eg SMR)



Renewable
(e.g., BTH)

Distribution/Storage



LH2



CGH2



Onsite Electrolysis

Compression/Transfer



Cryo pump



Ionic compressor

Dispenser



350 bar



700
bar

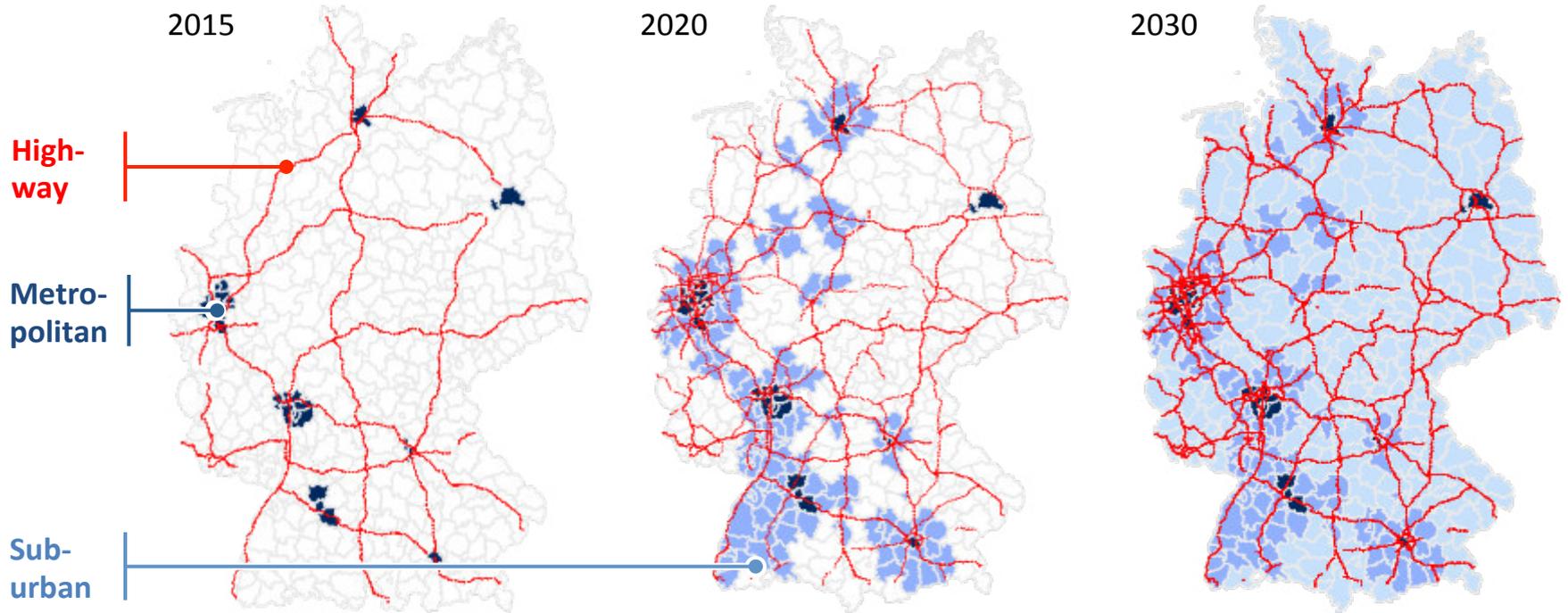


300 bar CcH2

H2 Mobility – Developing a hydrogen refueling infrastructure in Germany

HRS rollout

- Tier-1 regions
- Tier-2 regions
- Tier-3 regions



Expected ramp-up

HRS	7 HRS + existing HRS	200	1,000
FCEVs	100	100,000	500,000