

Willkommen
Welcome
Bienvenue



Sorptionsverstärkt und mit Druckwechsel – ein neuer Ansatz für die katalytische Methanisierung

Expertengespräche OST

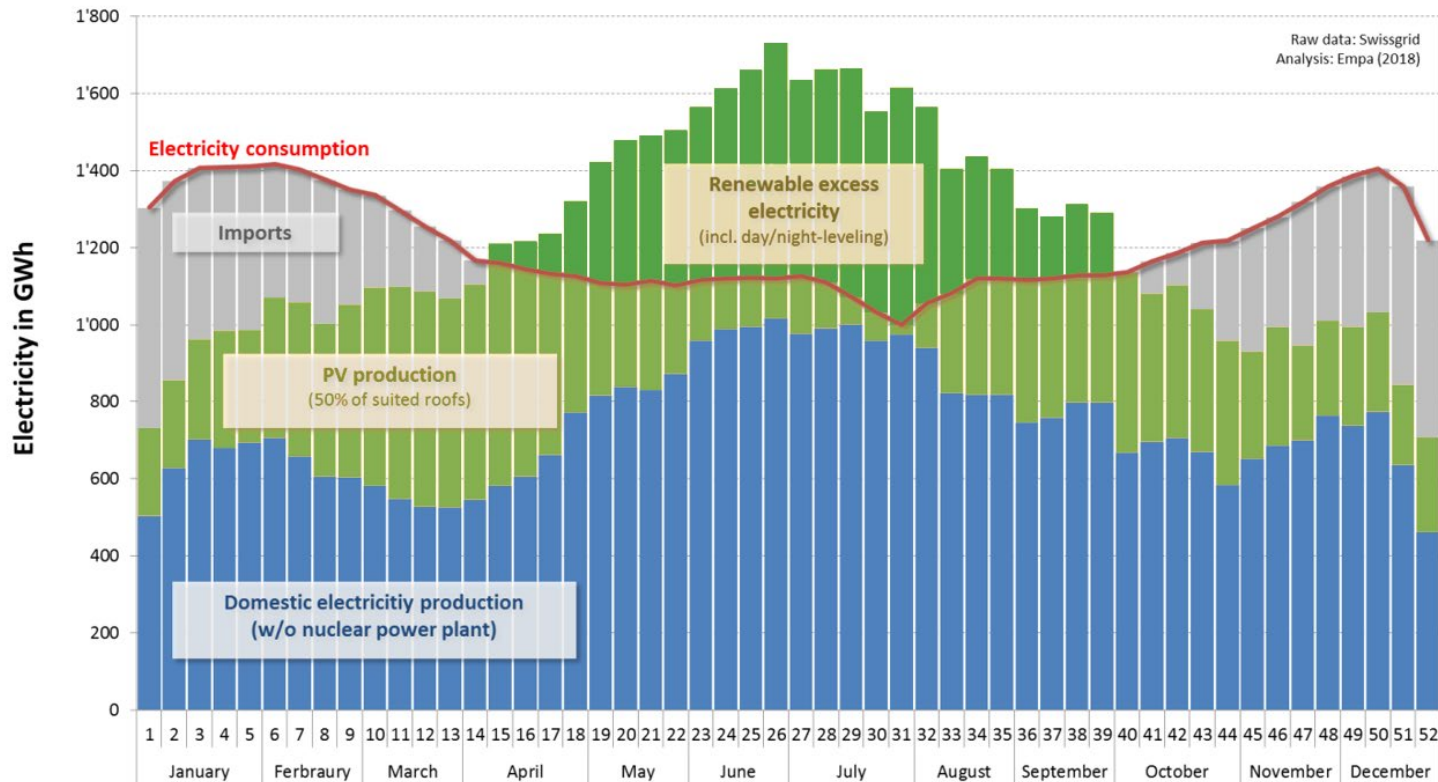
Präsentation: Karin Schröter

Autoren: Florian Kiefer, Karin Schröter,
Panayotis Dimopoulos Eggenschwiler, Christian Bach

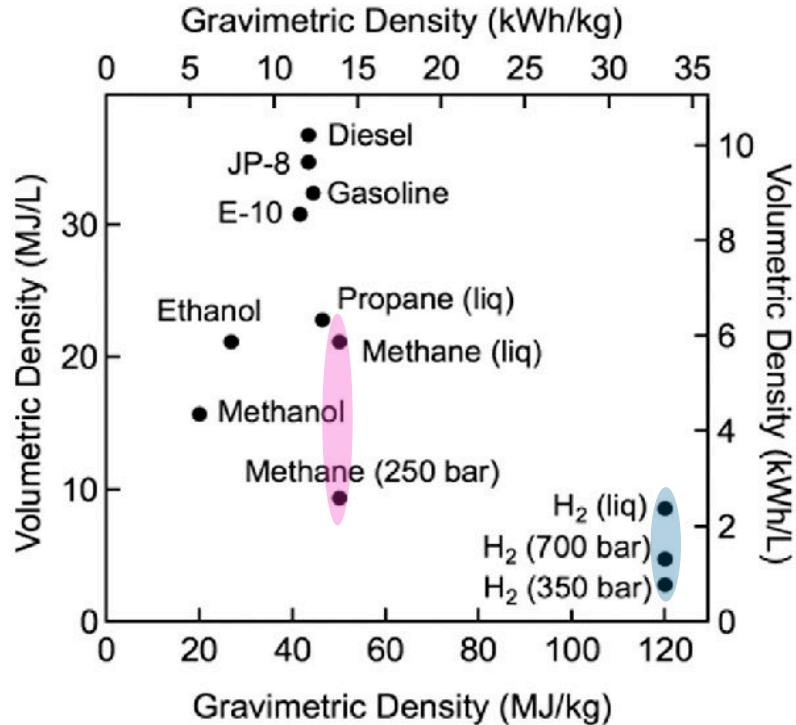
Energieversorgung der Zukunft

Hypothetical electricity profile of Switzerland

Mean values 2010 - 2016; minus nuclear power (25 TWh); plus 25 TWh PV-Strom



Chemische Energieträger als Speicher

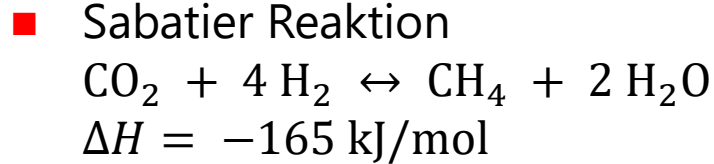


- Speicherung von Überschussenergie
- Energieträger für die Industrie
- Energieträger für den Transport

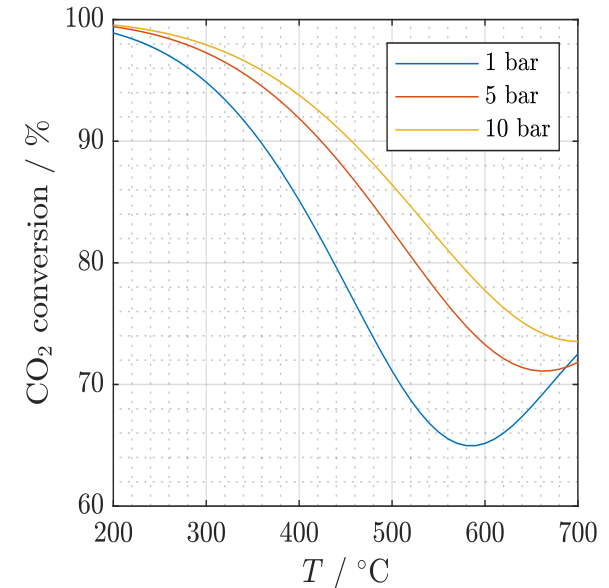
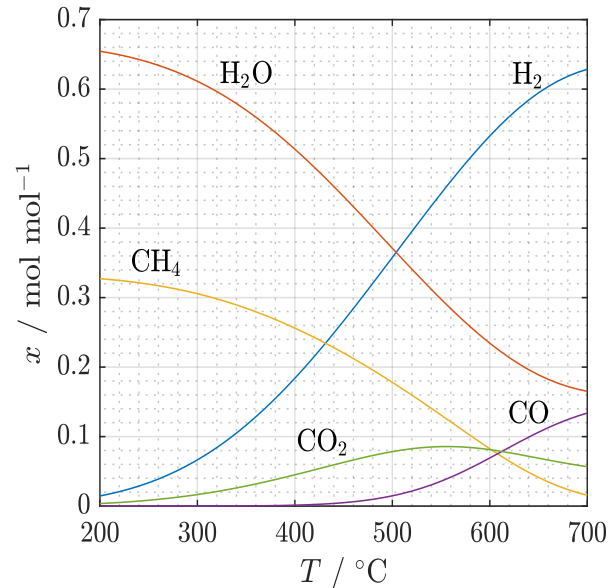
Sorptionsverstärkt und mit Druckwechsel – ein neuer Ansatz für die katalytische **Methanisierung**

- Warum Methan?
 - Energiedichte 50 MJ/kg
 - Speicherpotential Erdgasnetz 91 GWh
 - Vorhandene Verbraucher Heizungen, Brenner, Fahrzeuge
 - Bekanntes Handling Rohre, Speicher, Odorierung, Normen, Qualitätskontrolle
 - Einfache Synthese Sabatier Reaktion, Mikrobiologische Verfahren, SOEC
 - CO₂-Neutralität Kohlenstoffquelle nicht fossil/
Weitere Prozessschritte zur Kohlenstoffabtrennung

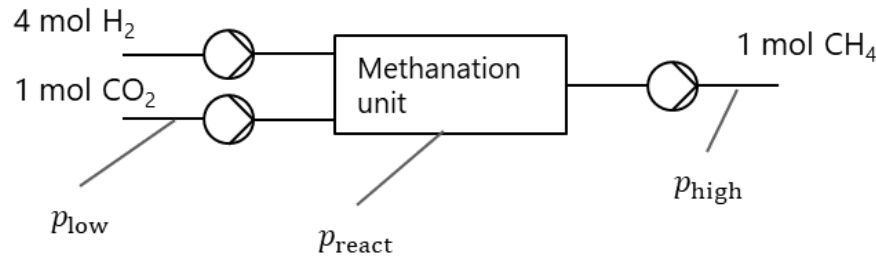
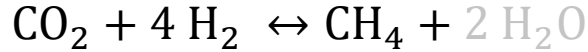
Hydrierung von CO₂ für die Methanproduktion



- Exotherme Reaktion
- Druckabhängig



Kompressionsarbeit: Ein vernachlässigbarer Nebeneffekt?



Annahmen:

Druck Edukte

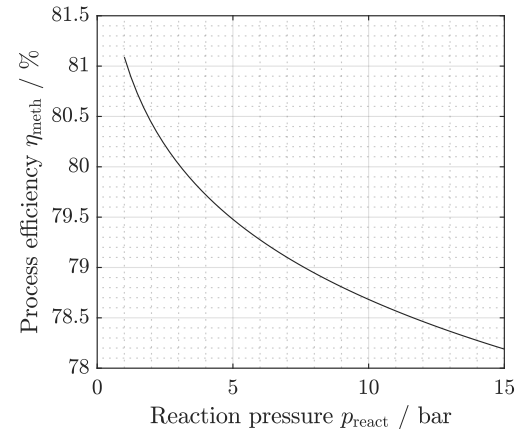
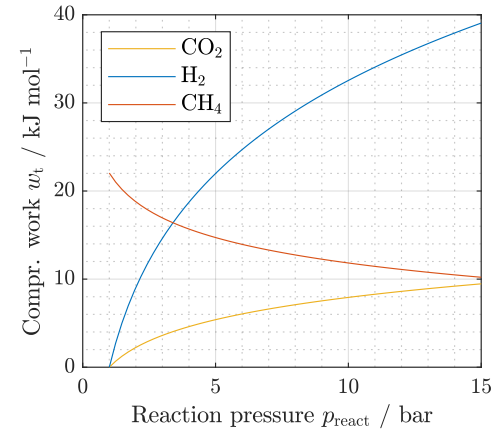
$$p_{\text{low,abs}} = 1 \text{ bar}$$

Speicherdruck

$$p_{\text{high,abs}} = 270 \text{ bar}$$

3-stufige Kompression mit Zwischenkühlung

$$\text{Kompressionsarbeit: } \frac{W_t}{n} = w_t = \frac{\kappa}{\kappa-1} RT \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right], \eta_{is} = 0.85, T = 50^\circ\text{C}$$



Methansynthese in katalytischen Reaktoren: einfache Reaktion = einfacher Prozess?

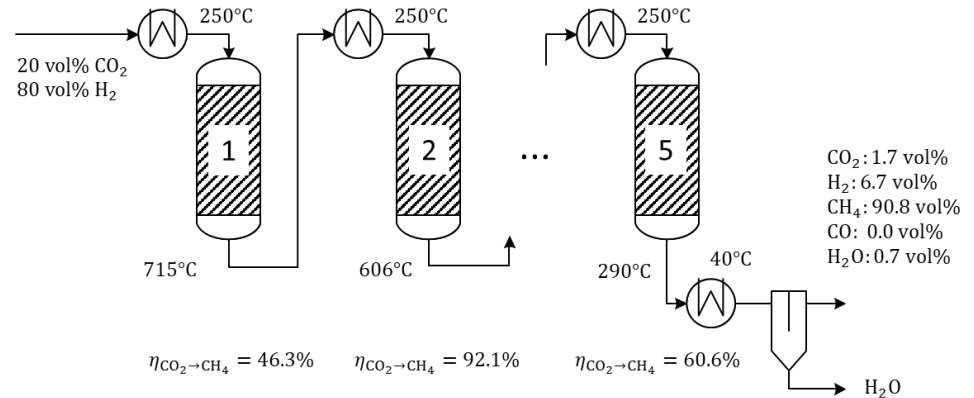
Adiabater Reaktor

Herausforderungen:

- Niedriger Umsatz
- Hohe Durchschnittstemperatur
- Hot spots
- CO, höhere Kohlenwasserstoffe, Verkokung

Massnahmen:

- Hoher Druck
- Mehrere Stufen
- Zwischenkühlung



Konzept	x_{H_2}	x_{CO_2}	p	$\eta_{\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4}$
Adiabat 1 Stufe	64.7%	9.1%	10 bar	46.3%
Adiabat 5 Stufen	6.7%	1.7%	10 bar	98.2%

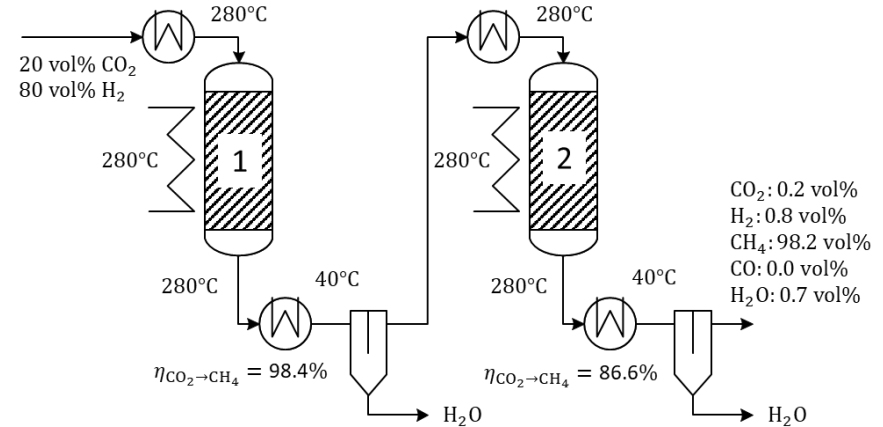
Isothermer Reaktor

Vorteil:

- Veränderliche Bedingungen
- Hoher Umsatz
- Effiziente Katalysatorausnutzung

Herausforderungen:

- Wärmetransport aus dem Reaktorbett
- Komplexes Reaktordesign

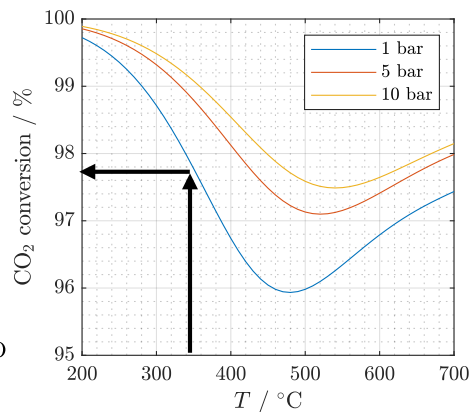
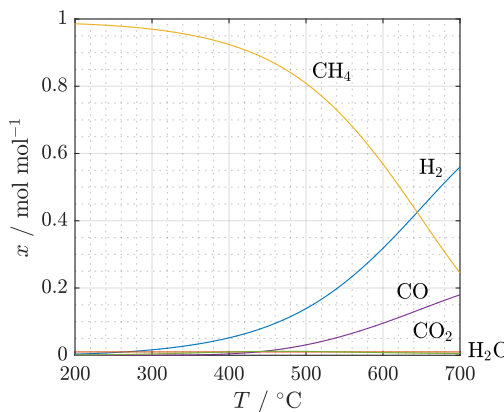
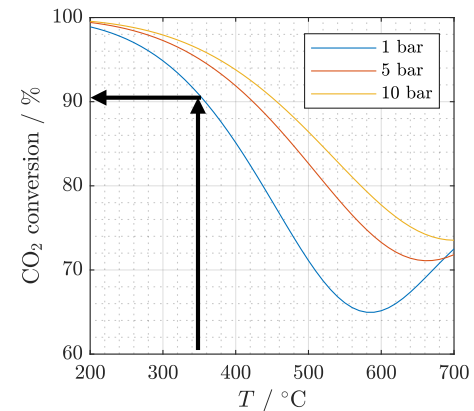
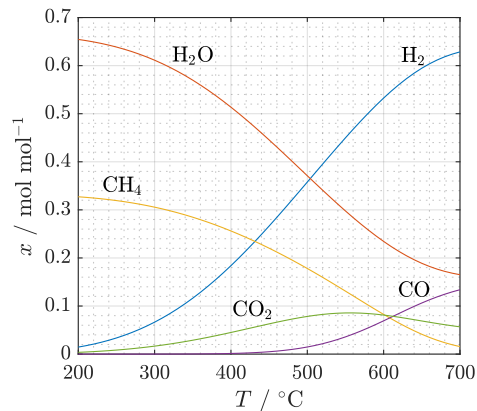


Konzept	x_{H_2}	x_{CO_2}	p	$\eta_{CO_2 \rightarrow CH_4}$
Isotherm 1 Stufe	5.9%	1.5%	10 bar	98.4%
Isotherm 2 Stufen	0.8%	0.2%	10 bar	99.8%

Katalytische Hydrierung von CO₂ für die Methanproduktion - Wasserabscheidung

- Sabatier Reaktion
 $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$
 $\Delta H = -165 \text{ kJ/mol}$
- Exotherme Reaktion
- Druckabhängig
- Entfernung von Wasser als Nebenprodukt

Abtrennung
H₂O



Sorptionsverstärkt und mit Druckwechsel – ein neuer Ansatz für die katalytische Methanisierung

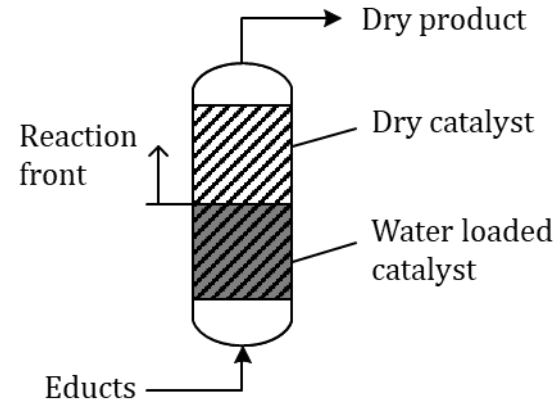
Wasser wird am Katalysator aus der Reaktion entfernt

Vorteil:

- Reines Produkt in einer Stufe
- Keine Hot spots
- Einfacher Reaktor
- Niedriger Druck

Herausforderung:

- Nicht-kontinuierlicher Prozess
- Produktqualität ist abhängig vom Trocknungszustand des Katalysators



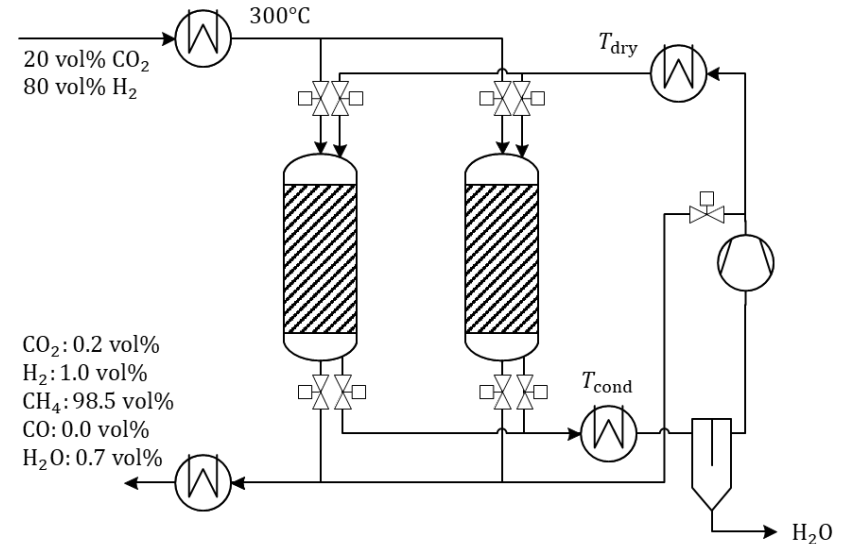
Simulation: Sorptionsverstärkte Reaktion Druckwechseladsorption Setup

Quasi-kontinuierlicher Prozess:

- Integration in Druckwechselverfahren
- Trockener Katalysator bestimmt die Produktqualität

Herausforderungen:

- Interne Wärmerückgewinnung ist notwendig
- Sorptionsverhalten beeinflusst die Performance



Konzept	x_{H_2}	x_{CO_2}	p	$\eta_{CO_2 \rightarrow CH_4}$
Sorptionsverstärkt	1.0%	0.2%	5 bar	99.8%

move - MEGA

- Laborversuche
- Katalysatorentwicklung



Empa Labor 502



Empa Labor 504

move - MEGA

- Prozessentwicklung
- Scale-Up



Empa Labor 504 und 502

Methanproduktion (und Entsorgung)



- Integration Direct Air Capturing Anlage
 - CO₂-Adsorption aus der Umgebungsluft
 - Wärmeeinbindung Elektrolyseur
 - Wärmeeinbindung Methanisierung
- Aufbau Methanisierung im 50 kW Bereich
 - Wärmemanagement
 - Prozessoptimierung
 - Katalysatorproduktion

Future Mobility Demonstrator move



Grid battery for BEVs

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Real-world consumption and car sharing



ETH zürich

350 bar HCNG on-road testing



IVECO **gaz energie** **Swagelok**
EH Mobility Solutions **apex**
Endress+Hauser **DIE POST**



350 bar H₂ road sweeper

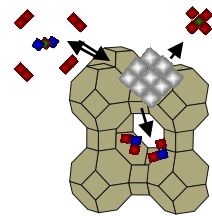


Atlas Copco Stadt Dübendorf
PAUL SCHERRER INSTITUT **BUCHER municipal**
ccem.ch **PSI**

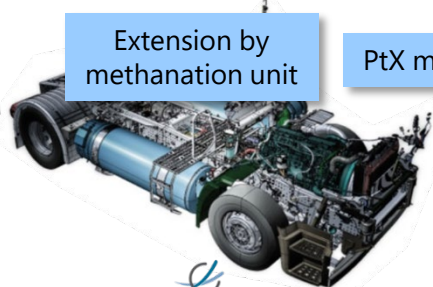


700 bar H₂ passenger car

HYUNDAI **H₂energy** **STÄUBLI**
suva **METAS**



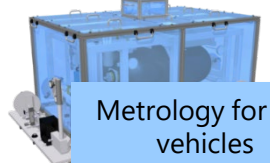
Extension by methanation unit



PtX mobility

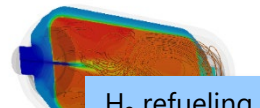
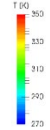
CLIMWORKS **swisspower**

glattwerk optimal versorgt
MIGROS
AVENERGY SUISSE Energie für Mobilität und Decarbon
ETH-RAT
Kanton Zürich
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Bundesamt für Energie BFE



Metrology for H₂-vehicles

European Commission
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation SBI



H₂ refueling simulations

Swagelok
GRAFORCE HYDRO **SCHULZ SYSTEMECHNIK** **FZSoNick**

- **Kiefer, F., Schröter, K., Dimopoulos Eggenschwiler, P., Bach, C.: Significance of synthetic methane for energy storage and CO₂ reduction in the mobility sector. in: Bargende, M., Reuss, H.-C., Wagner, A. (Eds.), 21. Internationales Stuttgarter Symposium, Proceedings. Springer, Wiesbaden, pp. 77–92.**
- Walspurger, S., Elzinga, G.D., Dijkstra, J.W., Sarić, M., Haije, W.G.: Sorption enhanced methanation for substitute natural gas production: Experimental results and thermodynamic considerations. *Chemical Engineering Journal*, vol. 242, pp. 379–386 (2014).
- Morosanu, E.A., Saldivia, A., Antonini, M., Bensaid, S.: Process Modeling of an Innovative Power to LNG Demonstration Plant. *Energy Fuels*, vol. 32, pp. 8868–8879 (2018).
- Borgschulte, A., Delmelle, R., Duarte, R.B., Heel, A., Boillat, P., Lehmann, E.: Water distribution in a sorption enhanced methanation reactor by time resolved neutron imaging, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 18 pp. 17217–17223 (2016).