

---

**Dr. Hartmut Krause, Gert Müller-Syring**

## **Integration von Wasserstoff in das Erdgasnetz Power-to-Gas – die Energiespeicherung der Zukunft**

4. Sächsische Brennstoffzellentag  
Leipzig, 10. November 2011

## Unternehmen und Standorte



### Standort Leipzig

DBI Gas- und  
Umwelttechnik GmbH

Karl-Heine-Straße  
109/111  
D-04229 Leipzig



### Standort Freiberg

DBI – Gastechnologisches  
Institut gGmbH Freiberg  
(100 % Tochter der GUT)

Halsbrücker Straße 34  
D-09599 Freiberg



# Fachgebiete und Leistungsportfolio

Engineering und  
Planung

Gasanalytik und  
Gasmessung

Beratung



Aus- und  
Weiterbildung

Industrielle Forschung  
und Grundlagenforschung

Prüfung, Gutachten  
und Zertifizierung

## Geplante Veranstaltungen des DBI in 2012

---

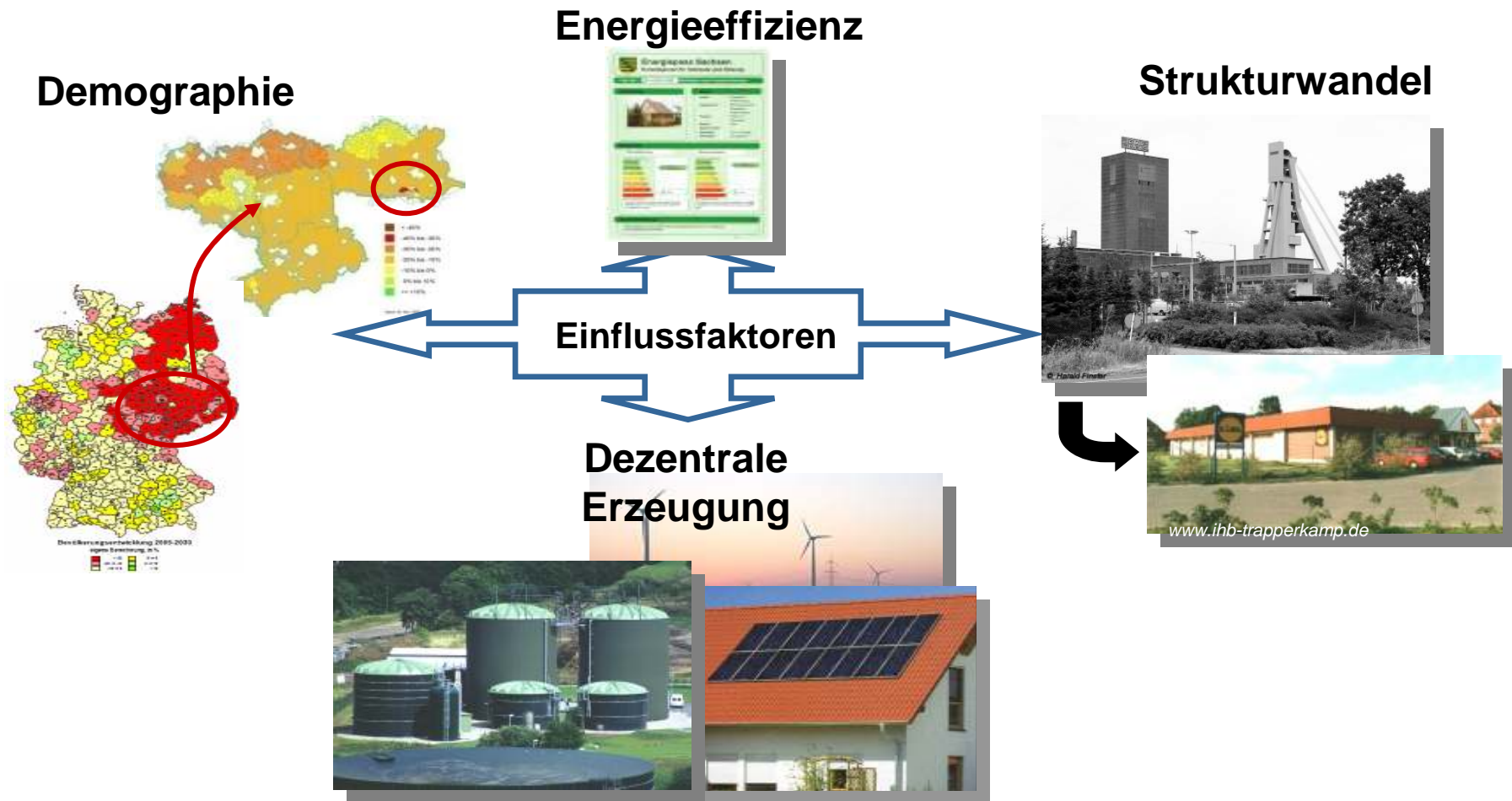
- Biogas-Rechtsseminar  
(2012, Leipzig)
- Biogas-Intensivtraining  
(2012, Hannover bzw. Frankfurt)
- **DBI Fachforum – Kraftwärmekopplung  
(8.-9. Mai 2012, Berlin)**
- **DBI Fachforum – Untergrundspeicherung  
(19.-20. Juni 2012, Berlin)**
- **DBI Fachforum – Energiespeicher  
(11.-12. September 2012, Berlin)**
- DBI Fachforum – BIOGAS  
(6.-7. November 2012, Leipzig)

- 
- Motivation
  - Potenzial des Gasnetzes
  - Wasserstoff und Energiespeicherung
  - Einfluss von Wasserstoff auf die bestehende Erdgasinfrastruktur
  - Einfluss auf Gaskennwerte
  - Historische Erfahrungen mit Wasserstoff
  - Fazit

# MOTIVATION

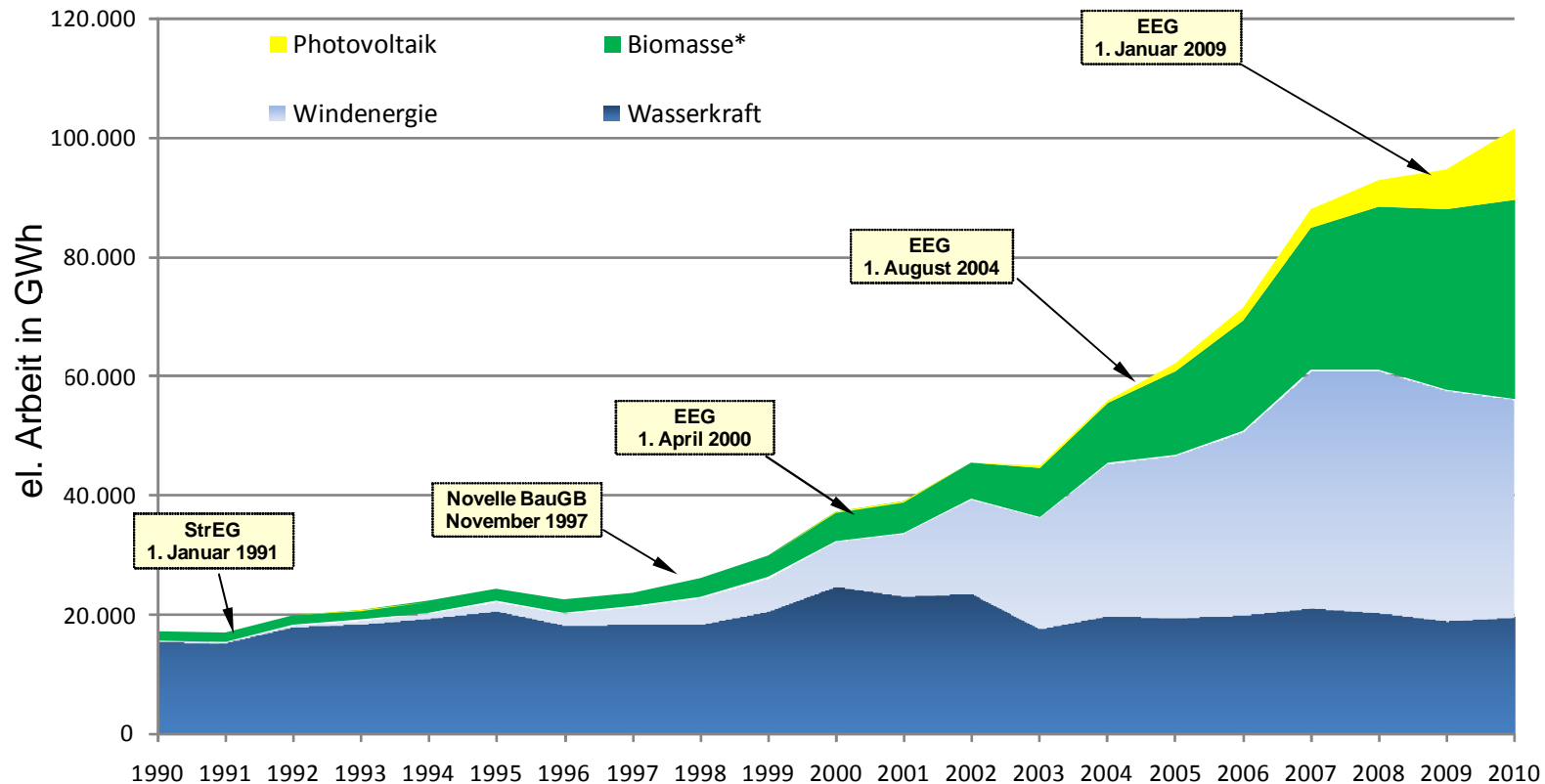
## ZUR EINSPEISUNG VON EE-WASSERSTOFFS

# Motivation - Strukturwandel



# Neue Anforderungen an Transport- und Verteilungsnetze

## Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien



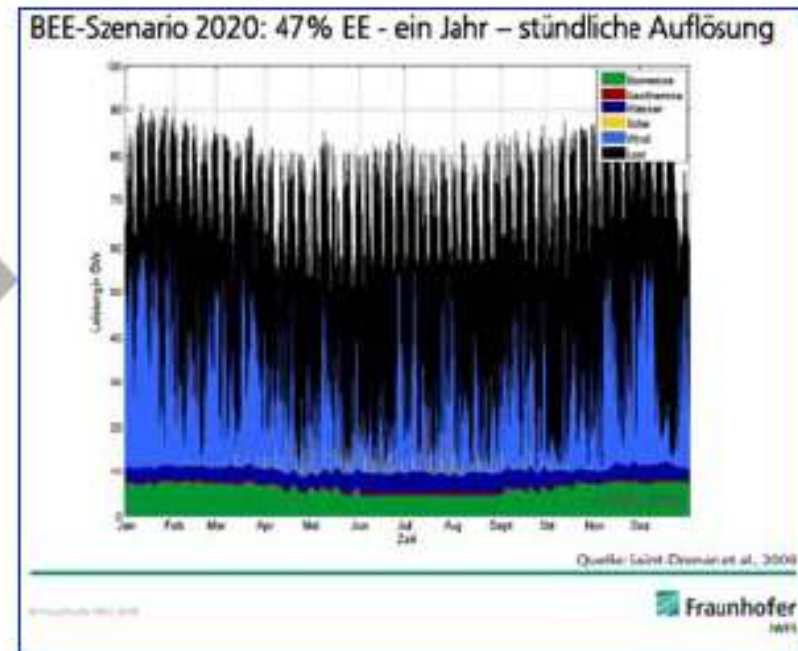
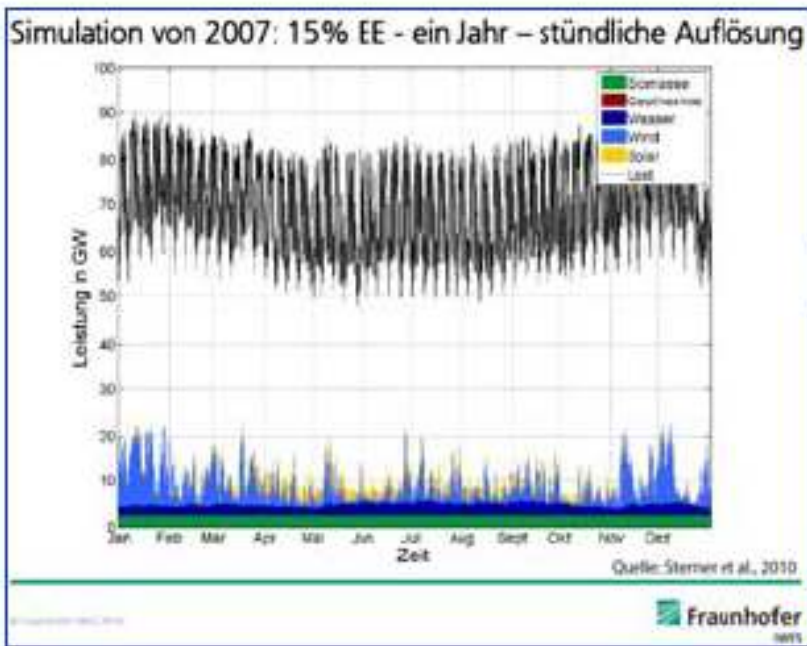
\*feste, flüssige, gasförmige Biomasse, biogener Anteil des Abfalls, Deponie- und Klärgas  
 Geothermie nicht dargestellt (Anteil 2010: 27,2 GWh)

Abkürzungen: StrEG - Stromeinspeisegesetz; BauBG - Baugesetzbuch; EEG - Erneuerbare-Energien-Gesetz  
 Quelle: BMU nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik Stand: März 2011

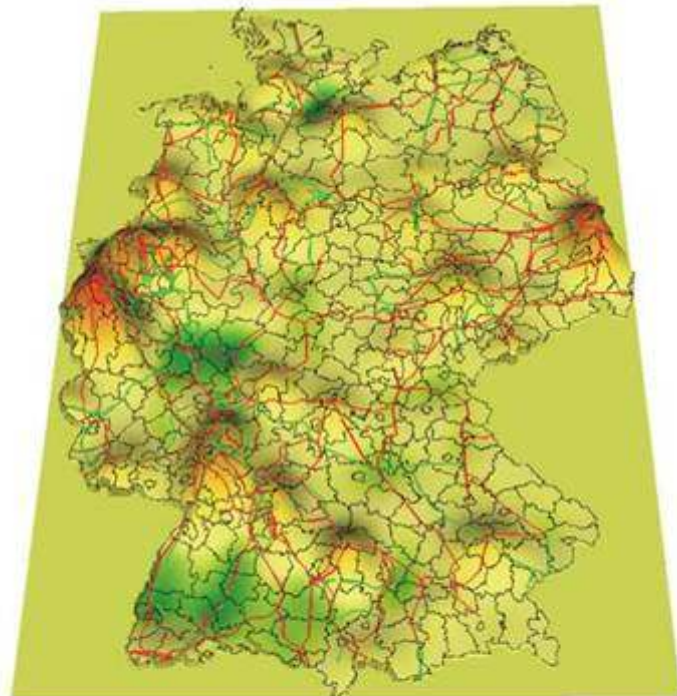
# Problem – Volatilität der EE-Stromquellen Wind und PV

Installierte Windleistung				
Jahr	2010	2020	2030	2050
GW	27	42	60	86-100

Quellen: dena-Studie PSW-Integration 2007/2008 et alias

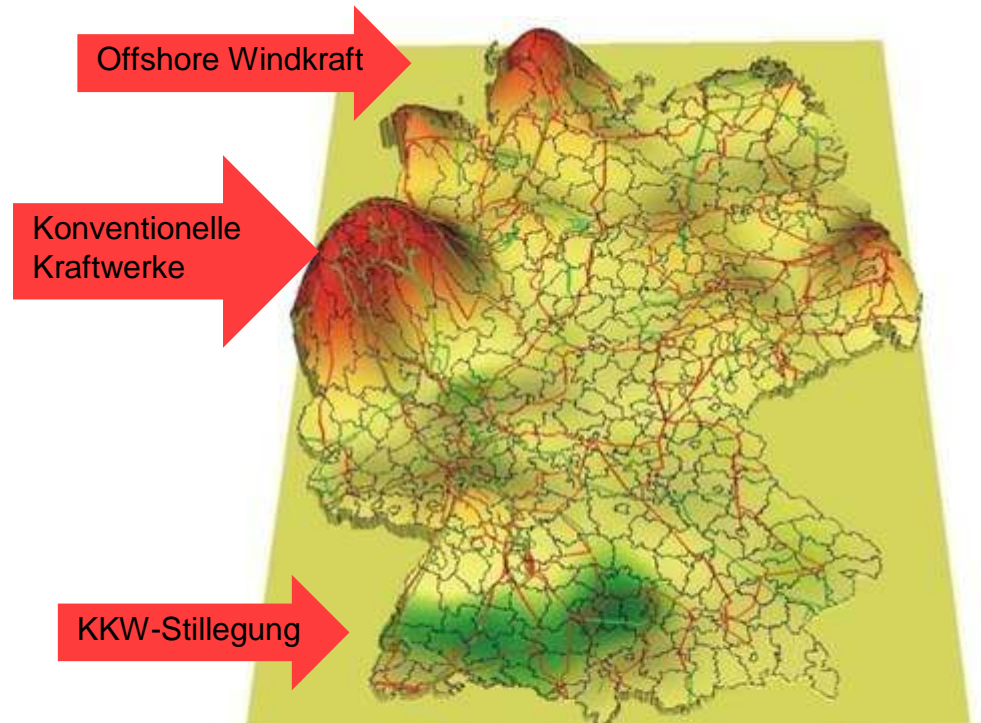


# Motivation – regionale Leistungsbilanz



Leistung [MW]

Regionale Leistungsbilanz 2008

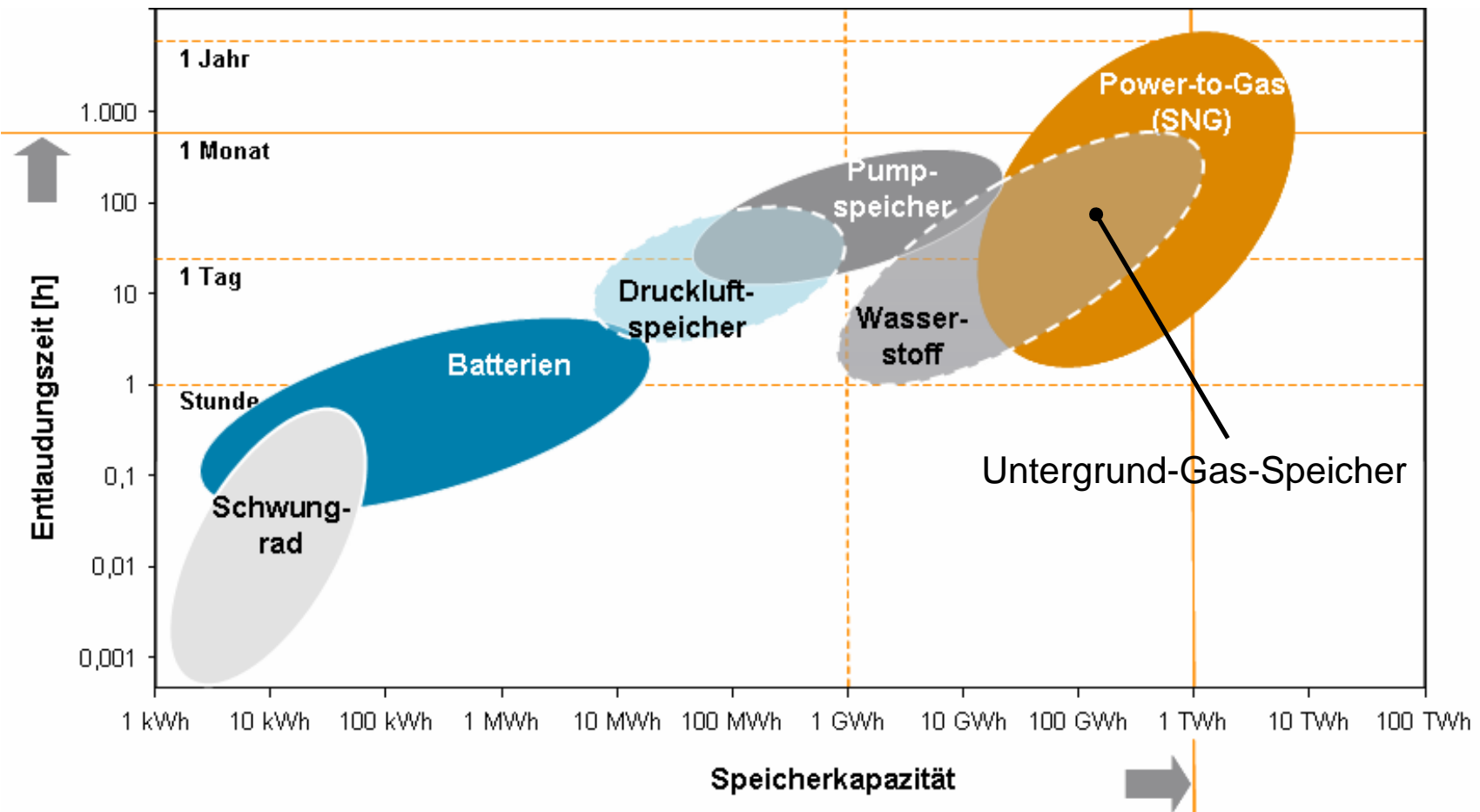


Leistung [MW]

Regionale Leistungsbilanz 2030

Quelle: RWE Transportnetz Strom anl. FWEW Fachtagung 2009

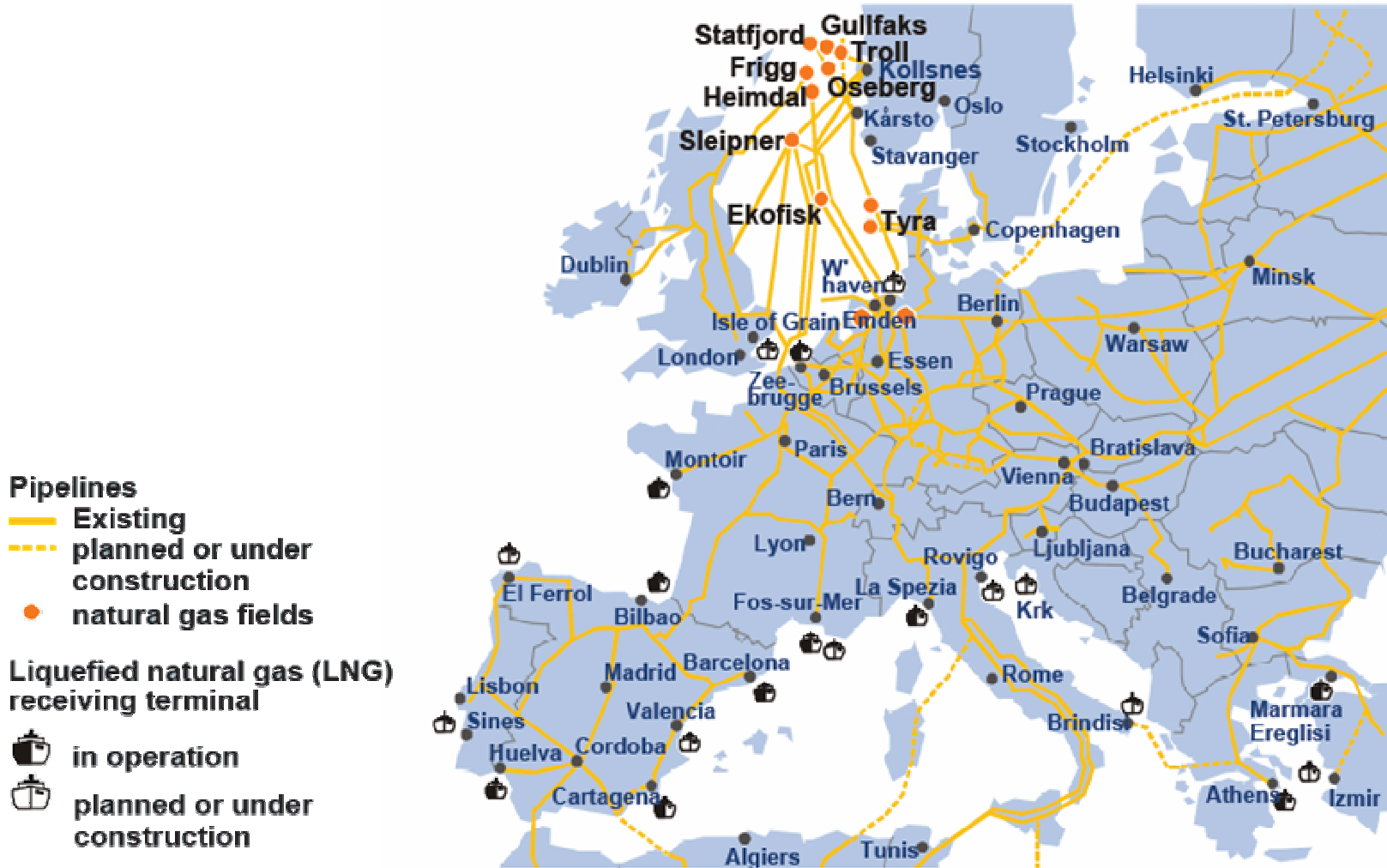
# Energiespeicher - Performance



Quelle: Sterner, 2009; Specht et al, 2010

Potenzial des  
**GASNETZES**

# Erdgasleitungsnetz in Europa



[1]

- Gesamtlänge des Gasnetzes (EU 25) ca. 1,8 Mio. km [2]
  - Transportleitungen ca. 200.000 km
  - Verteilungsleitungen ca. 1.600.000 km
- Wiederbeschaffungswert für Rohrleitungen ca. 500 Mrd. EUR (Schätzung)
- 120 Erdgasspeicher in EU 25 [2]
- 102 Mio. Kunden in EU 25 [2]
- **Vorteile:** Bestehende, sichere, zuverlässige und langlebige Infrastruktur, deren Nutzung für Transport und Verteilung von gasförmigen erneuerbaren Energieträgern ressourcenschonend und wirtschaftlich wünschenswert ist.

# Erdgasleitungsnetz in Deutschland

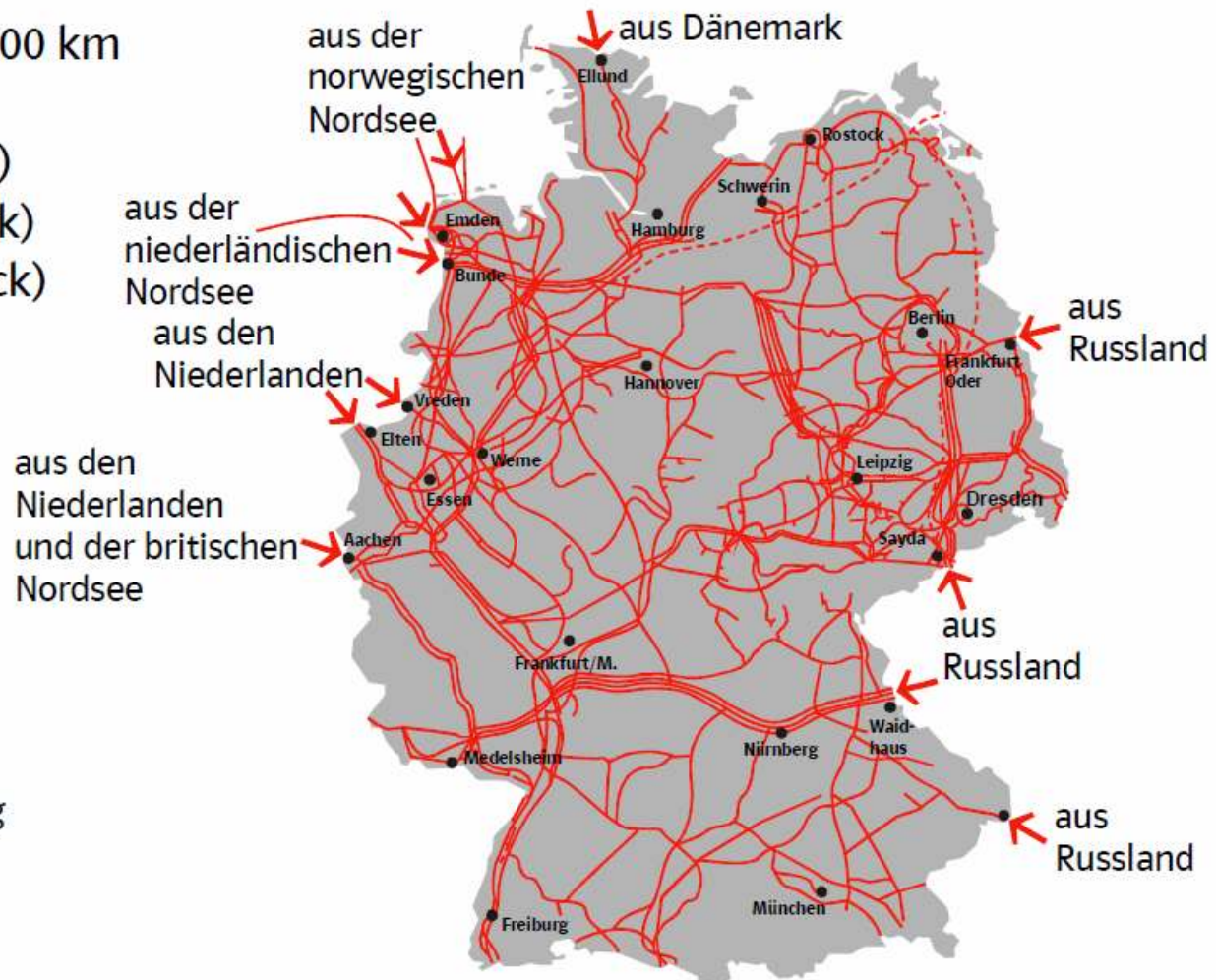
Gesamtlänge 2009: 445.000 km

davon ca. 80% innerorts

- 112.000 km (Hochdruck)
- 193.000 km (Mitteldruck)
- 140.000 km (Niederdruck)

Erdgasleitungen

- vorhanden
- - - in Bau oder Planung
- ➔ Erdgasimportstelle



Quelle: E.ON Ruhrgas, BDEW, GWF 6/2011

## Erdgasspeicher in Deutschland

47 Untergrundgasspeicher  
davon

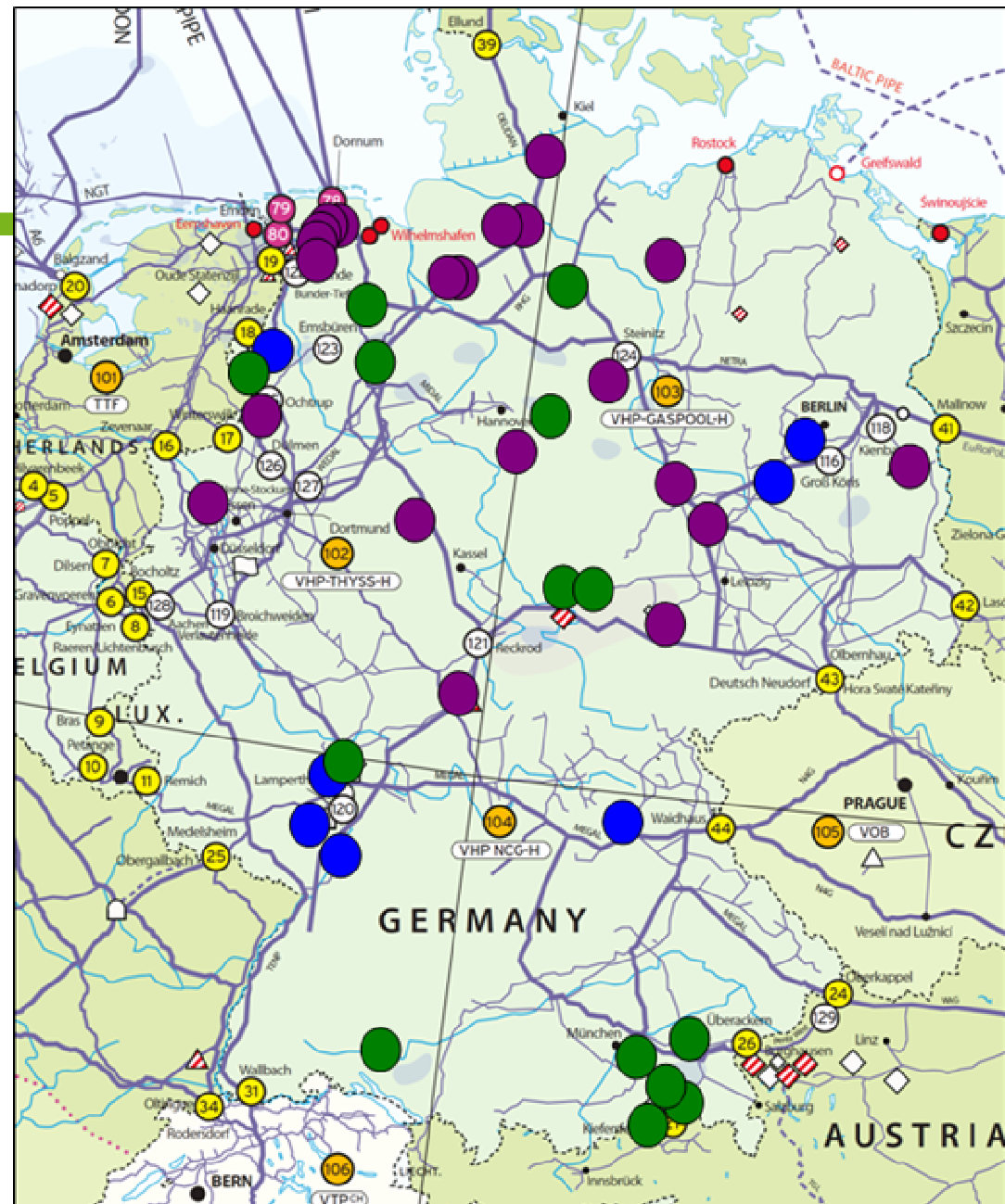
23 Porenspeicher

- ehem. Gaslagerstätten (grün)
- Aquiferspeicher (blau)

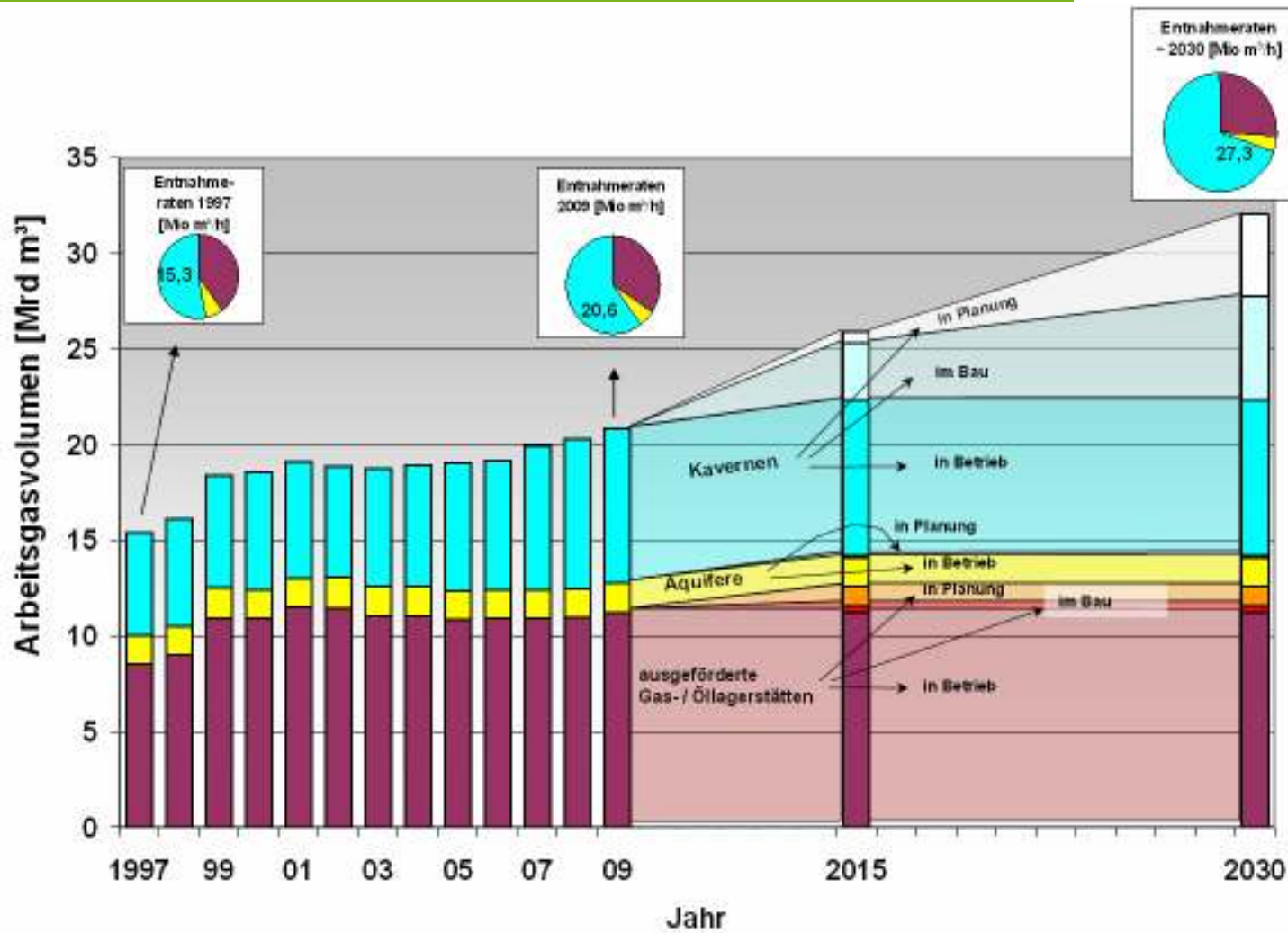
24 Kavernenspeicher  
(violett)

Speichervolumen 2010  
21,3 Mrd m<sup>3</sup>  
ca. 25 % der jährl.  
verbrauchten  
Erdgasmenge

Quelle: GSM 2010

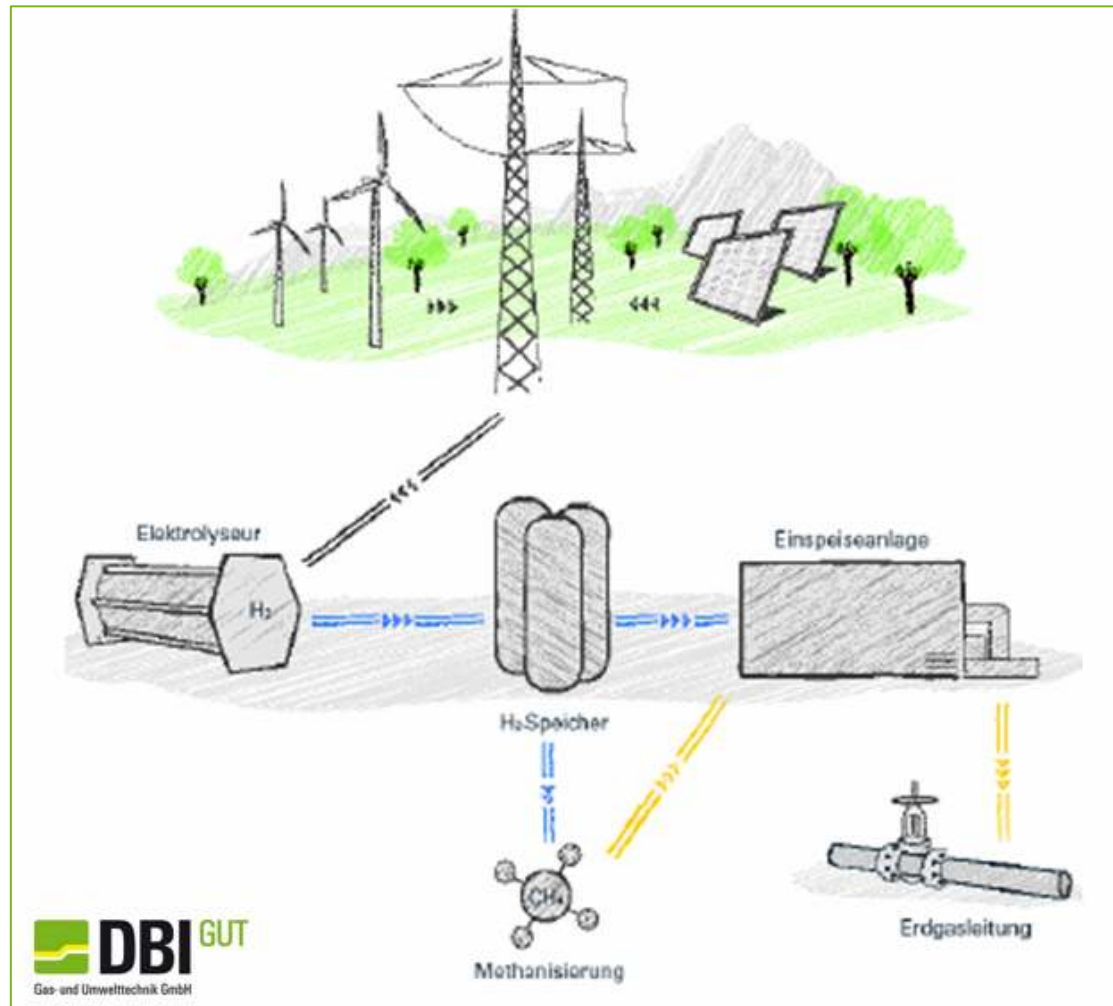


# Entwicklung der Erdgasspeicher in Deutschland



# Wasserstoff und **ENERGIESPEICHERUNG**

# Energiespeicherung – Konzepte



# Energiespeicherung – Potenziale verschiedener Pfade

Annahme: Speicherung von 10% des erw. Tagesertrages Windstrom 2030  
Entspricht: Sommer- (24 GWh) und Wintertag (100 GWh)

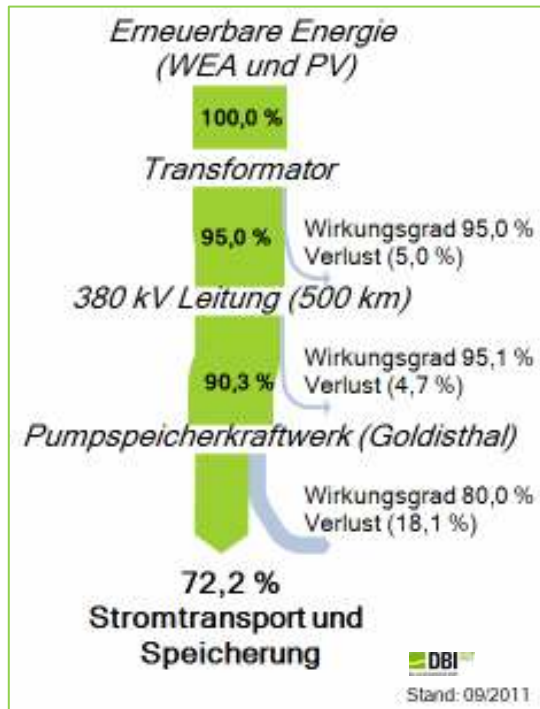
	Elektroauto „V2G“	Pumpspeicher „Goldisthal“	Wasserstoff- Elektrolyseur	Gas- tankstellen
<b>Speicherkapazität</b>	30 kWh/PKW	8,5 * 10 <sup>6</sup> kWh/PSW	5 kWh/m <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	<b>F&amp;E- Bedarf</b>
<b>Aufnahmeleistung</b>	4-6 kW/PKW	500 MW/PSW	5 MW/Elektrolyseur **	
<b>Wintertag</b>	4,2 Mio. PKW *	ca. 12 PSW ***	ca. 830 Elektrolyseure 20 Mio. m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> (5,3 Vol.-% Zumischung)	
<b>Sommertag</b>	1 Mio. PKW *	ca. 3 PSW ***	ca. 200 Elektrolyseure 4,8 Mio. m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> (2,8 Vol.-% Zumischung)	

\* PKW, die gleichzeitig verfügbar sein müssen, \*\* Beispielanlage, \*\*\* Goldisthal, Füllstand 0 %

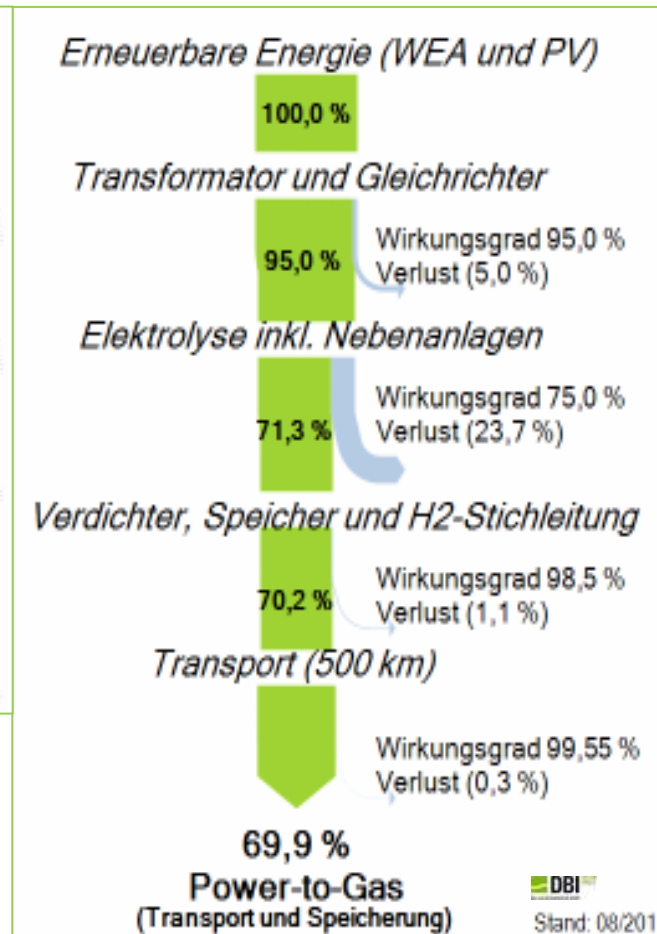
Hinweis: Für Demoanlagen und Abschätzung der tatsächlichen Potenziale sind konkrete Standortbetrachtungen erforderlich

# Energiespeicherung – Wirkungsgrade von Speicherpfaden vom Windstrom zur Nutzenergie

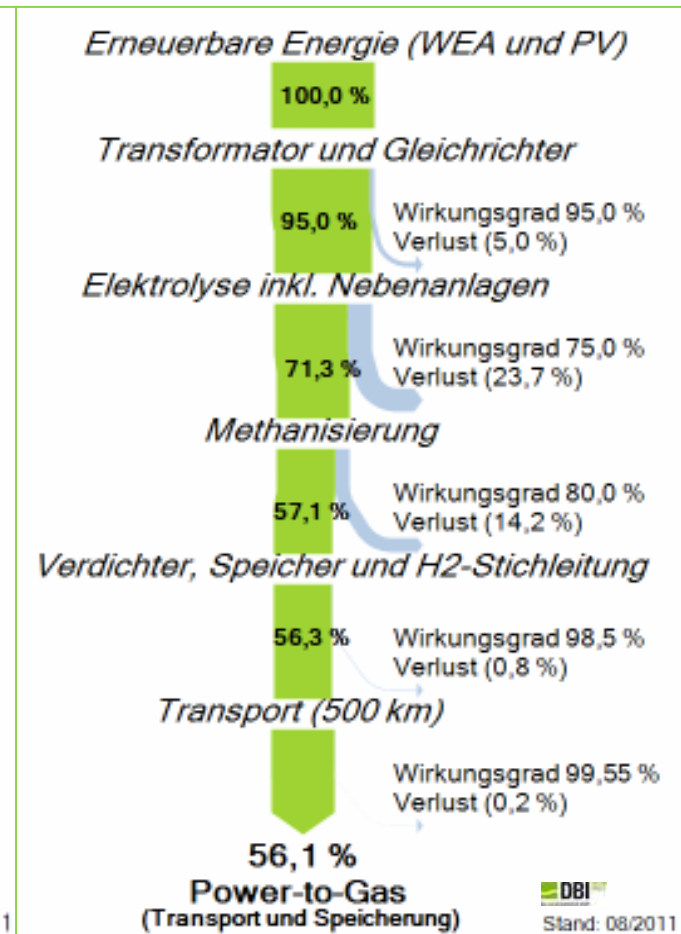
## Stromtransport



## Power-to-Gas „H<sub>2</sub>“






## „Power-to-Gas CH<sub>4</sub>“



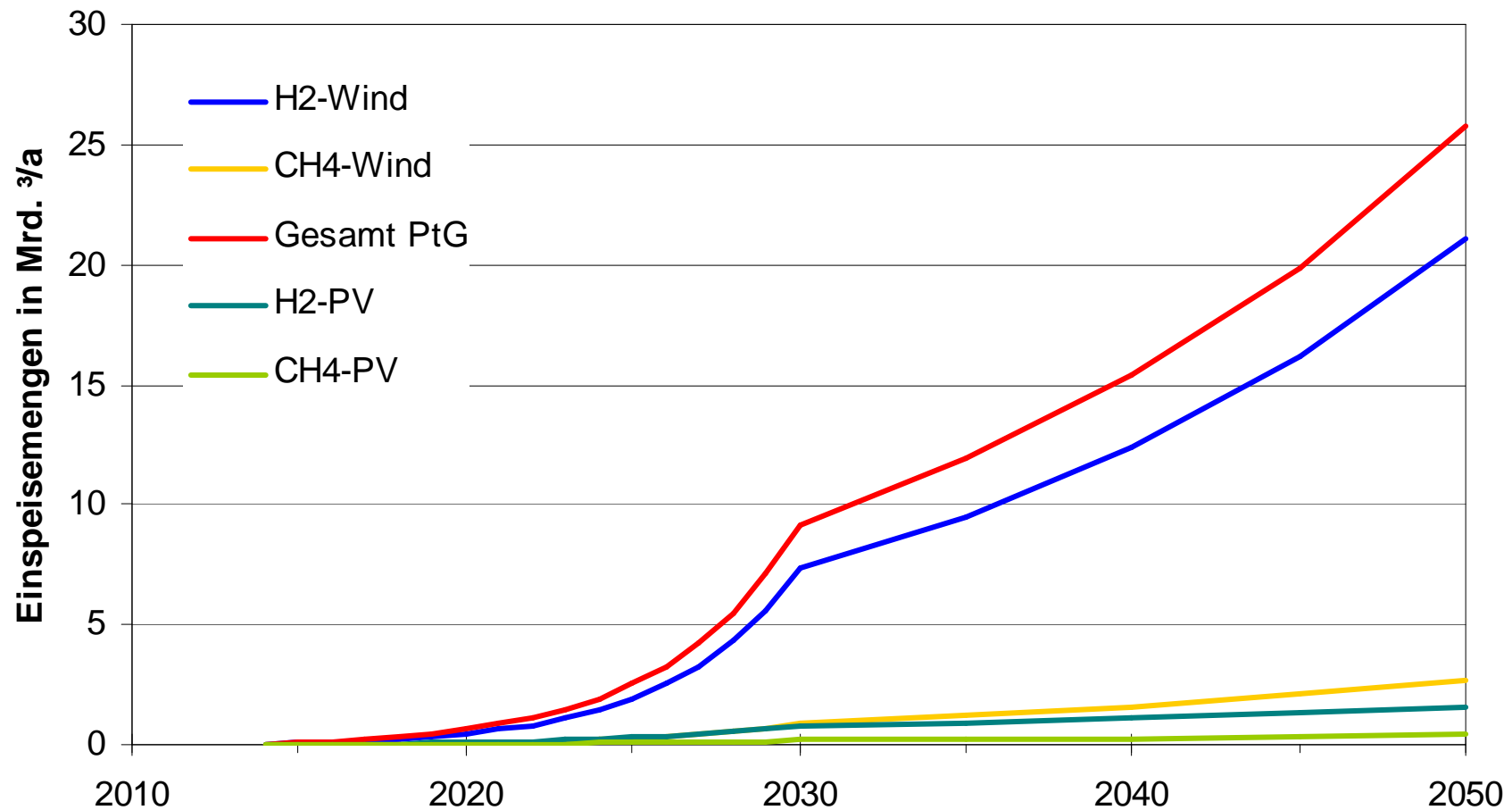
# Energiespeicherung – Wirkungsgrade von Speicherpfaden vom Windstrom zur Nutzenergie

## Wirkungsgrade möglicher Nutzungsbereiche

	<b>Stromtransport und Speicherung 72,2 %</b>	<b>Power-to-Gas „H<sub>2</sub>“ 69,9 %</b>	<b>Power-to-Gas „CH<sub>4</sub>“ 56,1 %</b>
	-	GuD ( $\eta^* = 50,8 \%$ ) <b>35,5 %</b>	GuD ( $\eta^* = 50,8 \%$ ) <b>28,5 %</b>
	E-Heizung ( $\eta = 100 \%$ ) <b>72,2 %</b>	Brennwertkessel ( $\eta^* = 99 \%$ ) <b>69,2 %</b>	Brennwertkessel ( $\eta^* = 99 \%$ ) <b>55,5 %</b>
	Li-Ion-Akku ( $\eta = 90 \%$ ) + E-Motor ( $\eta = 80 \%$ ) <b>52,0 %</b>	BSZ (H <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> -PEM $\eta = 60 \%$ ) + E-Motor ( $\eta = 80 \%$ ) <b>33,6 %</b>	Gasmotor ( $\eta = 35 \%$ ) <b>19,6 %</b>

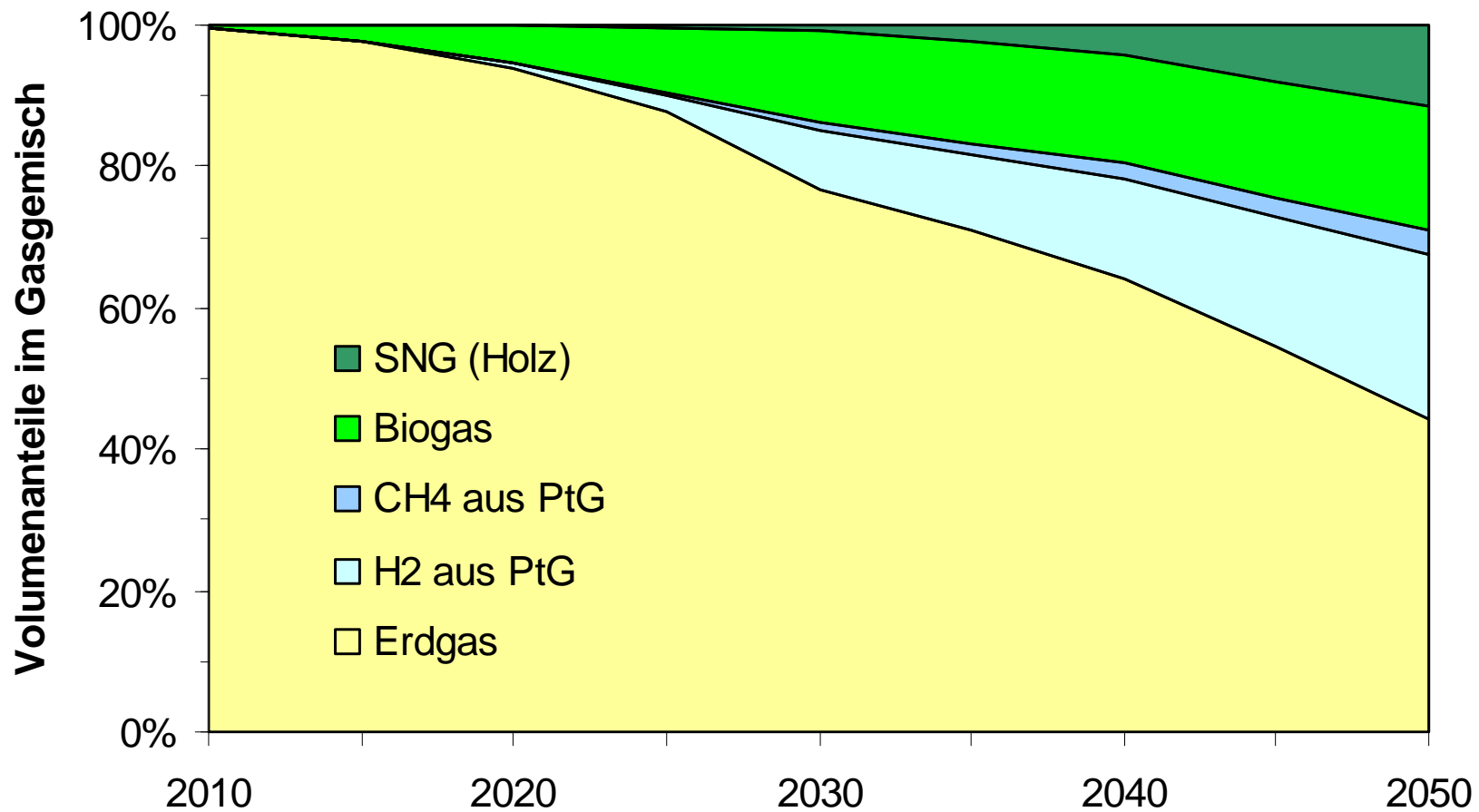
\* Auf Brennwert bezogen

# Prognose der Erneuerbaren Gase im Erdgasnetz Wasserstoff und Methan



[13]

# Prognose der Erneuerbaren Gase im Erdgasnetz im Kontext der Gasversorgung



[13]

Einfluss von Wasserstoff auf das bestehende  
**ERDGASLEITUNGSNETZ**

## Einfluss auf das bestehende Erdgasleitungssystem

- Netz → Rohrleitungen aus Stahl und Kunststoffen
- Betrieb → Inspektion, Wartung
- Gasendgeräte → Brenner, Fahrzeuge und Tankstellen
- Anlagen → GDRMA, Gasturbinen, Verdichter
- Sicherheit → Risikobetrachtungen
- Gasbeschaffenheit → Wobbeindex, rel. Dichte, Brennwert ...

## NaturalHY (Natural gas + Hydrogen)

Vorbereitung der Wasserstoffwirtschaft  
unter Nutzung des bestehenden  
Erdgasleitungsnetz als Katalysator

- Projektdauer 2004 – 2009
- EU FP6 (39 Partner)
- 8 Arbeitspakete (LCA, Safety, Durability, Integrity, End Use, ...)
- Budget: 17 Mio. EUR

## Energiespeicherkonzepte

Konzepte zur Erzeugung,  
Speicherung und Einspeisung von  
 $H_2$  und  $CH_4$

- Projektdauer 2010 – 2012
- Innovationsoffensive des DVGW
- 5 Partner



## Einfluss auf die Materialien des bestehenden Erdgasleitungssystems

- Die erhöhte Permeation von Wasserstoff durch Kunststoffrohrleitungen ist sicherheitstechnisch unbedenklich.
- Die eingesetzten Kunststoffrohrleitungen sind beständig gegenüber Wasserstoff (keine Alterung)
- Brucheinschnürung und Bruchdehnung von Stahlrohrleitungen können herabgesetzt werden
- Beschleunigtes Risswachstum bei hohen  $H_2$  Konzentrationen und kritischen Spannungszuständen



[4, 6]

# Einfluss von Wasserstoff auf bestehende Gasendgeräte

## Brenner

- viele moderne Brenner sind tolerant (max. 50 Vol.-% wurden im Dauerbetrieb getestet)
- Verbesserung des Emissionsverhaltens
- Ältere Modelle (nicht vormischende Brenner) müssen geprüft werden



## Erdgasfahrzeuge

- Max. 2 Vol.-% H<sub>2</sub> lt. Kraftstoffnorm DIN 51624
- Mögliche Lastzyklen von Stahltanks sind zu prüfen
- Zumischung senkt Methanzahl, dennoch positive Effekte auf die Verbrennung in Feldtest Malmö
- Erdgastankstellen: Anpassungsbedarf ist zu prüfen aber H<sub>2</sub>-Tankstellen sind Stand der Technik



## Gasturbinen

- Wenig Erfahrungen, Herstellerangaben schwanken im Bereich von 1-3 Vol.-% als Zumischungsgrenzwert
- → Untersuchungsbedarf

## Verdichter

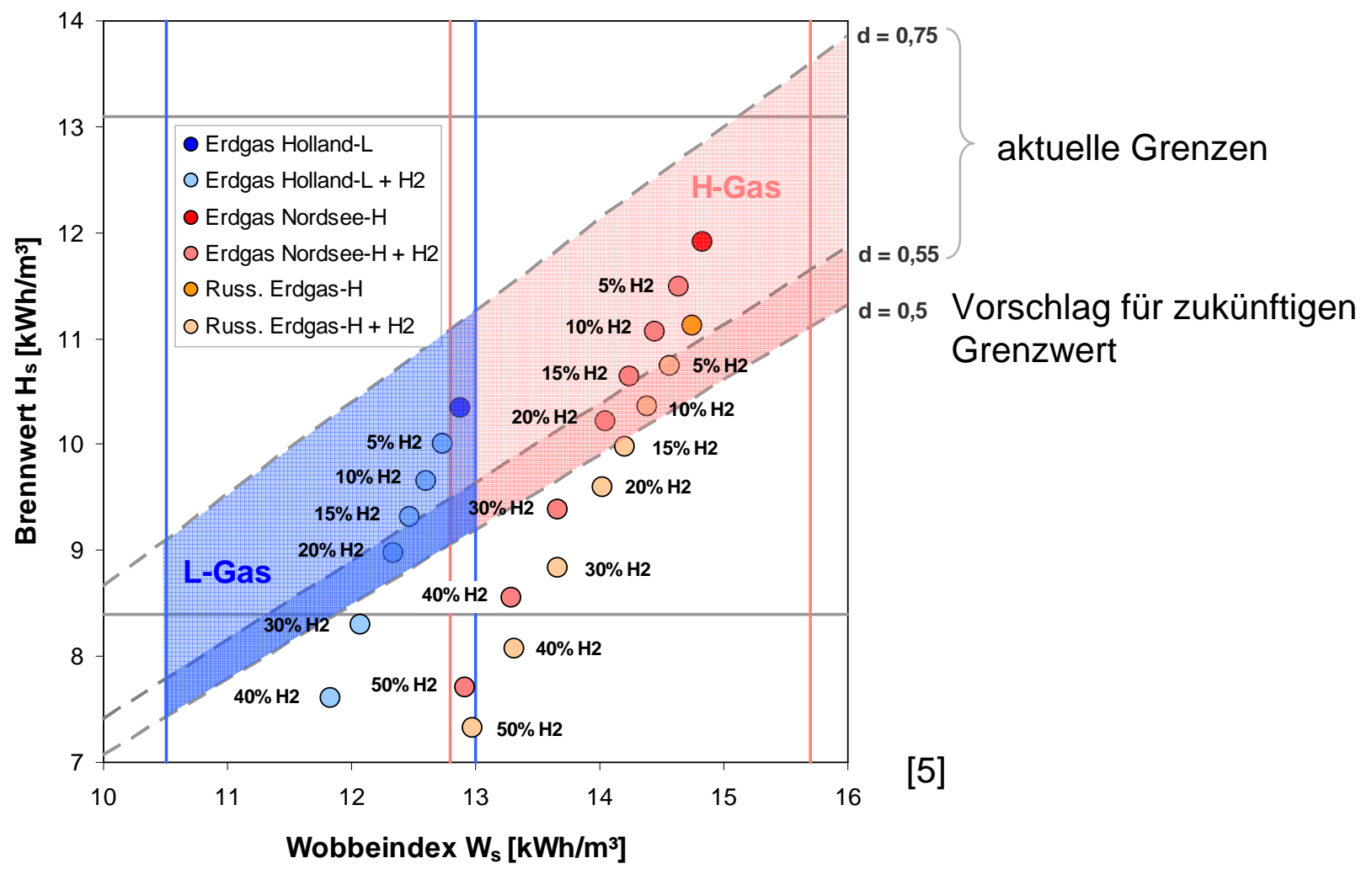
- Volumetrische Energieinhalt von Wasserstoff ist geringer als der von Erdgas → höherer Volumenstrom zur Lieferung äquivalenter Energie
- Begrenzungen des existierenden Maschinenparks z.B. durch Antrieb, volumetrische Auslegung, ggf. Materialeigenschaften  
→ Forschungsbedarf

## Gasdruckregel- und Messanlagen

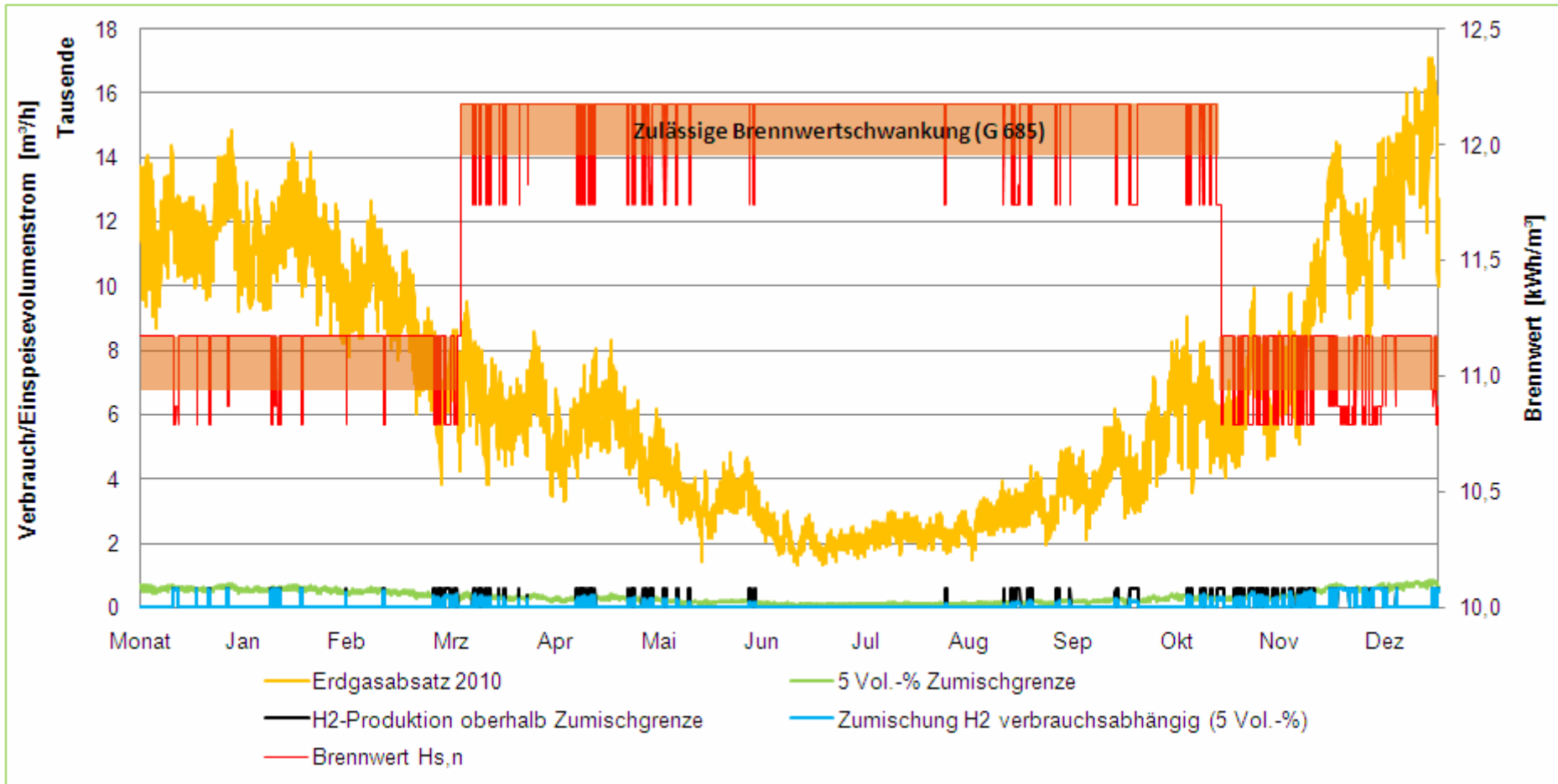
- Auslegung und Instandhaltung erfolgt nach DVGW Regelwerk (1. und 2. Gasfamilie) und damit auch für wasserstoffreiche Gase
- E.ON Ruhrgas betreibt GDRMA mit Kokereigas (bis 67 Vol.-% H<sub>2</sub>)
- Reduzierung der erforderlichen Vorwärmleistung (neg. J.-T.-Effekt)

Einfluss von Wasserstoff auf  
**GASKENNWERTE**

# Einfluss von Wasserstoff auf Gaskennwerte - Übersicht



# Beispiel Anlagenkonzept (Jahr) 5 Vol.-% Wasserstoff-Zumischung



Historische Erfahrungen mit  
**WASSERSTOFF**

## Historische Erfahrungen mit Wasserstoff

- 1807: Erste Gasdruckrohrleitungen zur Versorgung von Gaslaternen in London
- 1826: Beleuchtung „Unter den Linden“ in Berlin mit Gas
- 1959: 2. Auflage der G 260, H<sub>2</sub> (43–50 Vol.-% für Gruppe A und 50-60 Vol.-% für Gruppe B)
- 1950 – 87: ca. 650 Mrd. m<sup>3</sup> Stadtgas wurden in der BRD produziert
- 1950 – 88: ca. 176 Mrd. m<sup>3</sup> Stadtgas wurden in der DDR produziert [10]

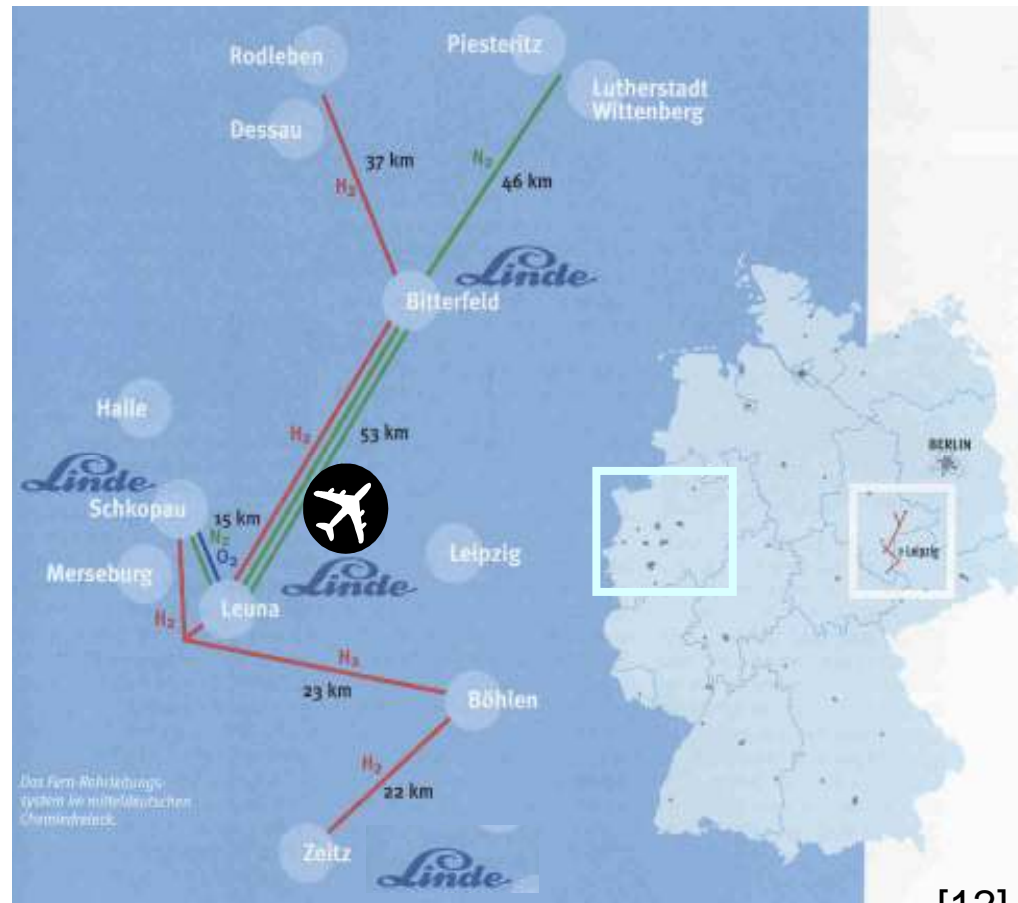


[9]

# Weitere Expertise mit Wasserstoff

- Air Liquide H<sub>2</sub>-Netz 240 km
- Linde H<sub>2</sub>-Netz 150 km
- EIGA Guideline für H<sub>2</sub>-Pipelines (IGC Doc 121/04/E)

## Wasserstoff-Leitungsnetz in Mitteldeutschland



[12]

Nächste Schritte

# ROAD MAP

# Erforderliche Voraussetzungen für die Verteilung von H<sub>2</sub> im Erdgasnetz

1. Inventur der Wasserstofftoleranz des Erdgasnetzes und Ableitung von Forschungsbedarf und Wirtschaftlichkeitsabschätzungen  
(Projekt der DVGW-Innovationsoffensive Gastechnologien „Energiespeicherkonzepte“)
2. Untersuchung der noch offenen Fragestellungen in der industriellen Gasverwendung (Projekt der DVGW-Innovationsoffensive Gastechnologien „Gasbeschaffenheit“)
3. Technologiedemonstrationen
4. Prüfung der technischen Regelwerke
5. Schaffung eines geeigneten regulatorischen Rahmens, der einen Umbau der Netze ermöglicht
6. Technologieoffene Marktanreize und Sensibilisierung der Marktpartner

- Transport und Verteilung Von Wasserstoff durch das Erdgasleitungsnetz ist technisch möglich, Anpassungen im Netz sind entsprechend der H<sub>2</sub>-Konzentration notwendig
- Erzeugung von Wasserstoff/Methan und Einspeisung in das Erdgasnetz sind die einzige verfügbare saisonale Speichermöglichkeit für EE
- Sie ist ein Teil von Smart Gas Grids, die wiederum zur Konvergenz der Energienetze führen
- Erzeugung muss regenerativ erfolgen, damit Umweltvorteile vollumfänglich erschlossen werden können.
- Transport- und Speicherung von E-Strom mit vorhandener Infrastruktur hat dennoch Vorrang
- Keine Zunahme von Risiko und Belastung für die Öffentlichkeit

- Die größten Herausforderungen werden bei der Energieabrechnung und nicht im technischen Bereich gesehen
- **Forschungsbedarf** besteht bei der Entwicklung und dem Upscaling der Erzeugungsverfahren auf den industriellenindustriellen Maßstab und bei den Nutzern der Gase
- Es wurden über 150 Jahre wasserstoffreiche Gase erzeugt, verteilt und verwendet

### **Die Gaswirtschaft „kann“ Wasserstoff**

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gert Müller-Syring  
DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH  
Theklaer Straße 42  
D-04347 Leipzig

E-Mail: [gert.mueller-syring@dbi-gut.de](mailto:gert.mueller-syring@dbi-gut.de)  
Tel.: (+49) 341 – 24571 33  
Fax: (+49) 341 – 24571 36  
Internet: [www.dbi-gut.de](http://www.dbi-gut.de)

- [1] Gjalt Tiekstra: “Hydrogen –does it have a future in natural gas networks?”, presentation 3rd Naturalhy Workshop, IGRC 2008
- [2] Eurogas Statistics 2005
- [3] BMU, Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland
- [4] Jens Hüttenrauch, Stefan Schütz, Gert Müller-Syring, Abschlussbericht „Analyse des Nutzens einer H2 Injektion und Injektionsmanagement“
- [5] Dr. Peter Schley, E.ON Ruhrgas, Workshop „Energiespeicherkonzepte“ 18. Jan. 2011
- [6] Gert Müller-Syring ,Abschlussmeeting NATURALHY. *Abschlusspräsentation „Integrity“*. Groningen : s.n., 19. November 2009
- [7] DIN 51624 – Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge Erdgas Begrenzung
- [8] Forschungsprojekt NATURALHY
- [9] “Elemente die bewegen – Mensch und Technik im Gas- und Wasserfach”

- 
- [10] Statistisches Jahrbuch der Deutschen Demokratischen Republik Band 1990  
Haufe Verlag Berlin
- [11] Statistische Jahrbücher der Bundesrepublik Deutschland, W. Kohlhammer  
GmbH / Stuttgart & Mainz Statistisches Bundesamt Wiesbaden
- [12] [www.bmw.dk](http://www.bmw.dk)
- [13] Krause, H. u.a.: Bewertung der Energieversorgung mit leitungsgebundenen  
gasförmigen Brennstoffen im Vergleich zu anderen Energieträgern –  
Systemanalyse Teil 2; DVGW-Innovationsoffensive Gastechnologien,  
Abschlussbericht in Vorbereitung, Bonn, 2011