

Power to Gas Konzepte für die Energiewende

Frank Graf

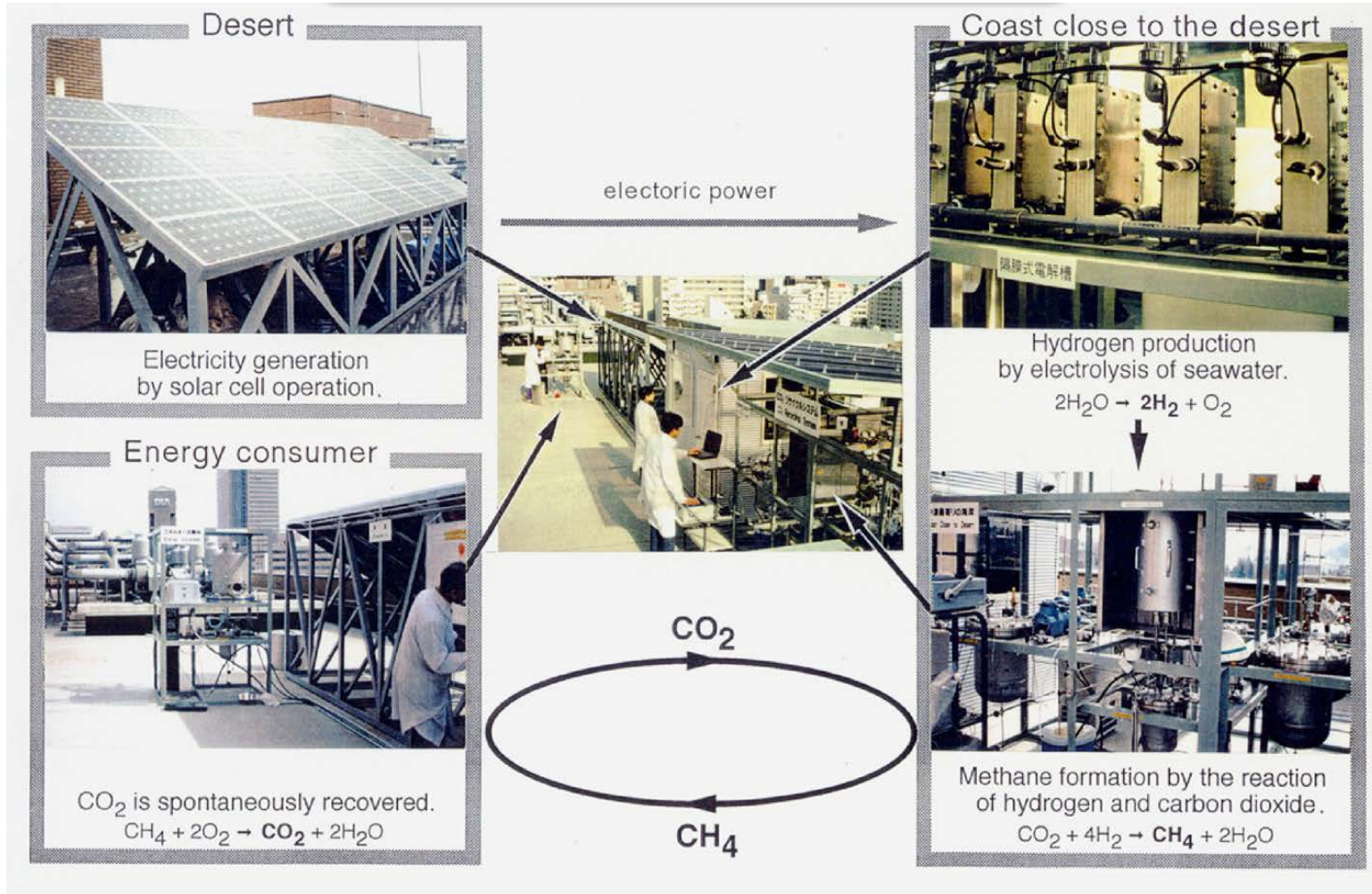
81. Jahrestagung der DPG und DPG-Frühjahrstagung

AKE 8: Sector Coupling, Chemical Conversion and Storage of Renewable Energy

28. März 2017 Münster

1. Hintergrund
2. Power-to-Gas Technologien
3. Einsatzmöglichkeiten
4. Ausblick

Prototyp-Anlage CO₂ recycling (1995) Institute for Material Research, Tohoku University Japan



Quelle: Hashimoto et al., Energy, Sustainability and Society 2014, 4:17

Pilot-Anlage PtG (2003)

Institute for Material Research, Tohoku University Japan



Elektrolyse

CO₂-Methanisierung

SNG-Produktionstrom: 1 m³/h SNG

Quelle: Hashimoto et al., Energy, Sustainability and Society 2014, 4:17

Anknüpfungspunkte für Power-to-Gas

Energieversorgung

- Chemische Speicherung von elektrischer Energie (Langzeitspeicher)
- Transport von elektrischer Energie über das Erdgasnetz
- Bereitstellung von Regelenergie, Flexibilität, Ausgleich von Prognosefehlern

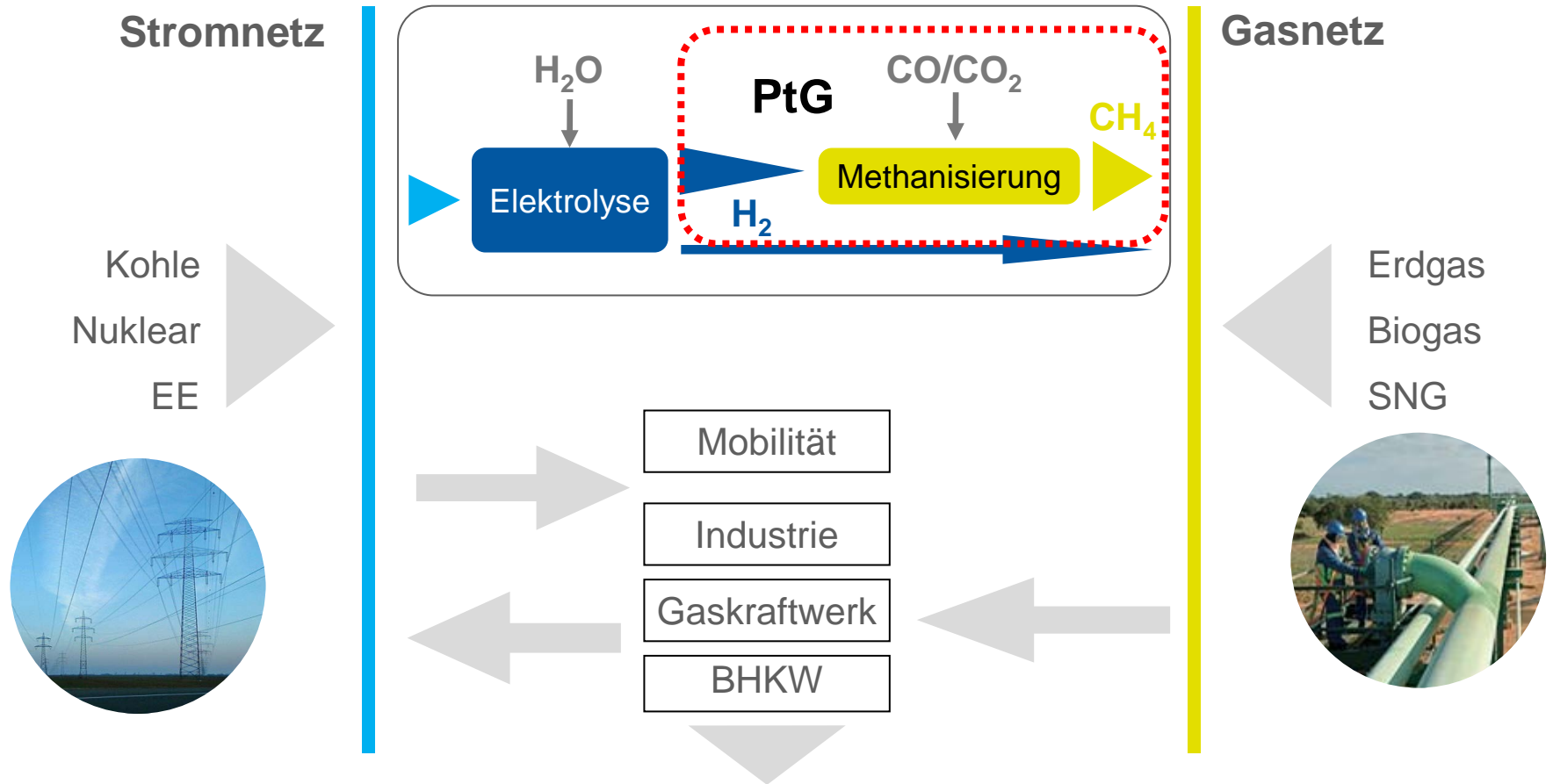
Chemische Industrie

- H₂ als Einsatzstoff für chemische Produkte

Mobilität

- Integration von Wasserstoff in die bestehende Kraftstoffproduktion
- Erzeugung von erneuerbaren Kraftstoffen (z.B. CNG, LNG, H₂)
- Aufbau einer Tankstelleninfrastruktur für alternative Kraftstoffe

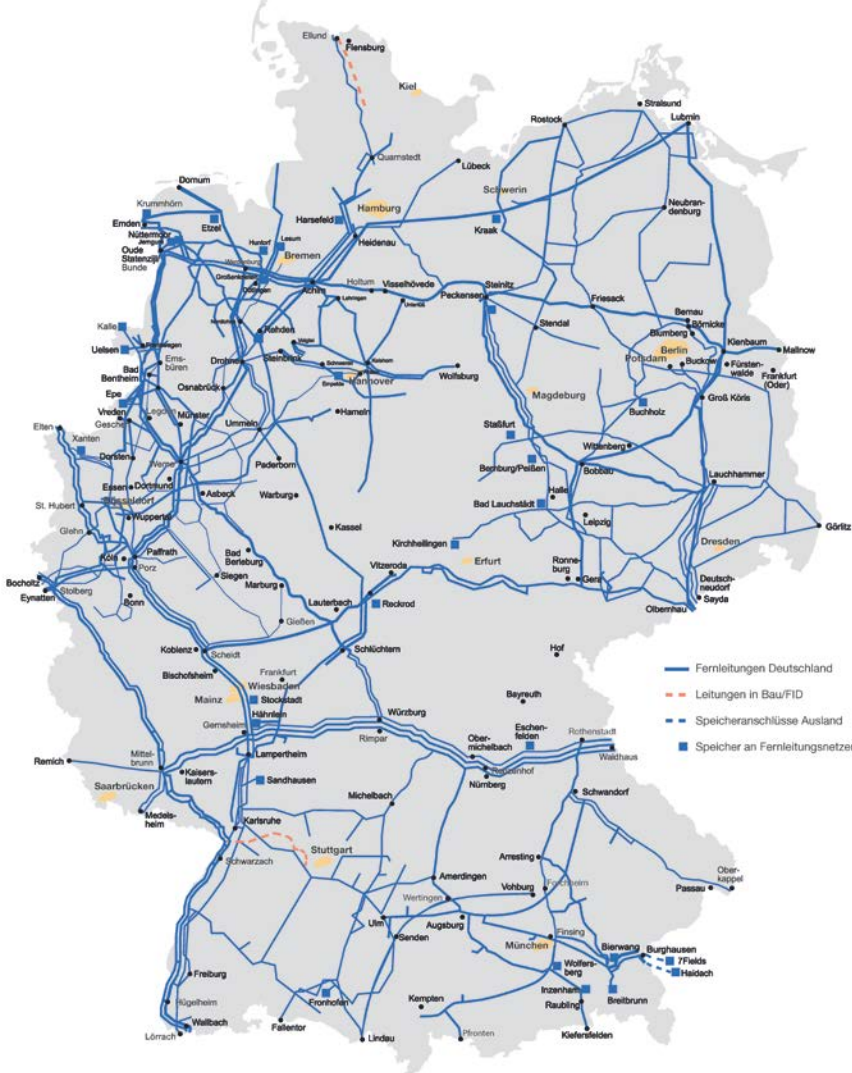
Mögliche Rolle der Gasversorgung bei der Energiewende



www.dvgw-innovation.de

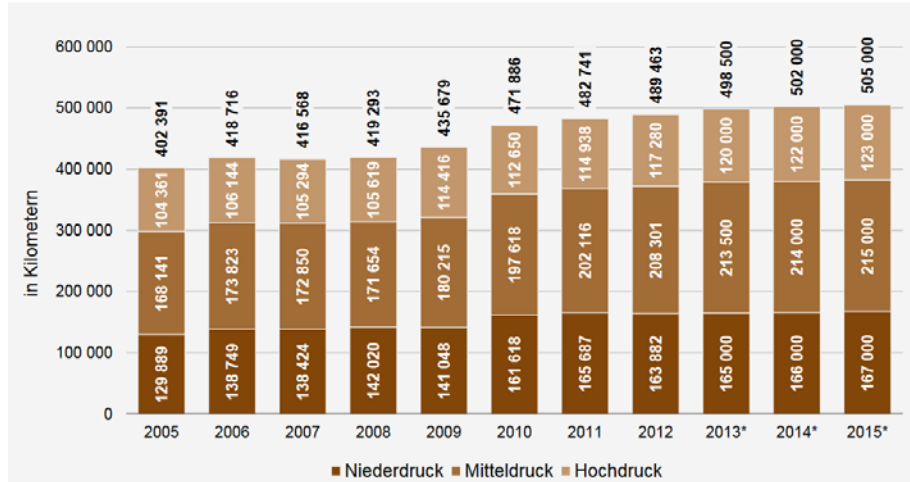
Quelle: [gas pipeline](#) by SASOL/CC BY

Gasnetze in Deutschland



Quellen: BDEW, FNB

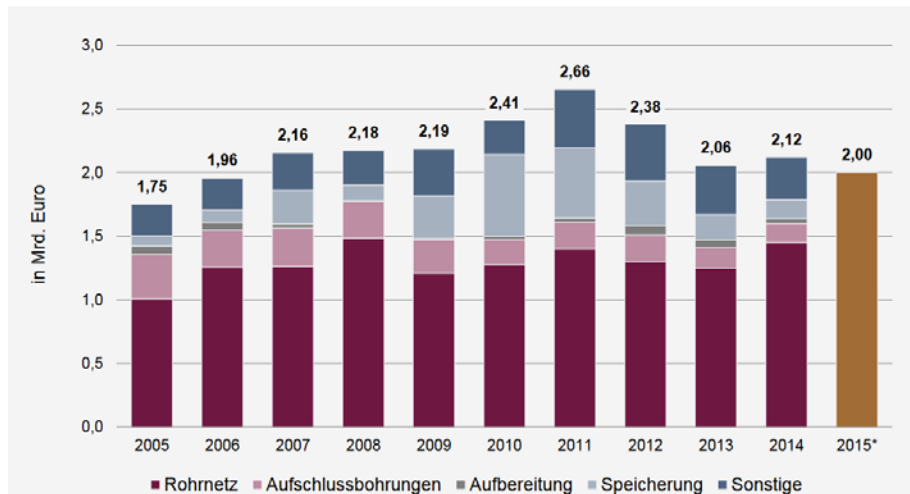
Gasnetzentwicklung in Deutschland



Quellen: bis 2009 BDEW-Gasstatistik des jeweiligen Jahres; ab 2010 geänderte Systematik: Angaben der Gasnetzbetreiber gem. GasNEV; Stand: 03/2016

* vorläufig

Investitionen der deutschen Gaswirtschaft



Quelle: BDEW; (Planungsstand der Unternehmen Frühjahr 2014)

* vorläufig, bisher keine Aufschlüsselung möglich

Gasspeicher in Deutschland

Porenspeicher Deutschland

Anzahl: 20

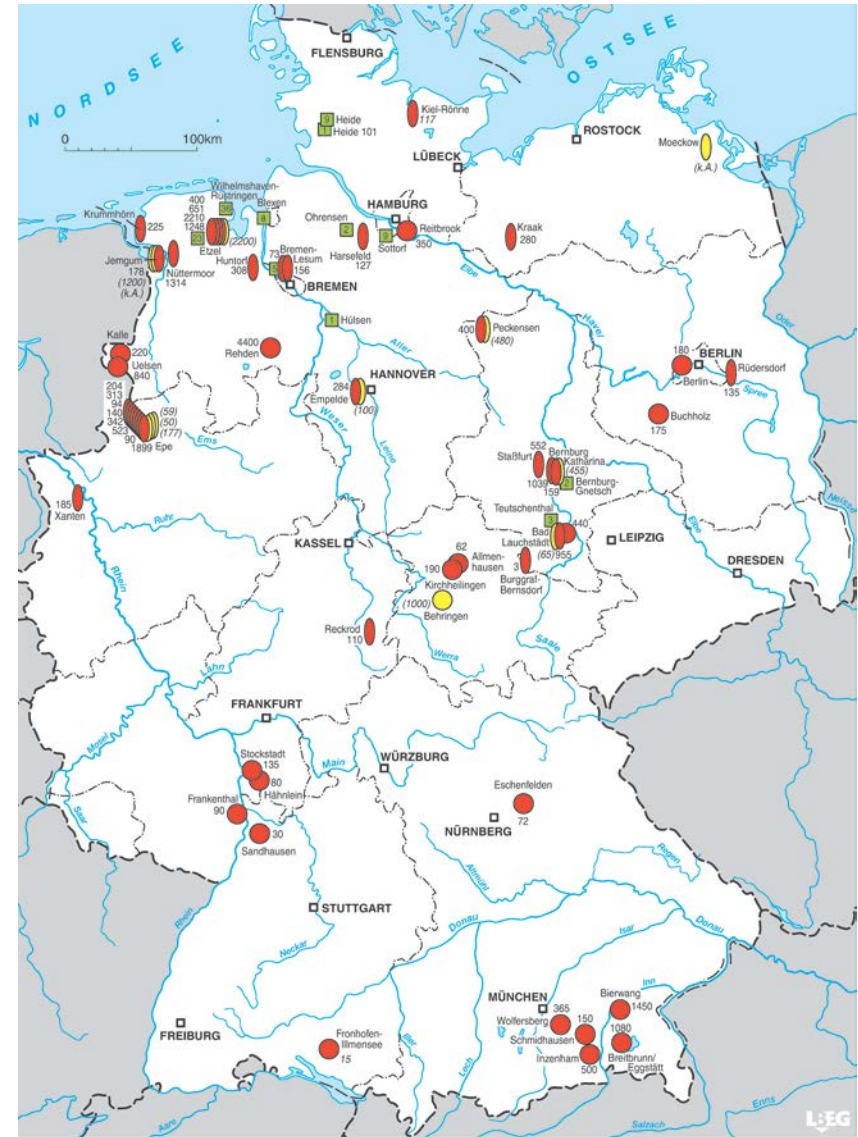
Arbeitsgasvolumen: 9,8 Mrd. m³ (NTP)

Kavernenspeicher Deutschland

Anzahl: 31

Arbeitsgasvolumen: 14,3 Mrd. m³ (NTP)

Quelle: LBEG (2016)

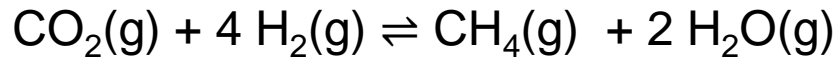


1. Hintergrund
- 2. Power-to-Gas Technologien**
3. Einsatzmöglichkeiten
4. Ausblick

Überblick Elektrolisetchnologien

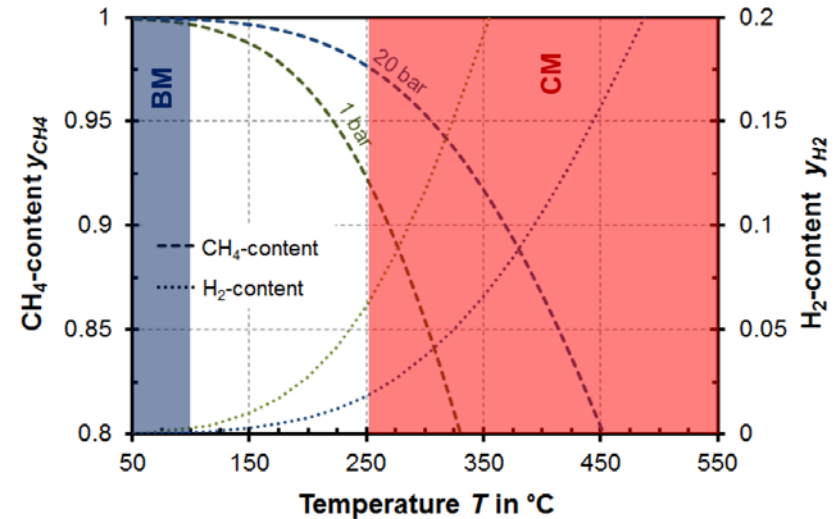
	Alkali-Elektrolyse	PEM-Elektrolyse	HT-Elektrolyse
Betriebstemperatur	50 - 120 °C	50 - 120 °C	700 - 1000 °C
Betriebsdruck	< 30 bar (100 bar)	< 30 bar (100 bar)	k. A.
Spez. Verbrauch elektrische Energie	4,3 - 5 kWh/m ³	4.3 - 9 kWh/m ³	2,6 - 3,5 kWh/m ³
Kaltstartdauer	Stundenbereich	Minutenbereich	Stundenbereich
Fluktuationsverhalten	Oberhalb von 20 % Grundlast sehr gut	sehr gut	k. A.
Wirkungsgrad	62 - 82 %	67 - 85 %	75 - 95 %
Stromdichten	0,2 - 0,4 A/cm ²	0,6 - 2,0 A/cm ²	< 1 A/cm ²
Zellspannung	1,8 - 2,4 V	1,8 - 2,2 V	1,4 V
H₂-Produktion/Modul	< 750 m ³ /h	< 200 m ³ /h	< 30 m ³ /h

Grundlagen der Methanisierung



Methanation ist stark exotherm

- Abfuhr von $\Delta_R h$ ist kritischer Punkt
- Vielfältige Reaktorkonzepte denkbar



$\Delta_R h^0 = -253 \text{ kJ/mol}$
(water: liquid)

Methanation concepts

Biological methanation
(40 - 70 °C, 1 - 10 bar)

CSTR

Others:

- Membrane
- Trickle bed

Catalytic methanation
(250 - 550 °C, 1 - 100 bar)

Fixed bed:

- Adiabatic
- Isothermal

Fluidized bed

Three phase:

- 3 phase fluidized bed
- Bubble column

Structured:

- Honey comb
- Microchannel reactor

$\Delta_R h^0 = -165 \text{ kJ/mol}$
(water: gaseous)

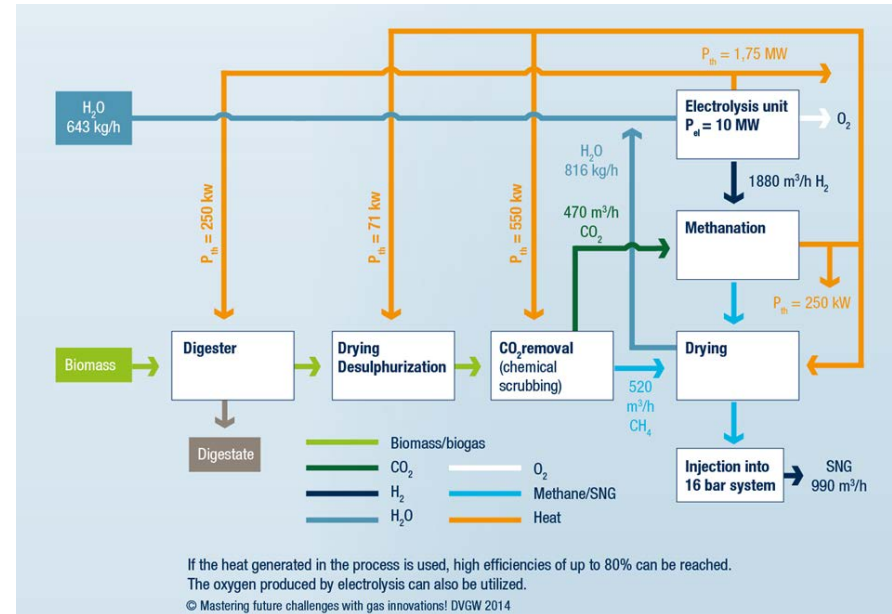
Katalytische Methanisierung: Demo Anlage Werlte



Audi

ETOGAS

smart energy conversion

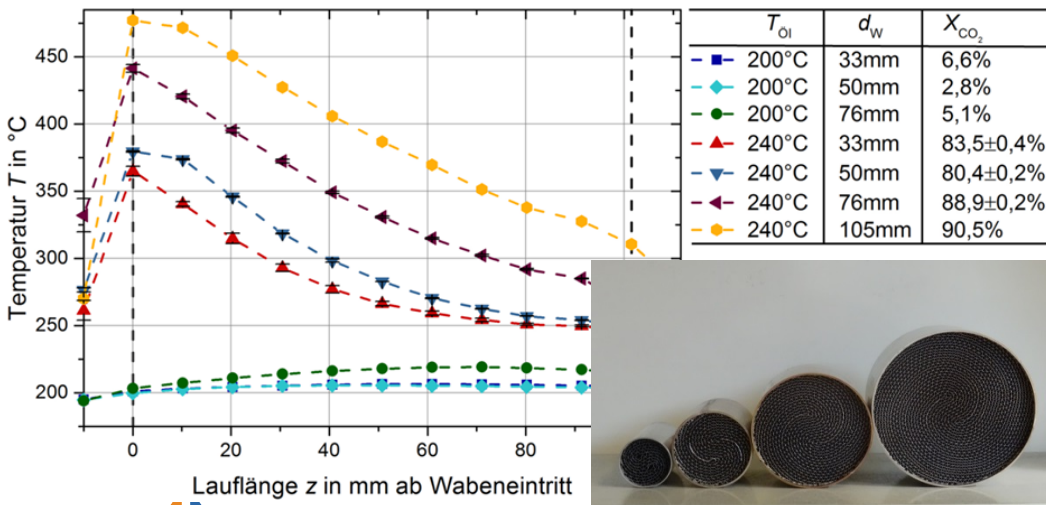


- 3 x 2 MW Alkalische Elektrolyseure (1,300 m³/h, STP)
- Methanisierungstechnologie: Katalytische Festbetten (im Rohrbündel) mit Salzkühlung
- IBN: Juni 2013 (geplante VLS: 4,000 h)
- Methan Anteil im Produktgas: 92 Vol.-% (L-Gas Netz, ansonsten → CO₂ Abscheidung)
- Business model: e-gas + Audi g-tron = premium product

PtG-Demonstrationsprojekt STORE&GO

Ziel

- Demonstration von 3 innovativen PtG-Konzepten an Standorten in Deutschland, Schweiz, Italien
- Integration der Anlagen in unterschiedliche Strom- und Gasnetzinfrastrukturen
- Begleitforschung zur Unterstützung der Markteinführung von PtG



Eckdaten:

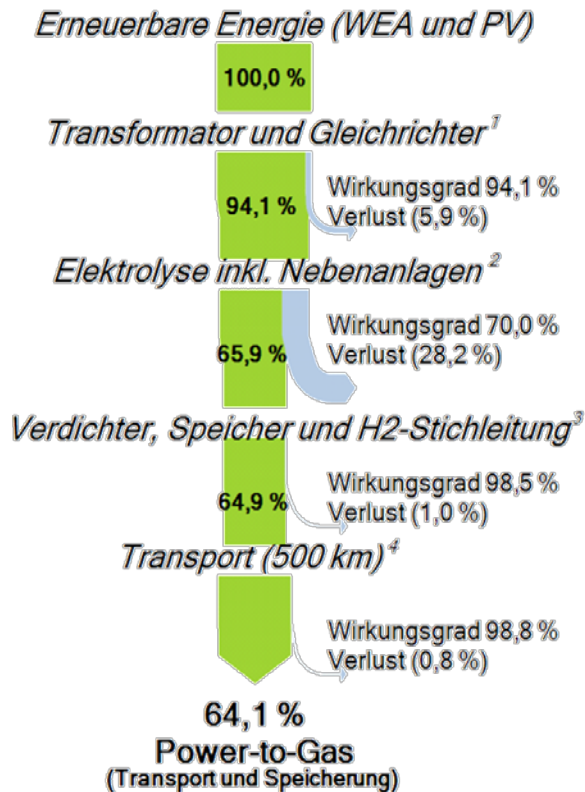
- H2020-Programm „Large Energy Storage“
- 27 Partner aus 6 Ländern
- Gesamtbudget: 28 Mio. €
- 1 MW Wabenmethanisierung an Demoanlage Falkenhagen

Wirkungsgrade PtG-Prozesse

Power-to-Gas H₂

mit HT-Elektrolyse

Power-to-Gas CH₄



H₂-Pfad

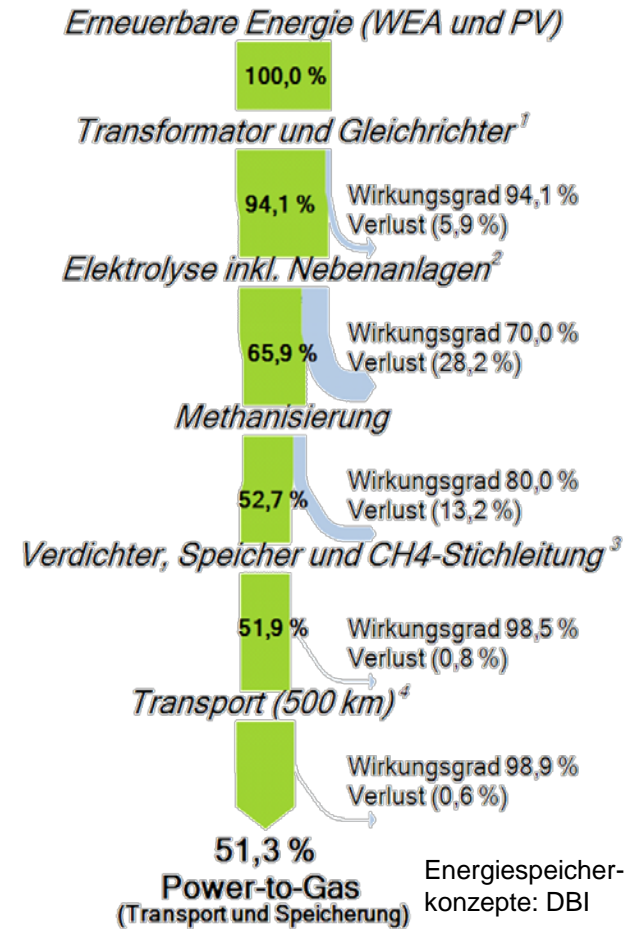
CH₄-Pfad

$\eta = 90 \%$

$\eta = 85 \%$

82,4 %

77,9 %



Energiespeicherkonzepte: DBI

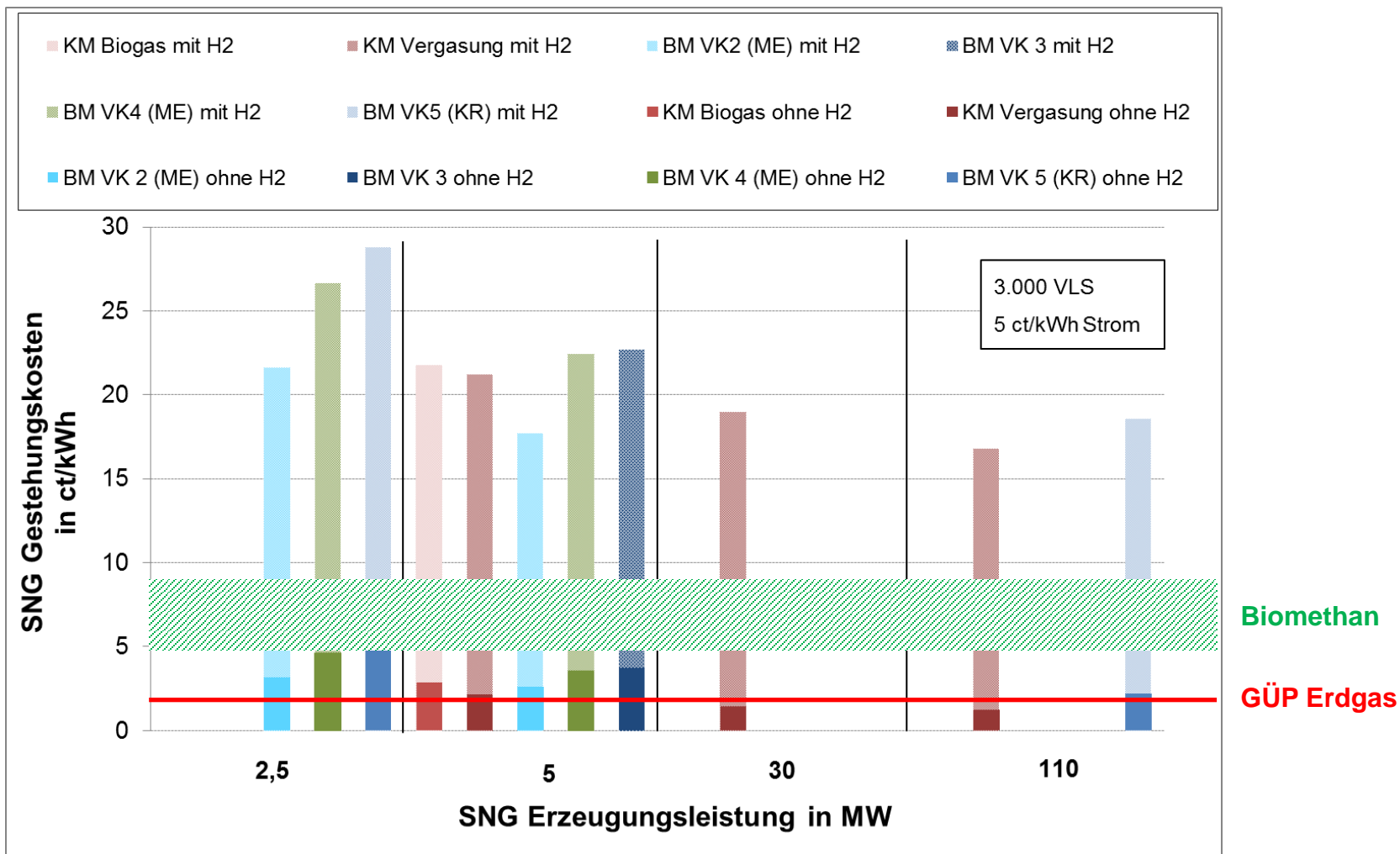
Trimis: GAT 2012

Energiespeicherkonzepte: DBI

¹ η Transformator = 97,0 %; η Gleichrichter = 97,0 %; ² η Elektrolyse ohne Nebenanlagen = 75,0 %; ³ Verdichtung von 30 bar auf 80 bar

⁴ Transport inkl. Zwischenverdichtung, Leckage und Permeation (10 Vol.-% H₂)

Gestehungskosten ohne wälzbare Kosten



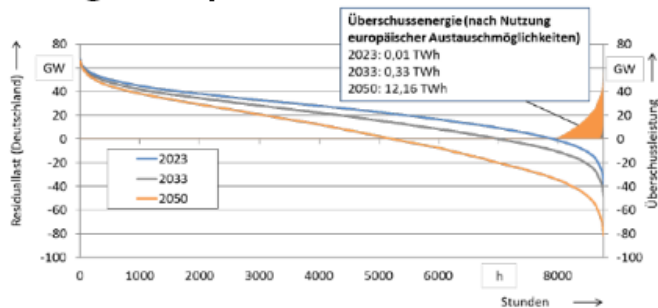
BM: Biologische Methanisierung
ME: MicrobEnergy GmbH

KM: Katalytische Methanisierung
KR: Krajete GmbH
VK: Verfahrenskonzept

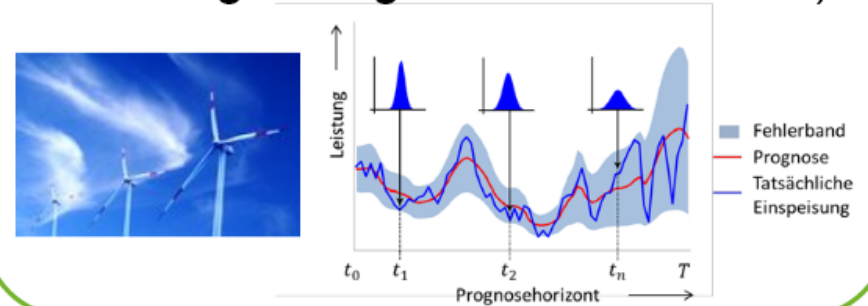
1. Hintergrund
2. Power-to-Gas Technologien
- 3. Einsatzmöglichkeiten**
4. Ausblick

Welche Aufgaben können PtG-Konzepte übernehmen

Speicherbedarf für EE-Überschüsse bei hohen EE-Anteilen in DE und EU
→ Langzeitspeicher Power-to-Gas



Beitrag zur Systemstabilität
(Stellung Regelreserve, Ausgleich kurzfristiger Prognoseunsicherheiten)



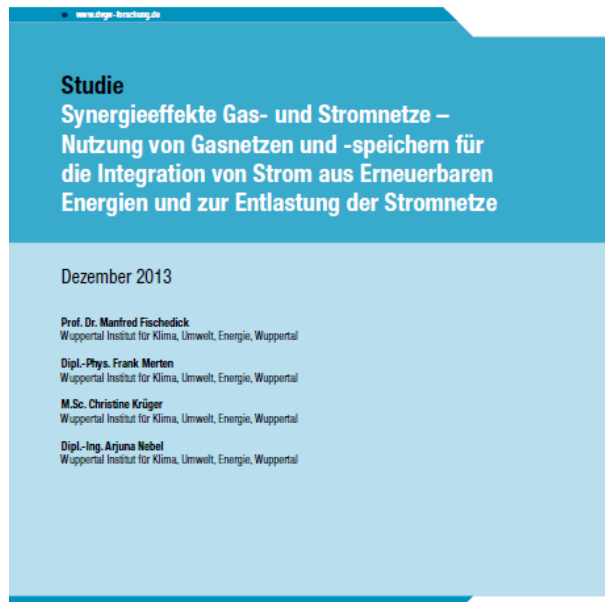
Bereitstellung von „grüner Energie“ für Mobilität, Wärmesektor und Industrie



Vermeidung von Stromnetzausbau durch Weiternutzung vorhandener Gasnetzinfrastruktur



G 2 01 11 Synergieeffekte Gas- und Stromnetz - Nutzung von Gasnetzen und -speichern für die Integration von Strom aus Erneuerbaren Energien und zur Entlastung der Stromnetze



Quelle: www.dvgw.de



Aufgabe:

Untersuchung der Perspektiven und Potenziale von PtG für einen **virtuellen Stromtransport** zur Entlastung des deutschen Stromnetzes

Transport von EE-Strom über das Erdgasnetz

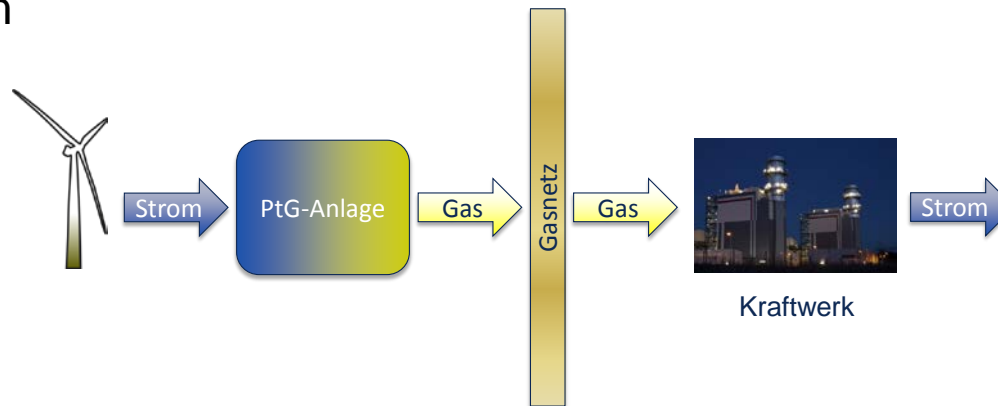
Norden

Süden

realer Stromtransport



Vergleich



virtueller Stromtransport

DVGW-Forschungsvorhaben: „Synergieeffekte Gas- und Stromnetz“

Gasnetz zum Transport von Strom



Ferngas-Transportleitung

- 80 bar
- 1200 mm Durchmesser
- 30 GW_{chem}
- Verluste ca. 0,4 % (500 km)

Vergleich

8 : 1

1 : 10



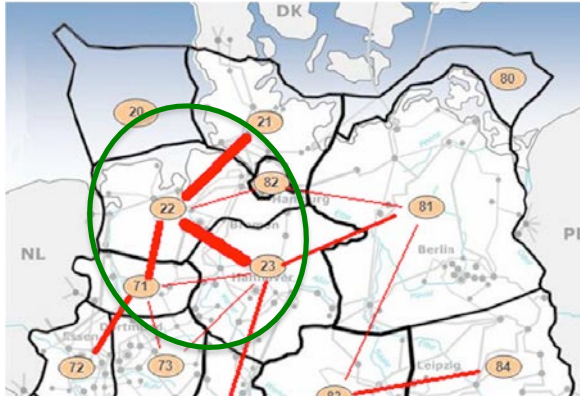
Höchstspannungs-Freileitung

- 380 kV
- Wechselstrom
- 2 * 1,8 GW_{elek}
- Verluste ca. 5 % (500 km)

➔ **Transportverluste im Gasnetz sind bedeutend geringer als die Verluste im Stromnetz**

Potenzial für einen virtuellen Stromtransport ($y_{H_2} = 0,1$)

Elektrisches Übertragungs-Defizit im Nordwesten



Eig. Darstellung basierend auf dena II [dena 2010]

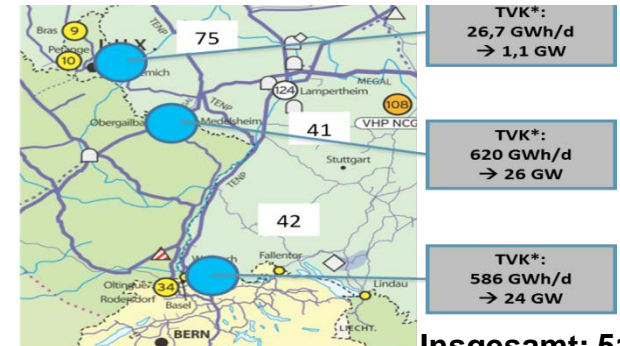
Nicht-übertragbare elektrische Leistungen:

- 22=>23: 4,8 GW_{el}
- 22=>71: 2,6 GW_{el}
- Insgesamt: 7,4 GW_{el}

Maximale Aufnahmekapazitäten 22:

- 88,0 GW_{th} für Erdgas
- 2,8 GW_{th} für EE-H₂

Entnahmekapazität für Erdgas im Südwesten (Zielregion)



Eig. Darstellungen nach (entsog 2012), (Hemel, M. 2012)

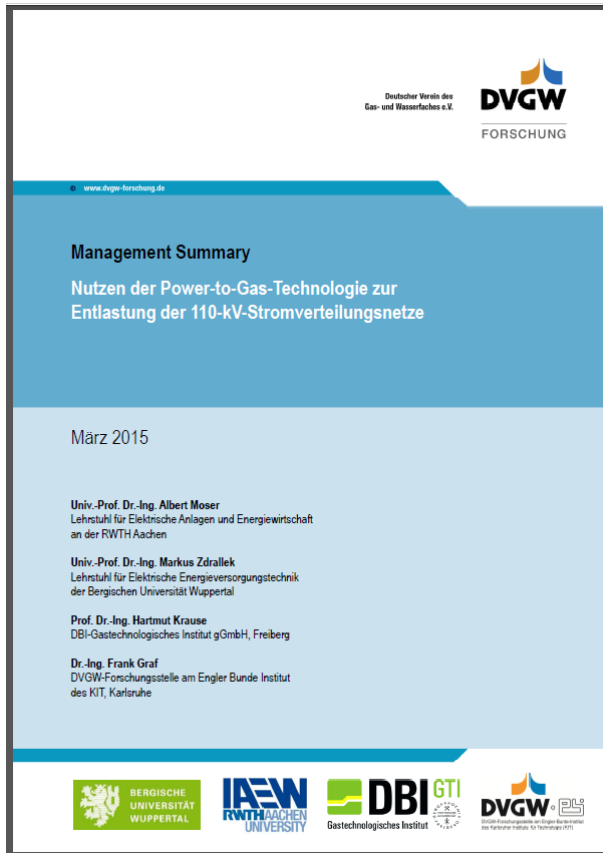
*TVK: Technisch verfügbare Kapazität entsprechend der Leitungsparameter (DN, max. PN);

Gas-Transport/Entnahmekapazitäten im Südwesten reichen für Verstromung gemäß der nichtübertragbaren el. Leistung im Nordwesten völlig aus!

DVGW-Forschungsvorhaben: „Synergieeffekte Gas- und Stromnetz“

➔ EE-Strom aus Norddeutschland kann über das bestehende Gasnetz nach Süddeutschland transportiert werden

G 3 03 12 Studie über den Nutzen der PtG-Technologie zur Entlastung der 110-kV-Stromverteilungsnetze

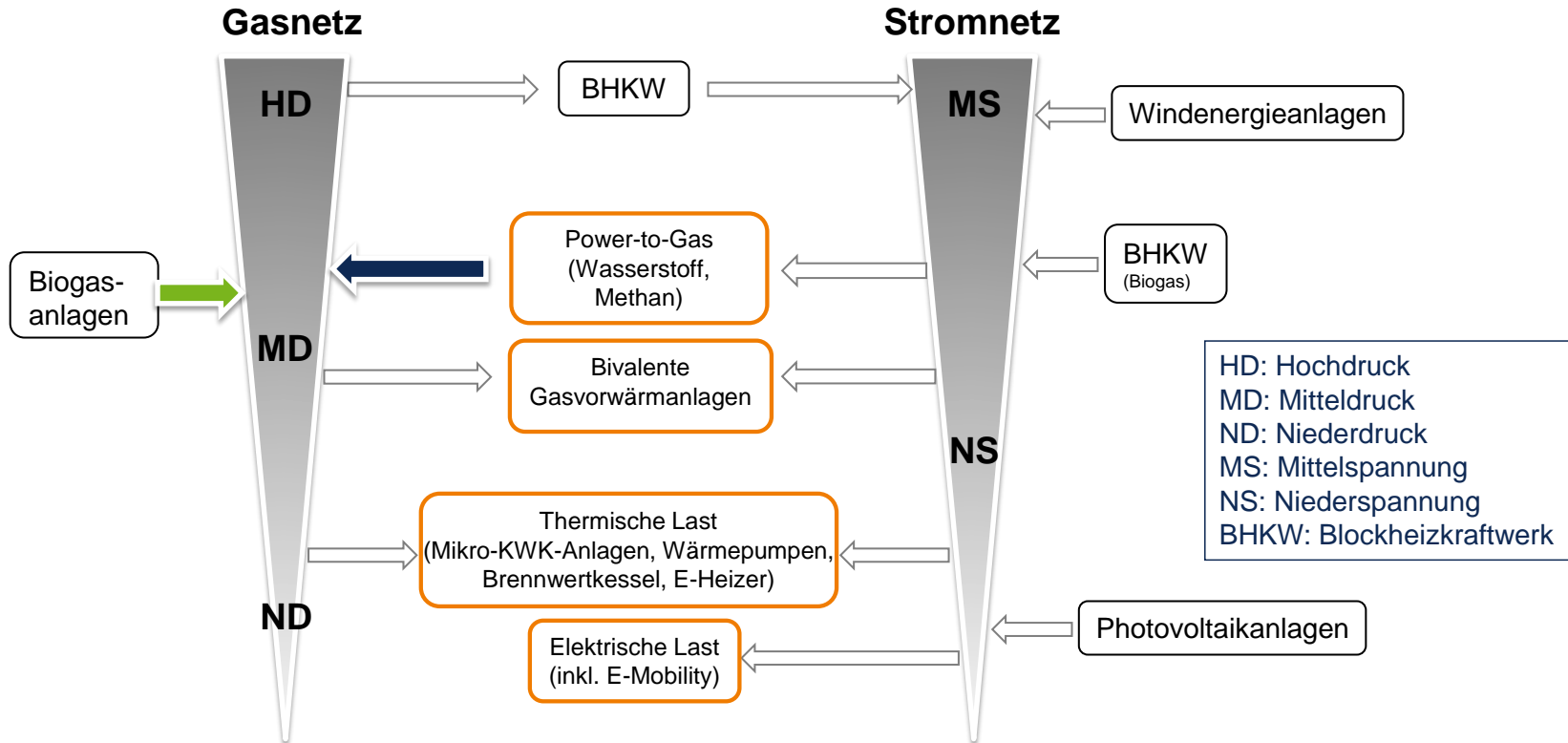


Aufgabe:

- Beispielhafte Kopplung Stromnetz mit Gasnetz im Verteilnetz der EWE
- Vergleich von Netzausbauvarianten mit und ohne Einsatz von PtG in unterschiedlichen Stromnetzen
- Evaluierung der Auswirkungen auf die höheren Spannungsebenen

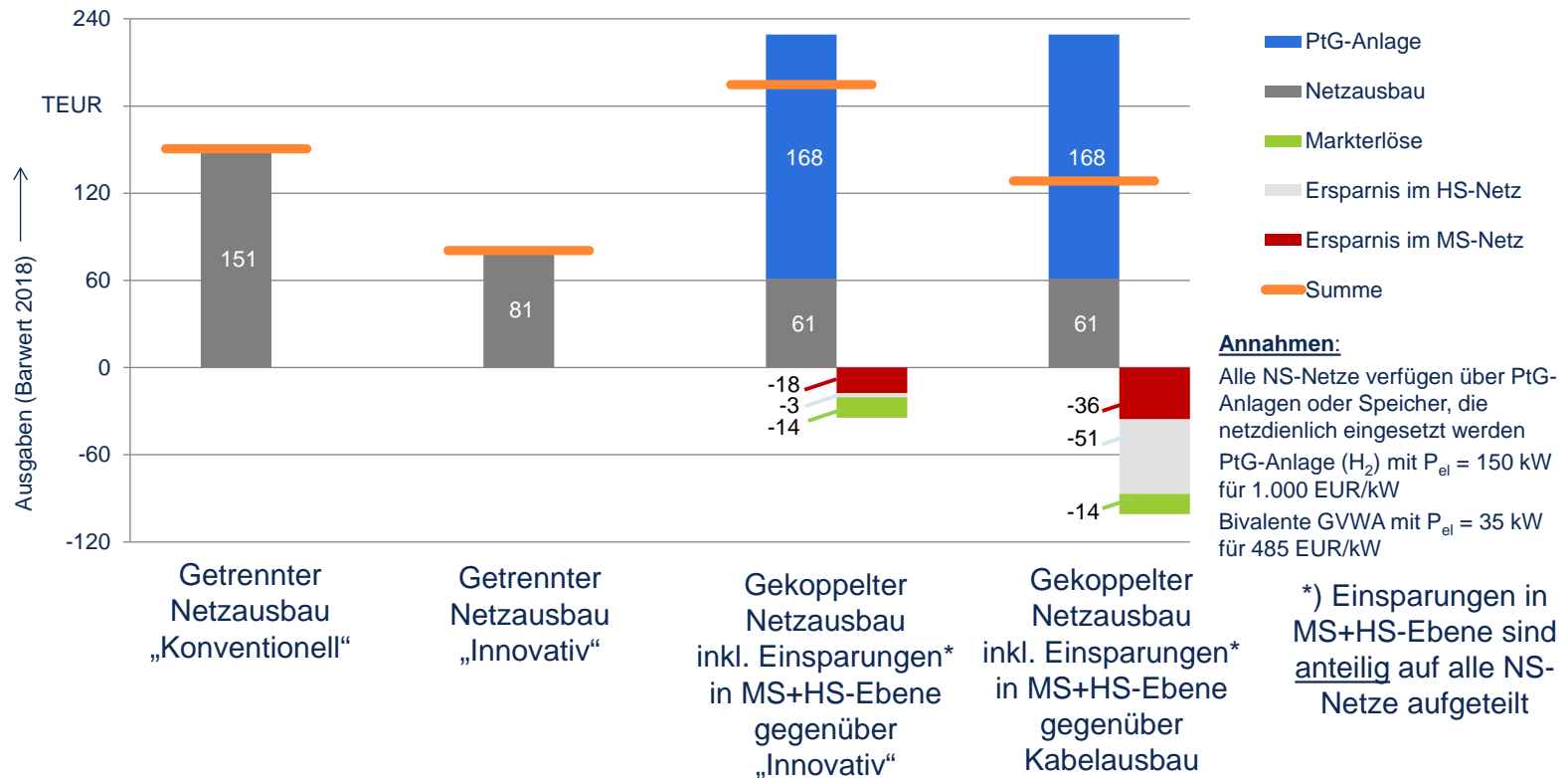
Quelle: www.dvgw.de

Identifikation von Sektorkopplungselementen



- Kopplungselemente mit Steuerungsmöglichkeit durch Verteilnetzbetreiber (VNB)
 - Bivalente Gasvorwärmanlagen (GVWA)
 - Power-to-Gas-Anlagen (PtG)
- Berücksichtigung sonstiger Kopplungselemente (z.B. Mikro-KWK-Anlagen) ohne Steuerungsmöglichkeit durch VNB

Ökonomische Gesamtbetrachtung der PtG-Technologie: Netzentlastung, Mobilität und Bilanzkreisoptimierung



➔ **Netzdienlicher Anlageneinsatz verringert die maximal rückgespeiste Leistung**
Reduzierter Ausbaubedarf in allen Spannungsebenen

PtG-Konzepte für die Mobilität

Auftraggeber

Umweltbundesamt

Aufgabe:

Kostenberechnung für Transformation des gesamten Mobilitätssektors in Deutschland bis 2050

Projektkonsortium

Öko-Institut (Koordination)

DVGW-Forschungsstelle am EBI

INFRAS

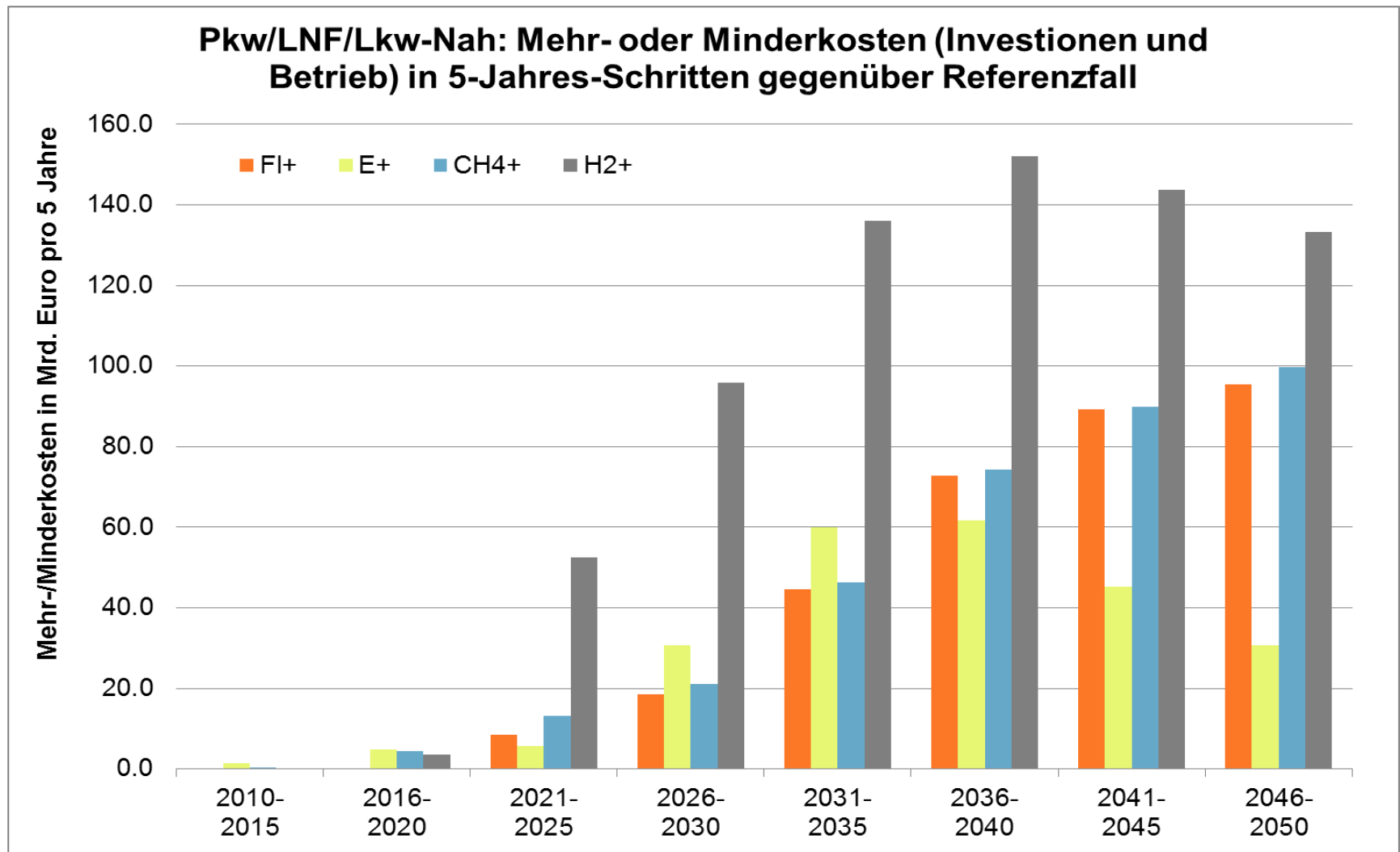
Szenarien

4 Szenarien mit Fokus auf jeweils einen Energieträger
Flüssigkraftstoff (FI+), Strom (E+), Methan (CH₄+),
Wasserstoff (H₂+)



Bemerkung: Netzausbaumaßnahmen wurden nicht berücksichtigt.

Kostenvergleich für verschiedene Szenarien



1. Hintergrund
2. Power-to-Gas Technologien
3. Einsatzmöglichkeiten
4. **Ausblick**

PtG im zukünftigen Energiesystem

- PtG-Konzepte bieten zahlreiche Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsfälle
- Technologien werden hinsichtlich Energieeffizienz, Kostensenkung und Flexibilisierung weiterentwickelt
- politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen ermöglichen derzeit keine kommerzielle Nutzung
- Mobilitätssektor erscheint vielversprechend

- „All electric world“ und „efficiency first“ sind zu überdenken
- Sektorkopplung unter Einbindung von bestehenden Infrastrukturen muss politisch verankert werden
- Bezahlbarkeit und Umsetzbarkeit von neuen Technologien und Transformationsmaßnahmen sowie das Thema Versorgungssicherheit müssen stärker beachtet werden