

Wasserstoff als Kraftstoff

Ringvorlesung “Alternative Kraftstoffe” TU HH
06.05.2011

Agenda

1	Warum Wasserstoff
2	Wasserstoff als Speicher
3	Herstellung Wasserstoff
4	Nutzung als Kraftstoff
5	FAZIT

Wachsender Veränderungsdruck im Verkehrssektor

Zunehmende Herausforderungen führen zur Entwicklung von Kraftstoff-Alternativen

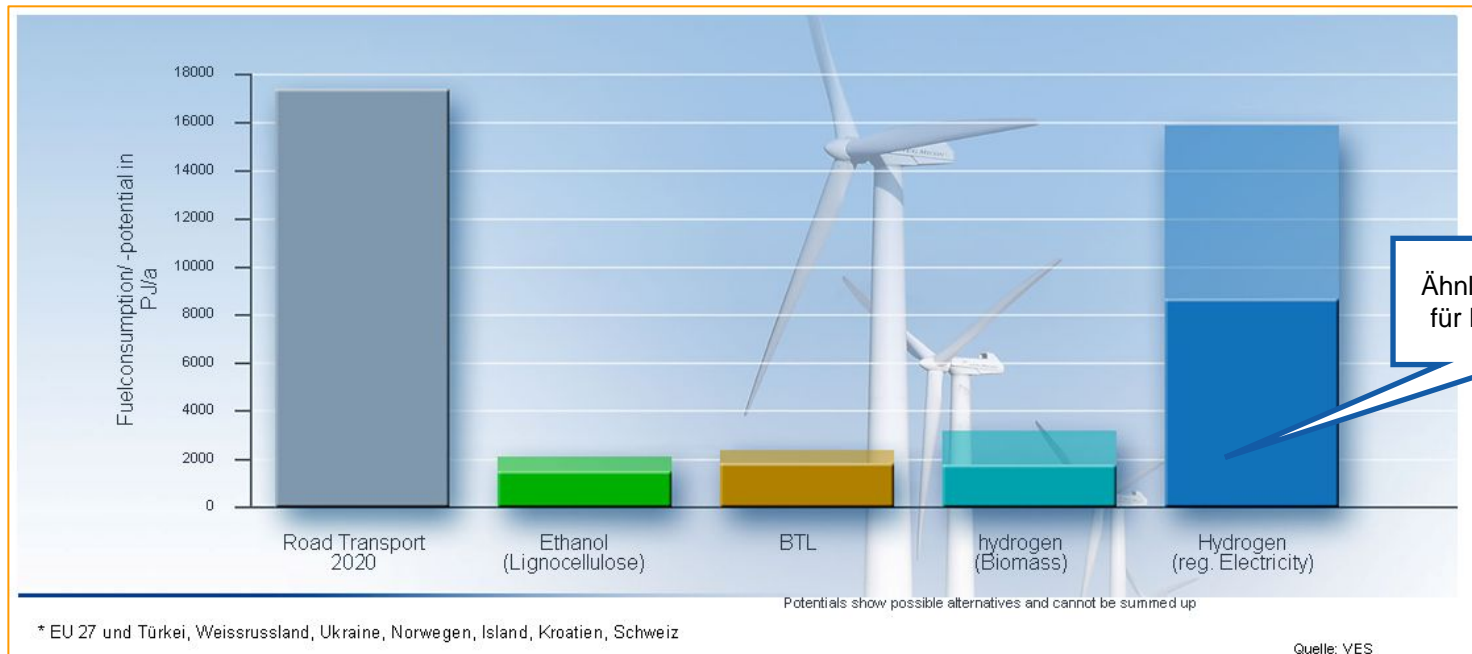
- Steigende Anforderungen zur Reduzierung CO₂ Emissionen
- starke Abhängigkeit von Öl
- Öl-Ressourcen in politisch unsicheren Förderländern
- Mittel- bis langfristig eingeschränkte Verfügbarkeit bei Öl
- Produktionsengpässe absehbar
- Erdölpreis weit über Prognosen



- Wasserstoff
- Batteriefahrzeuge (Hybrid oder rein elektrisch)
- Biofuels
- CtL
-

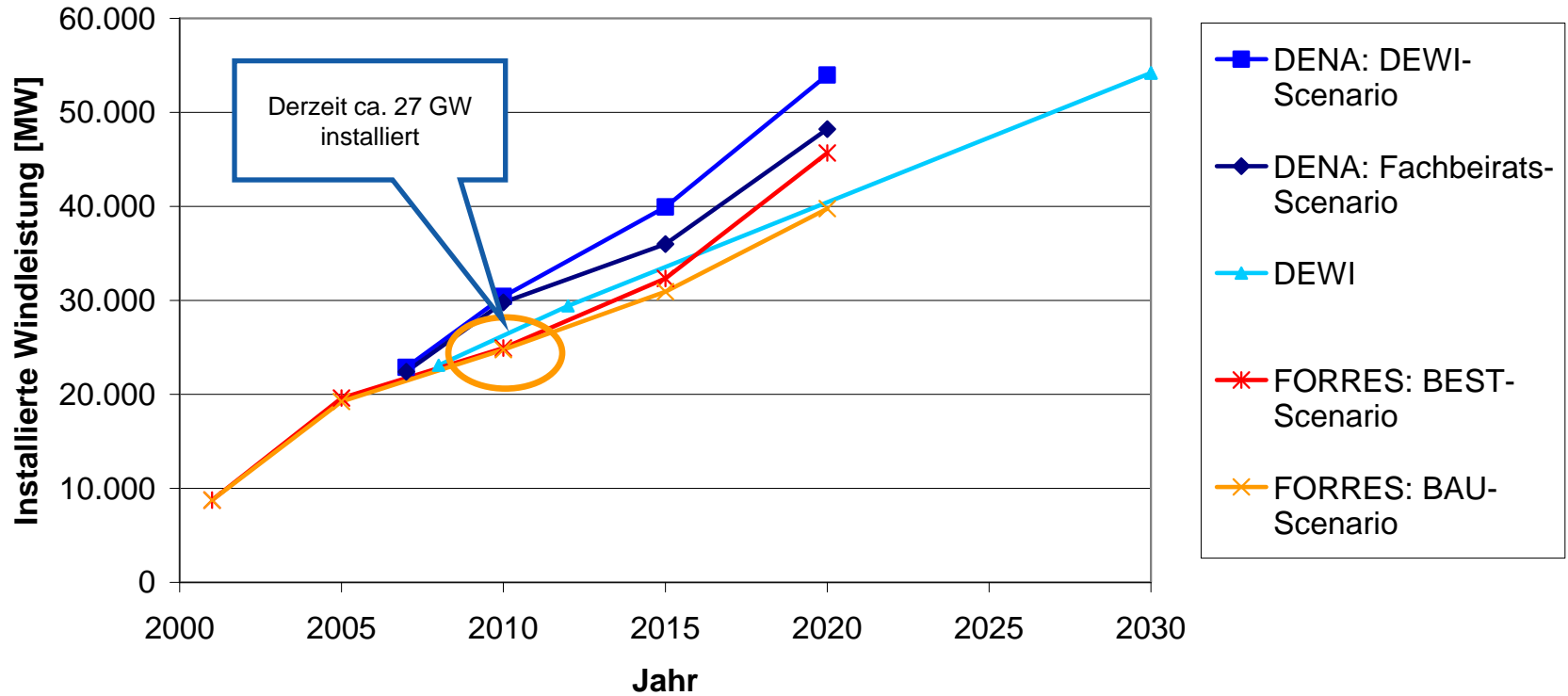
Alternative Konzepte

- Mit **H₂- und E-Autos** haben langfristig elektrische Antriebskonzepte große Chancen zur vollständigen Substitution des erdölbasierten Verkehrs.

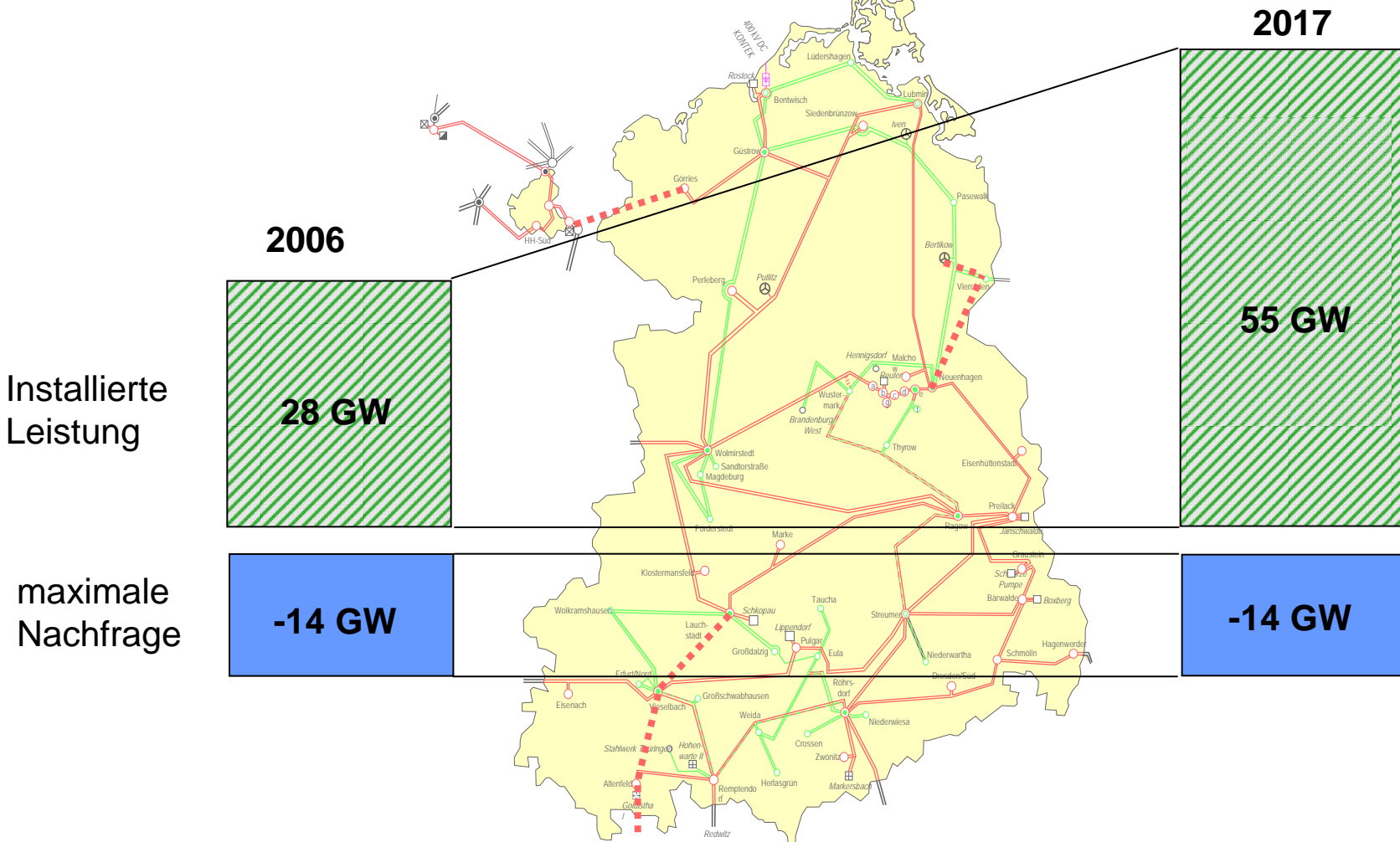


➔ **Wachsende Bedeutung von Strom im Verkehrssektor zu erwarten**

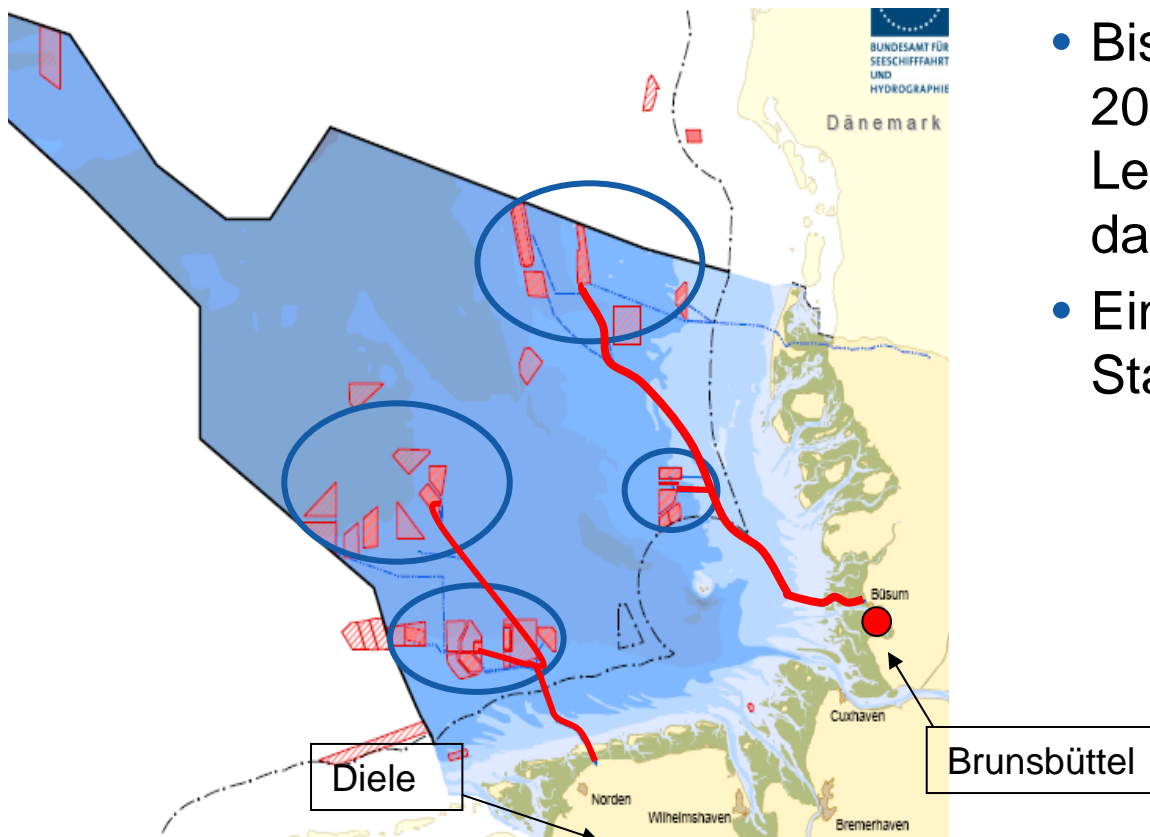
Szenarien: Ausbau Windenergie



Erzeugungsüberschuss Wind Onshore



Netzeinbindung Offshore



- Bis 2030 werden rund 20.000 MW installierte Leistung aus Windparks in das Netz einzubinden sein
- Einbindung wird an wenigen Standorten passieren

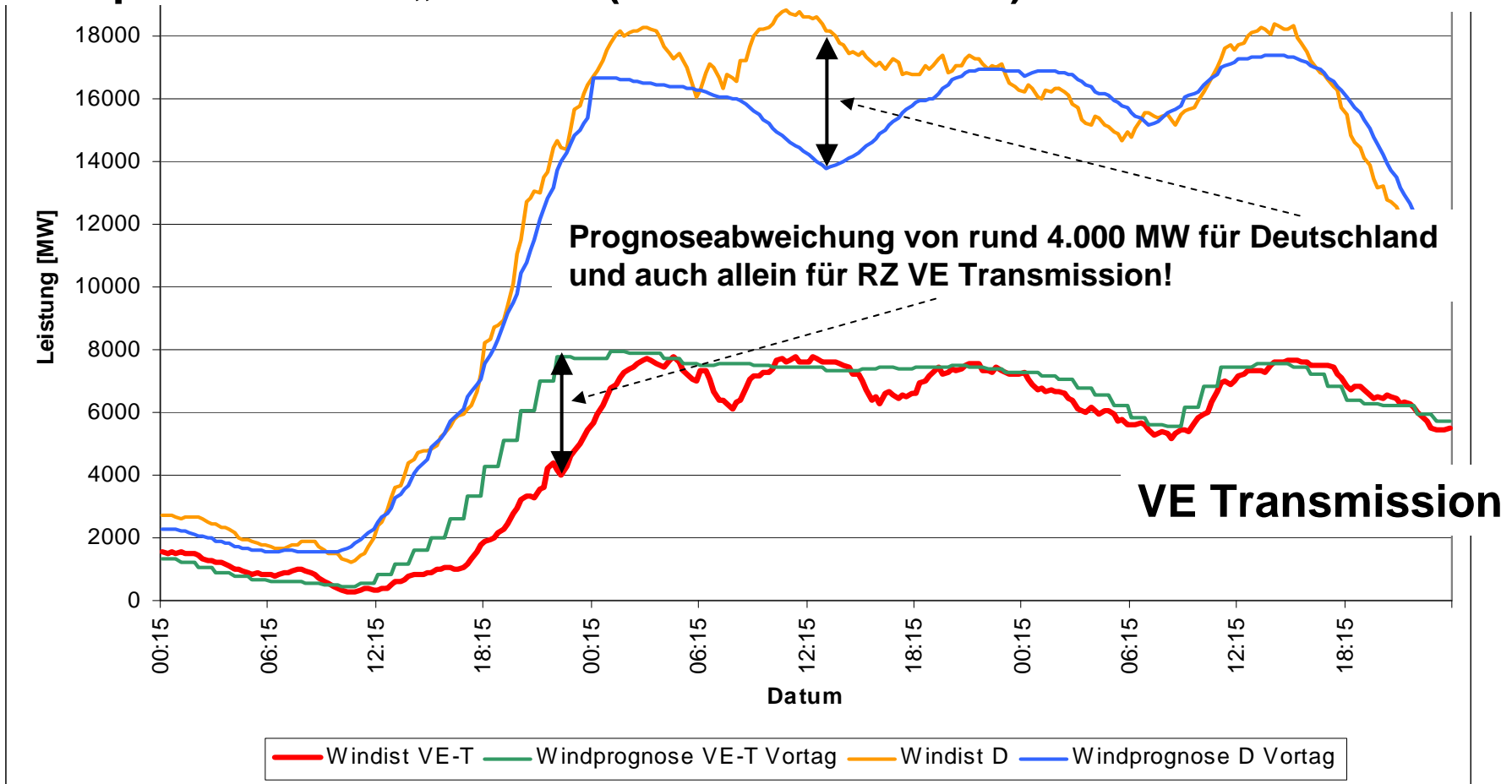
Herausforderungen in der Stromversorgung

- Deutlicher Ausbau der Erzeugungskapazitäten in Norddeutschland
 - Wind on- und offshore
 - Konventionelle Kraftwerke
- Erhebliche Zunahme der Einspeisung fluktuierender Erzeugung
- Kaum Änderung der Nachfrage in der Region
- Bei Windenergie fallen Erzeugung und Nachfrage sowohl zeitlich als auch räumlich auseinander

- Hohe Kapazitäten in Norddeutschland erfordern:
 - Energietransportsysteme nach Süden
 - Regelkapazitäten zum Ausgleich der Windeinspeisung
 - Speichersysteme

Prognose Windeinspeisung

Beispiel Orkantief „Emma“ (29.02. - 02.03.2008) Deutschland



Agenda

- 1 Warum Wasserstoff
- 2 Wasserstoff als Speicher**
- 3 Herstellung Wasserstoff
- 4 Nutzung als Kraftstoff
- 5 FAZIT

Optionen der Speicherung

- Prinzipiell sind Pump-, Druckluft-, Wasserstoff- oder Batteriespeicher denkbar
- Benötigter Speicher ~ 1 TWh*
 - zum Vergleich: alle Pumpspeicher in Deutschland: 0,21 TWh
 - über Elektrolyse ~ 18.000 t H₂ (Speichervolumen)

Aber:

- Im Norden geografisch ungünstige Bedingungen für PSW. Neubauten mit Naturschutzanforderungen kaum zu vereinen.
- Druckluftspeicher und Kavernen müssen vorhanden sein. Eventuell Nutzungskonkurrenz zu Erdgas oder CO₂-Speichern.
- Batteriespeicher sind teuer. Frage zur Lebensdauer der Batterien sind offen.

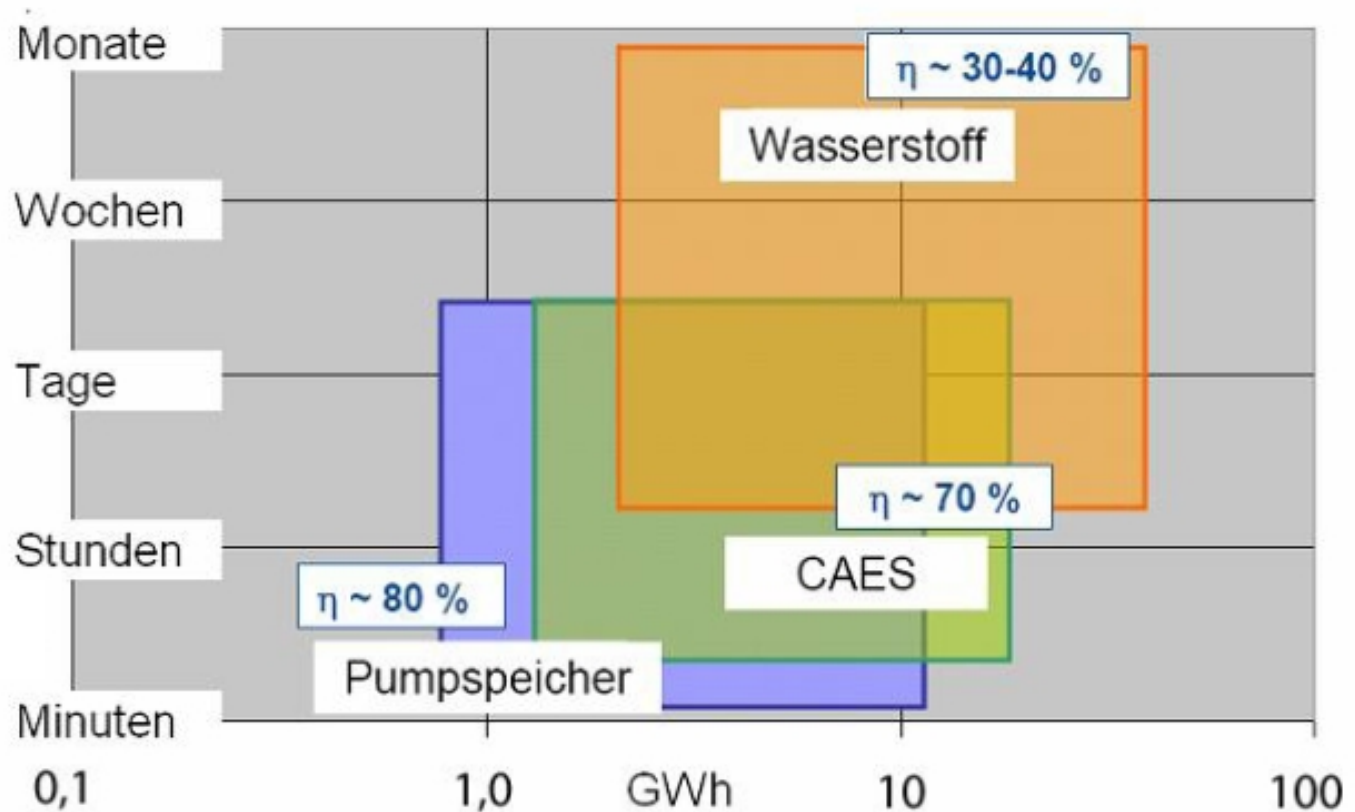
* 3 - 4 Tage Starkwind, 40% Nutzung im Netz

Batteriespeicher

- Beispiel BEV/PHEV als Speicher für Windstrom
- Bei optimistischem Marktpenetrationsszenario ergibt sich eine Energiespeichermenge von
 - 0,07 TWh bis 2030
 - 0,3 TWh bis 2050
- Das Speichervolumen ist zwar relevant, aber für großtechnische Speicherung von Überschussstrom unzureichend



Speichervolumina verschiedener Techniken

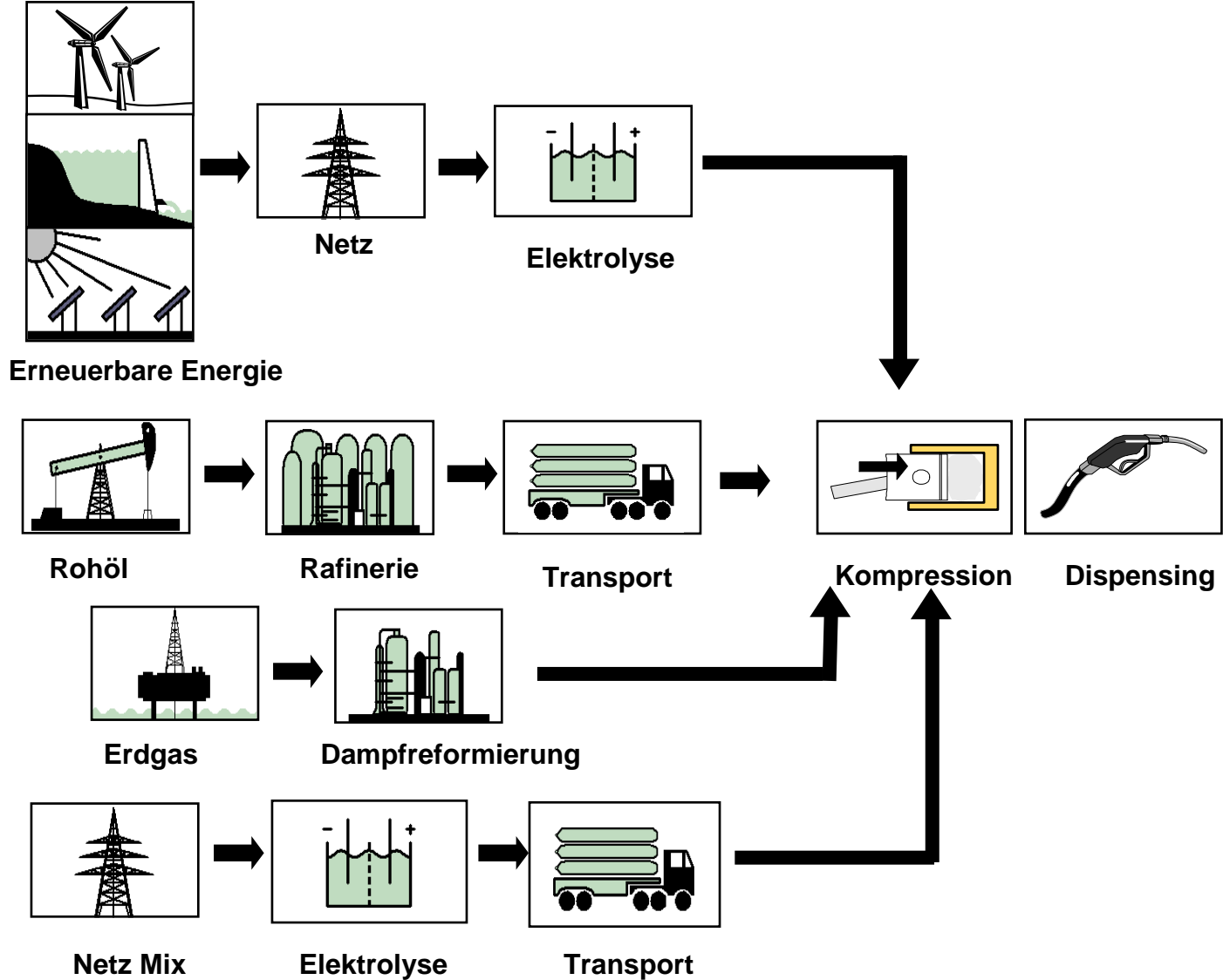


Quelle: KBB Underground

Agenda

1	Warum Wasserstoff
2	Wasserstoff als Speicher
3	Herstellung Wasserstoff
4	Nutzung als Kraftstoff
5	FAZIT

Erzeugungswege



Elektrolyse

- Alkalische Elektrolyse
- PEM in Entwicklung

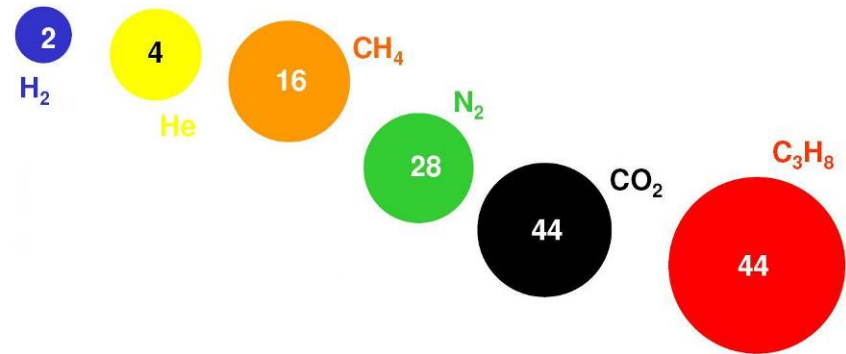


Quelle: Hydrogenics

Agenda

1	Warum Wasserstoff
2	Wasserstoff als Speicher
3	Herstellung Wasserstoff
4	Nutzung als Kraftstoff
5	FAZIT

Eigenschaften Wasserstoff



- Ungiftig, nicht explosiv, kein Geruch
- Wasserstoff ist das kleinste und leichteste Molekül
- Brandverhalten: steile, aufwärtsgerichtete Flamme, erlischt ohne Gaszufuhr im Gegensatz zu Benzin
- Wasserstoff steigt mit bis zu 32 km/h auf (8,8 m/s).
- Explosionen passieren nicht - sie werden verursacht (Brenngas + Sauerstoff + richtiges Mischungsverhältnis + Zündenergie erforderlich)
- Wärmestrahlung gering (Nur 10% einer Propangasflamme, da keine glühenden Kohlenstoffteilchen vorhanden)

Sicherheit?

- Untersuchung Universität Miami
- Kraftstoff an mutwillig beschädigten Fahrzeugen (links H₂, rechts Benzin) wurde entzündet



**Photo 2 - Time 0 min, 3 seconds - Ignition of both fuels occur.
Hydrogen flow rate 2100 SCFM. Gasoline flow rate 680 cc/min.**

Untersuchung Universität Miami

- nach 60 Sekunden: Wasserstoff-Flamme nimmt ab, Benzin-Flamme nimmt zu
- nach 100 Sekunden: Wasserstoff abgebrannt ($1,5 \text{ kg} \approx 51 \text{ kWh} \approx 5,7 \text{ Liter Benzin}$),
- Benzin brennt noch minutenlang (in 3,5 min. $2,4 \text{ Liter} \approx 21 \text{ kWh}$) Faktor ca. 2,5



Photo 3 - Time: 1 min, 0 sec - Hydrogen flow is subsiding, view of gasoline vehicle begins to enlarge

Untersuchung Universität Miami

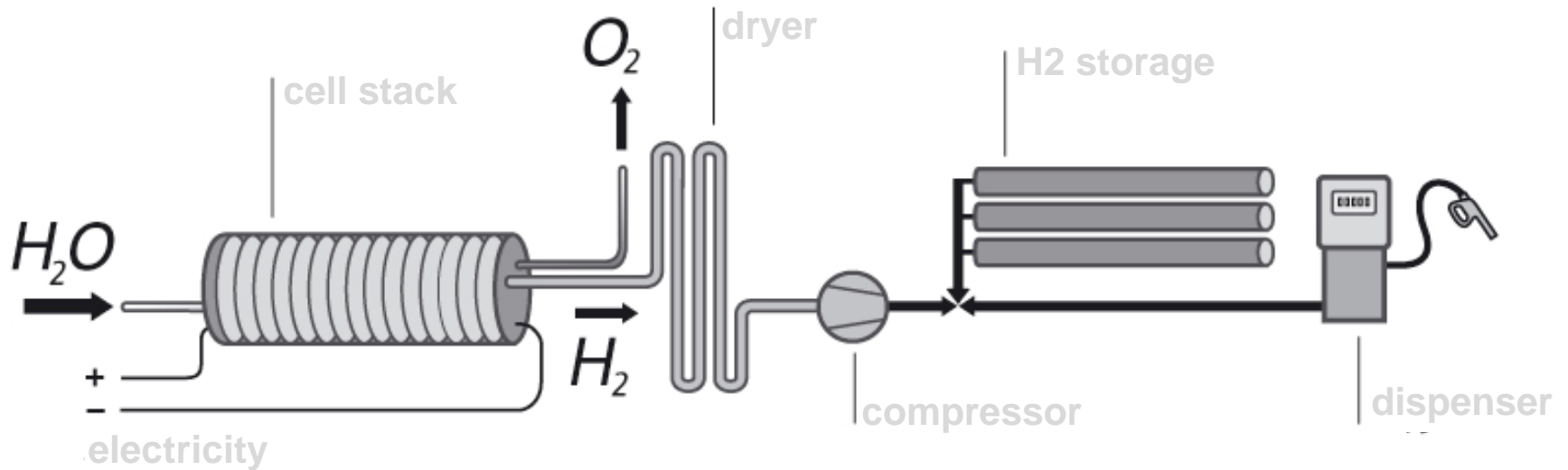
- maximale Temperatur Hutablage des H₂-Fahrzeugs 47 °C
- Benzinfahrzeug komplett zerstört



Photo 4 - Time: 1 min, 30 sec - Hydrogen flow almost finished. View of gasoline powered vehicle has been expanded to nearly full screen

- Integrierte oder reine Wasserstofftankstellen
 - On-site Erzeugung vs. Anlieferung
 - Kompression (GH2) oder Kryokompression (LH2 zu GH2)
 - Speicher, hohe Drücke, bis zu 850 bar
 - Dispenser
-
- Pkw mit ICE oder FC
 - Speicher LH2 oder GH2 bei 350 oder 700 bar
 - Tankvorgang ähnlich zu LPG oder CNG, 3 Minuten
 - Reichweiten bis zu 400 km
 - Verbrauch ca. 1 kg H₂/100 km, Busse ca. 10 kg/100 km

Beispiel einer Wasserstofftankstelle mit on-site Erzeugung



Beispiel einer Wasserstofftankstelle mit on-site Erzeugung

- Wasserstofftankstelle in Hamburg Hummelsbüttel

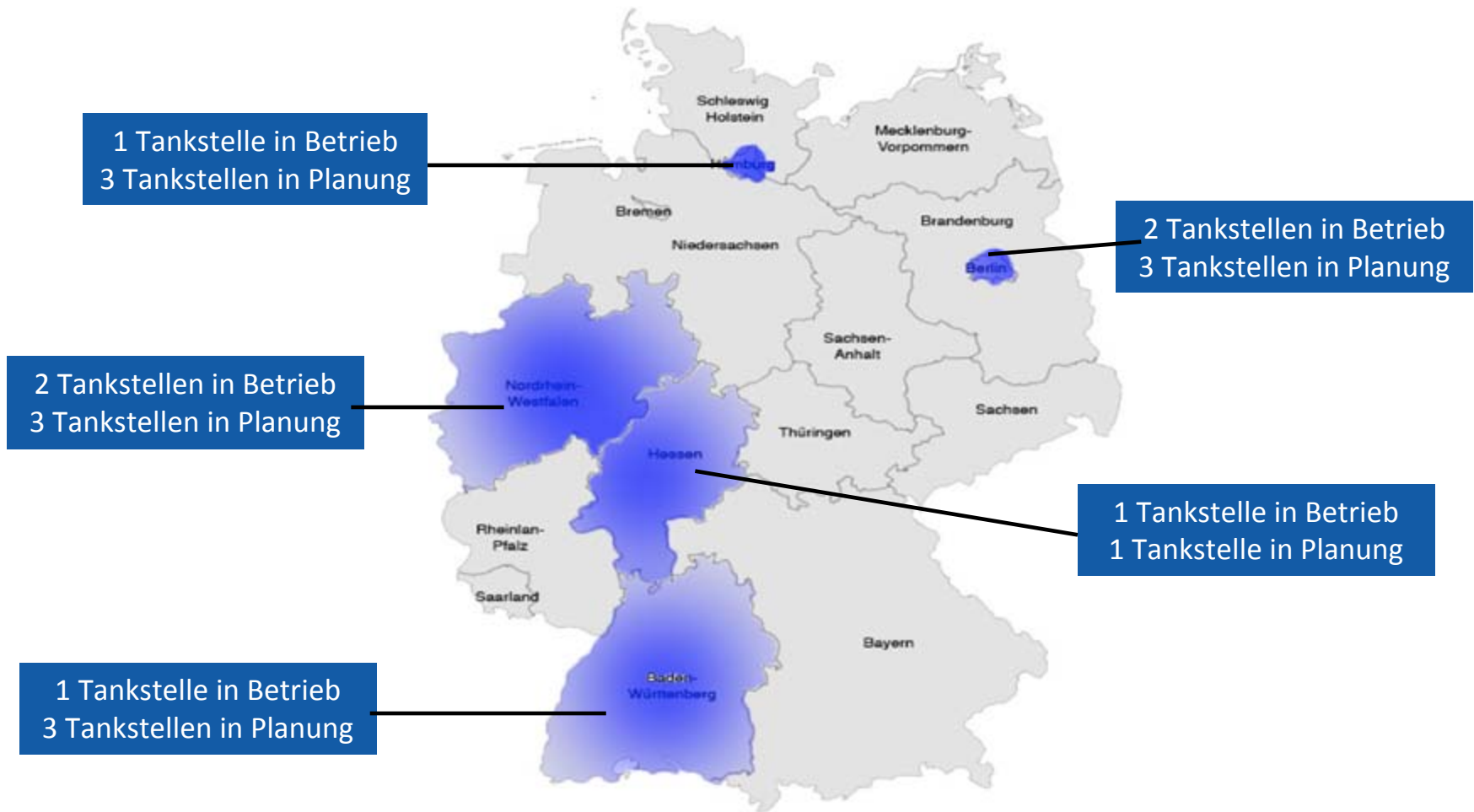


Projekte

- Clean Energy Partnership
- 2+3 Tankstellen in Berlin
- 1+3 Tankstellen in HH
- Weitere in NRW, Hessen, BW in Planung
- Demoprojekt mit ca. 100 Fahrzeugen
- MoU, Serienproduktion ab 2015



Tankstellenbau bis 2012 in den CEP-Regionen



Beispiele Tankstellen



Quelle: TOTAL

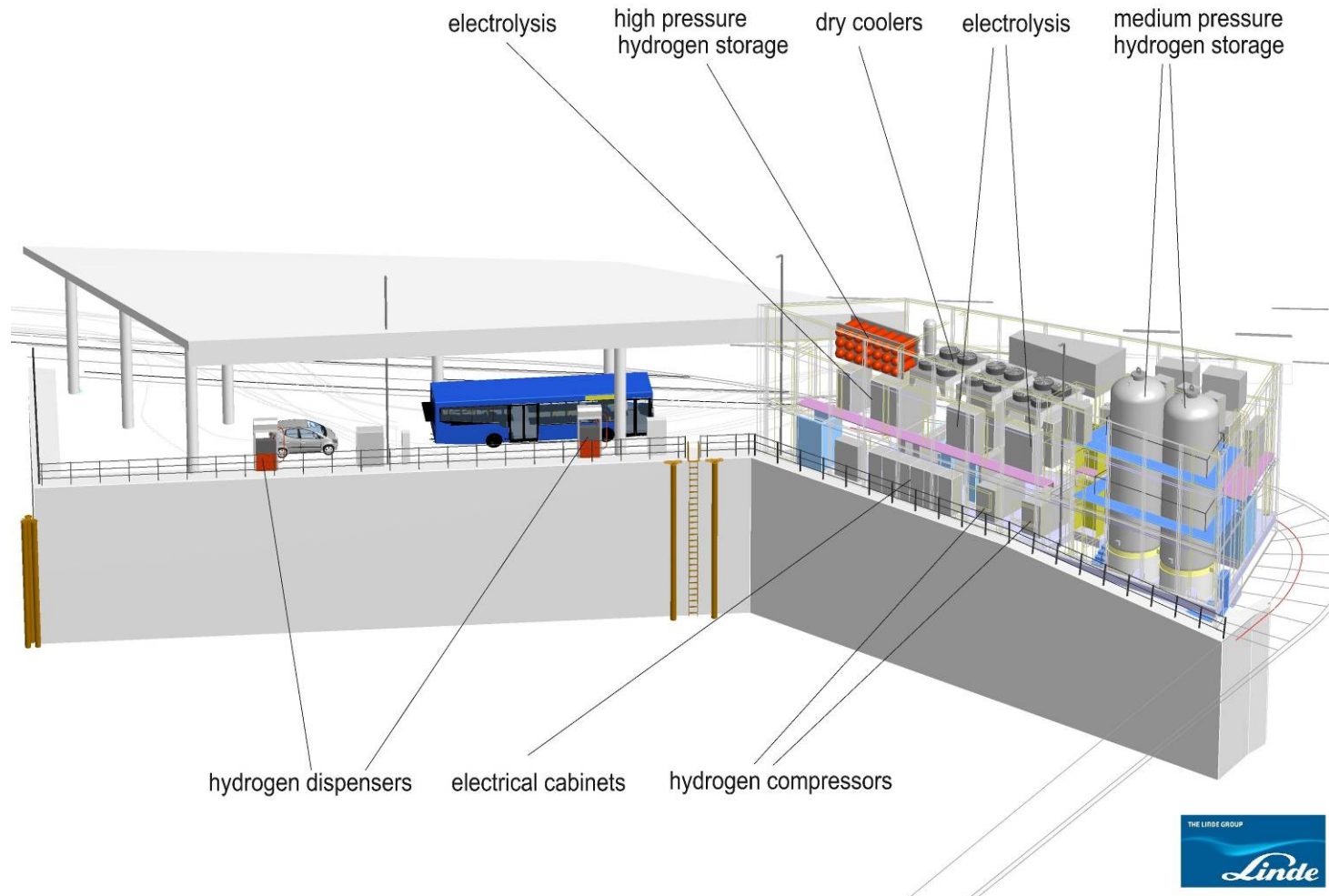
Beispiele Tankstellen



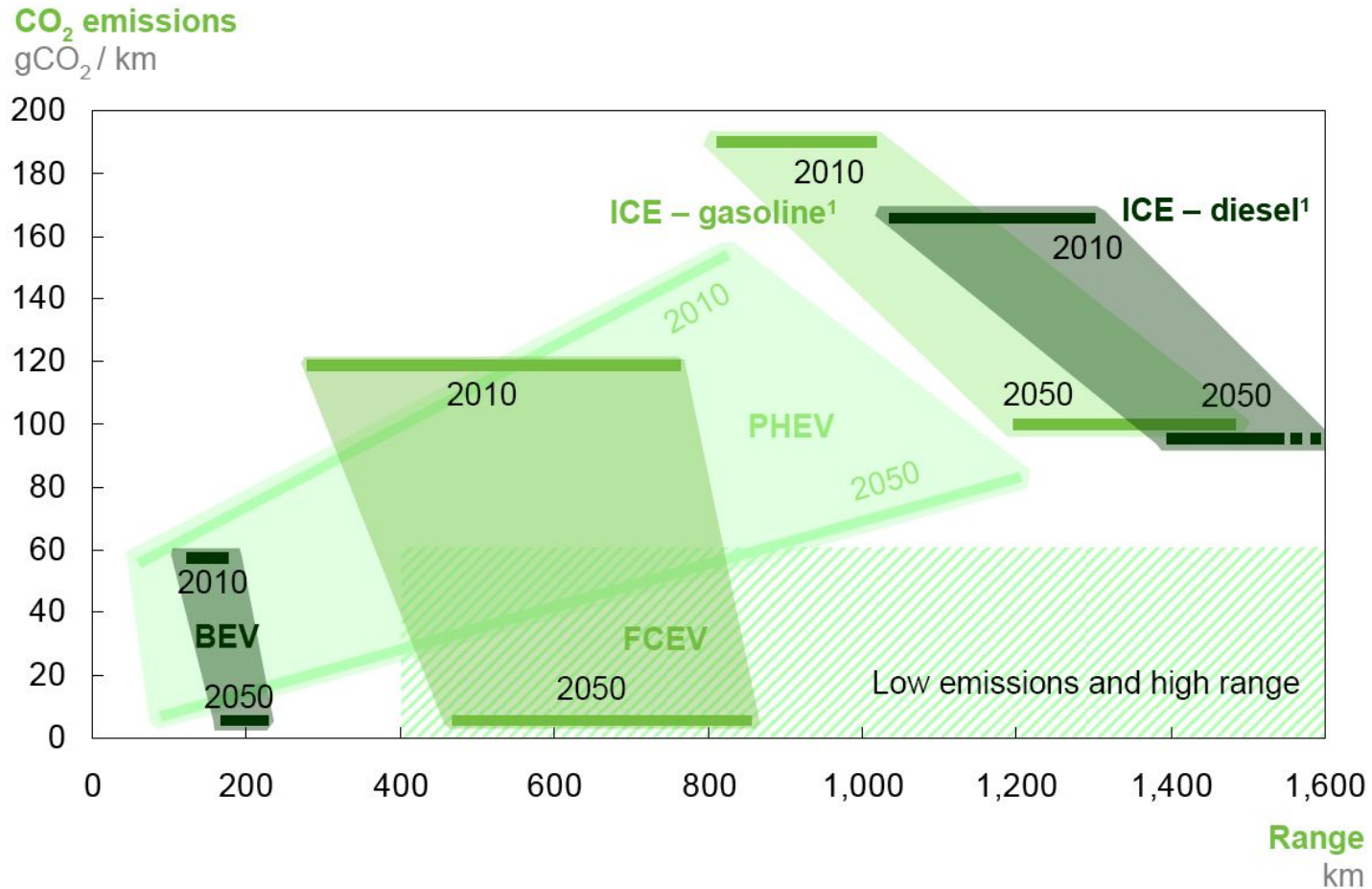
Copyright: www.dilight.com

28 | Wasserstoff als Kraftstoff | Daniel Hustadt | 06.05.2011

Technischer Aufbau reine H2-Tankstelle



Gesamtübersicht Well to Wheel-Betrachtung Energieverbrauch und CO₂-Emissionen



Quelle: „A Portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis“

Fahrzeuge in Hamburg

- Daimler B-Klasse F-CELL
- Mercedes-Benz Citaro FuelCELL-Hybrid



Quelle: Daimler



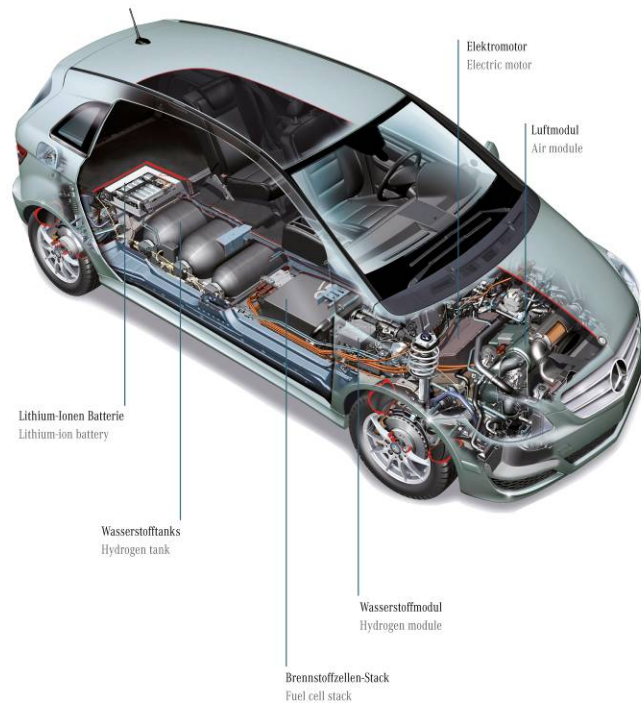
Quelle: hySolutions GmbH

Fahrzeugtechnik und Betankung

- Betankungsstandard SAE J2601 etabliert

B-Klasse F-CELL

B-Class F-CELL



Quelle: Daimler, WEH

Speicherflaschen

Neuartige Flaschentypen



Typ I:
vollmetallisch



Typ II:
mantelumwickelt



Typ III or IV:
vollumwickelt

Quelle: DWV

Agenda

1	Warum Wasserstoff
2	Wasserstoff als Speicher
3	Herstellung Wasserstoff
4	Nutzung als Kraftstoff
5	FAZIT

- Über Allem steht SPAREN
- Die Energiewirtschaft kann es sich nicht erlauben, eine Form der Energie zu ignorieren
- Die sinnvolle Verknüpfung von Energiesystemen sorgt an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten für unterschiedliche Optima
- Wasserstoff kann eine Rolle als Speicher und bei Elektromobilität spielen
- Wasserstoff ist langjährig erprobt und sicher
- Kosten müssen durch Massenproduktion deutlich sinken

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!