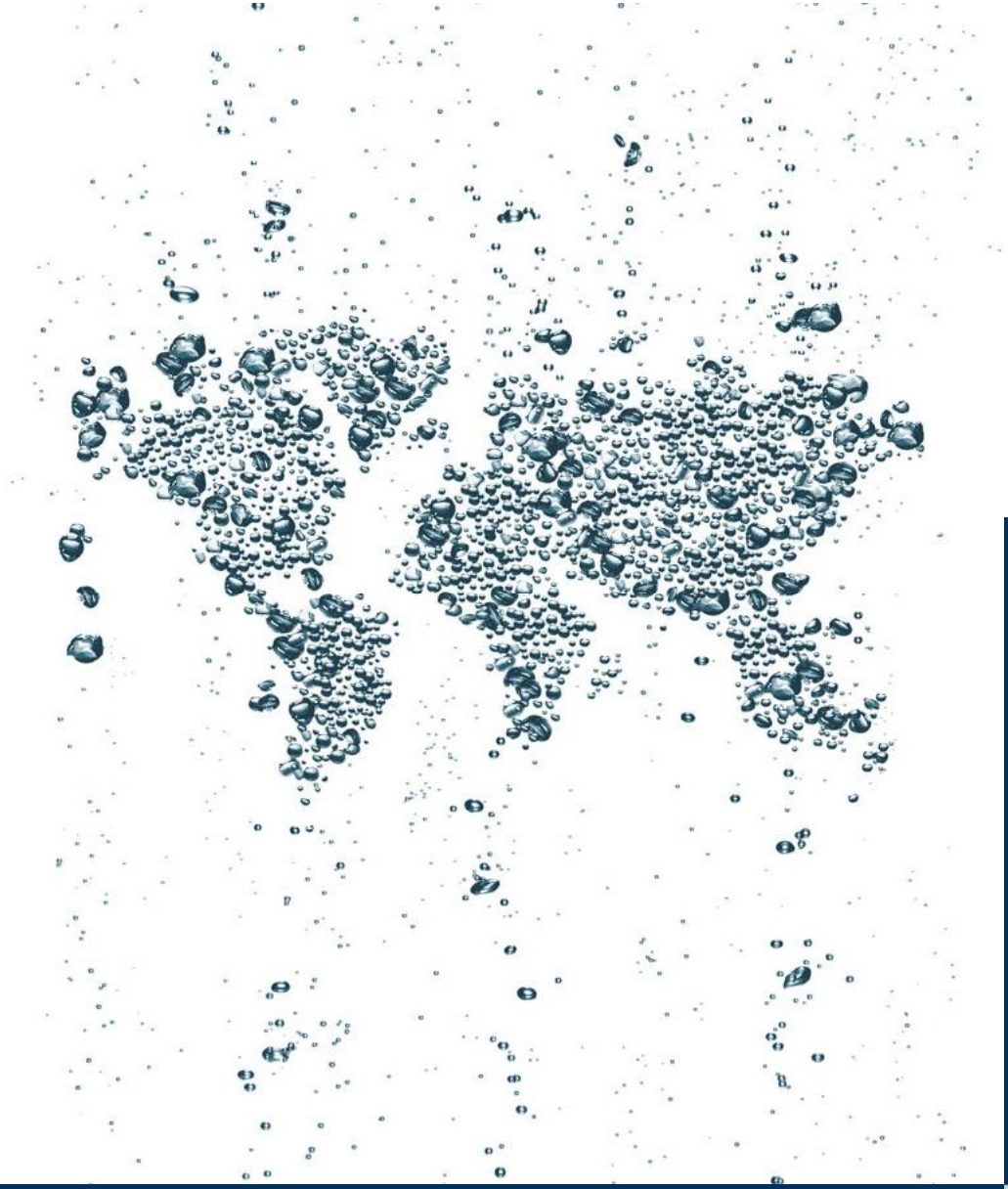


# Power-to-Gas und Wasserstoff als Energiespeicher

LeadIng.

THE LINDE GROUP

Dr. Christoph Stiller
München, November 2014

CLEAN
TECHNOLOGY
BY LINDE

# Agenda

THE LINDE GROUP

1. Clean Technology by Linde
2. Einsatz von Wasserstoff im Energiesystem
3. $H_2$-Technologie: Grundlagen, Entwicklungsstatus und Anwendungen
4. Demoprojekte

# Linde Clean Technology portfolio
## Clean energy growth markets for Linde

THE LINDE GROUP

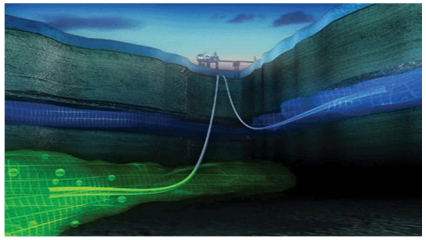
### Merchant Liquid Natural Gas (LNG)

- Oil vs. NG spread
- $CO_2$ reduction

### Enhanced Oil Recovery (EOR)

- Maturing oil fields
- High oil prices

### Carbon Capture & Storage / Usage



- Regulations
- Funding
- Coal reserves

### $H_2$ as fuel

- Zero emissions
- Drive performance

### $CO_2$ Networks

- Increasing need for $CO_2$ recycling
- Integrated solutions

### Photovoltaic, Energy storage, Biomass, ...

- Environmental impact
- Energy transition

# Agenda

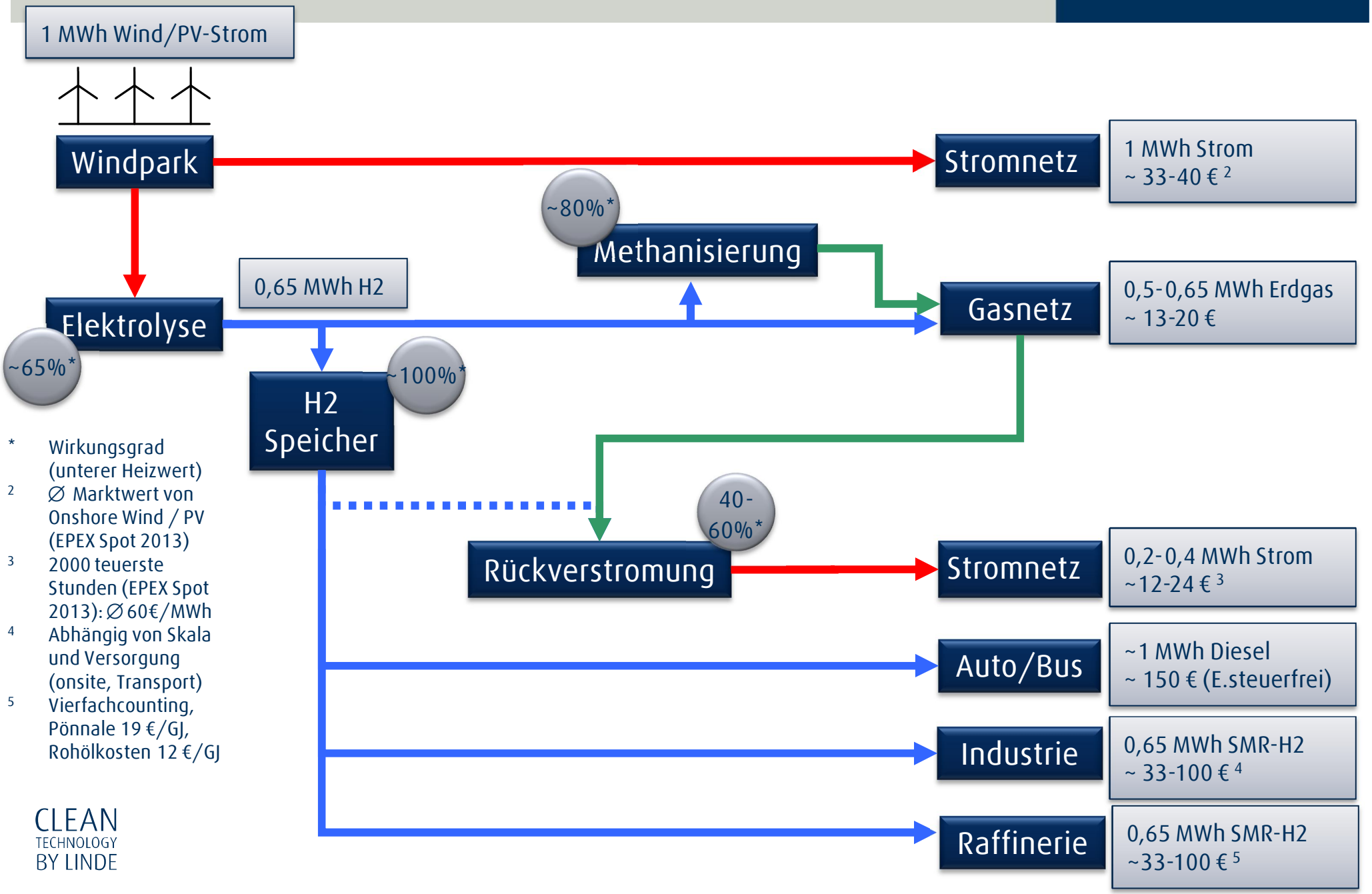
THE LINDE GROUP

1. Clean Technology by Linde
2. Einsatz von Wasserstoff im Energiesystem
3. $H_2$-Technologie: Grundlagen, Entwicklungsstatus und Anwendungen
4. Demoprojekte

# Möglichkeiten der Nutzung von H2 im Energiesystem

## Substituierte Energie und ökonomischer Wert von 1 MWh Windstrom

THE LINDE GROUP




* 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

CLEAN TECHNOLOGY BY LINDE

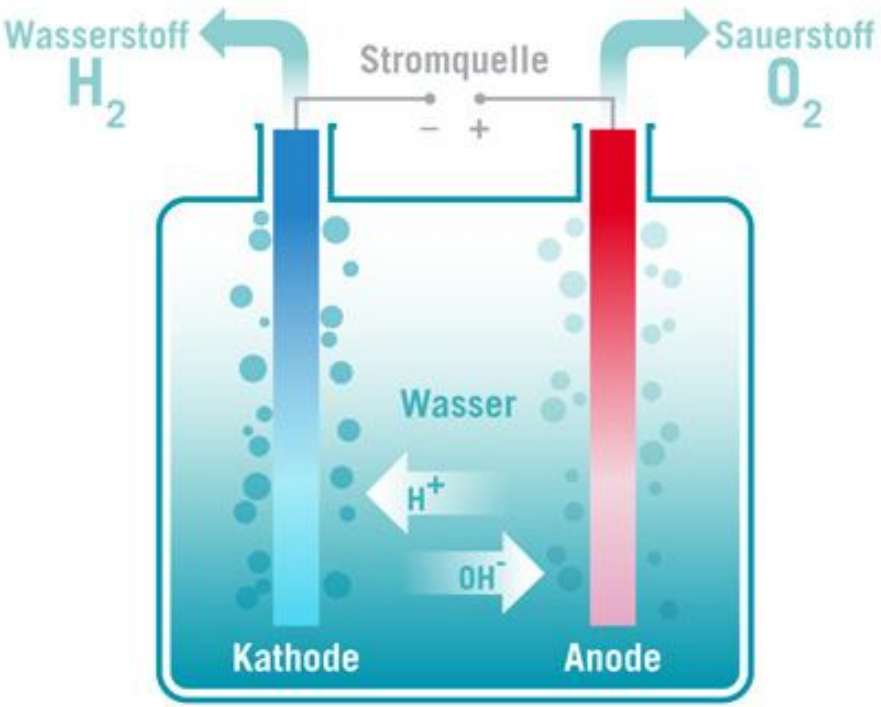
# Agenda

THE LINDE GROUP

1. Clean Technology by Linde
2. Einsatz von Wasserstoff im Energiesystem
3. $H_2$-Technologie: Grundlagen, Entwicklungsstatus und Anwendungen
4. Demoprojekte

# Wasserstofferzeugung mit Elektrolyse
## Funktionsprinzip

THE LINDE GROUP

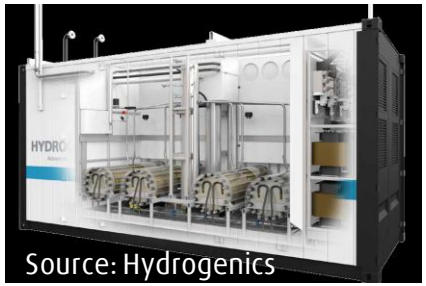



CLEAN
TECHNOLOGY
BY LINDE

# Wasserstofferzeugung mit Elektrolyse
## Typen, Vorteile/Nachteile

THE LINDE GROUP

| | **Alkali Elektrolyse**<br>AEL | **PEM Elektrolyse**<br>PEMEL | **Solid oxide Elektrolyse**<br>SOEC |
|---|---|---|---|
| Vorteile | • Etabliert<br>• Betriebserfahrung<br>• Keine Edelmetall-Katalaysatoren<br>• Druckbetrieb möglich | • Hohe Stromdichte<br>• Hohe Drücke möglich<br>• Teillastfähigkeit, Dynamik<br>• Hohe $H_2$-Reinheit<br>• Einfaches System | • Niedriger Stromverbrauch<br>• Keine Edelmetall-Katalysatoren<br>• Potential zu hoher Stromdichte<br>• Möglichkeit der Einkopplung von Wärme, Koproduktion z.B. von CO |
| Nachteile | • Relativ niedrige Stromdichte<br>• Korrosiver Elektrolyt<br>• Komplexes System | • Edelmetall-Katalysatoren<br>• Hohe Investitionskosten<br>• Wenig Erfahrung zu Betrieb/Haltbarkeit | • Noch im Entwicklungsstadium<br>• Hochtemperaturwärme benötigt<br>• Keine Erfahrung zu Haltbarkeit / Dynamik<br>• Komplexes Wärmemanagement |



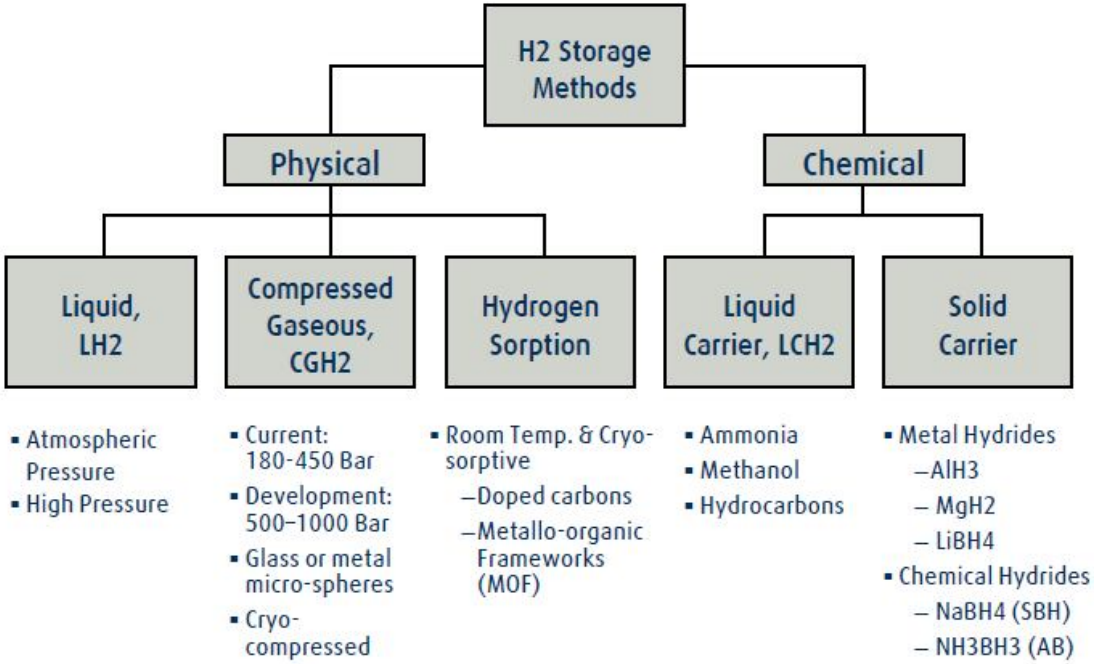
Source: Hydrogenics

PEM stack from Siemens

Solid oxide stack from Topsoe FuelCell

# Klein- und mittelskalige $H_2$-Speicherung

THE LINDE GROUP



300 bar composite vessel for small-scale fuel cell

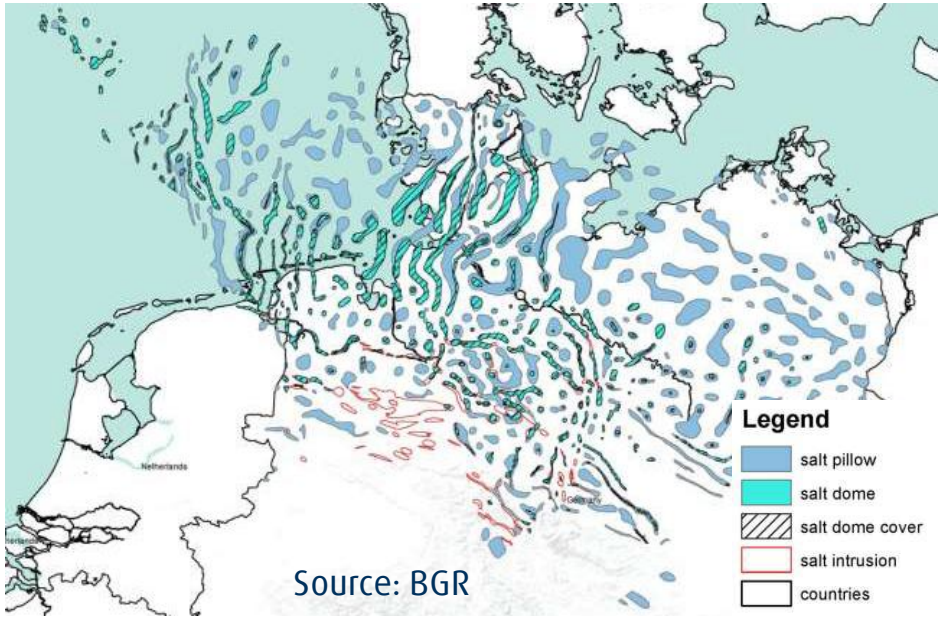
- $H_2$–Verflüssigung ($LH_2$) ist energieintensiv (-250 °C)
- $LH_2$ und $CGH_2$ Speicher sind industrieller Stand der Technik
- Druckgasspeicher sind einfach und zuverlässig (aber Gefahrenpotenzial/Wahrnehmung)
- Chemische Speicher / Sorptionstechnologien: Bei der H2-Aufnahme wird Wärme abgegeben, für die H2-Abgabe wird Wärme benötgt; Rezyklierbarkeit kann problematisch sein
- Volumetrische Dichte ähnlich in allen Systemen, 20-50 kg/m³, oder 670-1700 kWh/m³)

# Großskalige Wasserstoffspeicherung in Salzkavernen

THE LINDE GROUP

- 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 ~500,000 m³; typischer Druckbereich 60-200 bar → eine Kaverne kann ca. 5000 t $H_2$ speichern (~**170 $GWh_{LHV}$**)
- 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

Source: KBB Underground Technologies



Source: BGR

# Kosten von $H_2$-Speichern
## Benchmarking

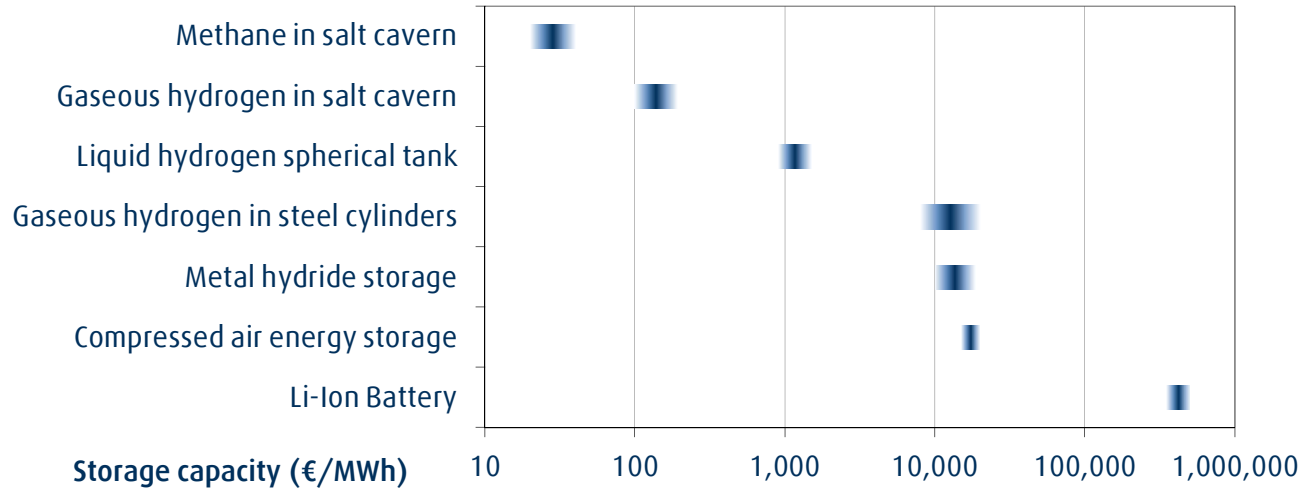
THE LINDE GROUP

- **Kavernenspeicherung is 3-4 Größenordnungen billiger als Batterien**

→ **Gut für Langzeitspeicheurng geeignet**

- **Flüssigwasserstoff ($LH_2$) günstigste obertätgige Speichertechnologie**

### Investitionskosten für Speicherkapazität*




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

CLEAN TECHNOLOGY BY LINDE

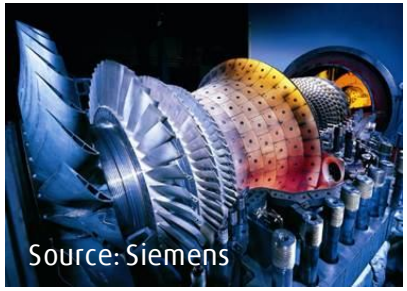
# Stromerzeugung aus Wasserstoff ("Rückverstromung")

THE LINDE GROUP

| | 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<br>- Hohe Investition | + Robustheit, Brennstoffflexibilität<br>- $No_x$-Emissionen, niedriger Wirkungsgrad | + Wirkungsgrad (GuD), niedrige spez. Investition, Brennstoffflexibilität<br>- Niedriger Teillastwirkungs-grad, limitierter Lastbereich |

Source: BOC

Source: 2G


Source: Siemens

# Industrielle Anwendung von Wasserstoff
## Märkte und Anwendungen

THE LINDE GROUP

**Wasserstoff**

- **Raffinerien 31%**
  - Hydrocracking
  - Hydrotreating
- **Chemische Industrie 63%**
  - Ammoniak 53% (Harnstoff,Dünger)
  - Methanol 8%
  - Polymere 2%(Caprolactam, Adipic Acid → Nylon)
  - Polyurethan (MDI and TDI als Zwischenprodukte)
- **Metallverarbeitg. 6%**
  - Direktreduktion von Eisenerz
  - Formier- und Schutzgas
- **Verflüssigung <1%**
  - Raketentreibstoff
  - Halbleiterindustrie (inkl. Photovoltaik)

~50 Mio. t/a global
= ~ 1500 TWh/a oder
~ 300 Mio. Brennstoffzellen-Autos

Sources: DOE, Fair-PR

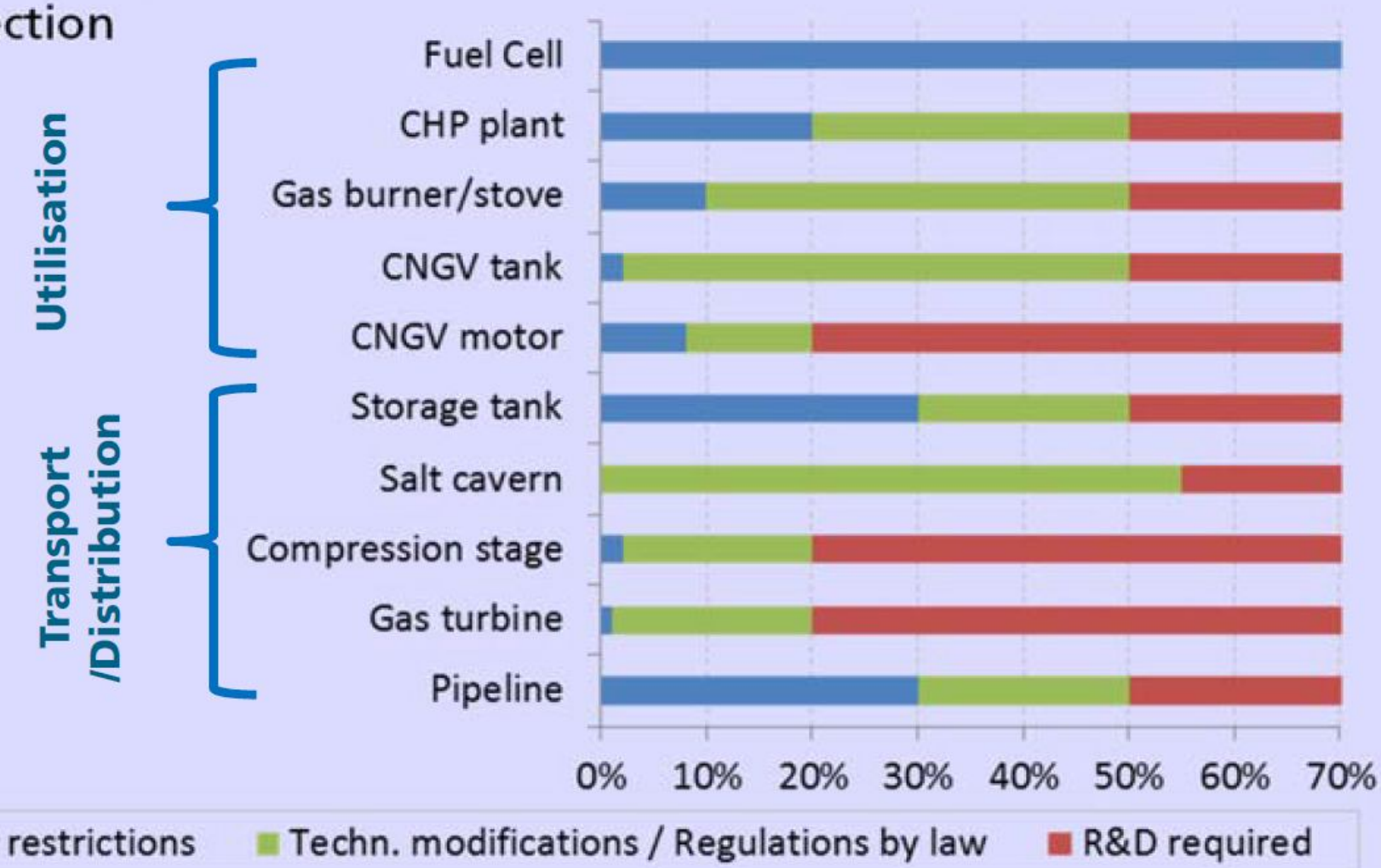
- Weitere Anwendungen: (<1000 $Nm^3/h$): Flachglas, Nährmittelindustrie, Generatorkühlung
- Nur ca. 5% des $H_2$ wird transportiert (95% vor Ort hergestellt & verbraucht)

CL TECHNOLOGY BY LINDE

# „Power-to-Gas“ / Wasserstoffeinspeisung ins Erdgasnetz Wasserstofftoleranz

THE LINDE GROUP

- 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“

# Wasserstoff als Kraftstoff
## Stärken

THE LINDE GROUP

**Umstellung auf $H_2$/Brennstoffzellenantrieb getrieben durch**

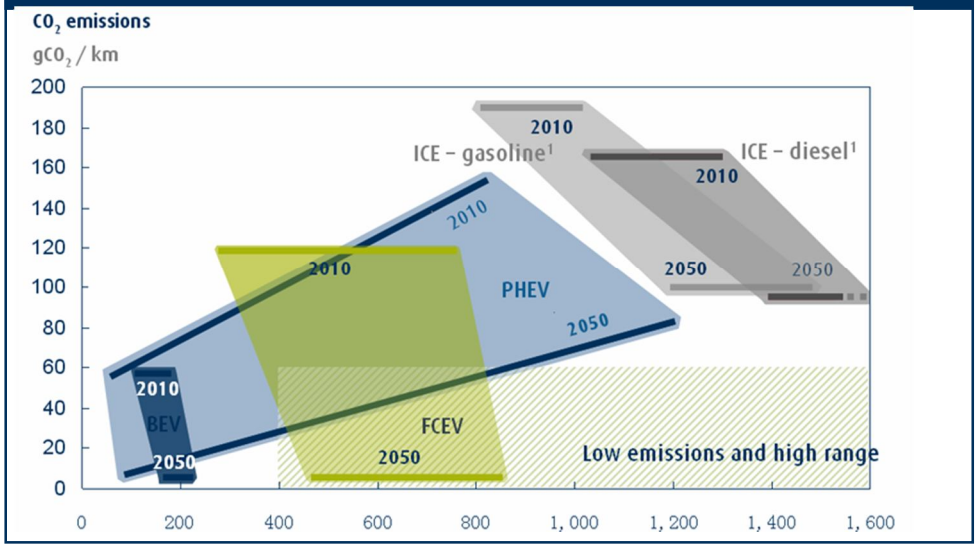
- Umweltgesetzgebung
- Unabhängigkeit von Rohöl
- Flexibilität bzgl Primärenergie
- Nullemmissionsmobilität
- Reichweite und schnelle Betankung

**Alle großen Automobilfirmen haben zwischen 2014 und 2020 kommerzielle Brennstoffzellenfahrzeuge angekündigt**

**Hauptanwendungsbereiche**

- Autos
- Busse
- Gabelstapler/Flurförderzeuge
- Backup/Remote Power

### Niedrige Emissionen und hohe Reichweite




### Automobilfirmen-Kommerzialisierungspipeline

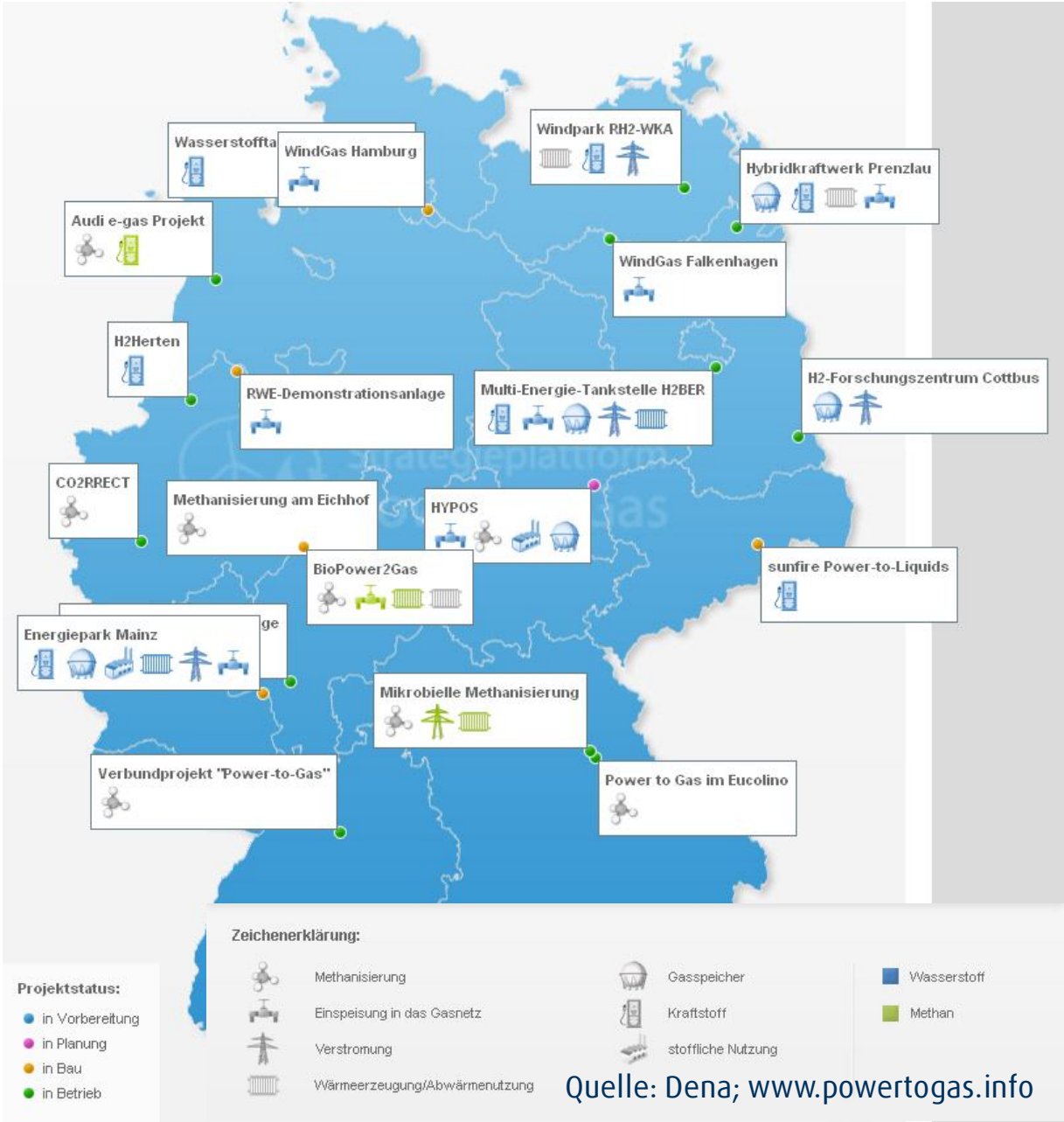
# Agenda

THE LINDE GROUP

1. Clean Technology by Linde
2. Einsatz von Wasserstoff im Energiesystem
3. $H_2$-Technologie: Grundlagen, Entwicklungsstatus und Anwendungen
4. Demoprojekte

# Übersicht Demo- und Pilotprojekte in Deutschland

THE LINDE GROUP




Quelle: Dena; www.powertogas.info

Statistik (keine Gewähr)

- 20 Projekte insgesamt
- 9 Projekte mit $H_2$-Einspeisung ins Gasnetz
- 8 Projekte mit Methanisierung
- 7 Projekte mit $H_2$ als Kraftstoff
- 2 Projekte mit $H_2$ für stoffliche Nutzung
- 6 Projekte mit Verstromung

# Pilotprojekt „Energiepark Mainz“
## Netzrelevante Skala

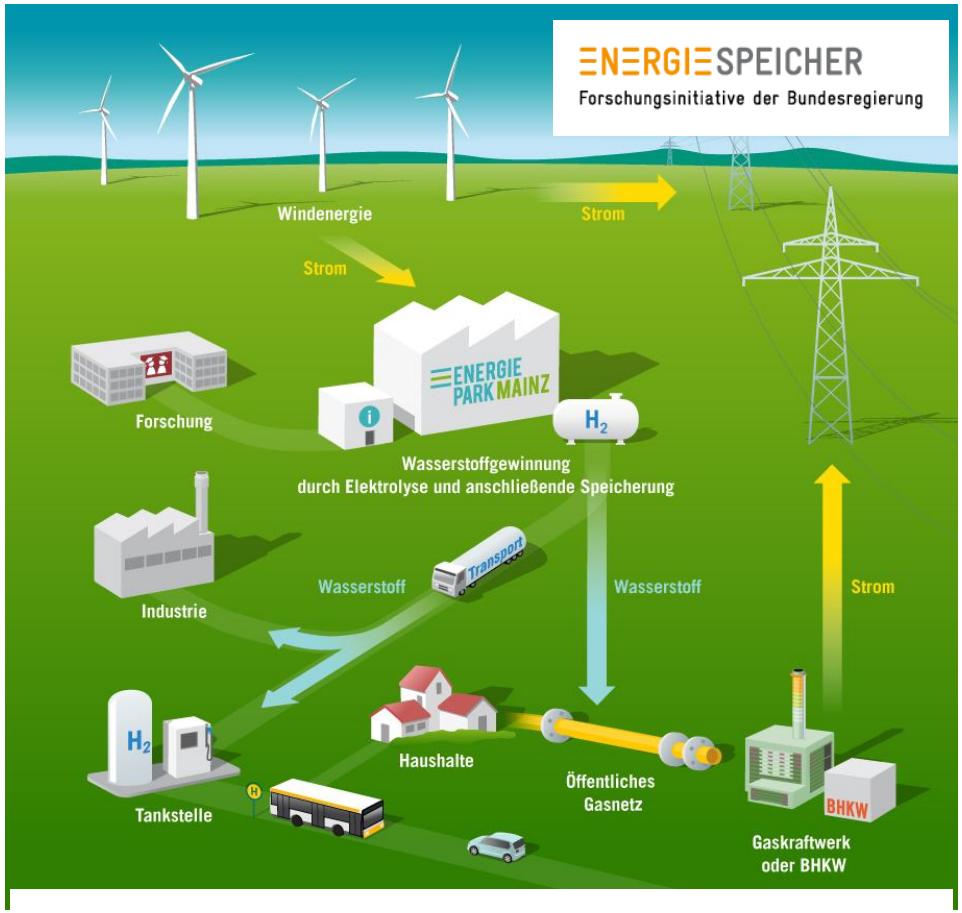
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

THE LINDE GROUP

### Hauptfakten

- Pilotprojekt für $H_2$-Elektrolyse, Speicherung und Nutzung in Mainz; Partner Stadtwerke Mainz, Linde, Siemens und Hochschule RheinMain; Inbetriebnahme 2015
  - Siemens PEM Elektrolyse mit bis zu 6 MW Spitzenleistung (Überlast)
  - Neuartiger Ionischer Verdichter von Linde für flexiblen & energieeffizienten Betrieb
  - Druckspeicher ~1000 kg (~33 MWh)
  - $H_2$-Trailerabfüllstation
  - Erdgasnetzeinspeisung von $H_2$
- Strombezug aus verschiedenen Quellen (Windkraft,Regelleistung, Spotmarkt)
- Ziele:
  - Bewirtschaftung lokaler Netzenpass
  - Erprobung und Betriebserfahrung zu System und Komponenten
  - Intelligente Steuerung & Marktintegration

STADTWERKE MAINZ AG | THE LINDE GROUP Linde | SIEMENS | Hochschule RheinMain University of Applied Sciences Wiesbaden Rüsselsheim Geisenheim



CLEAN TECHNOLOGY BY LINDE

# Energiepark Mainz
# Impressionen

http://energiepark-mainz.de/

THE LINDE GROUP

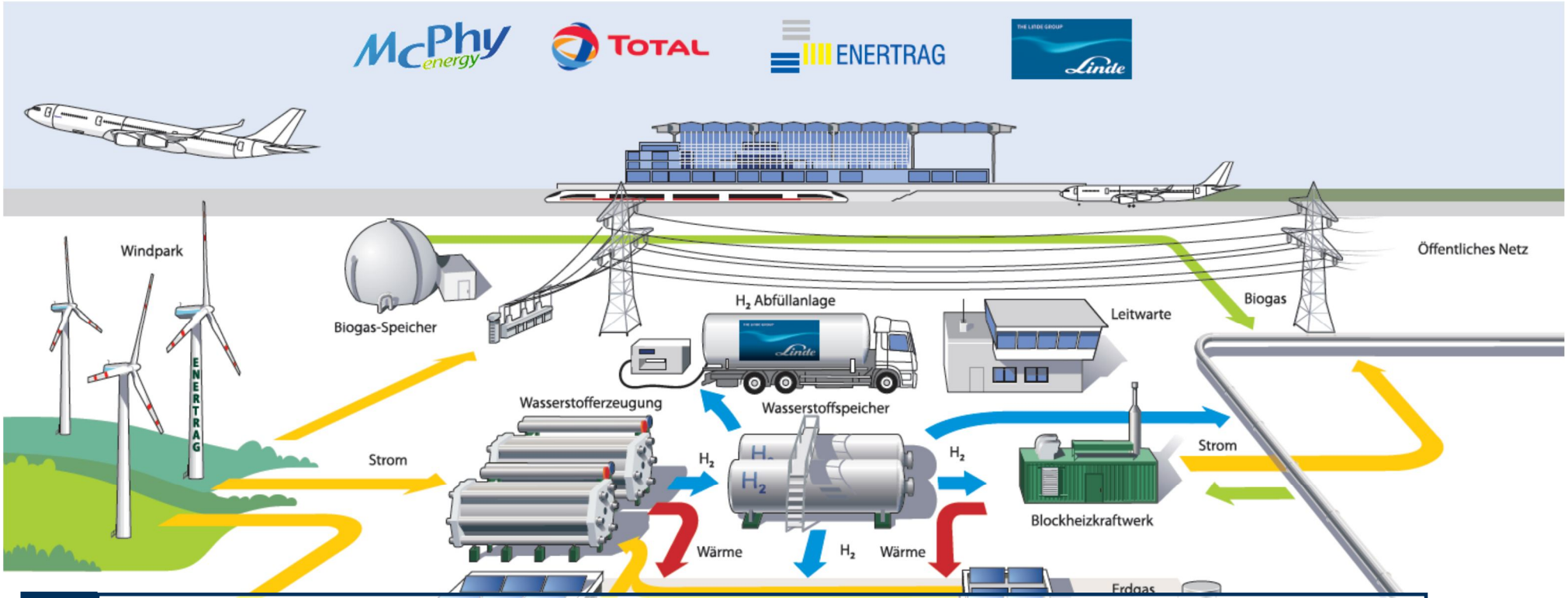
Status Baustelle 8. Nov 2014

Elektrolyse mit 6 MW Spitzenleistung

Vizekanzler Sigmar Gabriel bei der Grundsteinlegung15. Mai 2014

# Pilotprojekt „H2BER“ (Berlin-Brandenburg)

## (Fast) alle Optionen an einem Ort




**Hauptfakten**

- $H_2$-Tankstelle mit Elektrolyse, Trailerbefüllstelle, versch. Speichern und einem BHKW am neuen Berliner Flughafen; Eröffnung 21.05.2014.
- Elektrolyse von McPhy (500 $kW_{el}$; $H_2$ Produktion ~100 $Nm^3/h$ oder 9 kg/h),
- $H_2$-Tankstelle von Total betrieben (350/700 bar; Autos und Busse)
- Linde: Ionenverdichter, Speicher, Trailerfüllstation, um Überschuss-$H_2$ abzunehmen oder zusätzlichen $H_2$ bereitzustellen
- Gefördert vom Nationalen Innovationsprogramm $H_2$&BZ

# Zusammenfassung
# Reifegrad der Komponenten

THE LINDE GROUP

| Komponente | Stand heute | Entwicklungsbedarf* | Voraussetzungen |
|---|---|---|---|
| Elektrolyse | Kommerziell | Skalierung, Kostenreduktion (neue Verfahren?) | Investitionssicherheit, Marktanreize |
| Konditionierung (Reinigung, Verdichtung) | Kommerziell | Effizienz, Dynamik, Kosten (Modularisierung) | Mittel für FuE/Pilotierung |
| Speicherung | teil. kommerziell | Kavernenspeicherung | Mittel für FuE/Pilotierung |
| $H_2$-Verstromung | frühkommerziell (BZ) | Kostenreduktion durch Stückzahlen | Investitionssicherheit, Marktanreize |
| $H_2$-Mobilität | Demo | Rollout Fahrzeuge und Tankstellen | Pol. Unterstützung |
| Ind. $H_2$ Nutzung | Kommerziell | Geschäftsmodelle für grünen $H_2$ | Anrechenbarkeit auf Verpflichtungen / Quoten |
| Methanisierung | Demo | Dynamik, Prozess | Mittel für FuE/Pilotierung |
| Systemintegration | Demo | Betriebserfahrung, Kosteneinsparung | Mittel für FuE/Pilotierung |

* Kein Anspruch auf Vollständigkeit!

# Thanks for your attention.

LeadIng.

THE LINDE GROUP

CLEAN
TECHNOLOGY
BY LINDE