

Wasserstoff als Kraftstoff im Flurförderzeug

Jörg Hilker

Herten, 23. März 2011

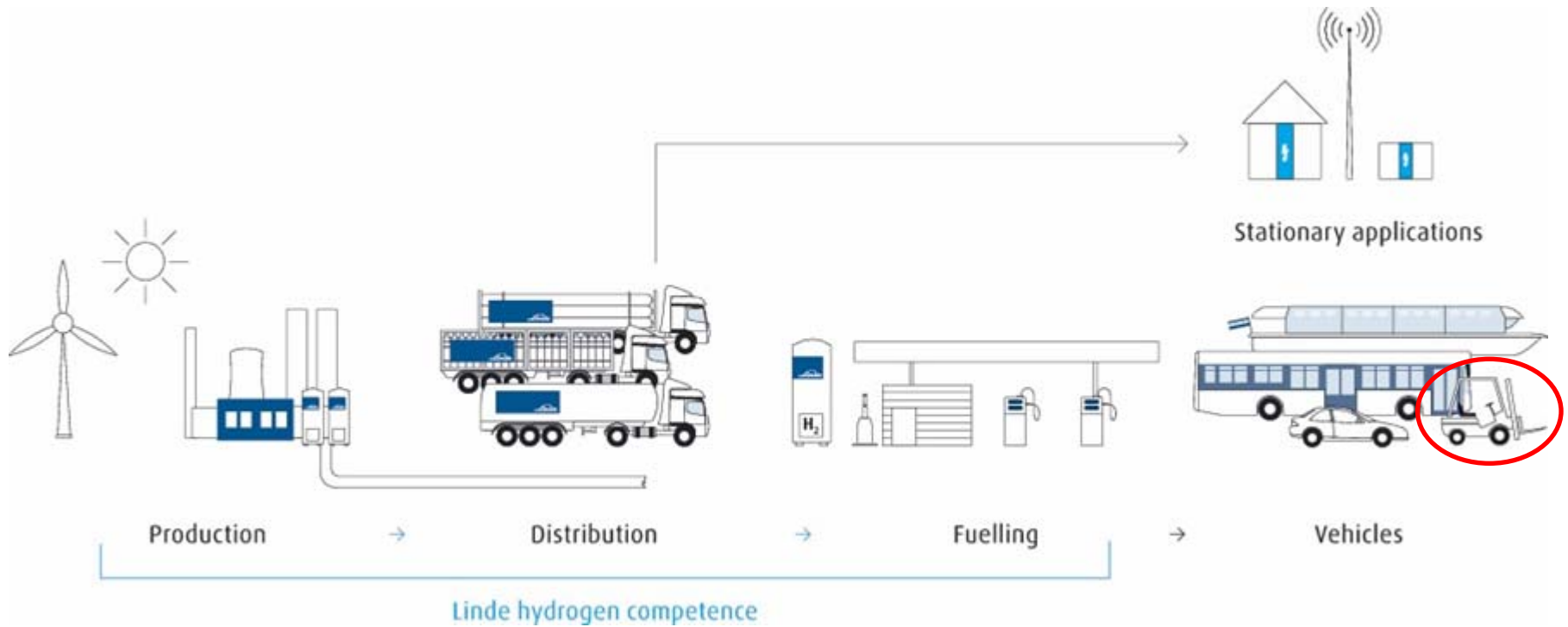
THE LINDE GROUP

Linde

- 1 Wasserstoff – der Weg zum Fahrzeugtank
- 2 Warum Wasserstoff im Flurförderzeug?
- 3 Referenzprojekte
- 4 Wasserstofftankstellen und -betankung
- 5 Status Quo und Ausblick



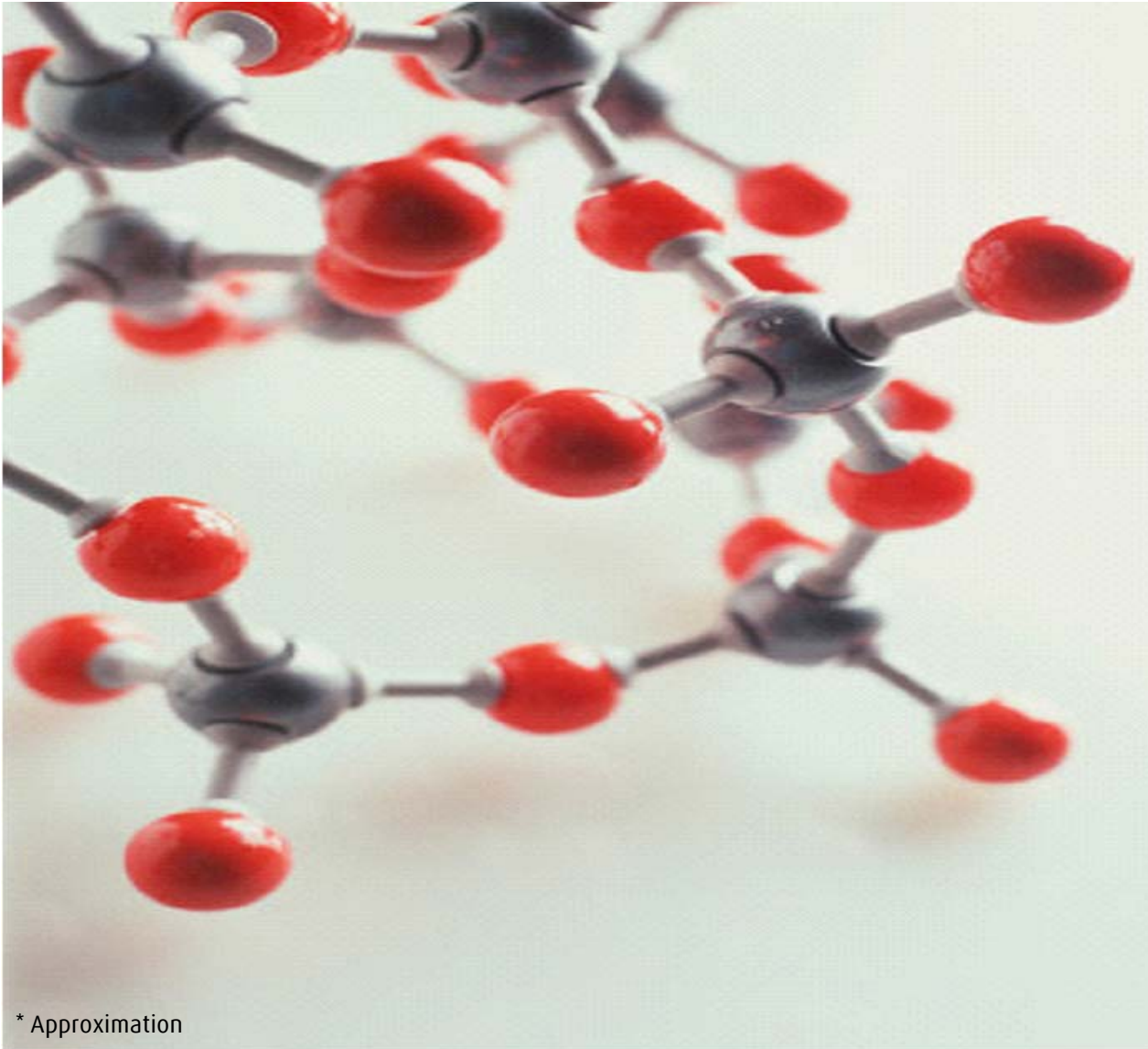
Wasserstoff – der Weg zum Verbraucher



Unterschiedlichste Rohstoffe können für die Produktion von Wasserstoff genutzt werden

THE LINDE GROUP

Linde



Wasser: H_2O

Methan: CH_4

Butan: C_4H_{10}

Ethanol: $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$

Zucker: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

Holz: $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}^*$

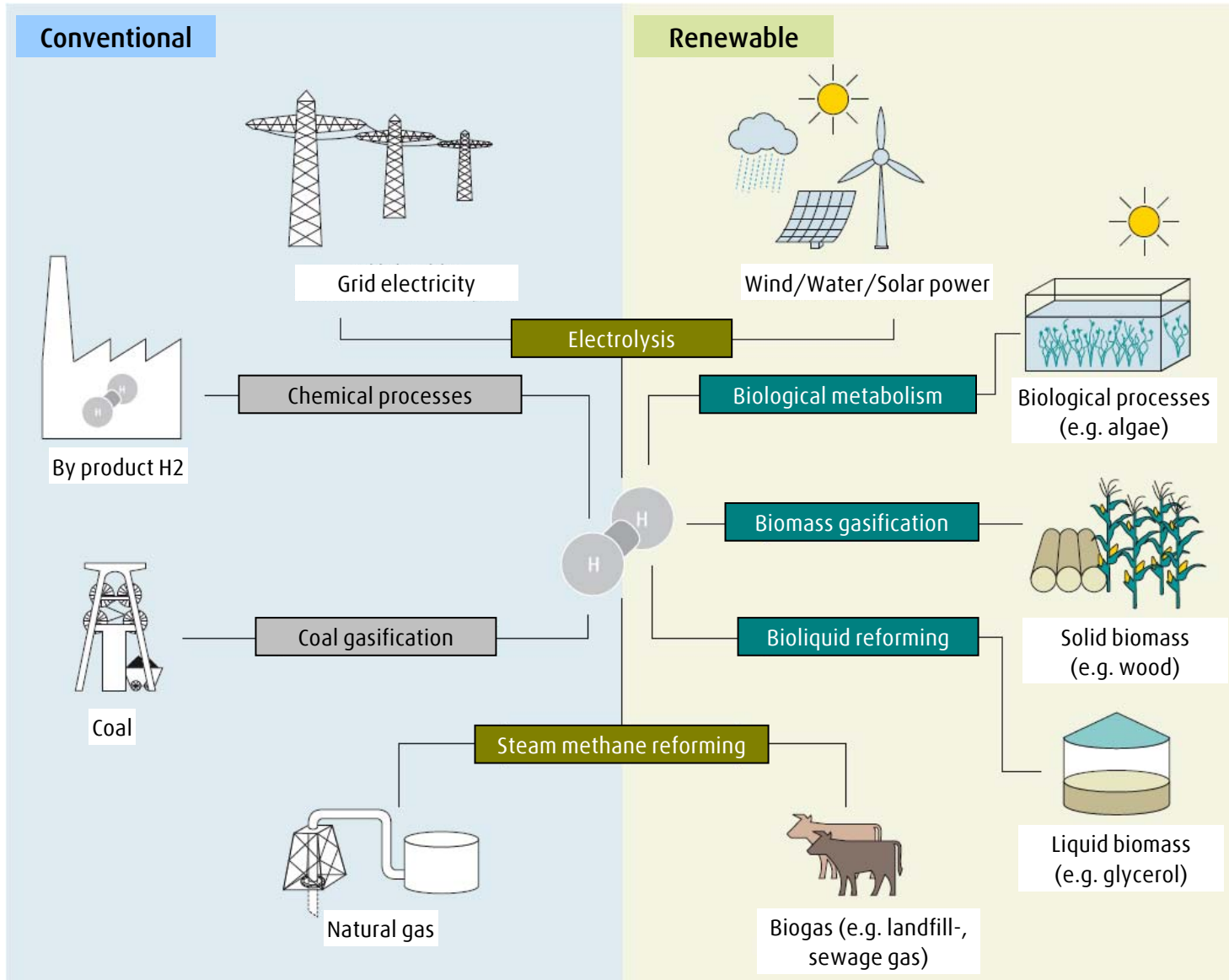
Petroleum: $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$

Kohle: $\text{C}_{135}\text{H}_{96}\text{O}_9\text{NS}$

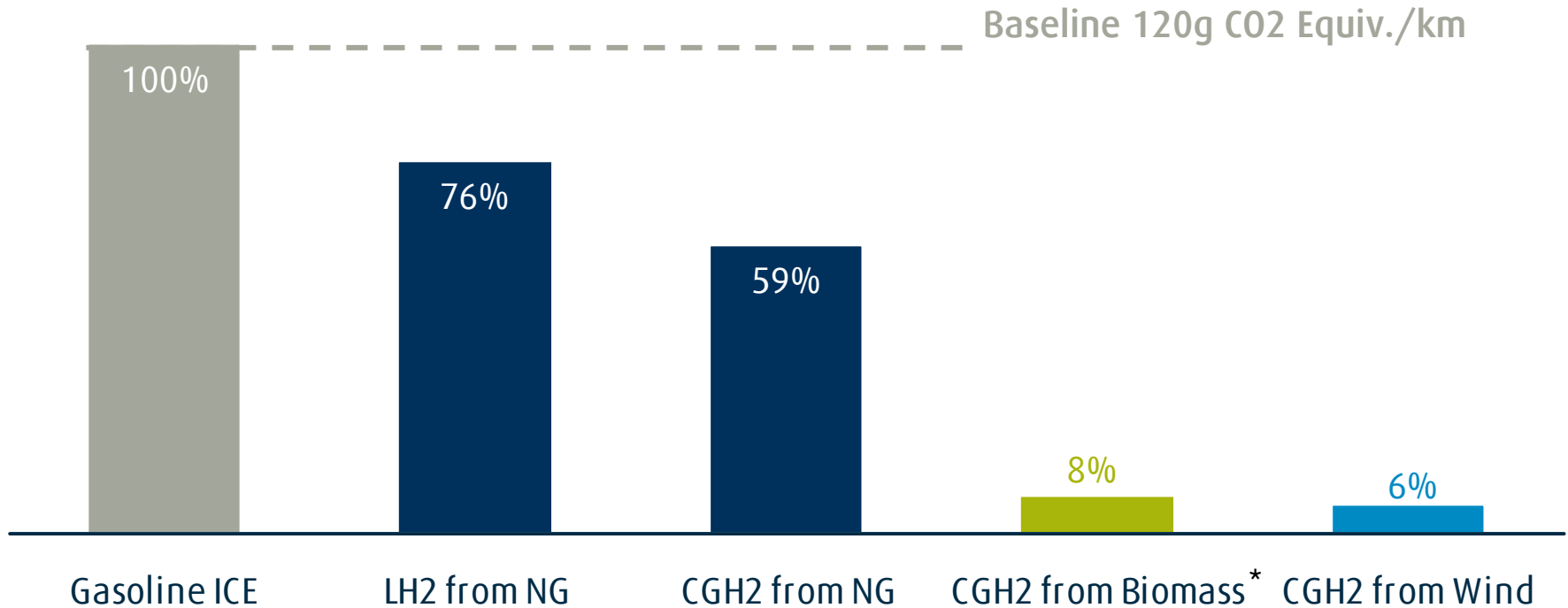
....

* Approximation

Die H2 Produktion kann diversifiziert werden: Konventionelle und erneuerbare Erzeugungspfade



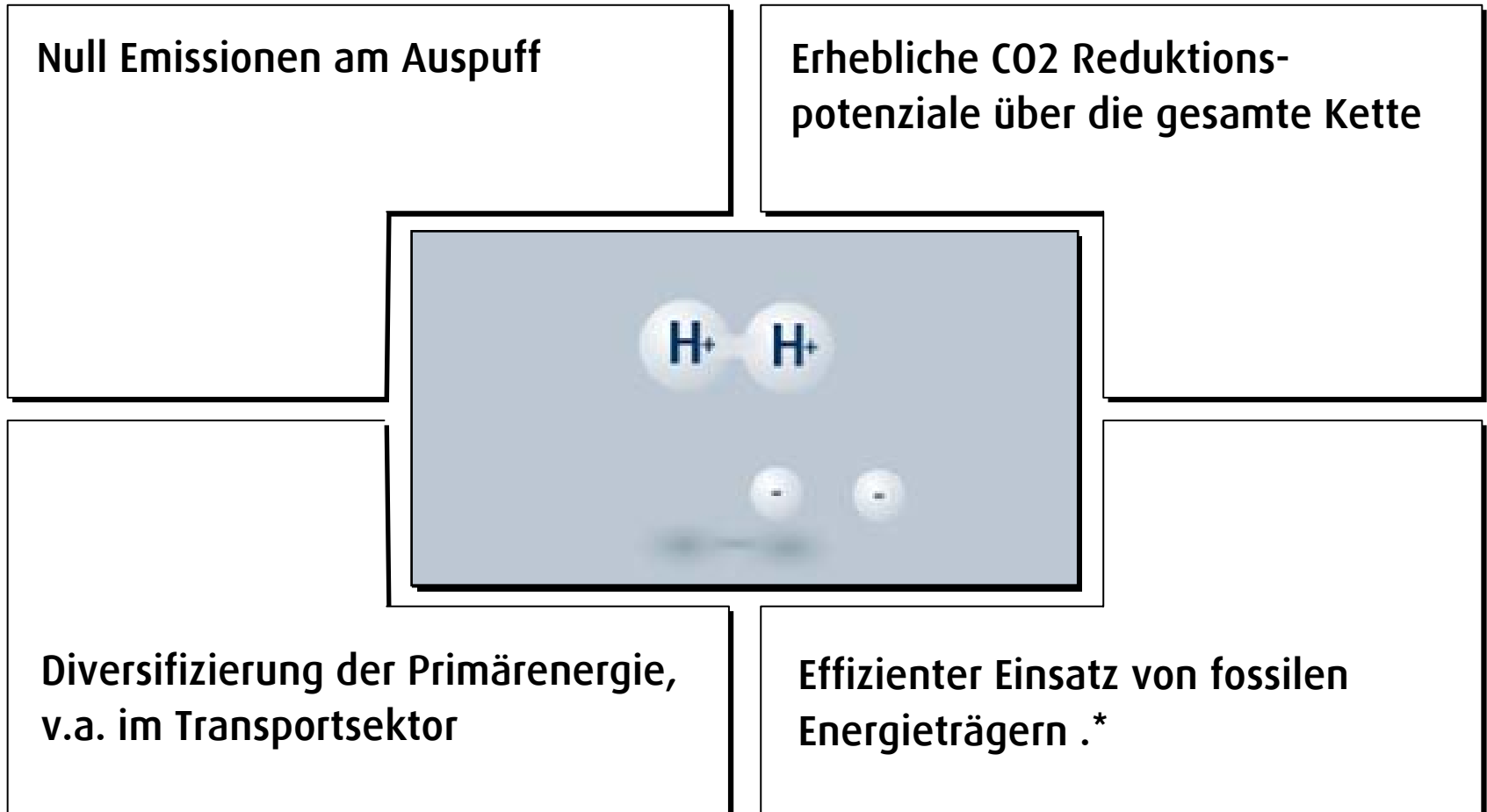
Comparison of CO₂ emission between different fuels, basis year 2010



* Biomass from waste wood gasification
³Source: CONCAWE, WTW and Internal Data

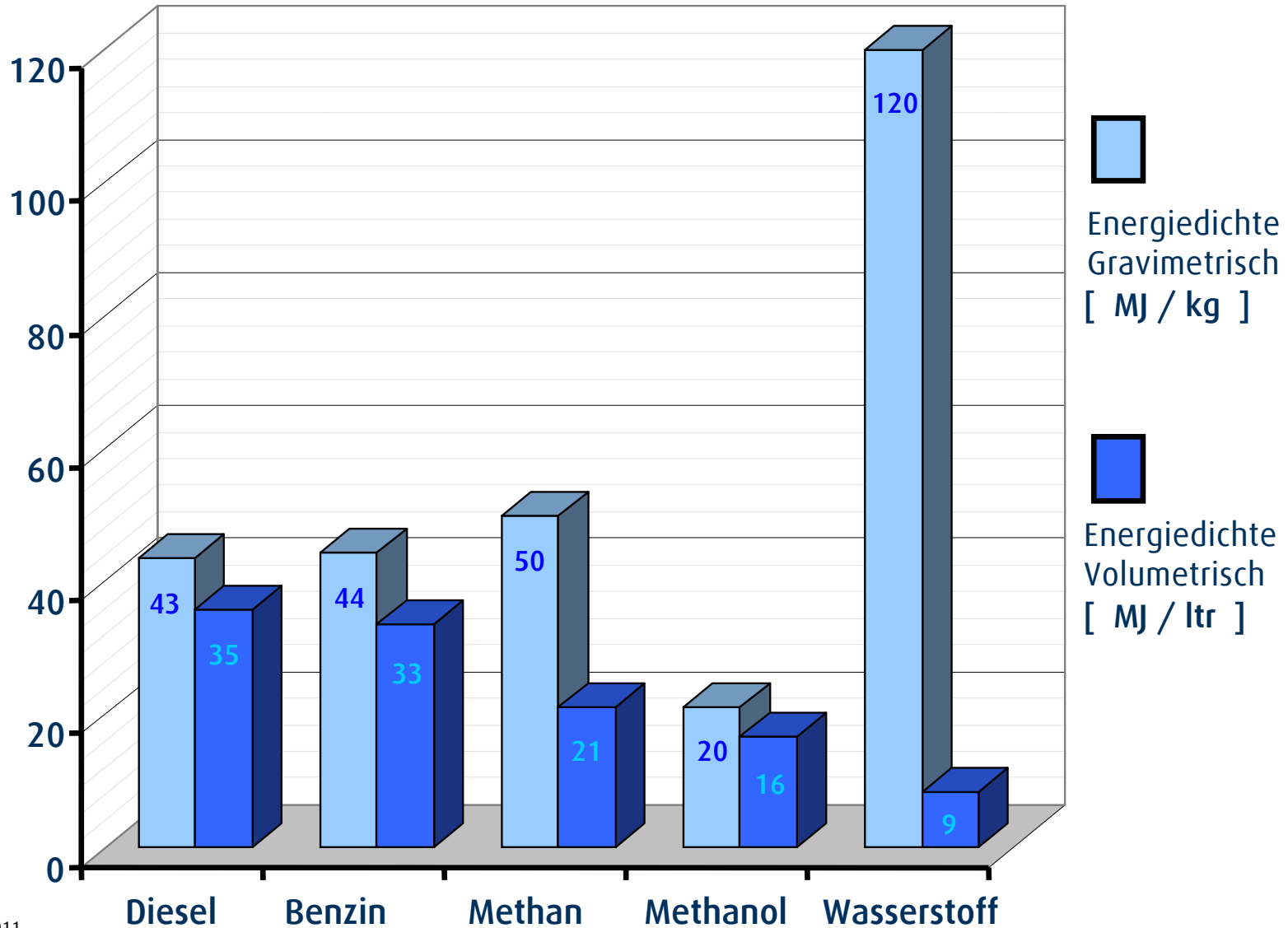
Warum Wasserstoff als Kraftstoff?

Wasserstoff bietet:



* 3/29/2011
Im Vergleich zu den konventionellen Antrieben.

Wasserstoff Energiedichte



Linde besitzt Wasserstoffkompetenz von der Herstellung bis zur Betankung

Production



Conventional
(eg SMR)



Green
(e.g., BTH)

Supply/Storage



CGH2 storage



LH2 storage

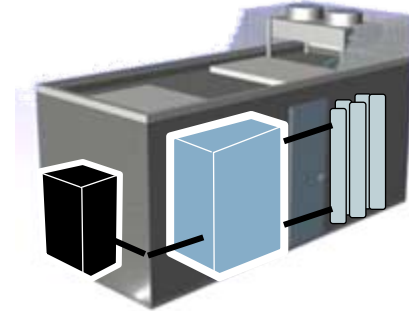


Onsite SMR



Onsite Electrolysis

Compression/Transfer



Ionic compressor



Cryo pump

Dispenser



350 bar



700 bar



Ionische Kompressor

- Durchsatz von 35 kg/h @ 900 bar¹
- Energieeinsparung von 25%²
- Geringe Anzahl bewegender Teile
- Reduzierte Abnutzung und Wartungsintervalle (Vier mal länger als bei herkömmlichen Systemen)
- Erfüllt den Industriestandard SAE 2601

¹ Für 1 System. Modularität erlaubt höhere Leistungen.
² Im Vergleich zu herkömmlichen Kolben-Kompressoren



Kryopumpe

- Durchsatz von bis zu 120 kg/h @ 900 bar
- Energieeinsparung von 70%²
- Wasserstoff mit höchster Reinheit
- Keine zusätzliche Kühlung
- Reduzierte Abnutzung und Wartungsintervalle
- Erfüllt den Industriestandard SAE 2601



Compression technology	Linde product lines	Min. ² /Max. inlet [bar]	Throughput standard/upgrade [kg/hr]	Max. pressure [bar]	700 bar	350 bar	≤ 350 bar	Liquid
Dry runner Lubricant free, dry running piston compression	→ Mini fueler 90	15/301	5.3/-	876	●	○	○	○
	→ Max fueler 90	26/301	10.7/-	901	●	○	○	○
	→ High flow fueler 43 ¹	26/301	22/-	439	○	●	○	○
	→ High flow fueler 83 ¹	400/400	100/-	831	●	○	○	○
Ionic compressor Ionic liquid as piston for compression	→ Ionic fueler 42	26/301	10.9/21.8	421	○	○	●	○
	→ Ionic fueler 45	26/301	10.9/21.8	451	○	●	○	○
	→ Ionic fueler 50	26/301	8.1/20.2	501	○	●	○	○
	→ Ionic fueler 90	5/301	36/-	901	●	○	○	○
Cryo pump Processes liquid hydrogen feed	→ Cryo pump 45	3/5 (liquid)	100/-	451	○	●	○	○
	→ Cryo pump 90	3/5 (liquid)	100/-	901	●	○	○	○
Other Diaphragm (membrane) compression	→ FuelH ₂ 45, custom-built	450	5.4/-	451	○	○	●	○
Overflow w/o compression	→ Fueling panel	300/300	varies/-	300	○	●	●	○
LH ₂ fuelling Liquid transfer pump and dispenser	→ LH ₂ M				○	○	○	●
	→ LH ₂ S				○	○	○	●

Hydrogen fuelling dispenser portfolio

	Name	Max. fuelling pressure [bar]	Max. inlet pressure	Temperature compensation	SAE 2601	IR Com	Max. flow rate [g/sec]
CGH ₂ dispenser	→ 25fork	312	420	yes	no	no	60
	→ 35HF	438	500	yes	no	no	up to 120
	→ 35A	438	500	yes	yes	yes/option	60
	→ 35B	438	500	yes	yes	yes/option	60
	→ 70A	875	900	yes	yes	yes	60
	→ 70B	875	900	yes	yes	yes	60
LH ₂ dispenser	→ LH2 A	10 (liquid)	5 (liquid)	yes	not applicable	yes (wired)	60

Referenzprojekte Automotive Linde Gas

THE LINDE GROUP

Linde





Individualverkehr



**ÖPNV
(Busse)**



Material Handling



**Maritime
Anwendungen**



**Not-Strom
Versorgung**



**Luftfahrt
Anwendungen**



**Stationäre KWK
Anlagen**



**PEM-Micro
Anwendungen**

PEMFC mit Wasserstoff

- höhere Effizienz
- beim Betrieb werden nur Wasser (H₂O) und Energie erzeugt
- Indoor-Betrieb problemlos
- Deckt alle Leistungsanforderungen der Klassen 1, 2, 3 und 6 ab
- Wasserstoff ist ungiftig (Fzg.-Einsatz im Lebensmittelbereich)
- Speicherung aufwändiger (geringere Dichte)

DMFC mit Methanol

- geringere Effizienz
- beim Betrieb wird als Abgas CO₂ erzeugt
- damit Indoor-Betrieb eingeschränkt
- Für kleine Leistungen bis max. 1 kW prädestiniert
- Methanol ist toxisch
- einfacher speicherbar

WalMart - Washington Court House, OH



- § 66 FLT's – 63 Dry Side, 3 Freezer
- § 2 x 250 bar dispensers
- § 7,500 Gallon LH2 tank
- § Start of Operation: July 2008
- § Number of Fuelings: >75.000

SYSCO – Grand Rapids, MI



- § 15 FLT's – All Dry Side
- § 1 X 250 bar dispenser
- § Tube Trailer Supply
- § Start of Operation: March 2008
- § Number of Fuelings: > 20.000

Flurförderzeug Projekte in den USA





- First Implementation of Ionic Compressor in RNA
- Phase I encompasses 85 FLT's
- Phase II encompasses 105 FLT's
- Reformation of Landfill Gas to GH₂ in 2012-2013



Summary - US projects

THE LINDE GROUP

Linde

- 10-12h Betrieb ohne Nachtanken
- Seit 2004 mehr als 140.000 Betankungen durchgeführt, ca. 40.000 weitere pro Jahr
- 1.300.000 Betriebsstunden der BZ-Fahrzeuge
- 120.000kg Wasserstoff vertankt
- Derzeit 15 Fabriken in Betrieb bzw. in Umstellung
- Fahrzeugklassen 1, 2 und 3
- Zwischen 20 und 200 Fahrzeugen



Lessons learnt - US projects

FLT value proposition

- FC powered FLT with **TCO advantages** under certain operational parameter, e.g., long usage hours (2 shifts, 365 days), big fleets (>20 FLT), one or few fuelling points etc.
- Driver of TCO cost advantage:
 - Increased availability and **higher throughput** (labour efficiency)
 - **No battery room** (space, capital, labour and emissions)
 - **No spare batteries** (capital)
 - **Ease of refueling** versus recharging batteries (labour)
 - Marketing of **green operation** (image)
 - Increased **safety** (site and worker fatigue)



Linde Wasserstofftankstellen in FFZ-Projekten - Deutschland

THE LINDE GROUP

Linde



1 Forklift truck
@ HHLA, Hamburg



2 Forklift trucks
@ Linde Hydrogen Center, Munich



2 Tractors
@ Hamburg Airport

1 Forklift truck, 1 Reach truck
@ BASF, Münster



Das Henne-Ei Problem

THE LINDE GROUP

Linde



Anforderungen an Tankstellen für Flurförderzeuge

THE LINDE GROUP

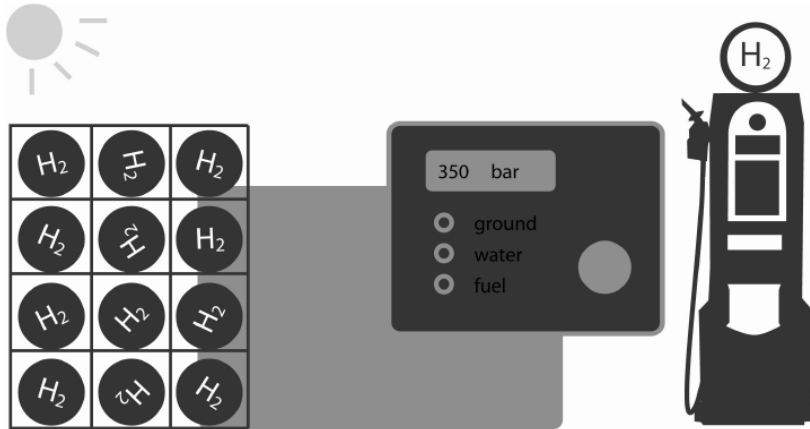
Linde

- Sicherheit, Sicherheit, Sicherheit
- Hohe Verfügbarkeit
- Einfaches bedienerfreundliches Handling
- Kurze Betankungsdauer, z.B. 2kg H₂ / 5-10 min.
- Standardisierte Wasserstoffqualität
- Skalierbarkeit
- Zukunftssicherheit



4 Szenarien zur H₂-Betankung von Flurförderzeugen

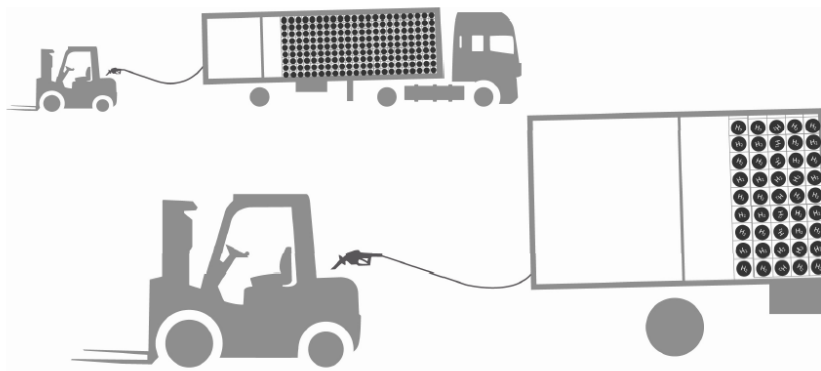
Modular Design



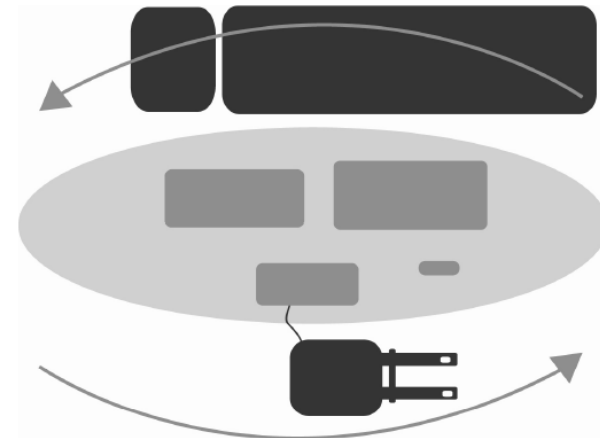
Cylinders



Refuelling Trailer



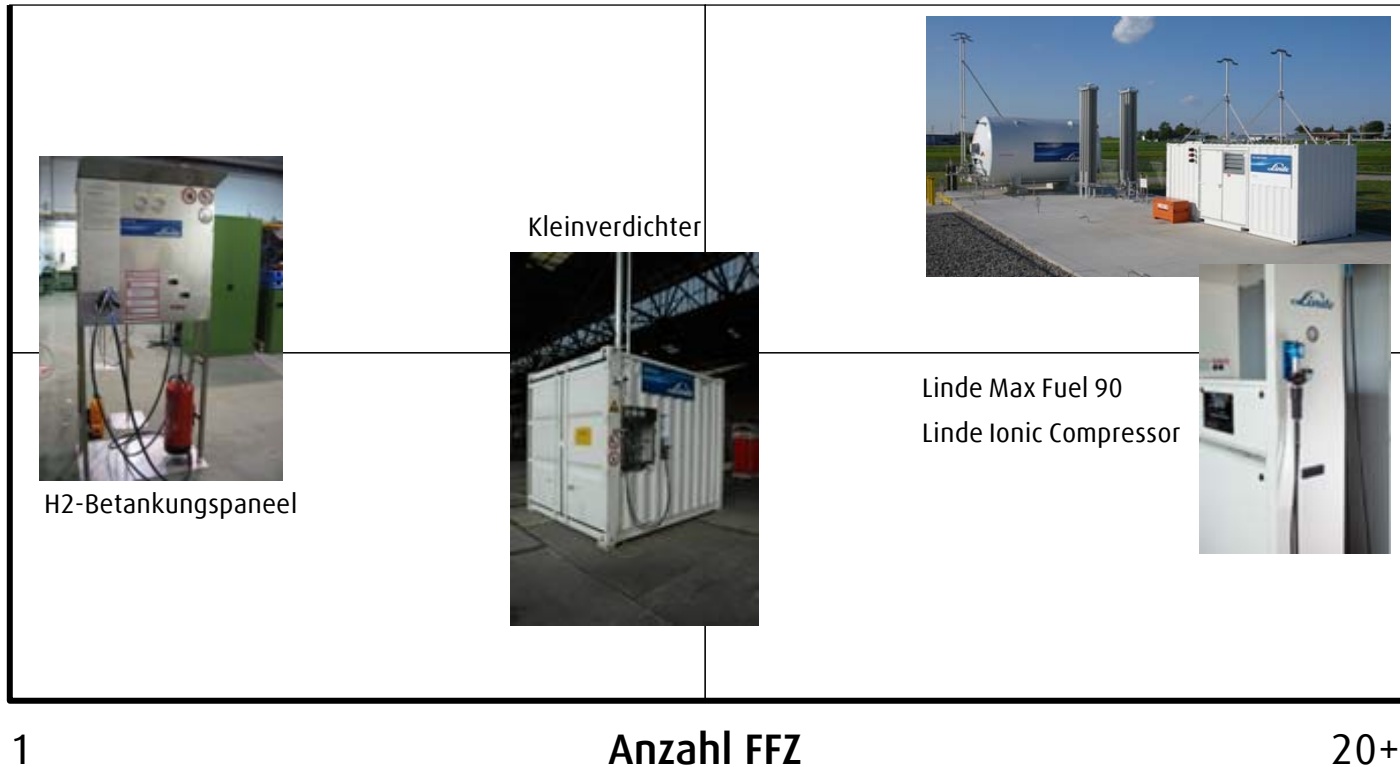
Refuelling Island



wirtschaftlich

Kosten

demonstrativ

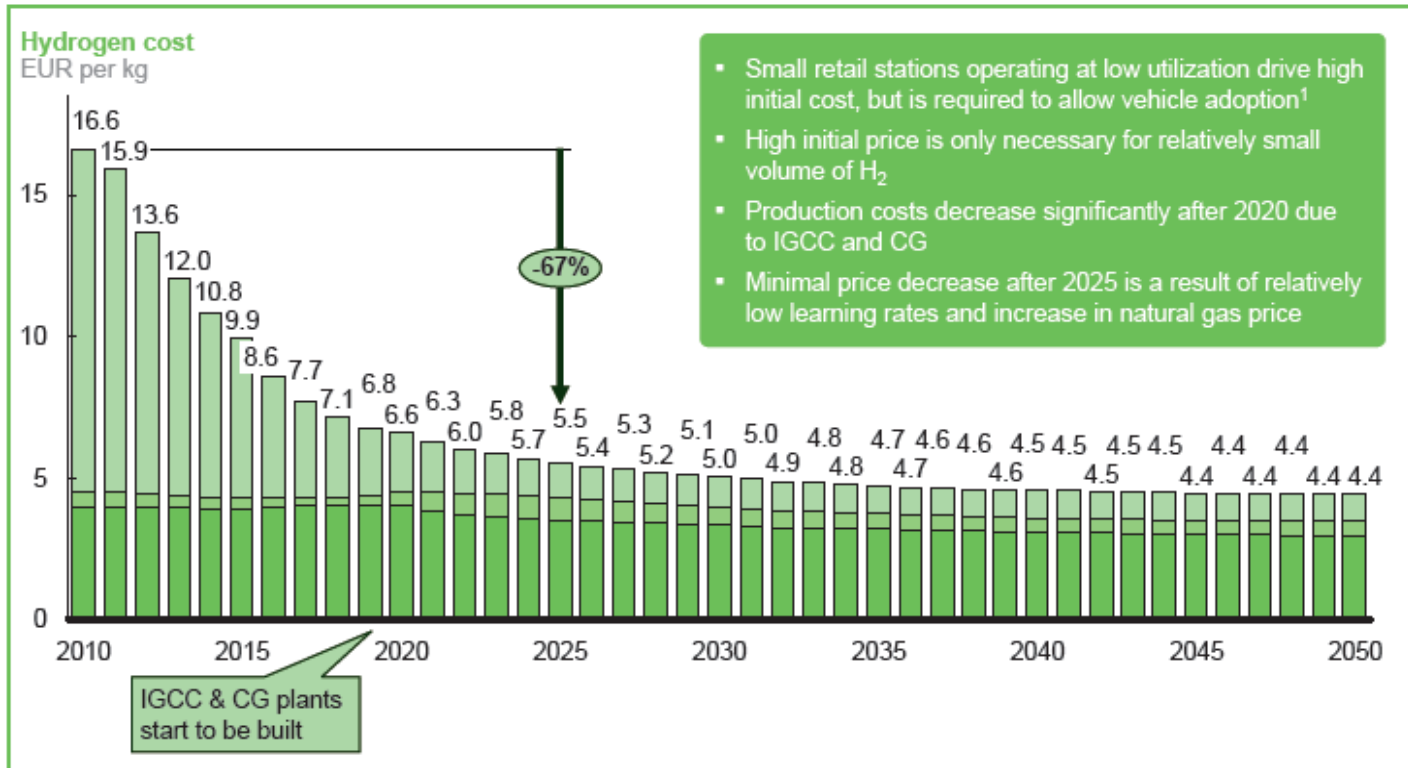


Projektsponsor aus dem Management?

Grüne Logistik: Sein oder sein wollen?

Delivered at pump, w/o taxes/excises

■ Retail ■ Distribution ■ Production

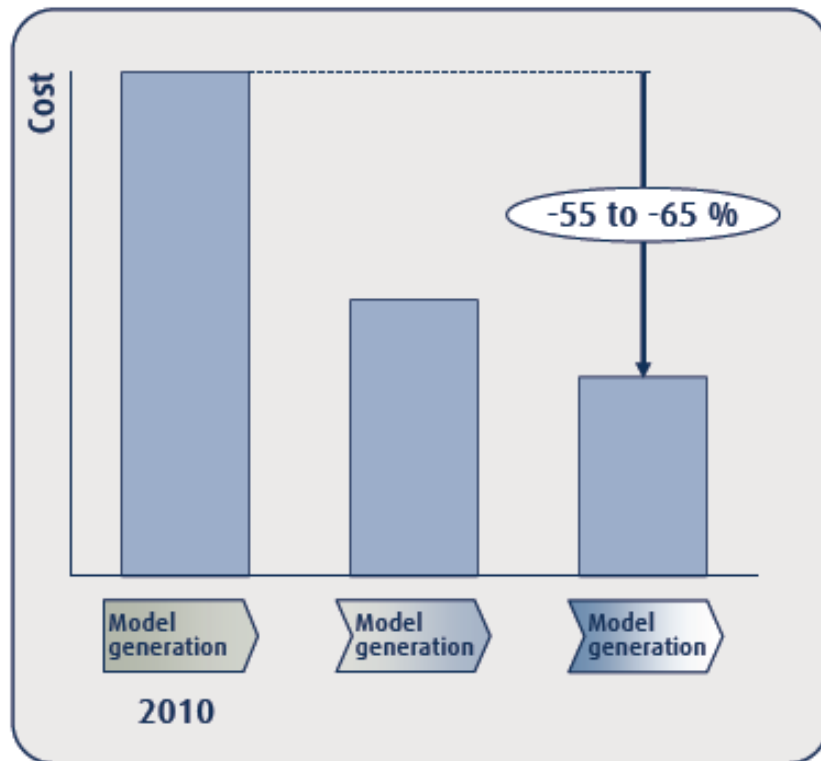


¹ Coverage requirement sets area and retail station density requirements for vehicle adoption

SOURCE: Study analysis

Exhibit 27: The cost of hydrogen reduces by 70% by 2025, then stays relatively flat (excluding taxes and incentives)

Cost reduction H2 refueling stations (Source: internal)



Drivers for cost reduction:

- Standardization of H2 refueling station performance
- Introduction of new technology
- Process intensification and industrialization
- Better utilization of HFS has significant influence on HFS TCO as well

Vorteile

- **Hohe Flexibilität bei Eingangsdrücken**

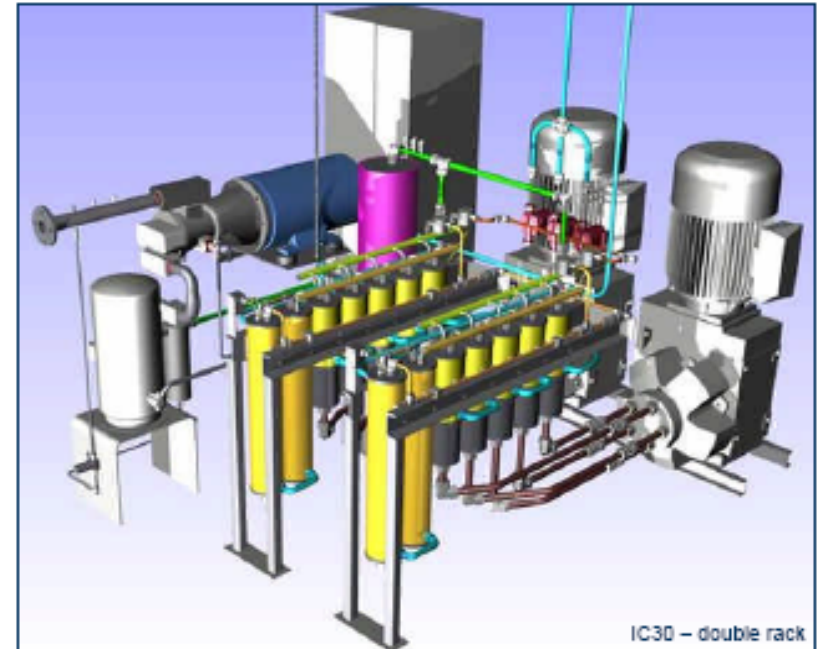
Durch einen CNG- Schraubenverdichter als Vorverdichter sind variable Eingangsdrücke von 0,05 bis 10barg möglich.

- **Energieeffizient**

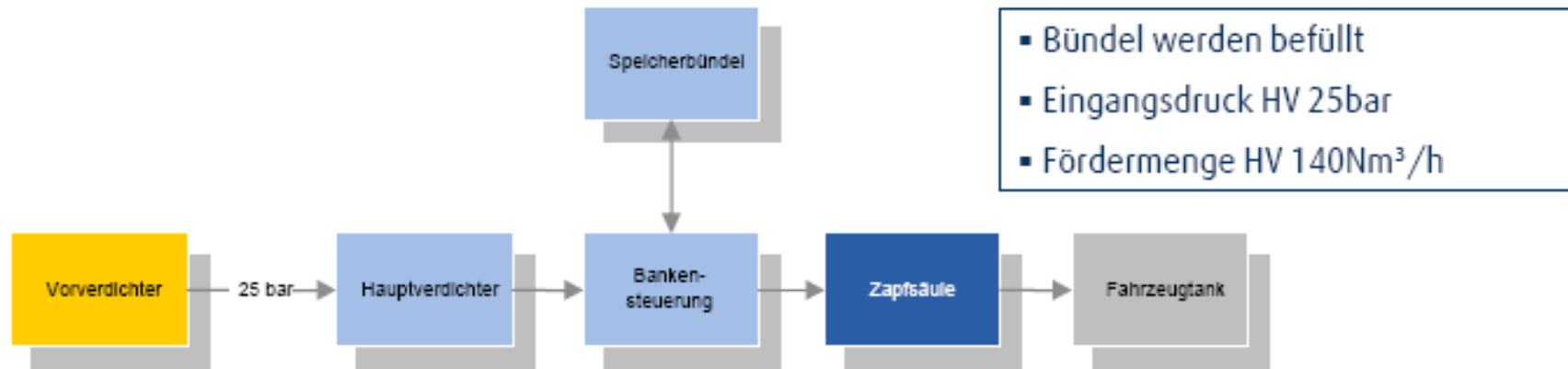
Aufgrund niedriger Verdichtertemperatur und Wegfall des Tot-Volumens effizientester Verdichter am Markt. Sehr nahe an der Isothermen Verdichtung (140°C Gastemperatur am Ausgang der letzten Stufe)

- **Boosterfunktion**

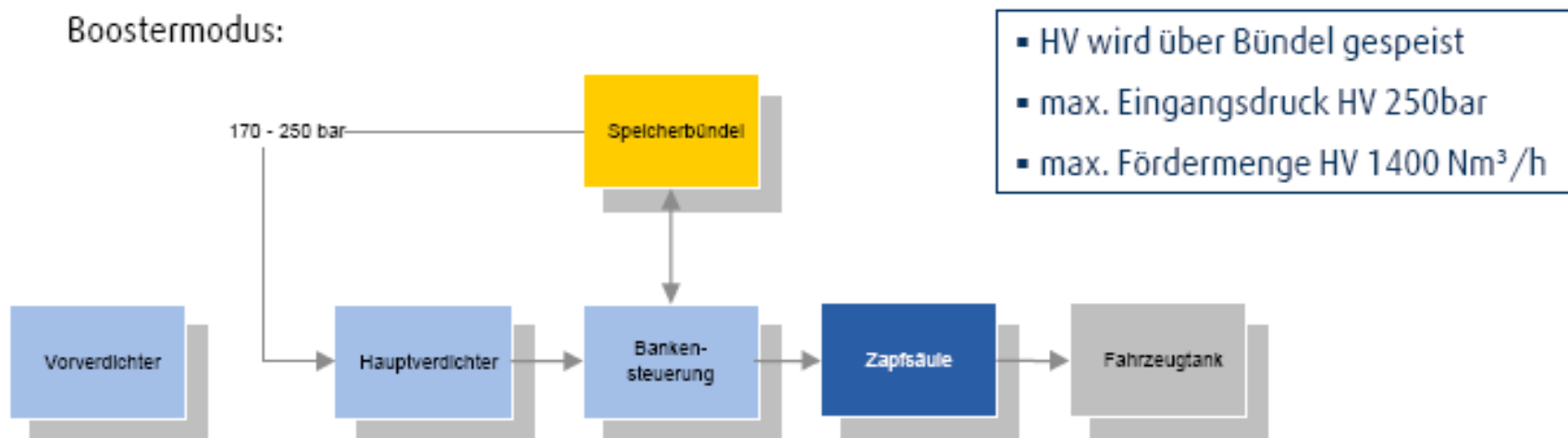
Bei Betankungsspitzen können Speicherbündel mehr ausgenutzt werden- Erklärung folgt



Füllbetrieb:



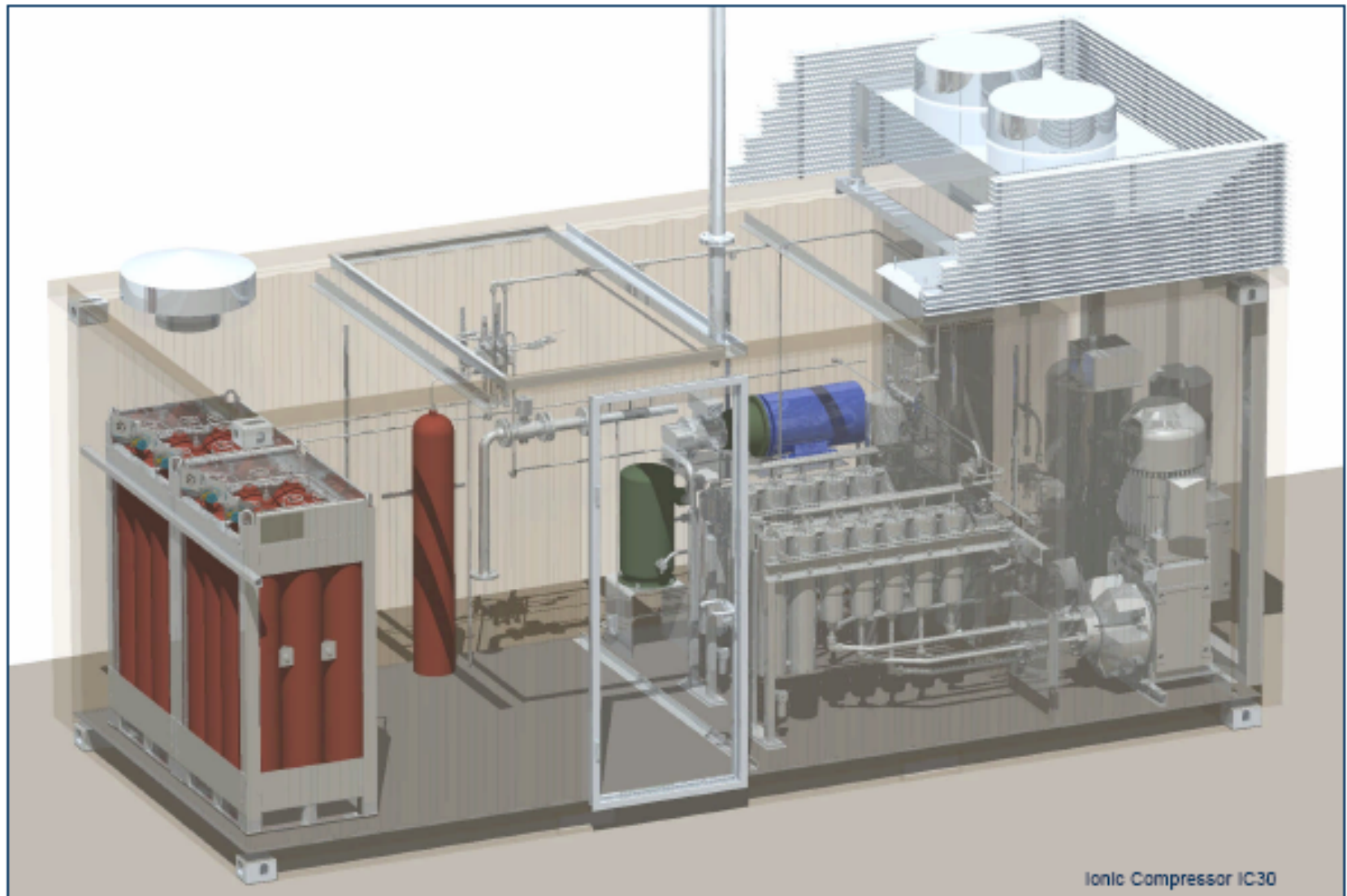
Boostermodus:



Ionischer Verdichter

THE LINDE GROUP

Linde



Ionic Compressor IC30

- Wir beherrschen die Wasserstofftechnologie bereits heute:
Produktion, Speicherung, Betankung und Verbrauch in Brennstoffzellensystemen sind Realität
- Erzeugung von „grünem“ Wasserstoff zu wirtschaftlichen Kosten
- Senkung der Investitionskosten
- Reduzierung der Reinheitsforderung für H₂ in Flurförderzeugen
- Wirtschaftliche und politische Randbedingungen



THE LINDE GROUP

Linde

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Jörg Hilker

0211-7481-175

joerg.hilker@de.linde-gas.com