

PAUL SCHERRER INSTITUT



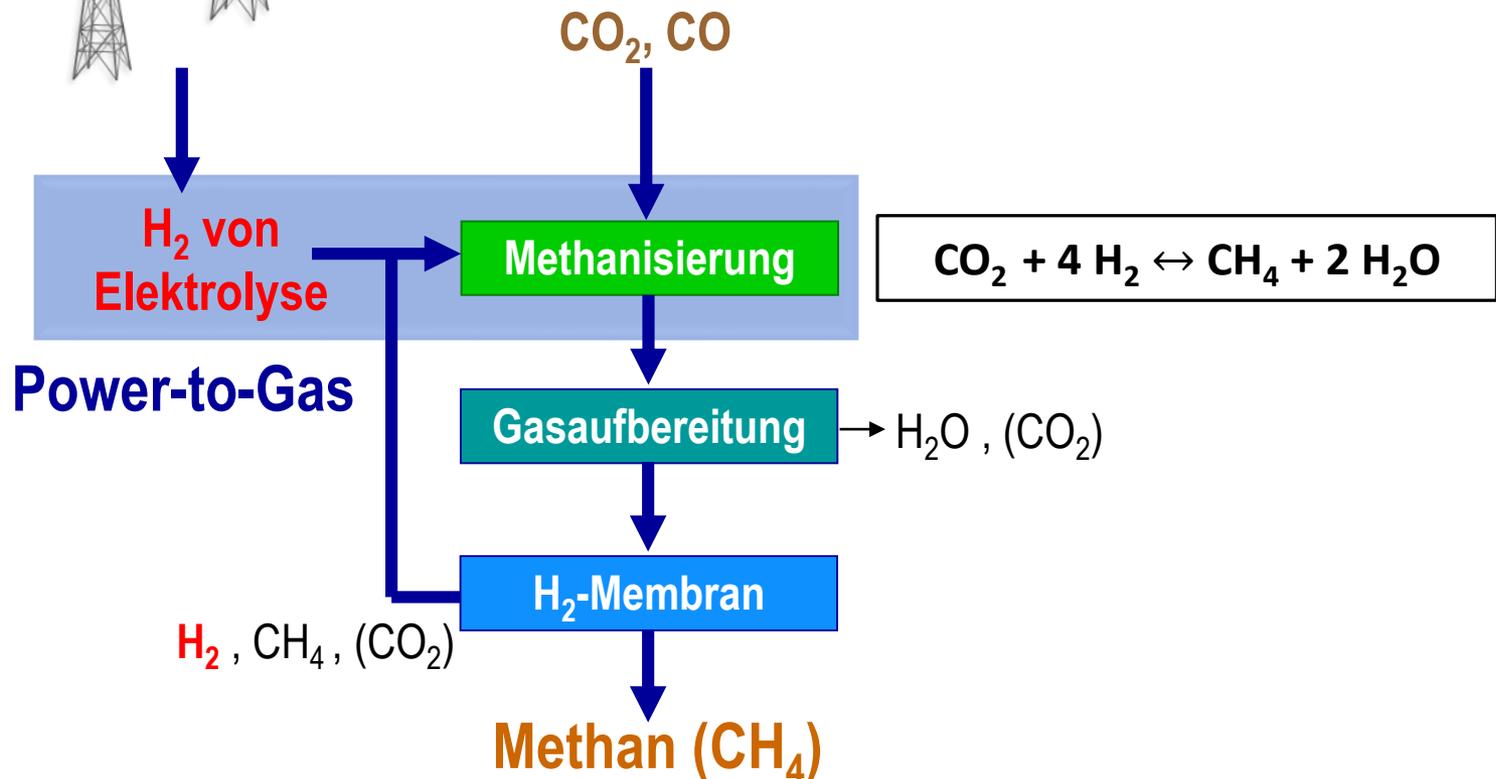
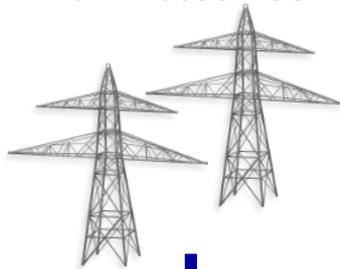
Tilman Schildhauer :: Paul Scherrer Institute

Katalytische Methanisierung

Expertengespräche Power-to-Gas, 13.6.2018

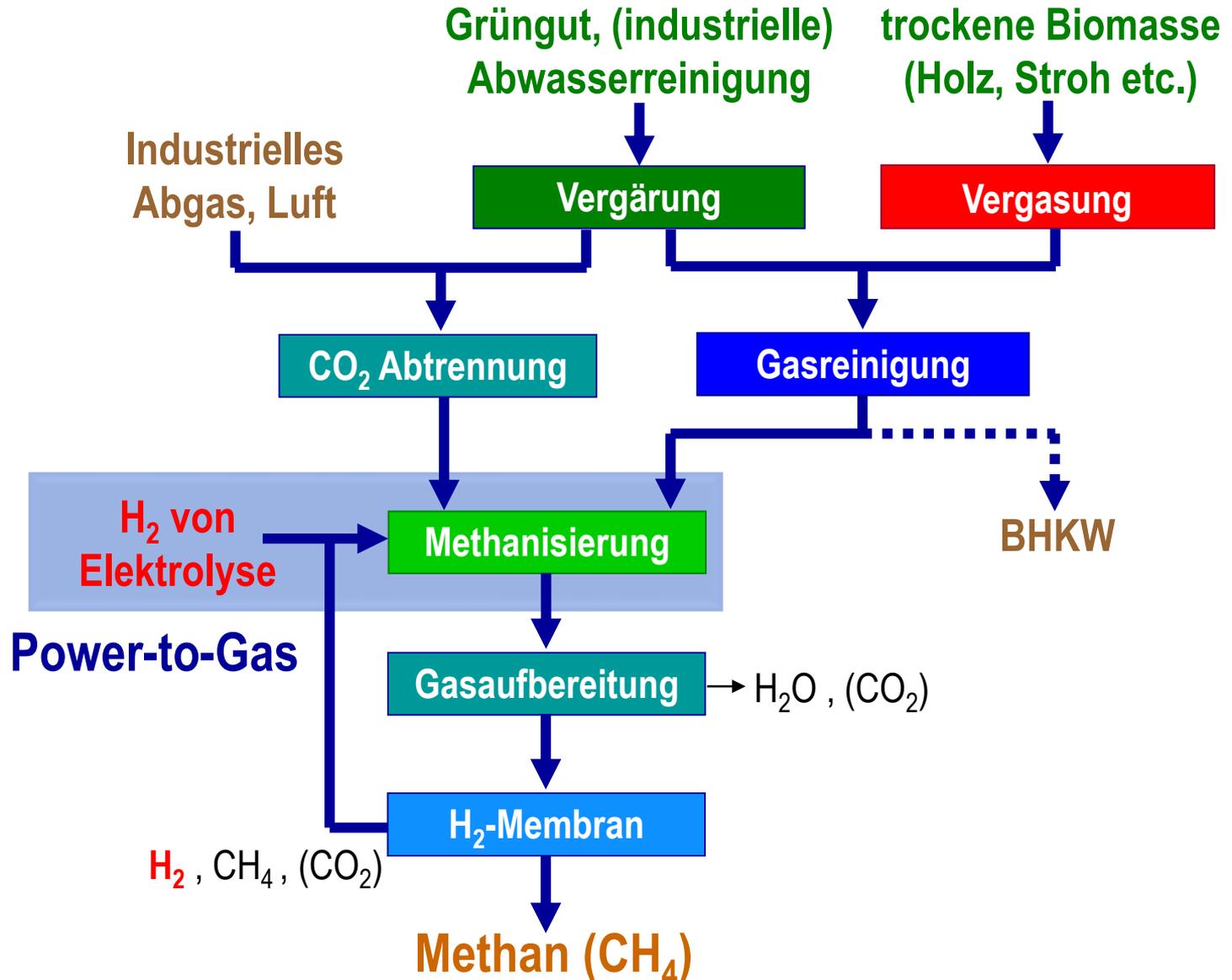
Power-to-Gas (PtG) Schema

Methanisierung besonders im Sommer nötig



Kohlenstoffquellen für Power-to-Gas/ CH_4

Nicht alle Verfahren sind für jede C-Quelle geeignet



Technologien Methanisierung

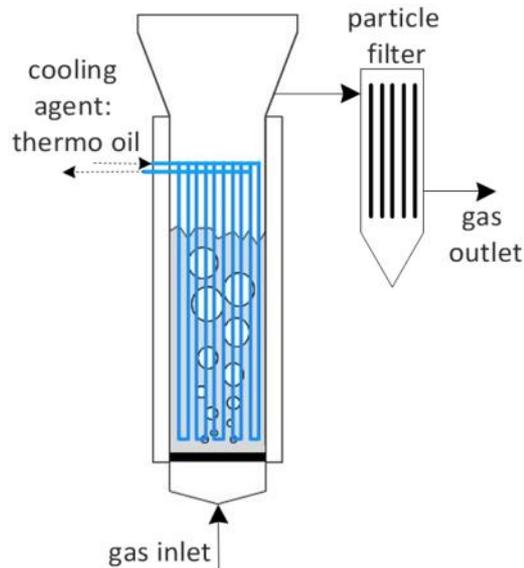
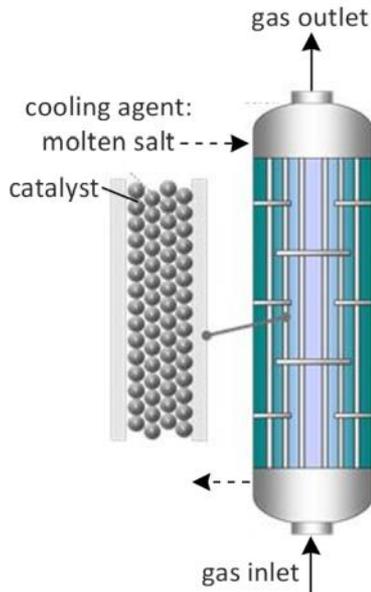
Methanisierung

Katalytisch

Biologisch

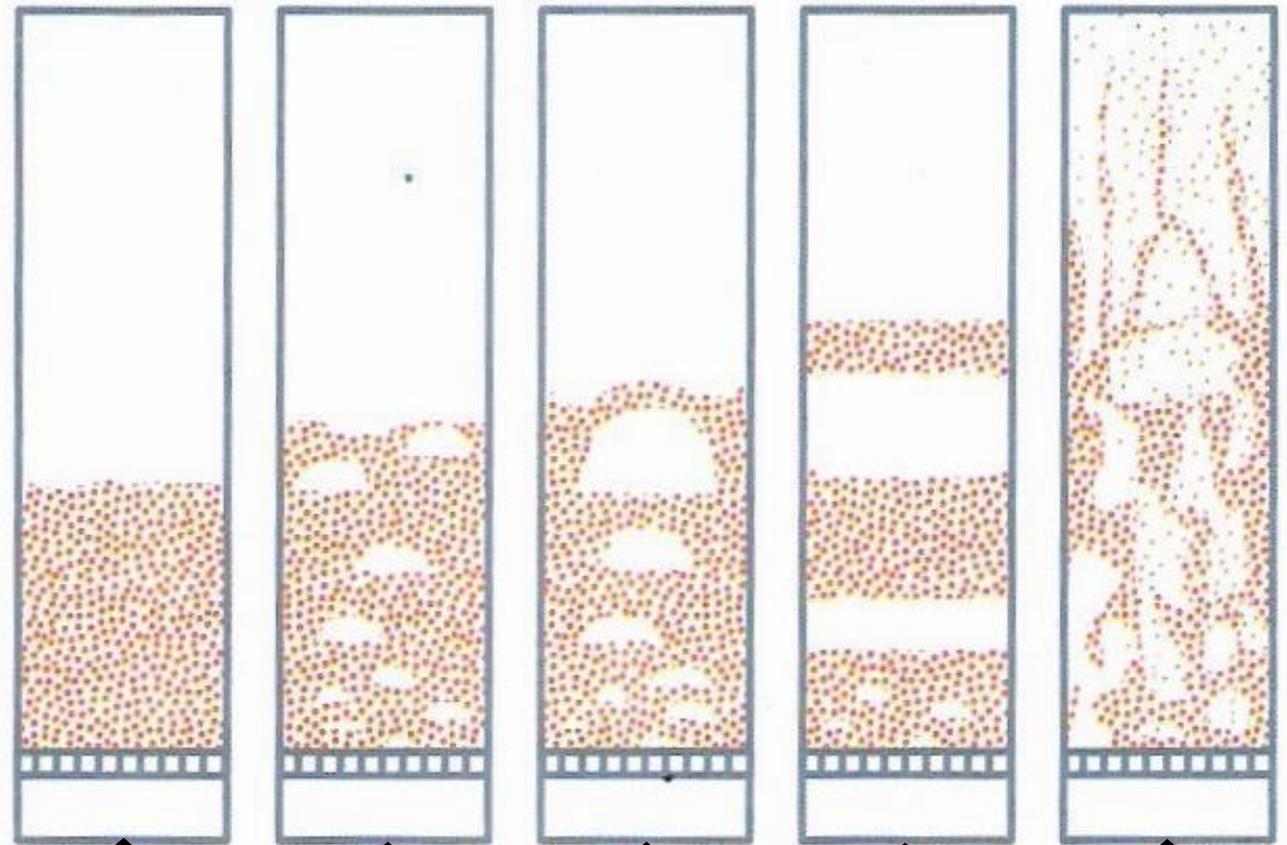
Festbett

Wirbelschicht



Katalysator bewegen: besserer Wärmetransport

Steigende Gas-Geschwindigkeit



Festbett

Blasenbildende
Wirbelschicht

Stossen

Turbulentes
Regime

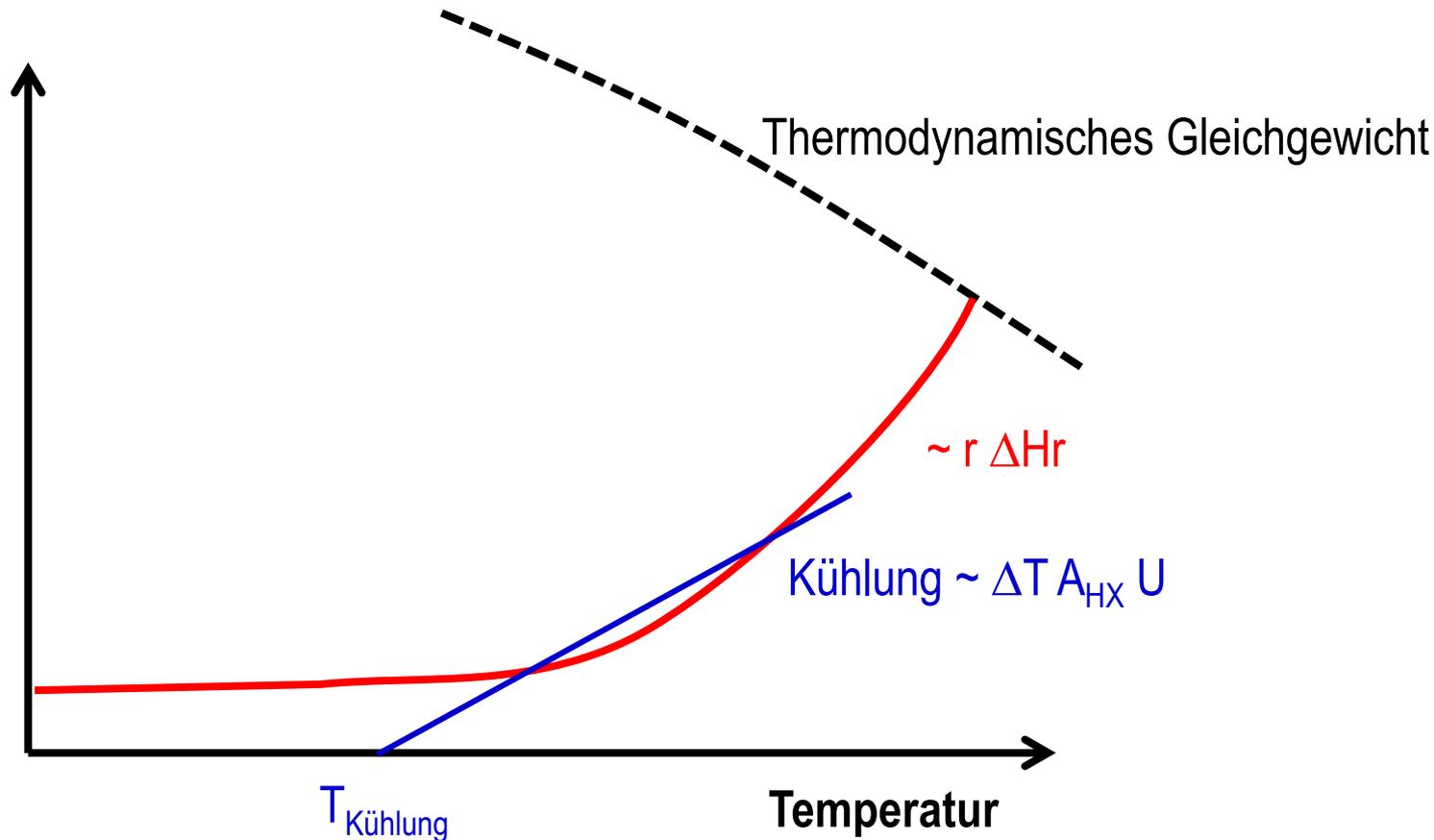
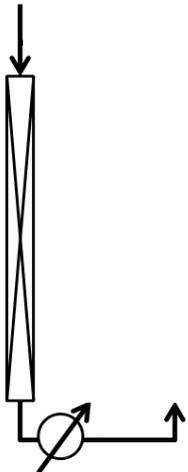
Picture adapted by: Visual Encyclopedia
of Chemical Engineering,
University of Michigan (2018)

Wie exotherme Methanisierung beherrschen?

Adiabates Festbett

- Kühlung in Festbetten ist begrenzt: lokal sehr starke Wärmefreisetzung
- Temperaturanstieg («run-away») fast nicht zu vermeiden

Wärmefreisetzung
(proportional zu CO_x
Umsatz)

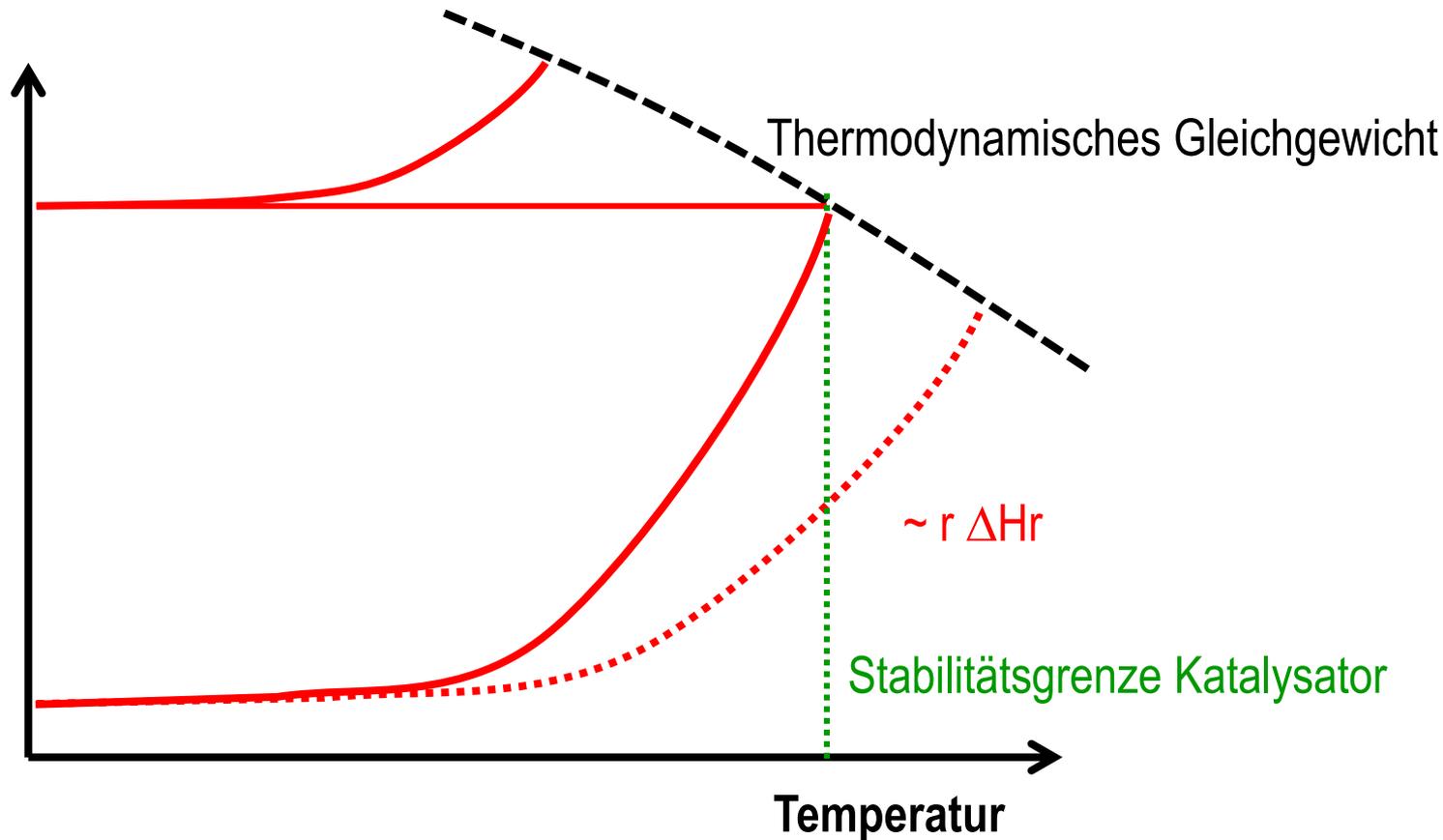
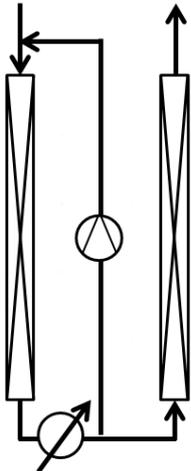


Wie exotherme Methanisierung beherrschen?

Adiabates Festbett

- Rezirkulations-Kühlung
- Serielle Anordnung mehrerer Reaktoren mit Zwischenkühlung

Wärmefreisetzung
(proportional zu CO_x
Umsatz)



Beispiele für Anlagen mit adiabaten Festbetten



Qinghua Anlage: grösste Methanisierung der Welt (coal-to-SNG)



Power-to-Gas mit SOEC in Foulum



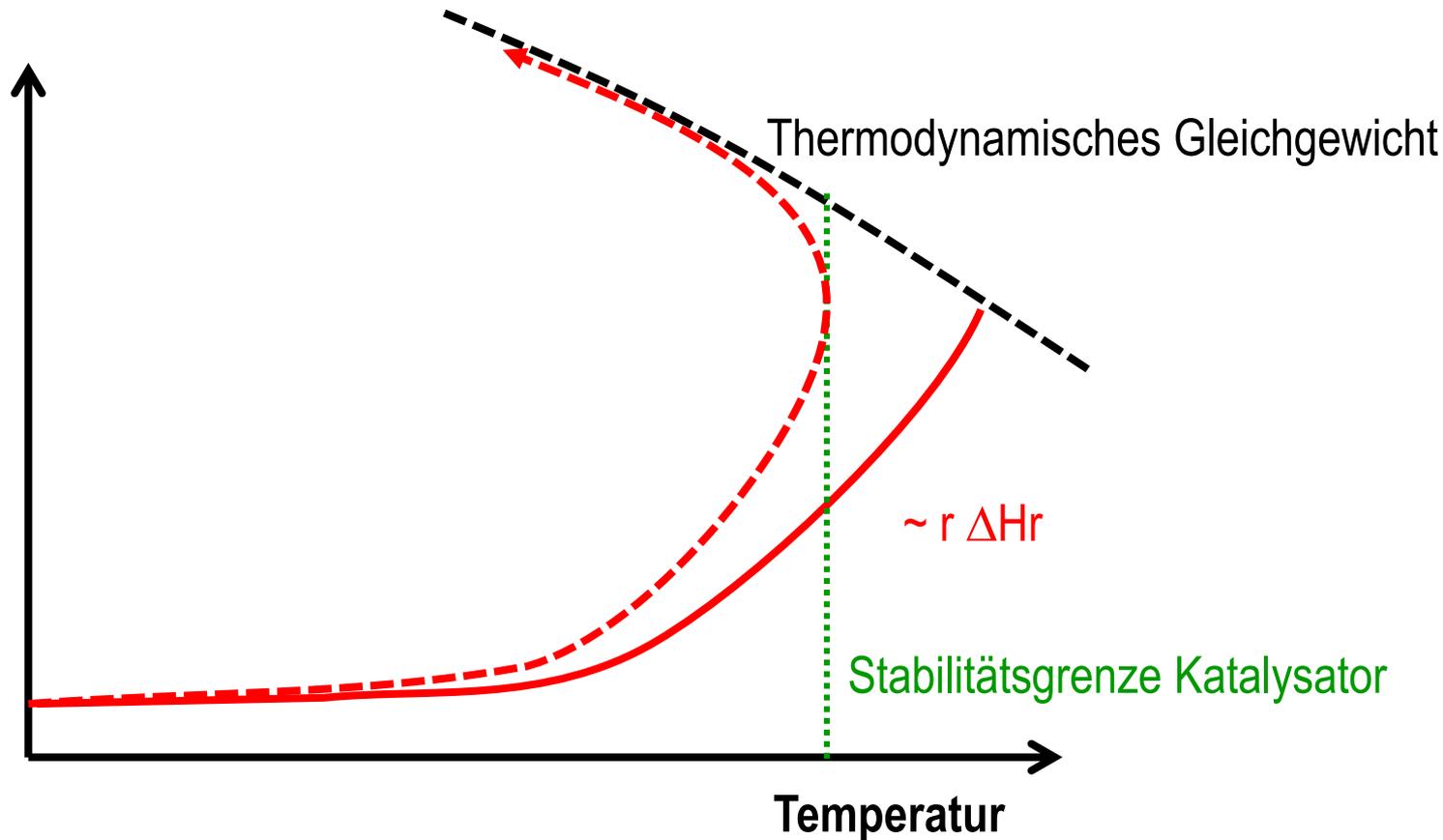
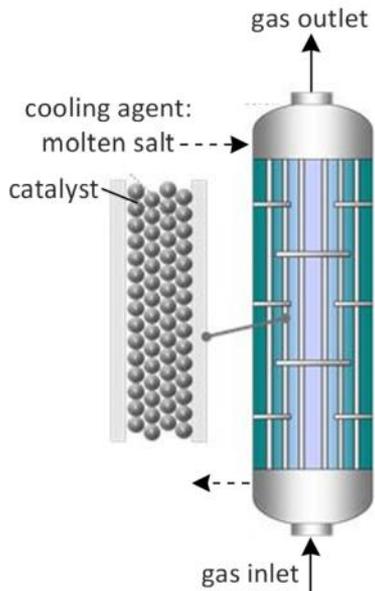
GoBiGas plant (wood-to-SNG)

Wie exotherme Methanisierung beherrschen?

Gekühltes Festbett

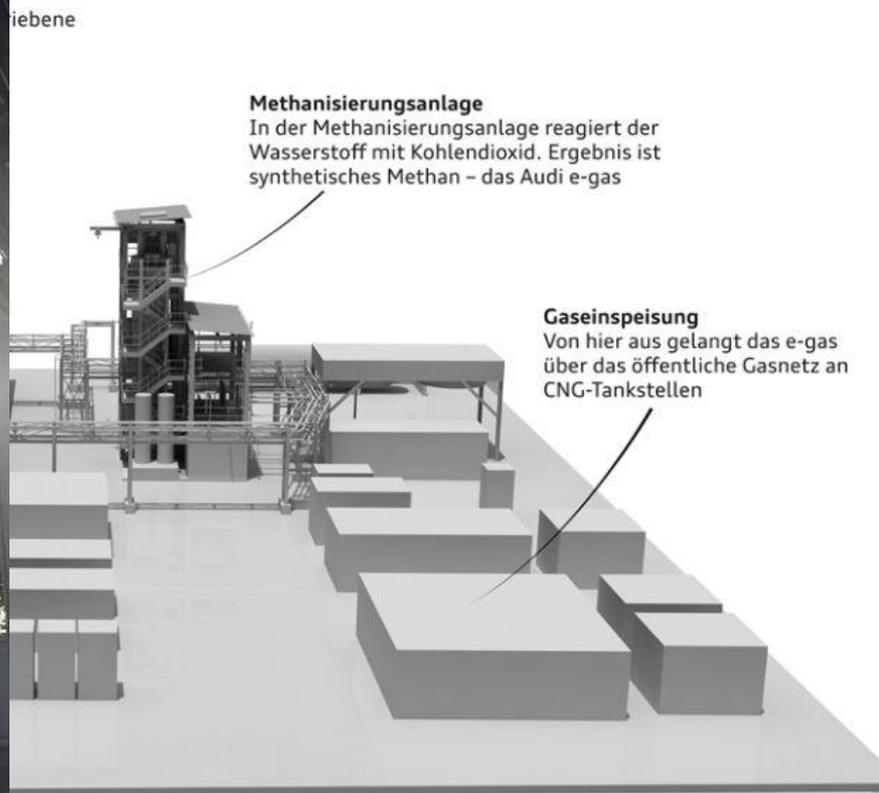
- Starke Temperaturspitze nicht zu vermeiden
- Ab dort Reaktionsfortschritt im Gleichschritt mit Kühlung

Wärmefreisetzung
(proportional zu CO_x
Umsatz)



Power-to-Gas Anlagen mit CO₂ aus Biogas

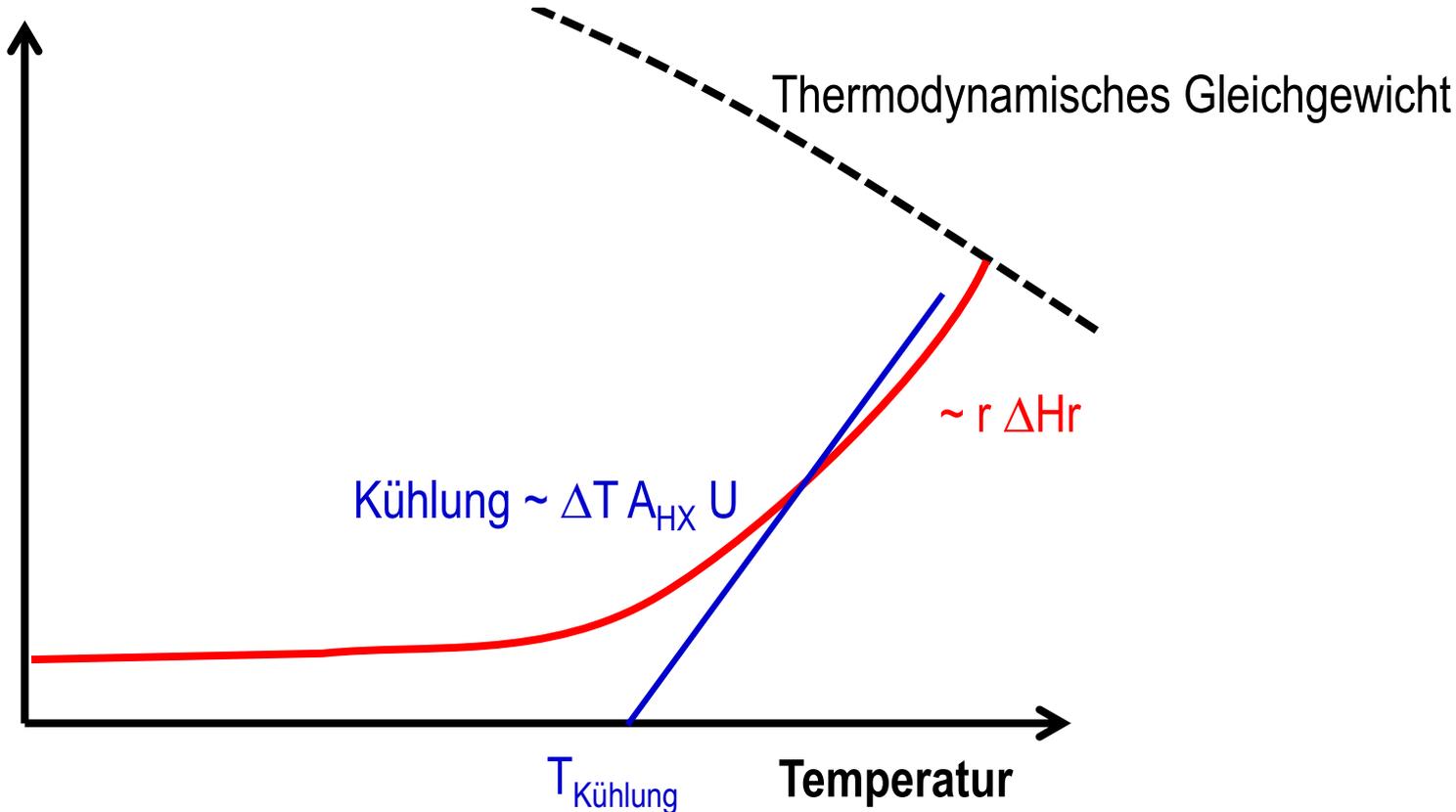
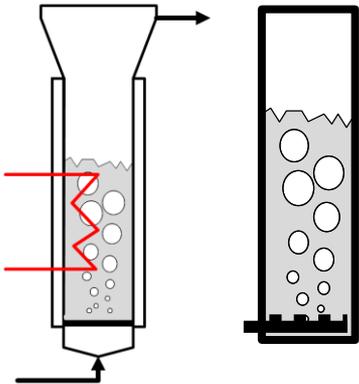
Festbettmethanisierung in Werlte (D)



Katalytische Wirbelschicht oder Blasensäule

- Katalysatorbewegung verteilt Wärme im ganzen Reaktor
- Deutlich bessere Kühlung durch höheres U und vergrößerte A_{HX}
- Anpassung von Druck und Flussrate erlaubt (dynamische) Lastwechsel

Wärmefreisetzung
(proportional zu CO_x
Umsatz)



Entwicklungsschritte Wirbelschicht

Für verschiedene Anwendung: Biogas, CO₂ und Holzgas

COSYMA
(TRL 4/5)
10 kW

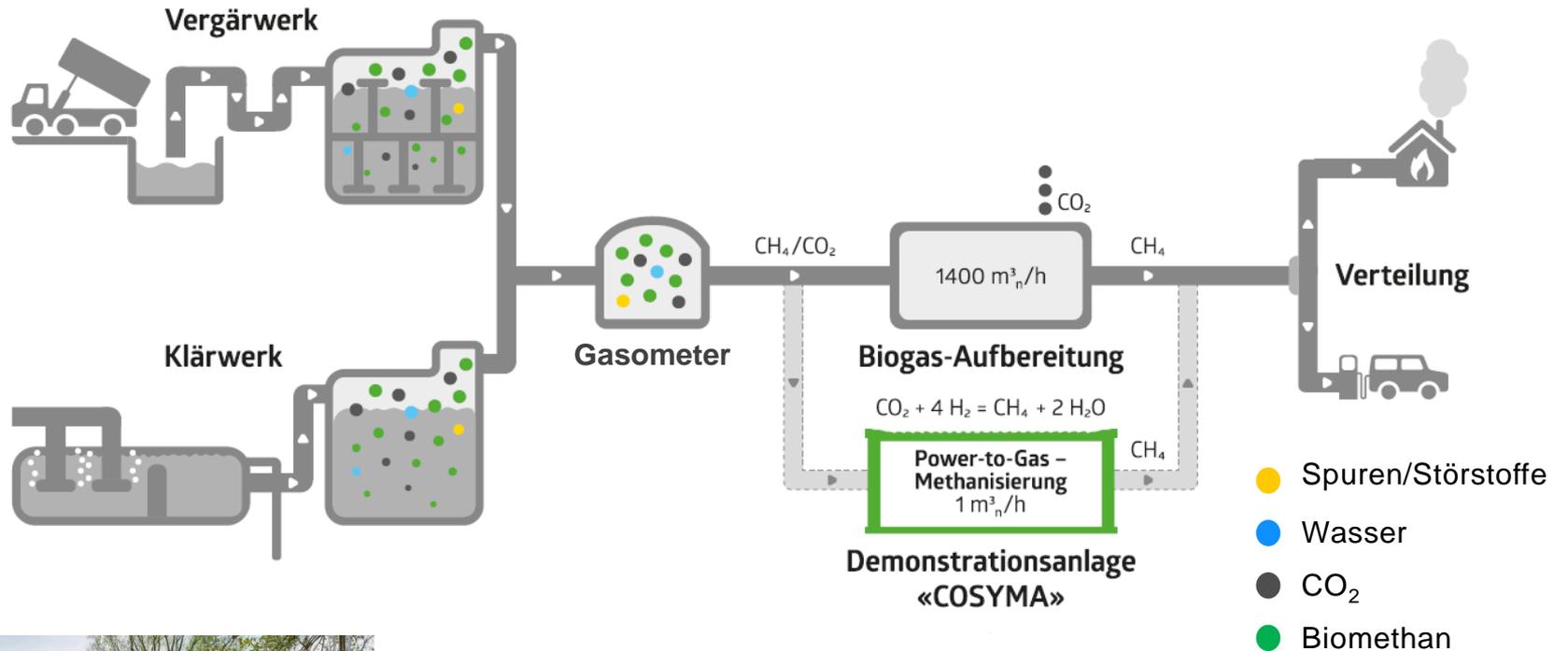
GanyMeth
(TRL 6/7)
100-300 kW

PDU BioSNG
(TRL 7/8)
0.5-1 MW



Demonstration Direkte Methanisierung Biogas

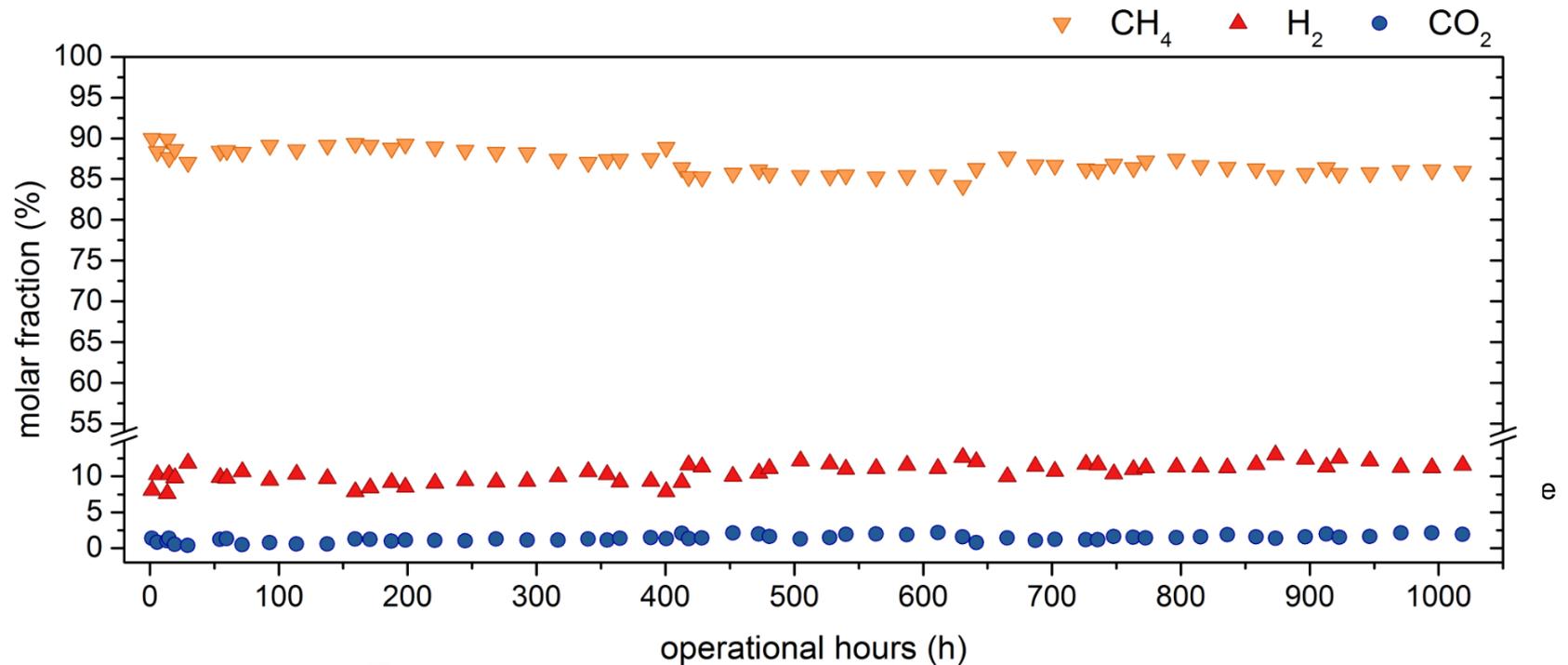
Wirbelschichtmethanisierung, Zürich Werdhölzli (CH)



- Demonstrationsanlage für 2 Nm³/h reales Gas
- Katalytische Methanisierung im Wirbelschicht Reaktor
- Betrieb mit Einspeisung ins Netz

Demonstration Direkte Methanisierung Biogas

Wirbelschichtmethanisierung, Zürich Werdhölzli (CH)



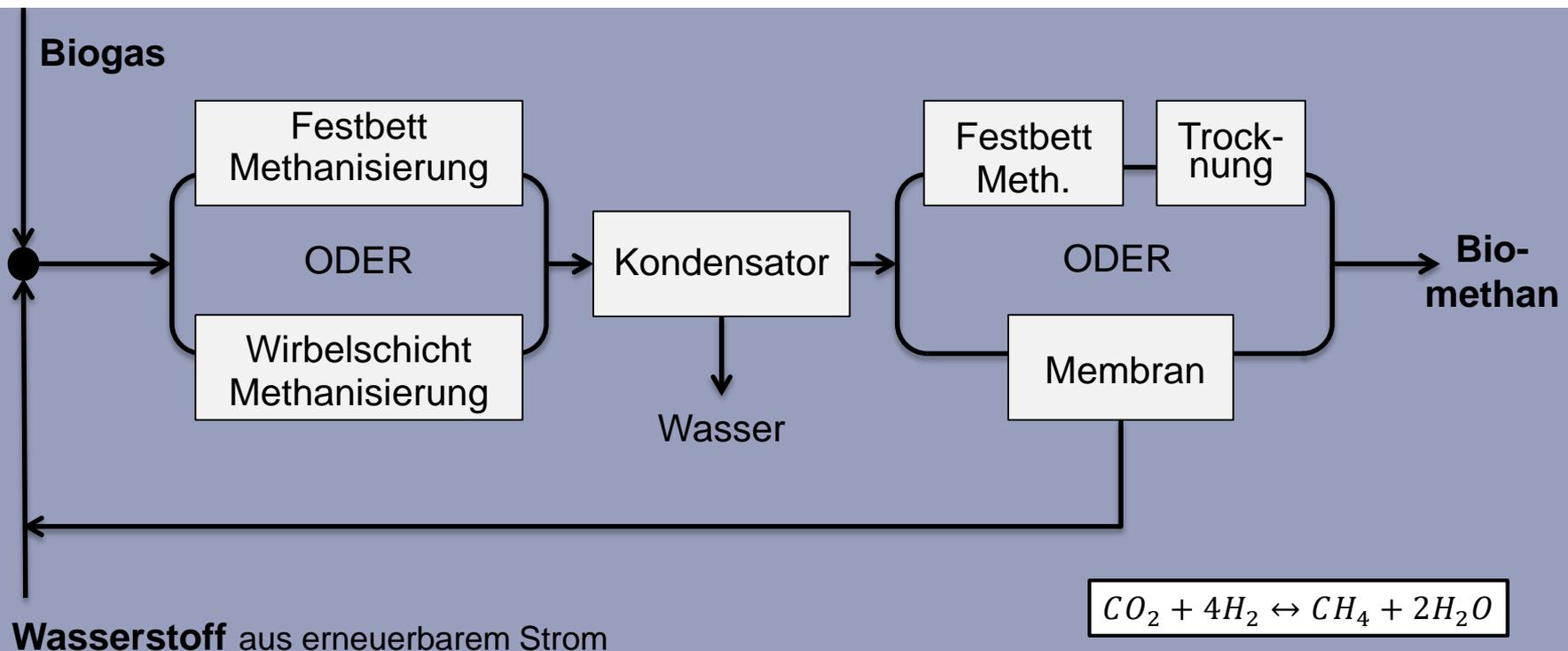
- Demonstrationsanlage für 2 Nm³/h reales Gas
- Katalytische Methanisierung im Wirbelschicht Reaktor
- 1'100 h Betrieb im Jahr 2017

Prozess Simulation

Wie Einspeisequalität erreichen ($>96\% \text{ CH}_4$, $<2\% \text{ H}_2$) ?

Evaluation der Prozesse:

- Wird geforderte Erdgasnetzqualität von Biomethan erreicht?
- Was sind die optimale Betriebsbedingungen?
- Wo liegen die Hauptkosten?



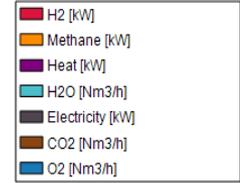
Resultate: Wirkungsgrade (Brennwert/HHV-Basis)

Ähnlich für alle katalytischen Prozesse (hier: WS & Membran)

Elektrolyse: 1655 kW Strom



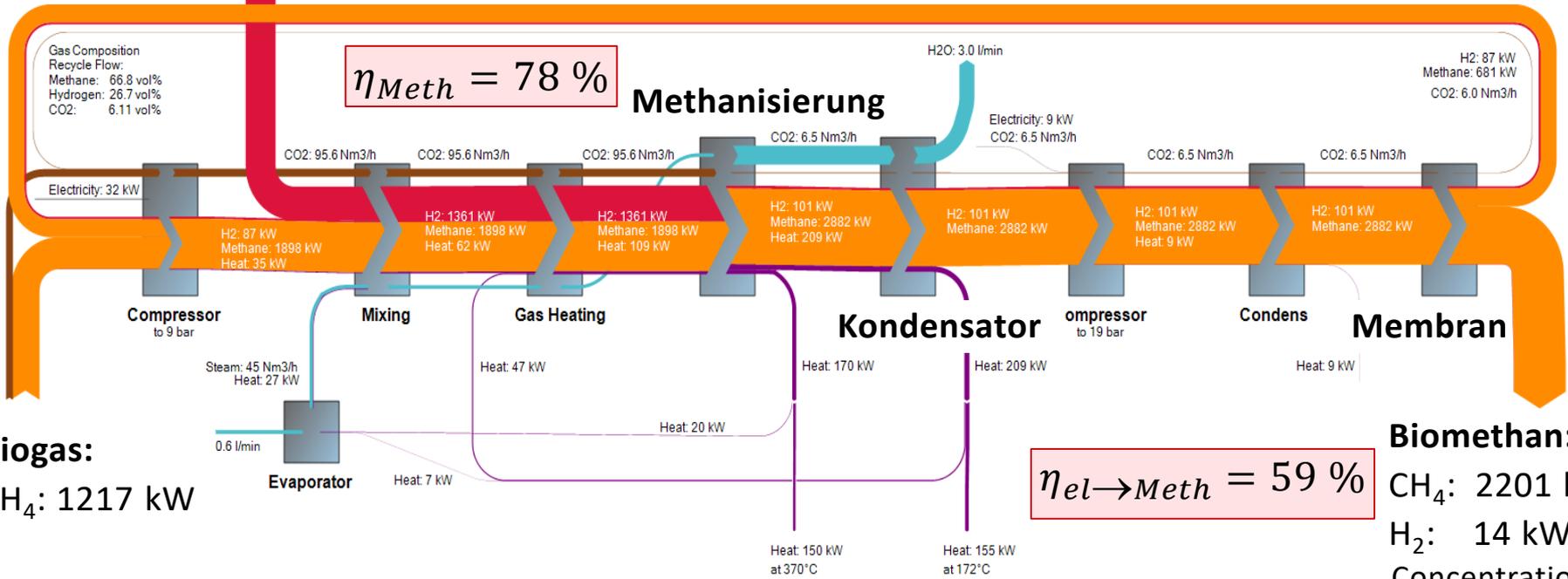
Annahme: $\eta_{el \rightarrow H_2} = 77\%$, Rest Abwärme



Wasserstoff: 1274 kW

$\eta_{Meth} = 78\%$

Methanisierung

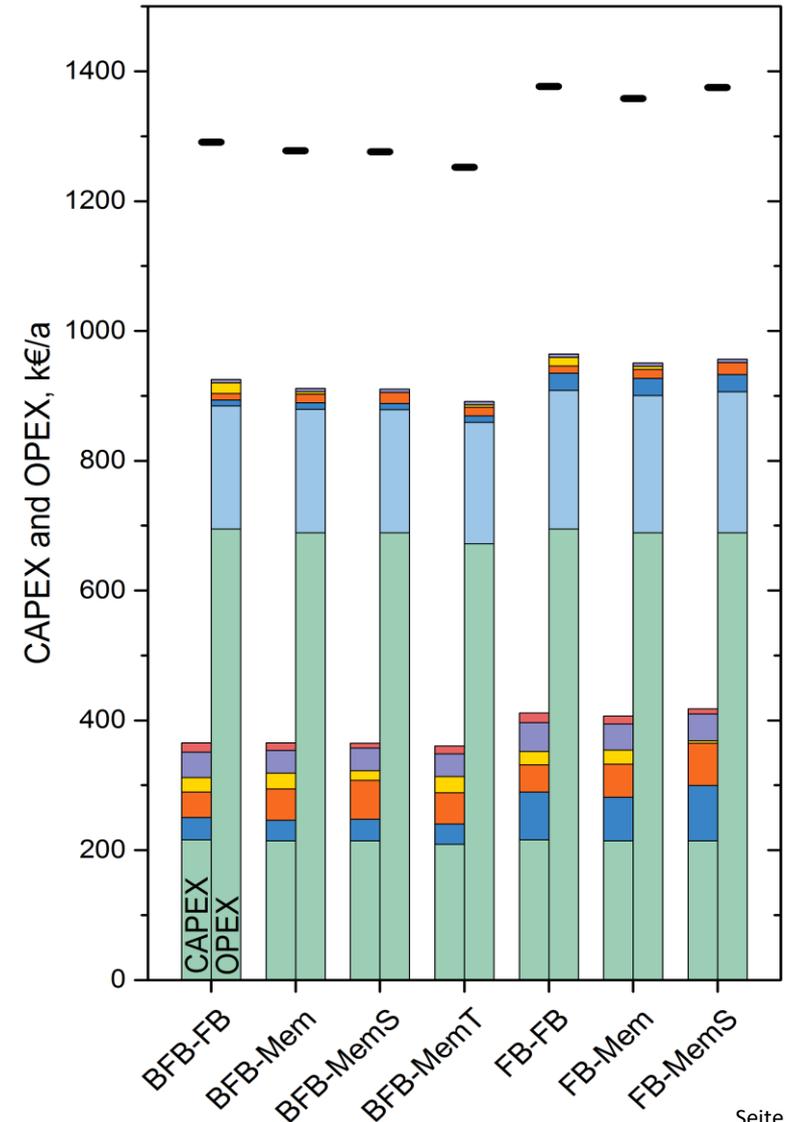
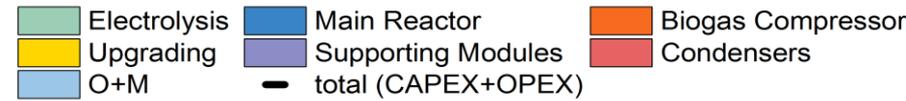
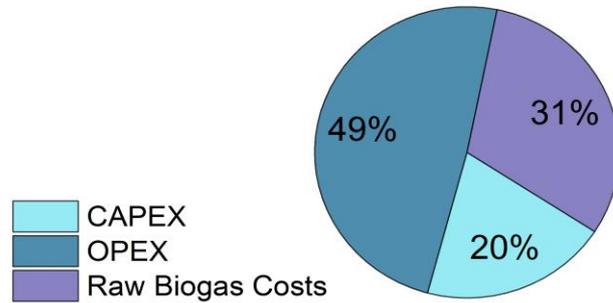


$\eta_{el \rightarrow Meth} = 59\%$

Einsetzbare Prozesswärme: 18 %

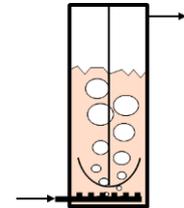
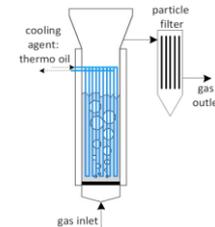
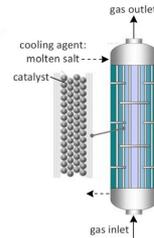
Biomethan:
CH₄: 2201 kW
H₂: 14 kW
Concentrations:
CH₄: 97.5 vol-%
H₂: 2 vol-%
CO₂: 0.5 vol-%

Kostenschätzung (Zuschlagsfaktoren-Methode)



- CAPEX und OPEX werden von Elektrokosten dominiert
- Verfahren mit Wirbelschicht sind etwas günstiger als solche mit Festbett
- Unterschiede CAPEX sind etwas kleiner als Fehler der Methode (+/- 20-25%)

Technologie-Vergleich Methanisierung



Aspekt	Gekühltes Festbett (Hitachi Zosen Inova)	Blasenbildende Wirbelschicht (PSI/TKE)	Biologisch (electrochaeta, Microbenergy)
Temperaturniveau Wärmerückgewinnung	+	+	-
Gas-Aufbereitung nötig für < 2% H ₂ ?	ja	ja	Je nach Durchsatz
Tief-Entschwefelung nötig?	<< 1 ppm vor Reaktor	<< 1 ppm vor Reaktor	< 3ppm nach Reaktor
Reaktorgröße (hoher Durchsatz)	+	++	-
Olefine und Aromaten im Feed (C ₂ H ₄ , C ₆ H ₆): Komplexität Gasreinigung	-	+	-
Technischer Reifegrad (TRL)	8	6-7	7, [8]
Demo- oder kommerzielle Anlage	Werlte (3 MW _{SNG})	GanyMeth (200 kW _{SNG}) Güssing (1 MW _{SNG})	BioCat (500 kW _{SNG}) [Solothurn, Dietikon]

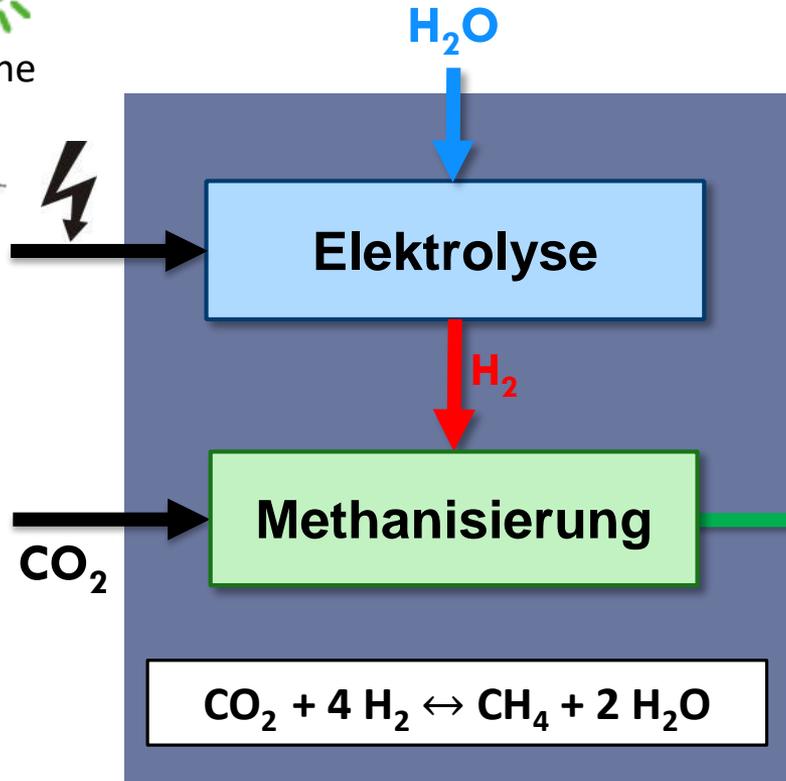
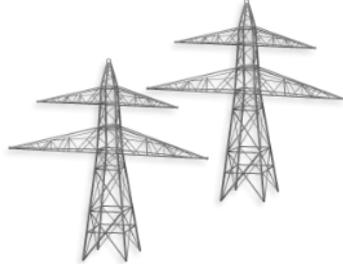
My thanks go to

- P. Dietiker, A. Kunz (e360°)
- S. Biollaz, P. Jansohn (PSI)
- ESI-Team
- BfE, FoGa, CCEM, Empa, Biosweet/Innosuisse
- Whole TCP group:
 - Construction team
 - Operation team
 - Scientific team



Power-to-Gas (PtG) Schema

Besonders im Sommer nötig



Anwendung

Gas-Netz

Speicherung