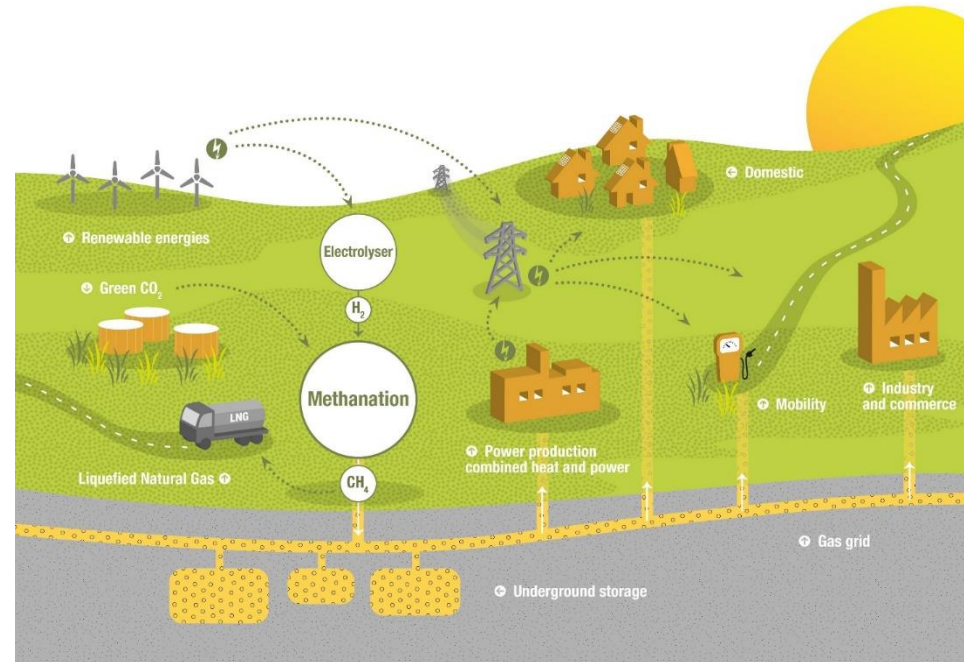


Techno-ökonomischer Vergleich von Power-to-Gas-Anlagen in der Schweiz

Jachin Gorre (HSR)

Power-to-Gas-Anlage Zuchwil:
Erfahrung und Ausblick

11. Dezember 2019



Co-funded
by the European Union
under Grant Agreement
no. 691797

Supported by

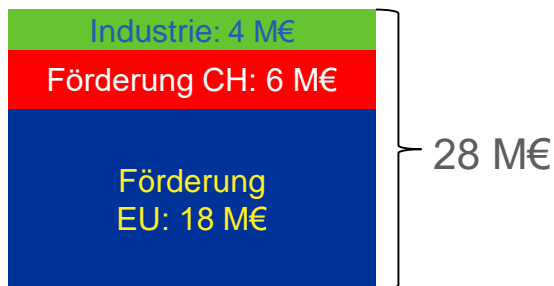


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Under contract number 15.0333

STORE&GO – das Projekt

- ➔ 27 Partner von 6 Europäischen Ländern
- ➔ Laufzeit: 03/2016 - 02/2020
- ➔ Aufbau und Betrieb von 3 PtG Demo-Anlagen
- ➔ Intensive cross-cutting Aktivitäten



Fokus liegt auf PtG Anlagen mit Methanisierungstechnologie

Auswahl von 3 Anlagen in Europa mit vorhandener Elektrolysekapazität

Überblick der Aktivitäten

➔ Entwicklung, Errichtung, Betrieb und Analyse von 3 Demo-Standorten

- Umweltauswirkungen
- Ökonomische Analyse
- Optimierte Betriebskonzepte für Gasnetze



➔ Barrieren abbauen

- Aufdecken rechtlicher und regulatorischer Hindernisse
- Ausblick auf die Kosten- und Technologieentwicklung
- Soziale Akzeptanz



➔ Auswirkungen von PtG auf das Energiesystem

- Vorteile für den Betrieb von Vertriebsnetzen
- Kosteneinsparungen in den Übertragungsnetzen
- Energiesystemsimulationen



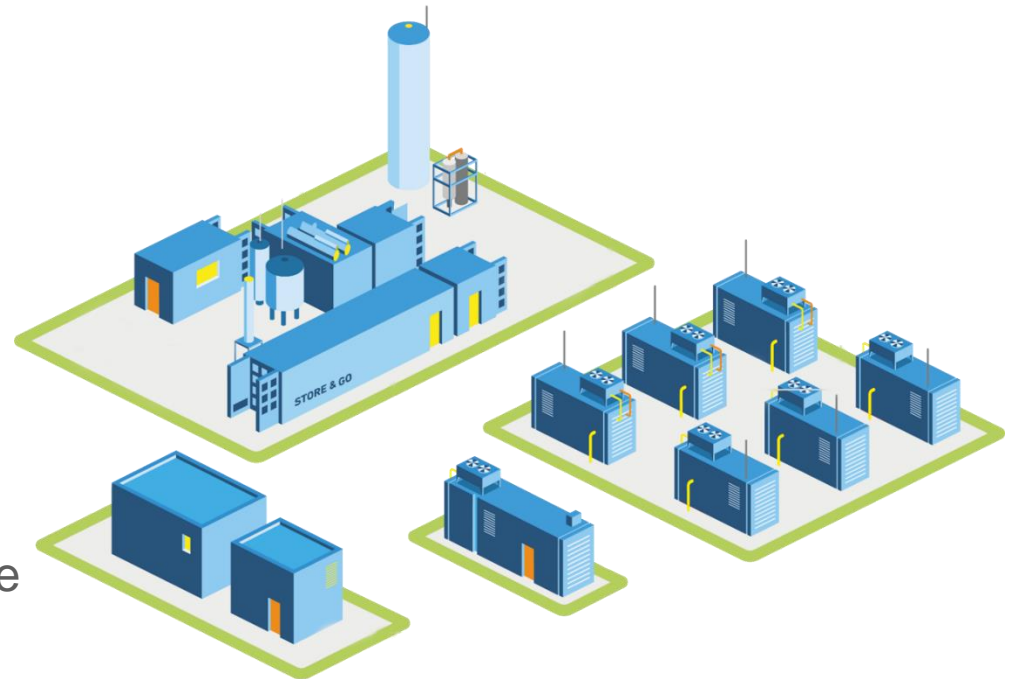
➔ Marktbeobachtung

- Analyse des zukünftigen Bedarfs an "grünen Gasen".
- Gesamtwirtschaftliche Kosten und Nutzen von PtG
- Ausarbeitung einer europäischen PtG-Roadmap



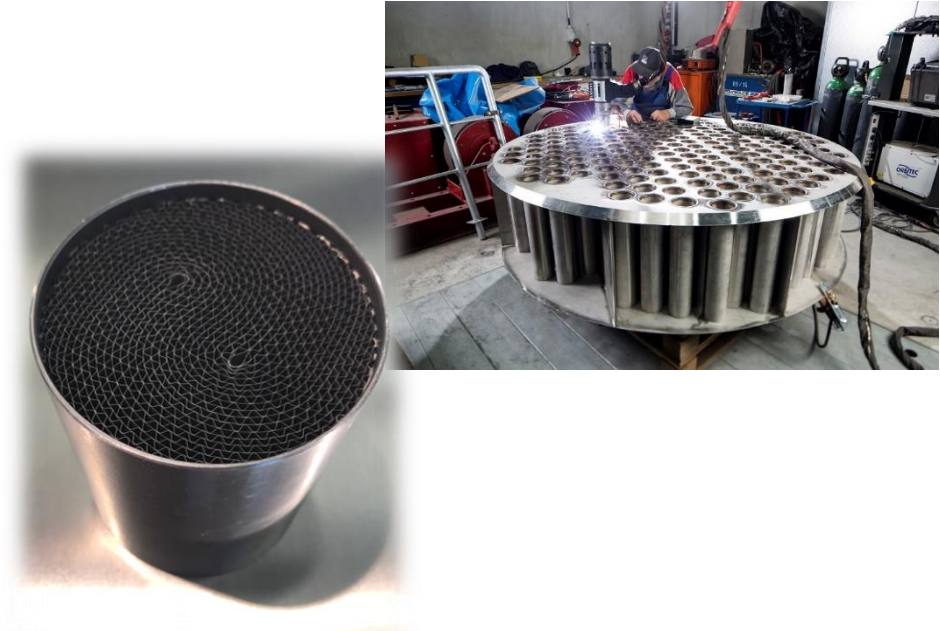
Demonstrationsanlagen im Überblick

- ➔ 3 Demonstrationsanlage mit verschiedenen Testumgebungen
 - Methanisierungstechnologie
 - Gasnetzanschluss
 - CO₂ Quelle
 - Erneuerbare Energiequelle
- ➔ Volle Integration der PtG-Anlage in die existierenden Energienetze
 - 2 Anlagen: Einspeisung ins Gasnetz
 - 1 Anlage: Verflüssigung des SNG zu “LSNG” oder LRG (Liquefied Renewable Gas)



Demo Anlage Falkenhagen, Deutschland

- ➔ Anlagengrösse: 1 MW
- ➔ Katalytische Methanisierung
- ➔ CO₂ von Bioethanol-Prozess
- ➔ SNG Einspeisung ins Transportnetz (50 bar)
- ➔ Thermische Integration mit Furnierwerk

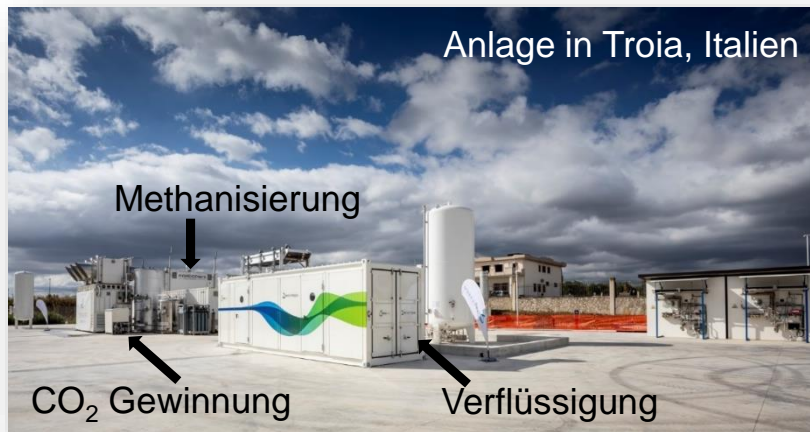


Aktuelle Betriebserfahrung

- ➔ Betriebsdauer: 802 h
- ➔ Eingespeistes SNG: > 7.500 m³ of SNG
- ➔ Gas Qualität: >96 % CH₄,
<2% H₂, <2% CO₂

Demo Anlage Troia, Italien

- ➔ Anlagengrösse: 200 kW
- ➔ Katalytische Methanisierung
- ➔ CO₂ aus der Atmosphäre
- ➔ Verflüssigung des SNG zu "LSNG"



Katalytische Methanisierung
„milli“-Reaktor



Latest Operational Experiences

- ➔ Prozesskette zu "LNG" im April 2019 verifiziert
- ➔ Betriebsdauer: ~150 h
- ➔ Menge an SNG: > 600 m³
- ➔ Gasqualität: >96 % CH₄

Wichtigste Ergebnisse der Cross-Cutting-Aktivitäten

➔ Betrieb und Analyse von 3 Demonstratoren

- Alle Standorte produzieren hochwertiges Methan.
- Integration in den Netzbetrieb möglich
- Erfahrungen und Erwartungen werden analysiert.



➔ Barrieren abbauen

- Zukunftsbedarf stark von den politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen abhängig
- Der politische Rahmen ist noch nicht bereit für die Markteinführung von Power-to-Gas.
- Soziale Akzeptanz von PtG hoch; kann durch weitere Unterstützung von Behörden gefördert werden.



➔ Auswirkungen von PtG auf das Energiesystem

- Die meisten Szenarien zeigen relevanten Bedarf an Power-to-Gas (CH_4) im Bereich von 50 - 200 GW in Europa
- optimistisch bis zu 660 GW (ca. 75% des Gasbedarfs)
- PtG (unabhängig vom CH_4 - oder H_2 -Ziel) ist vorteilhaft für Stromverteilungs- und Übertragungsnetze.



➔ Marktbeobachtung

- Hohes Erzeugungspotenzial für erneuerbares Gas (CH_4) in der EU, z.B:
 - 500 - 2500 TWh aus Biomassevergärung*
 - PtG mit CO_2 aus der Gärung: weitere 250 - 1200 TWh



*assuming that 1/3 of technical potential is used

Was haben wir erreicht?

- ➔ Es konnte eine breite Anwendung und Kombination verschiedener Technologien demonstriert werden.
- ➔ Die Investitionskosten für großtechnische Methanisierungsanlagen werden mindestens 15 % tiefer sein.
- ➔ Nationale Einspeisestandards wurden erreicht:
 - Deutschland: $\text{CH}_4 > 96$ Vol.-%, $\text{H}_2 < 2$ Vol.-%
 - Schweiz: $\text{CH}_4 > 96$ Vol.-%, $\text{H}_2 < 2$ Vol.-% in the grid
- ➔ Verflüssigung wurde als Alternative erfolgreich in Italien getestet
 - Nationaler Einspeisestandard schwer zu erreichen ($\text{H}_2 < 0.5$ Vol.-%)



Power-to-Gas ist innovativ und bereit für die Anwendung!

Wie weit ist die Technologie?

- ➔ Ziel war es neuartige Technologien von TRL 5 (Versuchsaufbau in Einsatzumgebung) auf TRL 7 (Prototyp im Einsatz (1–5 Jahre)) zu heben
- ➔ Ziel wurde in Solothurn und Falkenhagen erreicht
- ➔ Was ist "State of the Art"?
 - Festbettkatalyse
 - Alkalische Elektrolyse
- ➔ Wo steht die "State of the Art"-Technologie?
 - PtG-Anlage von Audi in Werlte ist qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes (TRL 8-9)

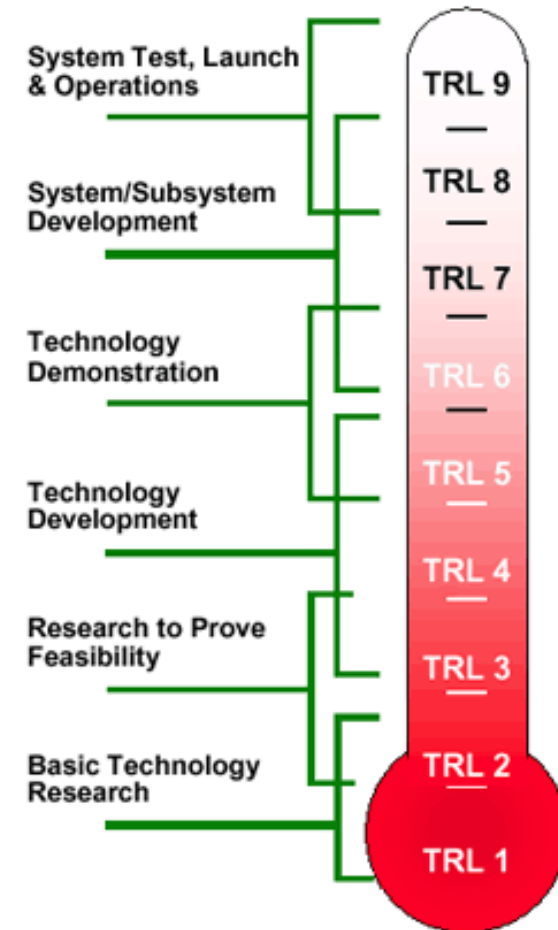


Bild: NASA Technology Readiness Levels

Wo stehen wir mit der Effizienz?

- Stets die Systemgrenzen beachten!

Wirkungsgrad $\eta_{\text{Power-to-Gas}}$ =

$$\frac{\text{Energieinhalt des synthetischen Gases} + \text{ueberschuessige Wärme fuer ext. Nutzung}}{\text{Energieverbrauch (Elektrolyse, Methanisierung, Nebengewerke)}}$$

- Effizienz von Power-to-Hydrogen zwischen 64 und 79 %
 - Mit der Nutzung von Abwärme für externe Wärmesenken bis zu 90 %
- Effizienz von Hydrogen-to-Methane zwischen 69 und 77.9 %
 - Mit der Nutzung von Abwärme für externe Wärmesenken bis zu 92 %
- Effizienz der gesamten Power-to-Gas kann höher als 75% sein, wenn man Sektorenkopplung einschliesst



Don't waste energy! > 75% of efficiency for PtG accomplished

PtG Demo Site Zuchwil / Solothurn

- ➔ Elektrolyse: $\eta = 64\%$ (5.5 kWh/Nm³)
- ➔ Nutzung der Abwärme mit Wärmepumpen -> ca. $\eta = 90\%$
- ➔ Biologische Methanisierung (spezifischer realer Fall, ca. 50% Last):
 - Input: H₂ 216.8 kW (61.2 Nm³/h)
 - Output: SNG (97% CH₄) 162.3 kW
 - Theoretische Abwärme: ca. 40 kW
 - Wirkungsgrad (nur CH₄, kein H₂): $\eta = 74.9\%$
 - Mit elektr. Energiezufuhr: 33.7 kW -> $\eta = 64.7\%$
 - Mit elektr. Energiezufuhr und CO₂-Verdichtung (13kW) -> $\eta = 61.6\%$
- ➔ Gesamte PtG Anlage (Elektrolyse u. Methanisierung, ohne Abwärmenutzung):
 $\eta = 39.4\%$
- ➔ Gesamte PtG Anlage mit ext. Wärmenutzung: $\eta = 77.6\%$

Wirkungsgrad direkt abhängig von Systemgrenzen

Massnahmen zur Effizienzoptimierung

- ➔ Alle Bauteile aufeinander abstimmen und auf einheitliche Grösse auslegen
 - Elektrolyse zu klein
 - Methanisierung mit Sicherheitsfaktor ausgelegt
 - Überwiegend Teillastbetrieb

- ➔ Reduktion der peripheren Verbraucher
 - CO₂-Kompressor nicht teillastfähig (on/off Betrieb)

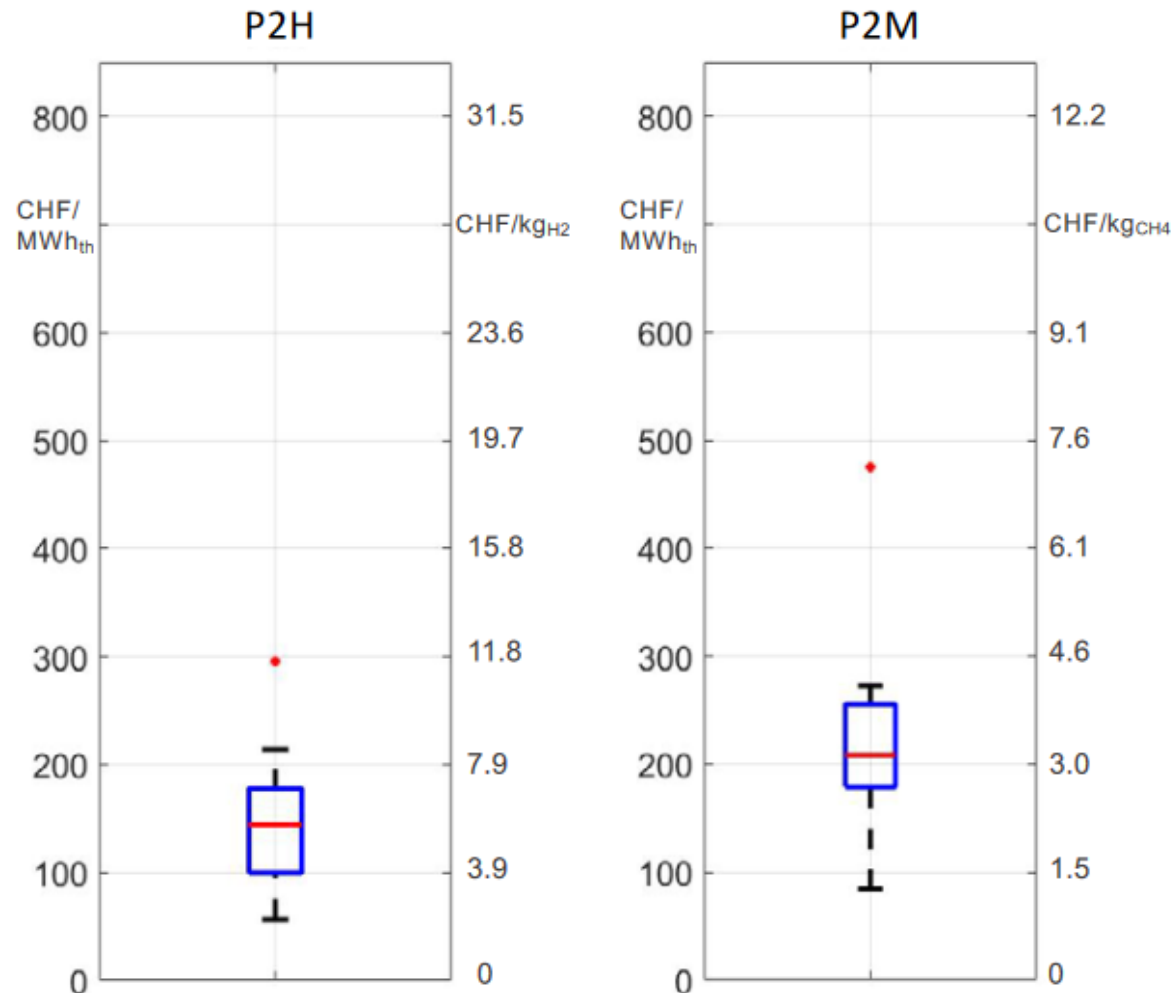
Ökonomische Betrachtung

Power-to-Gas in der Schweiz?

- ➔ Biomassepotenzial in der Schweiz ist beschränkt
- ➔ Das Potenzial muss sich mit der direkten Erzeugung von Strom und Wärme geteilt werden
- ➔ Import von Erneuerbaren Gasen notwendig
- ➔ Teilnahme am Biogas-Zertifikate-Handel sinnvoll
 - Noch kein zentrales Register vorhanden
- ➔ Von Power-to-Gas wird viel geredet, aber bisher wenig umgesetzt
- ➔ Welches Potenzial hat Power-to-Gas im Inland?
 - Dazu später mehr von Daniela Decurtins
 - Jetzt mehr Details auf Anlagenebene

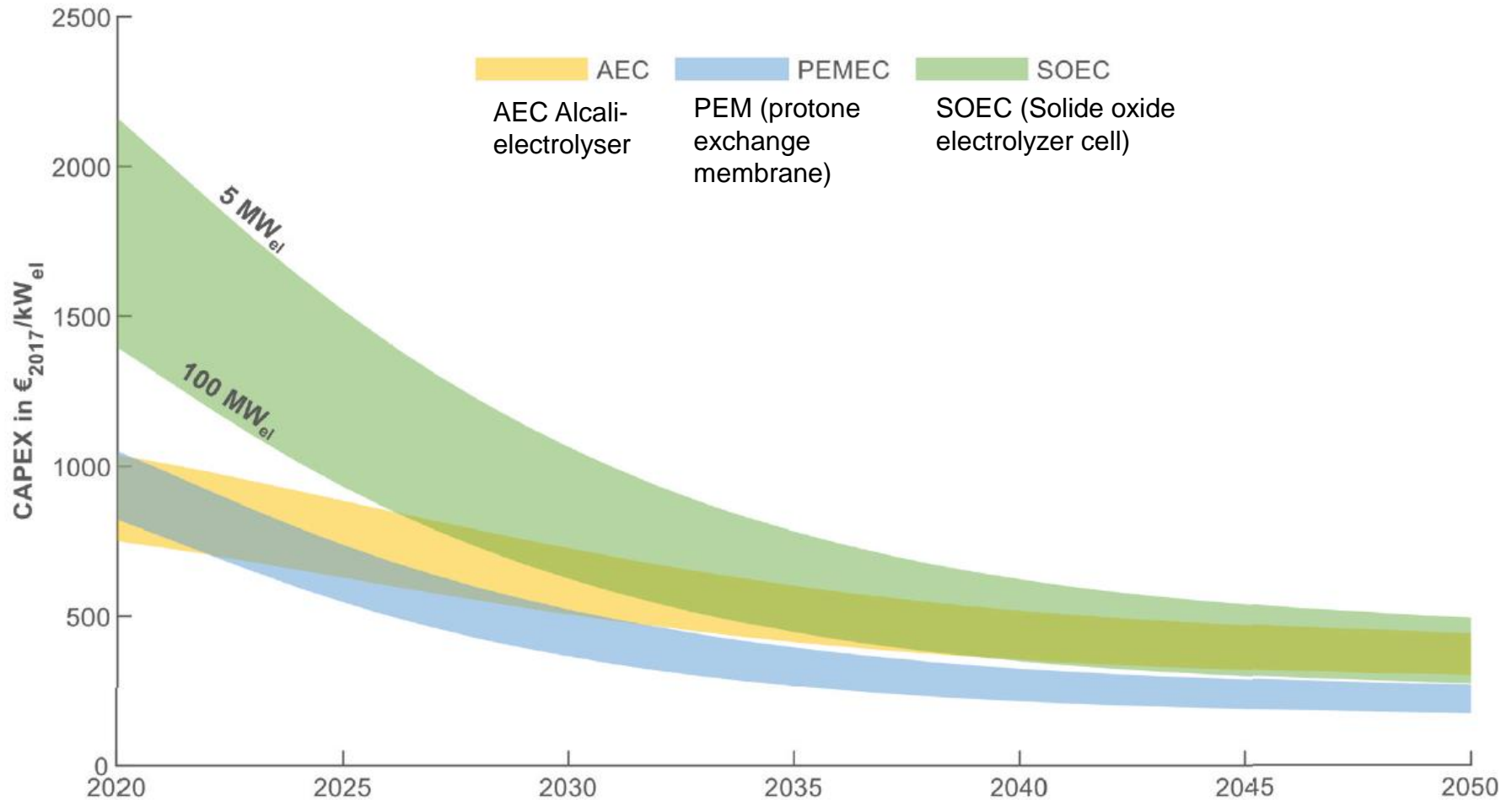
Gestehungskosten für Wasserstoff und SNG - heute

- ➔ 100 – 180 CHF/MWh_{th} für Wasserstoff (HHV, P2H)
- ➔ Preis an der Tankstelle:
10.9 CHF/kg
(= 277 CHF/MWh_{th})
- ➔ 170 – 250 CHF/MWh_{th} für synthetisches Methan (HHV, P2M)
- ➔ 120 CHF/MWh_{th} für Biogas (HHV)
- ➔ SNG kann in naher Zukunft den Biogaspreis erreichen



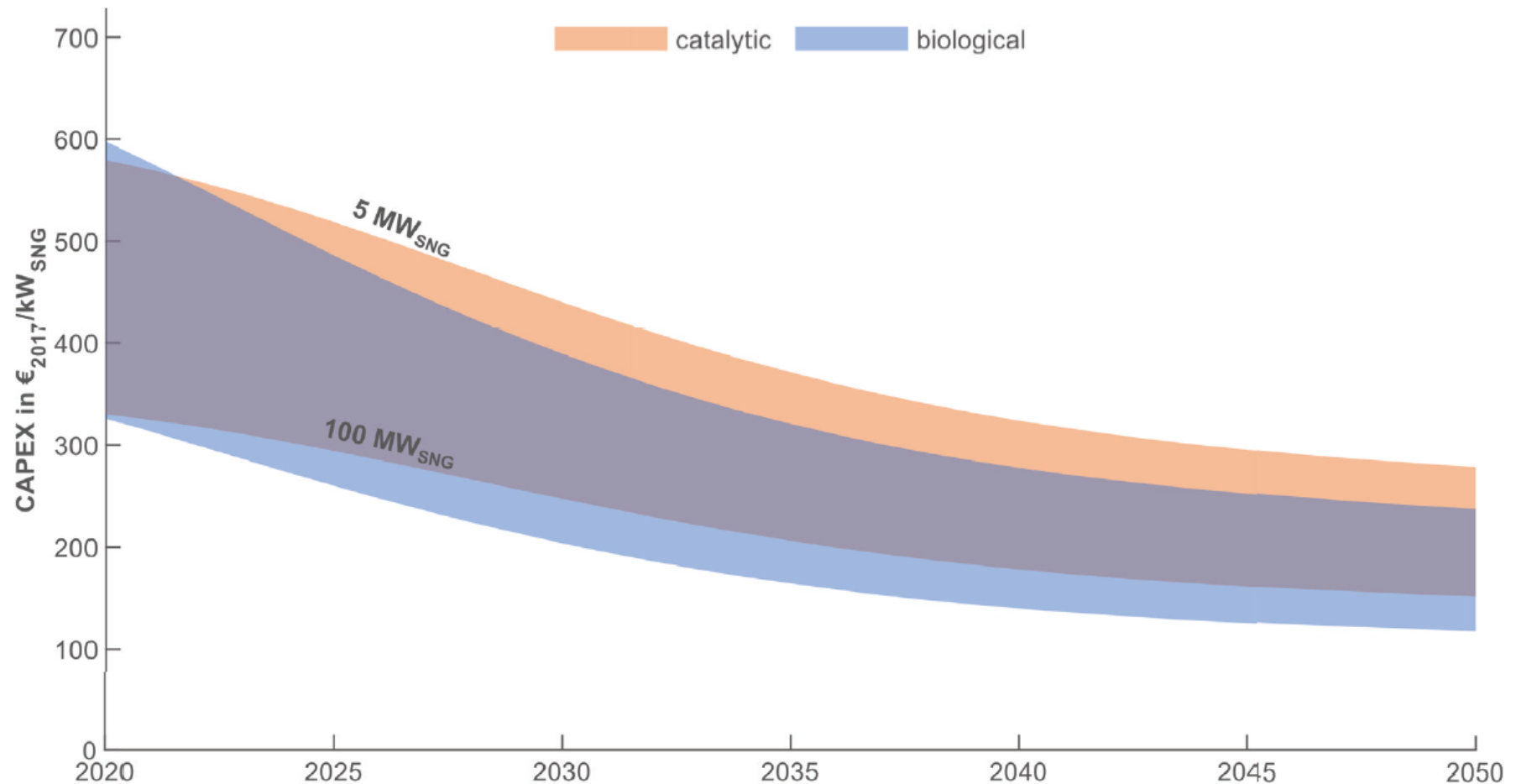
Quelle: Power-to-X Perspektiven in der Schweiz Ein Weissbuch

Kostenentwicklung Elektrolyse



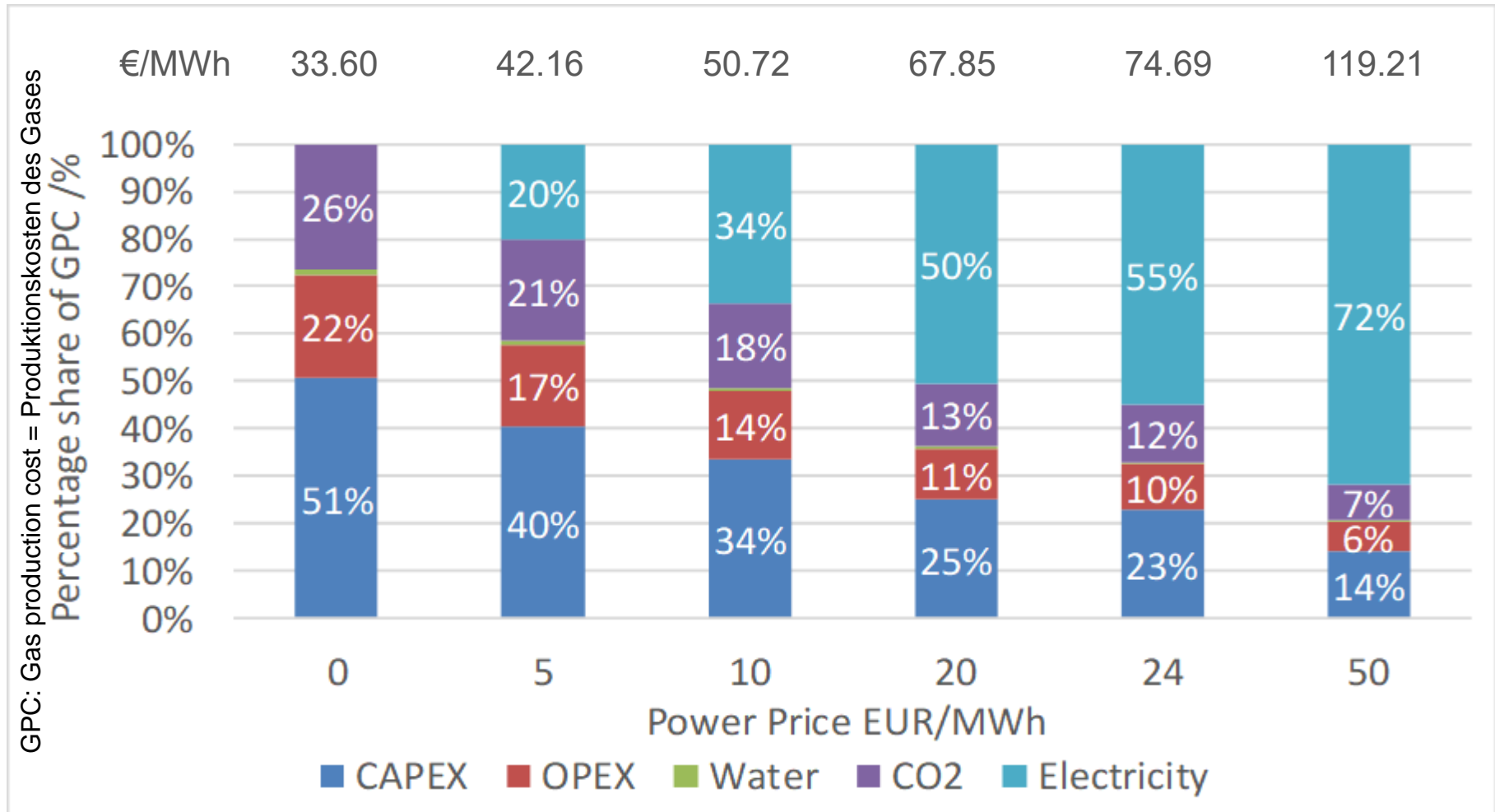
- ➔ Annäherung der spezifischen Investitionskosten für alle 3 Technologien erwartet

Kostenentwicklung Methanisierung



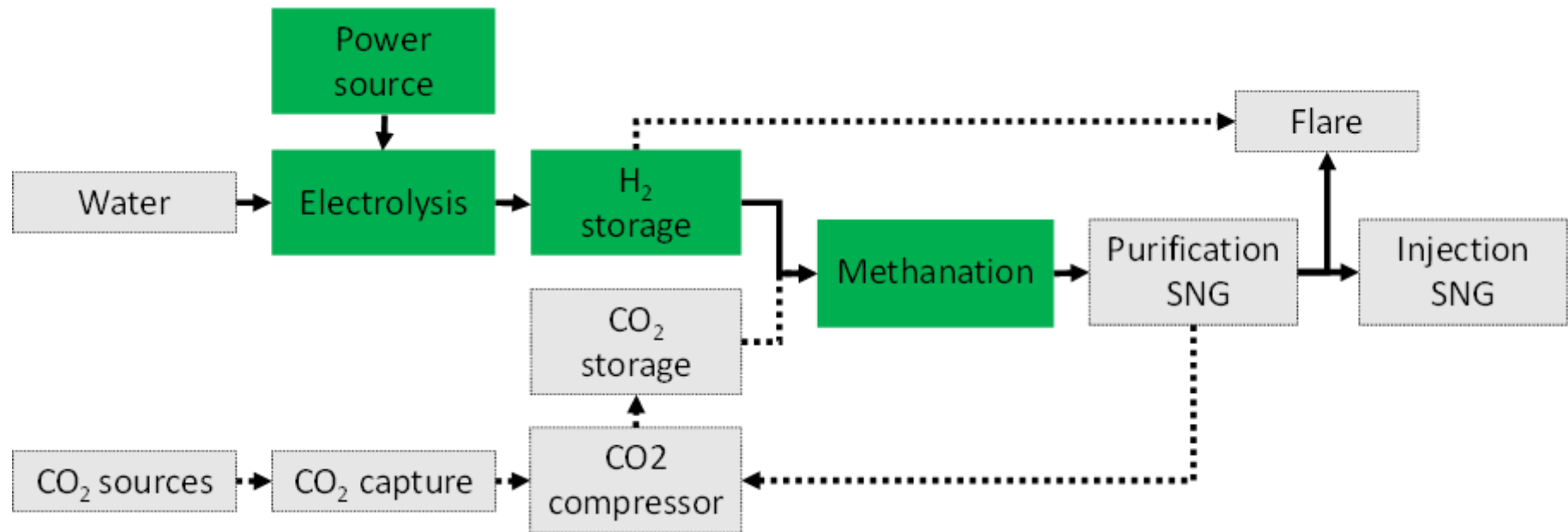
- Kaum Kostendifferenz bei Methanisierungstechnologien aktuell und in Zukunft

Methangestehungskosten bei 8760 Betriebsstunden (10 MW PtG Anlage in 2030)



Quelle: J. Gorre et al. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113594>

Optimierung von Power-to-Gas Anlagen



- Berechnungen anhand einer 10 MW Elektrolyse
- Optimierung des Wasserstoffspeichers und der Methanisierungskapazität
- Betriebliche Trennung der Elektrolyse und der Methanisierung

Status Quo Erdgas und Biogas - Ökonomie

➤ Verbraucherpreise Erdgas (Rp/kWh) (1)

	2000	2010	2020	2030	2035	2040	2050
Weiter wie bisher Politische Massnahmen	6.5	9.1	11.8	13.3	13.9	14.3	14.9
Neue Energiepolitik	6.5	9.1	12.2	14.6	15.7	16.5	17.5

➤ Aktueller Schweizweiter Durchschnittspreis für Erdgas: 9.03 Rp/kWh (2)

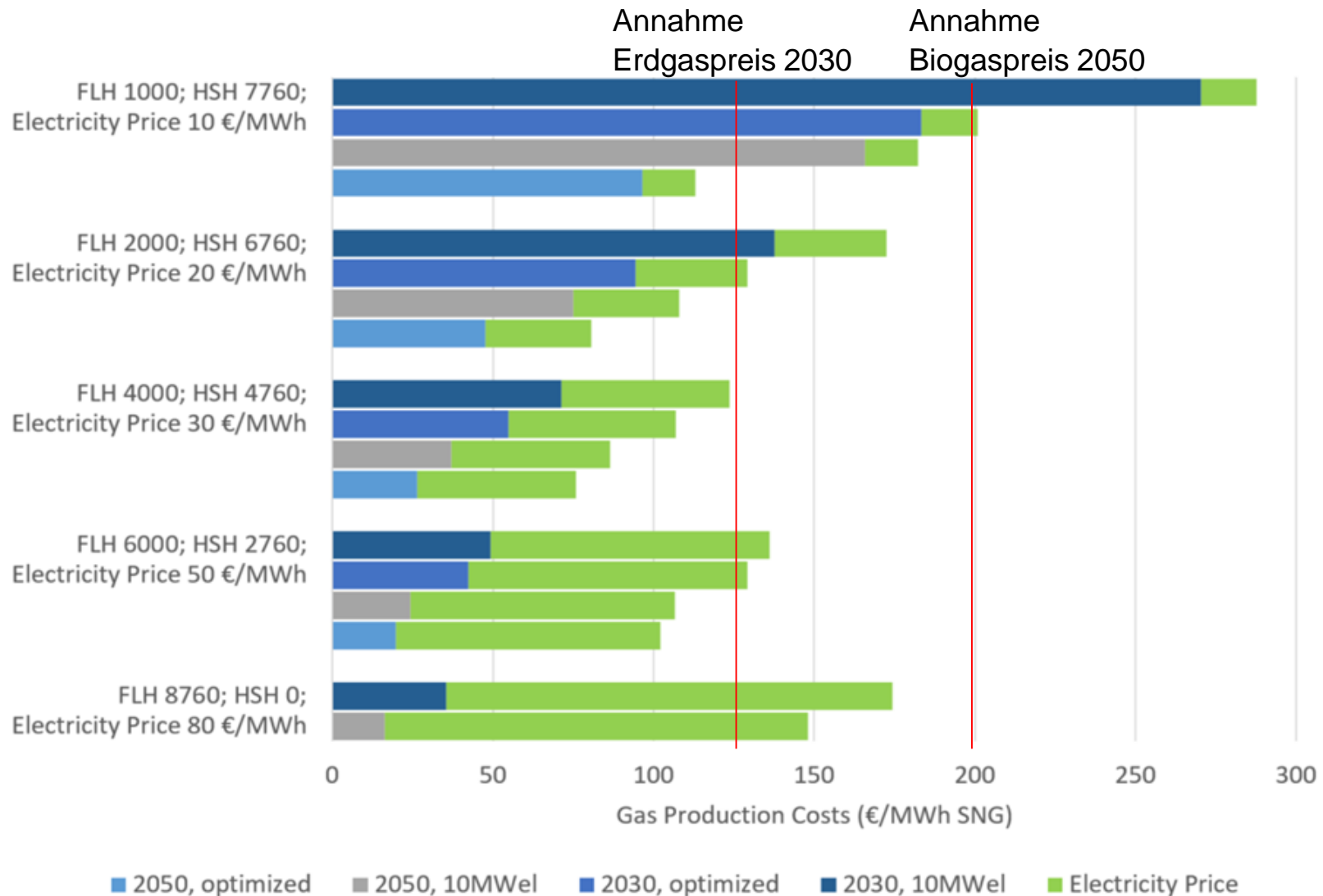
➤ Zuschlag für Biogas +5 bis 7 Rp/kWh

Quelle:

(1) Die Energieperspektiven BFE, Tabelle 3-7

(2) Preisüberwachung vom Eidgenössischen
Department für WBF

Strompreis versus Betriebsstunden



Einfluss auf die Investmentkosten

➔ Economy of Scale

- proportionale Einsparung der Kosten durch ein gesteigertes Produktionsniveau
- Bis zu 70%

➔ Economy of Learning Curves

- Prozess der Optimierung und Wiederholbarkeit
- Ca. 10 % Kosteneinsparungen

➔ Annahmen:

- Basierend auf dem im Energiebild der EU bis 2050 angegebenen Bedarf an grünem Gas wird angenommen, dass der globale Bedarf an grünem Gas zehnmal höher ist als der europäische Bedarf an grünem Gas.

Was wird am Meisten unterschätzt?

- ➔ Optimierungspotential bei der Betriebsstrategie
 - Anpassung der Anlagenbauteile nach der Elektrolyse je nach Betriebskonzept
- ➔ Irreführende Angaben in der Literatur zur Effizienz
 - Nur für den Volllastbetrieb gerechnet
 - Meistens ohne Strombedarf für die Methanisierung und Balance of Plant (BoP)
 - Unbekannte Systemgrenzen
- ➔ Baukosten
- ➔ Betriebskosten
 - Strom für Balance of Plant
 - Strom für Standby-Betrieb
 - Hilfsmedien, bspw. Stickstoff

Kostenstruktur

- ➔ Anlagenkosten
 - Elektrolyse
 - Wasserstoffspeicher
 - CO₂-Abscheidung und Aufbereitung
 - Methanisierung
 - Produktgasverarbeitung
- ➔ Baukosten
 - Kosten Aufstellung (15 %)
 - Anlagenverrohrung (20 %)
 - Messequipment (5 %)
 - Gebäude und Baustelleneinrichtung (40 %)
 - Hilfsmedien (1 %)
 - Verknüpfung zu externen Gewerken (5 %)
- ➔ Ingenieur- und Bauwesen (30 %)
- ➔ Unsicherheit
- ➔ Grössenfaktor (5 %)

Was ist notwendig, um wirtschaftlich zu sein?

- PtG muss auf verschiedenen Märkten integriert werden
- Politische Randbedingungen beeinflussen die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit
- Individuelle Optimierung der Anlagen bei volatilem Strombezugskonzept

- Entwicklung hängt von einigen Schlüsselfaktoren ab:
 - Technologieentwicklung und Senkung der Anlagenkosten,
 - Breite Einführung von Brennstoffzellen- und SNG-Fahrzeugen und Infrastruktur für Kraftstoffverteilung
 - Befreiung von Stromnetzgebühren
 - Umweltvorteile anrechnen
 - Optimierung von Standortwahl, Strombezug und Betriebskonzept

Limitierte Einspeisung

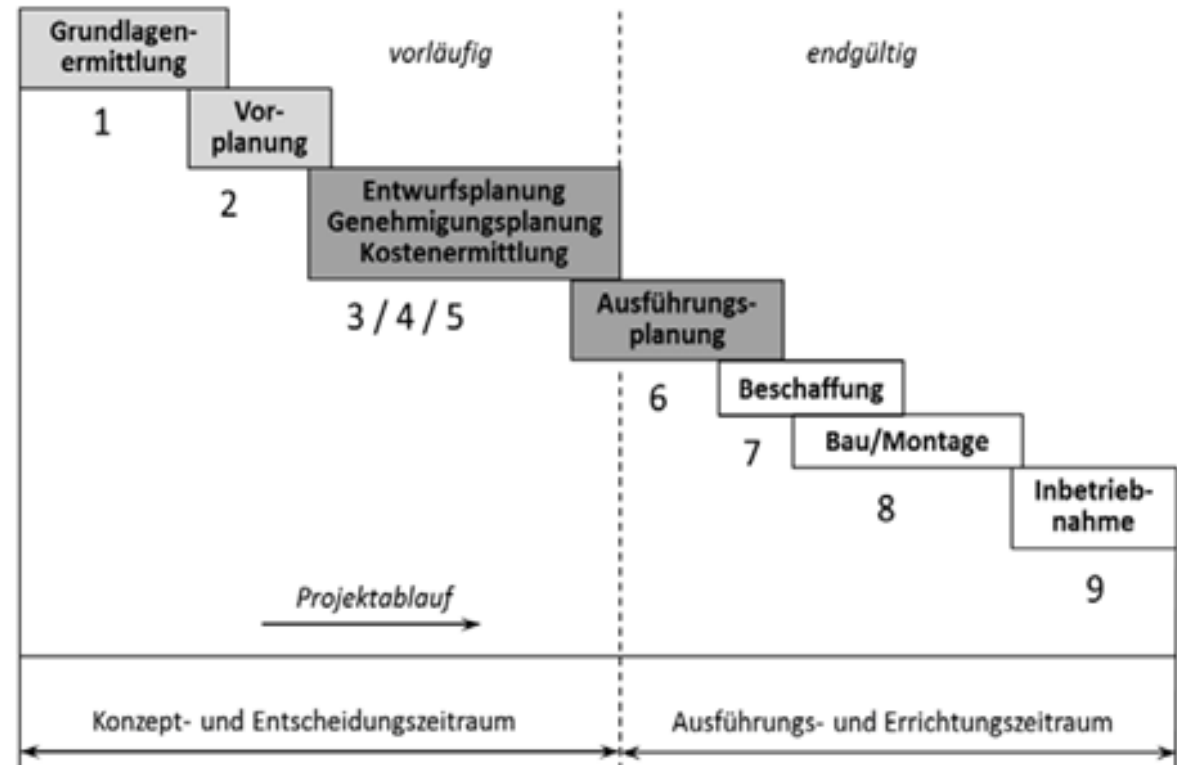
- ➔ Anforderungen an das einzuspeisende Produktgas (SVGW G13)
 - Nicht brennbare Komponenten < 50 Vol.-%

- ➔ Anforderungen an das Gasgemisch nach der Einspeisung (SVGW G18)
 - $H_2 < 2 \text{ mol-\%}$
 - $O_2 < 3 \text{ mol-\%}$
 - $CO < 3 \text{ mol-\%}$
 - Max. Schwefelanteil < 30 mg/m^3
 - $10.6 \text{ kWh/m}^3 < \text{Brennwert} < 13.1 \text{ kWh/m}^3$
 - $0.55 < \text{relative Dichte} < 0.7$
 - $13.3 \text{ kWh/m}^3 < \text{Wobbe-Index} < 15.7 \text{ kWh/m}^3$

- ➔ Anforderungen an die Odorierung beachten (SVGW G11)

Was mache ich, wenn ich Morgen eine PtG Anlage bauen will?

- ➔ Kommerziell oder Leuchtturm?
- ➔ Erfahrung > 1MW ist bei wenigen Personen vorhanden
- ➔ ...



Fazit

- ➔ Erneuerbares Gas spielt eine unbestreitbare Rolle bei der Entwicklung der zukünftiges Energiesystem.
- ➔ Power-to-Gas ist die Schlüsseltechnologie um die Nachfrage nach der erforderlichen Menge an grünen Molekülen zu befriedigen - sei es als Wasserstoff (H_2) oder Methan (CH_4).
- ➔ Power-to-Gas ist in Kombination mit der bestehenden europäischen Gasinfrastruktur von wesentlicher Bedeutung für die saisonale Verschiebung erneuerbarer Energien, Energietransport, Vertrieb sowie die Erbringung von Ausgleichsdienstleistungen für das Stromnetz.
- ➔ Power-to-Gas als Technologie ist fit für den Markteintritt.
- ➔ Funktion und Integration von innovativer Technologie und Prozesse konnten in STORE&GO demonstriert werden.

Fazit

- ➔ Daher ist es von entscheidender Bedeutung, PtG rechtzeitig voranzutreiben. Die Verfügbarkeit ausreichend grüner Energiemoleküle (H_2 sowie CH_4) für Rohstoff- und Energiezwecke muss gewährleistet werden.
- ➔ Spezifische politische Massnahmen sind erforderlich.
- ➔ Unter der Annahme, dass die Strompreise, sowie der CAPEX für die Elektrolyse und Methanisierung in Zukunft sinkt, wird PtG (in Zentraleuropa in > 5 Jahren) wirtschaftlich

Weitere Infos

➔ Weitere Infos und Quellen:

- Potentialanalyse Power-to-Gas in der Schweiz, EMPA & PSI im Auftrag des BAFU
- "Power-to-X" – Perspektiven in der Schweiz, ein Weissbuch, 2019
- Perspektiven von Power-to-Gas in der Schweiz, ZHAW
- <https://www.iet.hsr.ch/index.php?id=12526>
- <https://www.storeandgo.info/>

Thank you for your attention!

Website with a variety of freely accessible reports
www.storeandgo.info