



EU H2020 Projekt STORE&GO

Das Projekt und seine Ergebnisse

9. September 2020

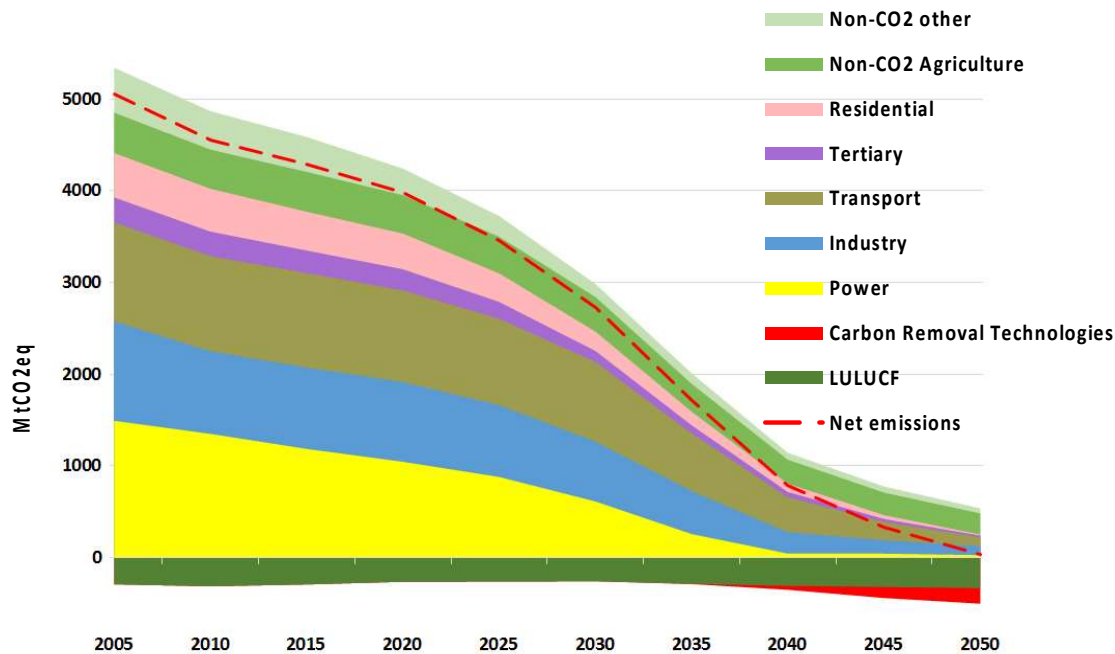
Expertinnen- und
Expertengespräche

Jachin Gorre
Gründer & Geschäftsführer
Grinix GmbH



Motivation – global gedacht, lokal gemacht

EU GHG emissions trajectory in 1.5 °C scenario

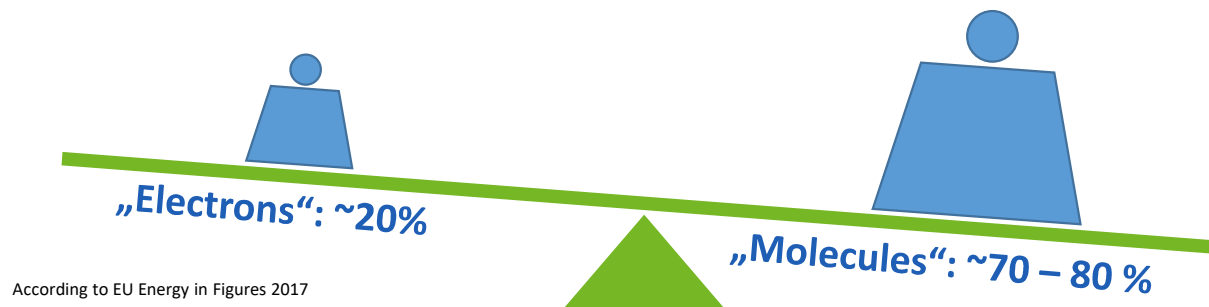


Source: A Clean Planet for all – A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy

- ❖ Um die Klimaziele zu erreichen, werden wir innovative Technologien brauchen, um das Potenzial der erneuerbaren Energien zu erschließen.
- ❖ Die Power-to-Gas-Technologie ist ein Baustein zur Dekarbonisierung des Energiesystems, indem "grünes" Gas
 - ❖ zum Ausgleich der Energienetze produziert und als Backup für die Stromerzeugung gespeichert,
 - ❖ als sauberer Treibstoff genutzt
 - ❖ für Heizungsanlagen eingesetzt und
 - ❖ als chemische Energie für den Industriesektor verwendet wird.

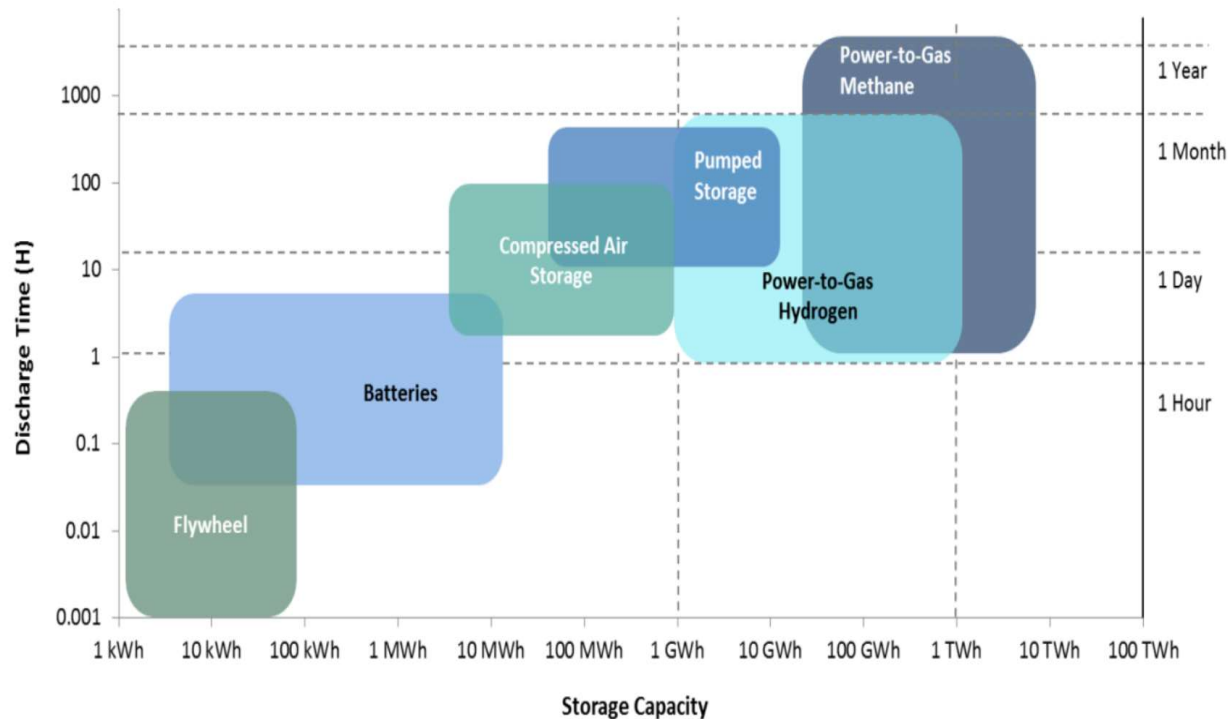
Motivation - Gas und Elektrizität – sich ergänzende Werte

Die Gesamtsituation - die Energiewelt der "Elektronen" und "Moleküle"







Motivation – von der Ausschreibung

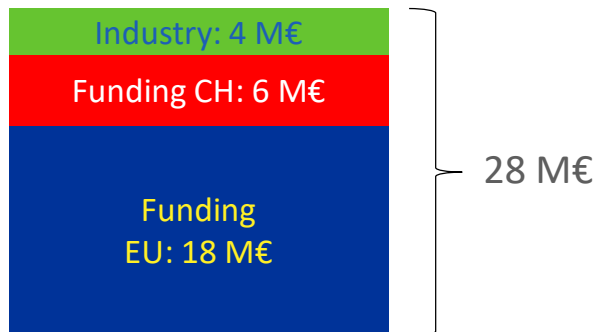
- ❖ Ausschreibung: „*The high penetration rates of variable renewable energy resources entail the need for large scale energy storage...*”
- ❖ Why Power-to-Gas?



Source: European Commission, „Energy Roadmap 2050“, 2012

Zahlen & Fakten über STORE&GO

-  EU H2020 gefördertes Projekt
-  Thema der Forschung:
Energiespeicher im großen Maßstab
-  27 Partner aus 6 Europäischen Ländern
-  Projektdauer: 03/2016 - 02/2020




Partners and research centers shown on the map include:

- energy valley
- thyssenkrupp
- gwi
- rijksuniversiteit groningen
- Hanzehogeschool Groningen / University of Applied Sciences
- ENERGY DELTA INSTITUTE / ENERGY BUSINESS SCHOOL
- ECN
- uni per
- KIT
- liten / co2tech
- DVGW
- ATMOSSTAT / FLEEN
- EPFL / ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE
- iren
- HYSYTECH
- POLITECNICO DI TORINO
- Falkenhagen
- Solothurn
- Troia
- DBI GUT / Gas- und Umwelttechnik GmbH
- CLIMEWORKS
- HSR / HOCHSCHULE FÜR TECHNIK RAPPERSWIL
- ENERGIE INSTITUT / an der Johannes Kepler Universität Linz
- Electrochaea
- regio energie / solothurn
- SVGW / SSIGE
- Empa
- ENGINEERING
- BFP

Projektaufbau

Management & Coordination *WP 1*

Demoanlage
Falkenhagen
Deutschland
WP 2

Demoanlage
Solothurn
Schweiz
WP 3

Demoanlage
Troia
Italien
WP 4

Cross-cutting activities *WP 5 - WP 8*

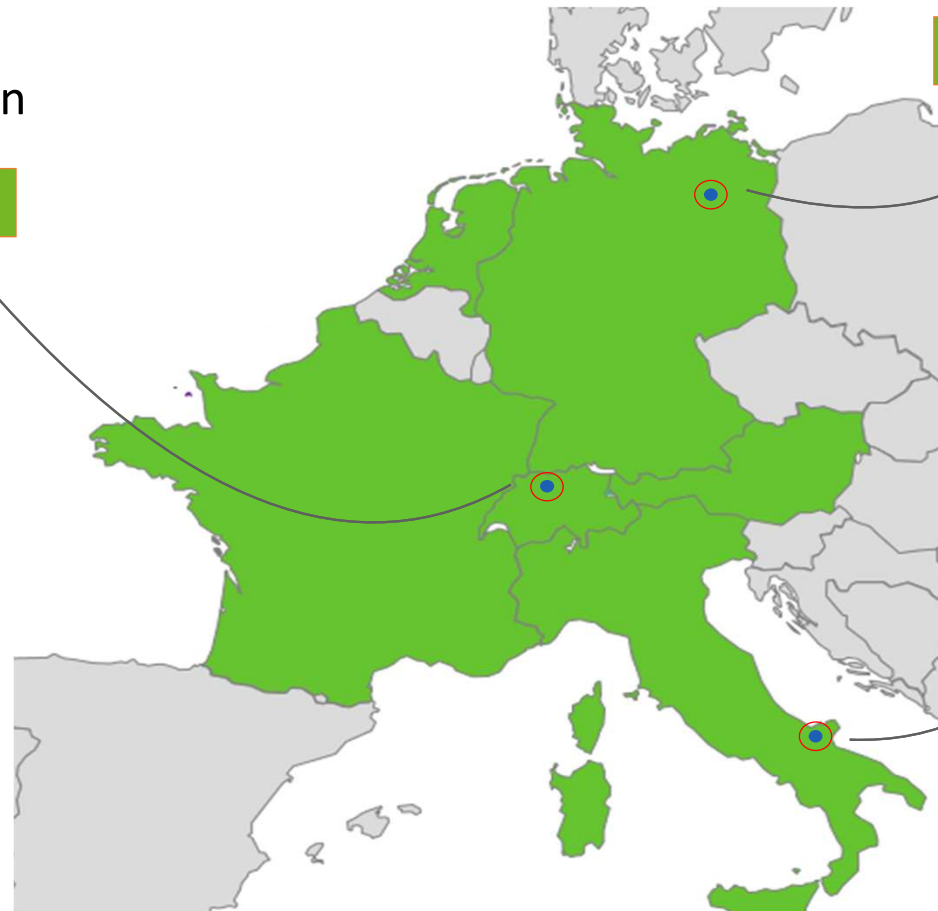
Dissemination *WP 9*

STORE&GO Demoanlage

Drei Demoanlagen

Solothurn

Anlagengrösse: 700 kW
Biologische Methanisierung
CO₂ aus ARA
Wasser und PV
Verteilnetz



Falkenhagen

Anlagengrösse: 1 MW
Katalytische
Methanisierung
CO₂ von Bioethanolanlage
Wind
50 bar Übertragungsnetz

Troia

Anlagengrösse 200 kW
Katalytische
Methanisierung
CO₂ aus der Luft (DAC)
Wind und PV
LNG (Verflüssigung)

Cross Cutting Aktivitäten

• Bewertung der 3 Demoanlagen

- LCA
- Techno-ökonomische Analyse
- Optimierte Betriebssystemata für Gasnetze



• Auswirkungen von PtG auf das Energiesystem

- Vorteile für das Verteilnetz
- Kosteneinsparungen in Übertragungsnetzen
- Simulationen von Energiesystemen



• Reduktion von Hürden

- Rechtlich und regulatorisch
- Kosten- und Technologieentwicklung
- Soziale Akzeptanz



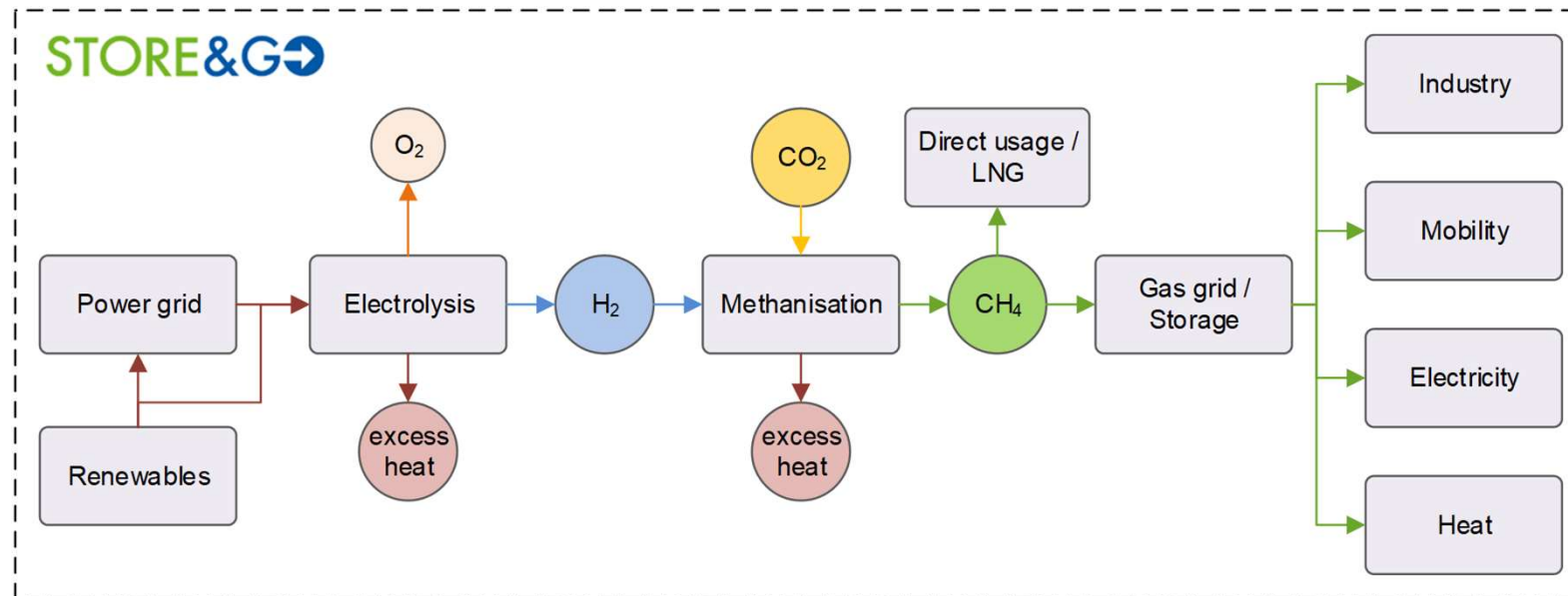
• Marktanalyse

- Zukünftiger Bedarf an 'grünem Gas'
- Makroökonomische Kosten und Nutzen des PtG
- Europäischer PtG Entwicklungsplan



Technische Eigenschaften und Entwicklung

- Die Kerntechnologien - Elektrolyseur & Methanisierung
 - Fokus auf Methanisierung; gemäß Förderrichtlinien kein H₂
 - Entwicklung der Technologie von TRL 5 auf TRL 7
- Unterschiedliche Nebenaggregate zur Darstellung der Anwendungsvielfalt
 - Bspw. Direct Air Capture oder Verflüssigung (LNG)



Demoanlage Falkenhagen, Deutschland: Wabenreaktor

Honeycomb design

- Heat production vs. heat transport



→ 200 cpsi (cells per square inch)



Reactor concept

- Number and arrangement of honeycomb elements



→ Diameter = 81 mm
→ Length = 100 mm



Design

- Arrangement of the pipes
- heat utilization



honeycomb elements

→ 181 tubes
→ Length = 400 mm



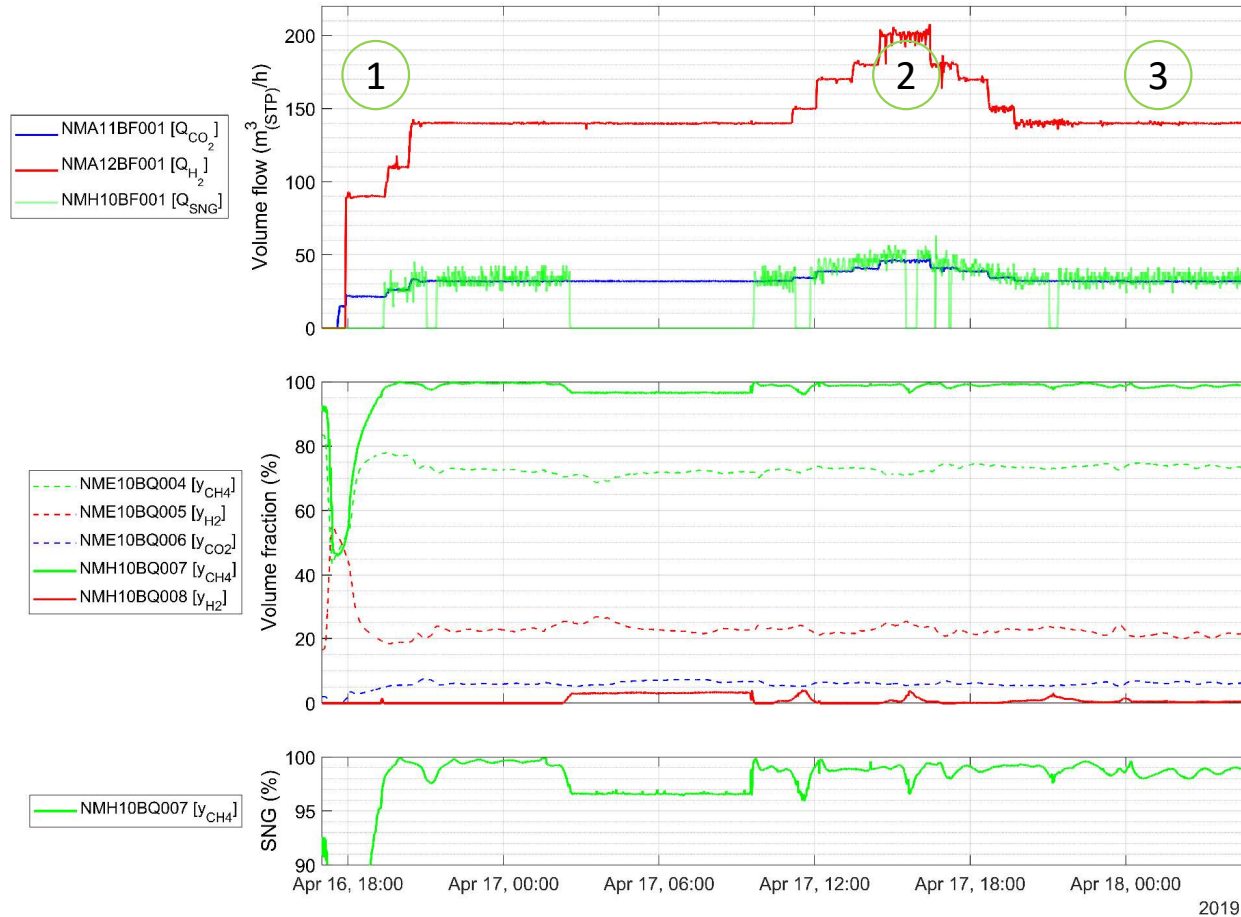
Power-to-Gas plant

- Integration in power grid, gas grid and local heat user



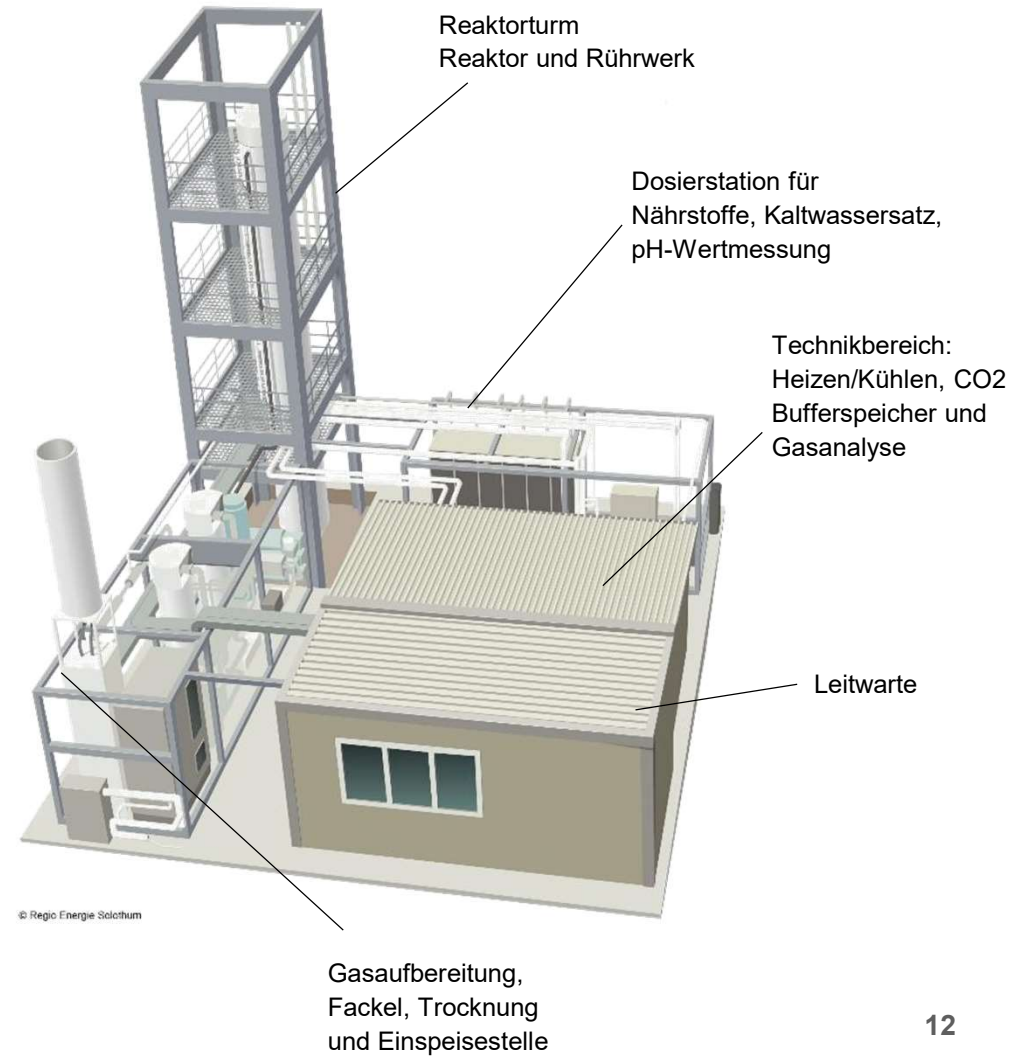
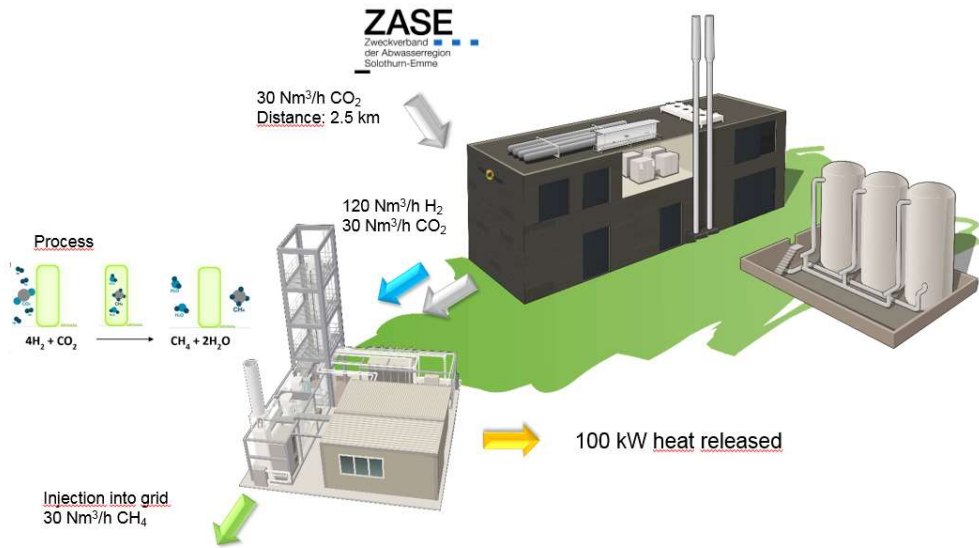
- Anfahrprozess wurde durch Rezirkulation optimiert, um Schlechtgasmenge zu reduzieren.
- Lastsprünge von bis zu 10 %-Punkten ohne Qualitätsverlust möglich
- Dauerbetrieb und fernüberwachter Betrieb wurde erfolgreich erprobt.
 - Bei unbemanntem Betrieb wurde zur Sicherheit nicht eingespeist (> 2 Vol.-% H₂)

Betriebserfahrungen– Falkenhagen, Deutschland

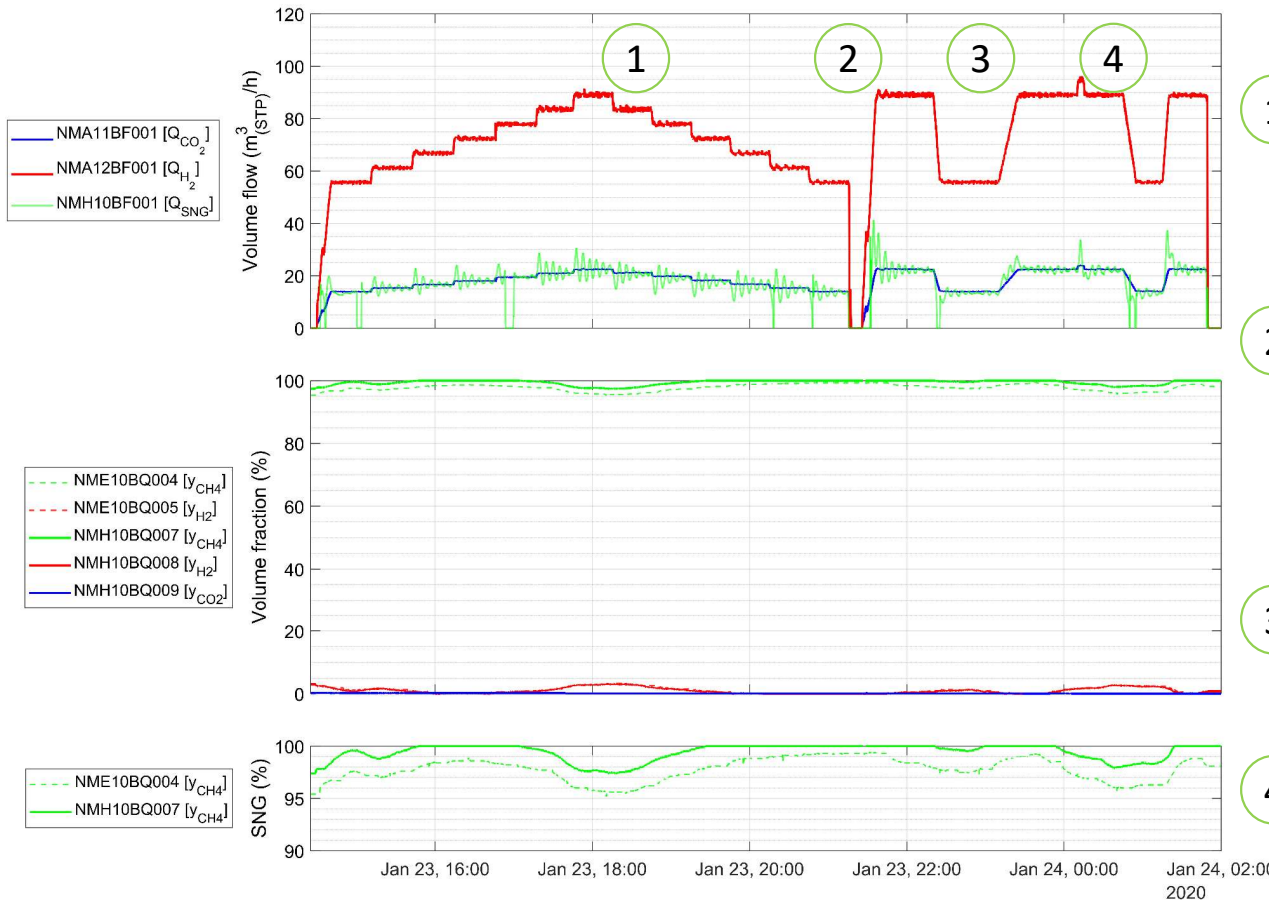


- 1 Anfahrprozess wurde durch Rezirkulation optimiert, um Schlechtgasmenge zu reduzieren.
- 2 Lastsprünge von bis zu 10 %-Punkten ohne Qualitätsverlust möglich
- 3 Dauerbetrieb und fernüberwachter Betrieb wurde erfolgreich erprobt.
 - Bei unbemanntem Betrieb wurde zur Sicherheit nicht eingespeist (> 2 Vol.-% H₂)

Demoanlage Solothurn, Schweiz: Biologische Methanisierung



Operational Experience – Solothurn, Switzerland



- 1 ●● Dauerbetrieb mit variabler Last ist ohne Qualitätsverlust möglich
 - Abh. von pH-Wert, Stöchiometrie, Nährstoffen, Druck, Temperatur
- 2 ●● Sofortiges Abschalten, 15 Minuten Pause, Anfahren von 0 auf 75% in 15 Minuten ohne Qualitätsverlust. Die Produktgasqualität bleibt durchgehend erhalten.
- 3 ●● Lastsprünge von bis zu 30 %-Punkten ohne Qualitätsverlust erfolgreich erprobt
- 4 ●● Kurzfristige Laständerungen haben kaum Einfluss auf die Gasqualität

Demoanlage Troia, Italien Millistruktur-Reaktorkonzept

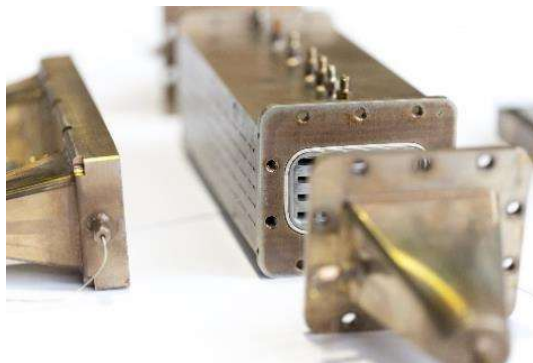
❖ Millistruktur-Reaktorkonzept:

- ❖ Millimetergroße Reaktionskanäle → Intensivierung der Wärme- und Stoffübertragung
- ❖ Katalysatorpartikel im Millimeter-Maßstab → hohe Katalysatordichte & einfache Beladung

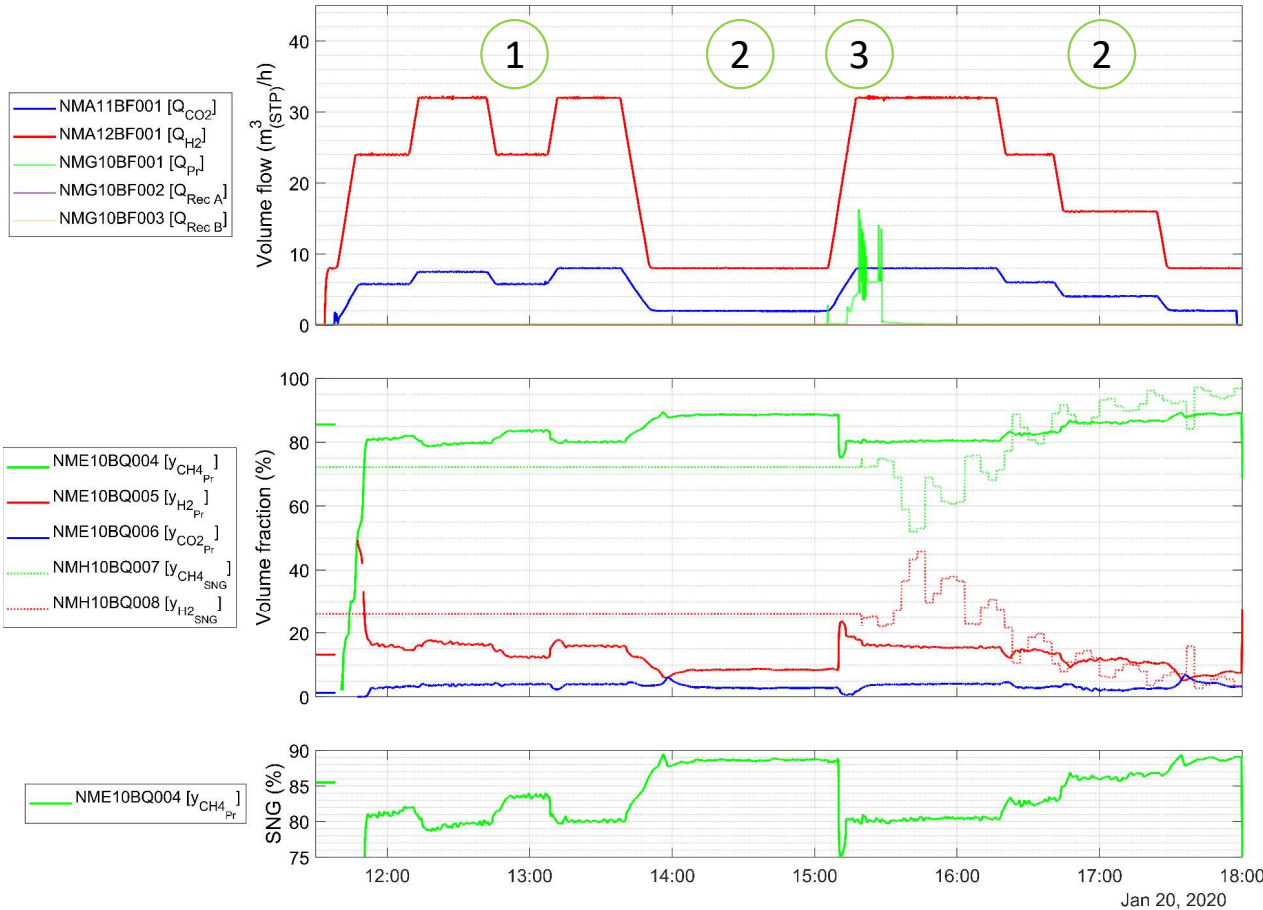
❖ Effiziente Querstromkühlung mit Thermoöl

❖ Vorteile des Millistruktur Reaktorkonzepts

- ❖ Hohe thermische Kontrolle → Sehr langsames Altern des Katalysators
- ❖ Modulares Konzept / einfache Wartung
- ❖ Kompakt / sicher



Operational Experience – Troia, Italy



- 1
 - Laständerungen von bis zu 20%-Punkten in wenigen Minuten möglich
 - Gasqualität nach der ersten Reaktorstufe hängt von der Belastung ab
 - Thermodynamisches Gleichgewicht nicht erreicht
- 2
 - Flexibler Lastbetrieb bis 20% möglich (10 Nm³/h)
- 3
 - Rezirkulierung von Produktgas hat hohen Einfluss auf die Gasqualität

Technologie und Entwicklung – Key Messages

- Die **Power-to-Gas Technologie der** STORE&GO Demoanlagen haben gezeigt, dass sie die **Technologiereife für den Einsatz im Markt erreicht** haben
- Verschiedene **Technologien** sind verfügbar, um die am besten passende Technologie im Zusammenspiel zwischen den Gewerken für eine Projektidee zu finden (groß/klein, variable/kontinuierliche Produktion)

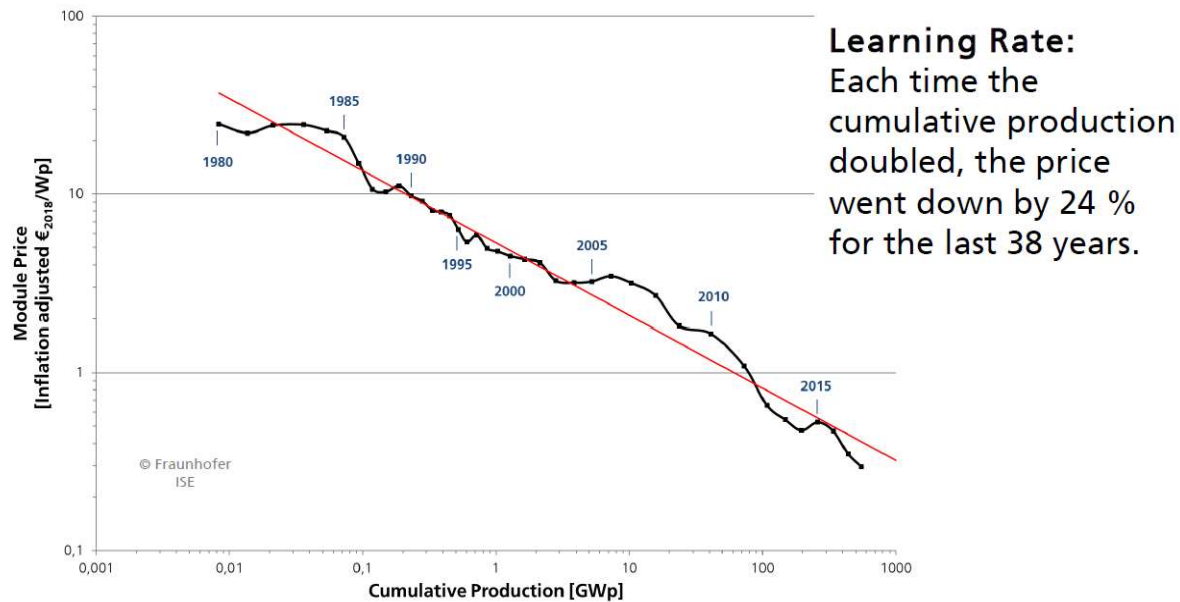
Power-to-Gas ist innovativ und einsatzbereit!

Überholte Gesetze und Marktverzerrungen wirken derzeit als Hemmnisse.

Development of Costs - Example PV systems

❖ **Kostenreduktion** durch **Lernkurveneffekte**

Historical development of PV-module prices (all commercially available PV technologies included)



Data: from 1980 to 2010 estimation from different sources : Strategies Unlimited, Navigant Consulting, EUPD, pvXchange; from 2011: IHS. Graph: PSE GmbH 2019

Source: Photovoltaics Report, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, PSE Conferences & Consulting GmbH, November 2019

❖ **Kostenreduktion** durch Lernkurven **treten in allen industriell gefertigten Produkten auf!**

Kostenentwicklung – Inputparameter

❖ Lernraten der individuellen Komponenten

- ❖ Aufteilung in kleine Einheiten (Wärmetauscher, Behälter, etc.)
- ❖ Daten aus der Literatur

❖ Startpunkt / Anfangswert

❖ Aktuelle Investmentkosten der einzelnen Komponenten

- ❖ Daten aus der Literatur
- ❖ Schätzungen und Erfahrungswerte auf der Grundlage der errichteten Demonstrationsanlagen

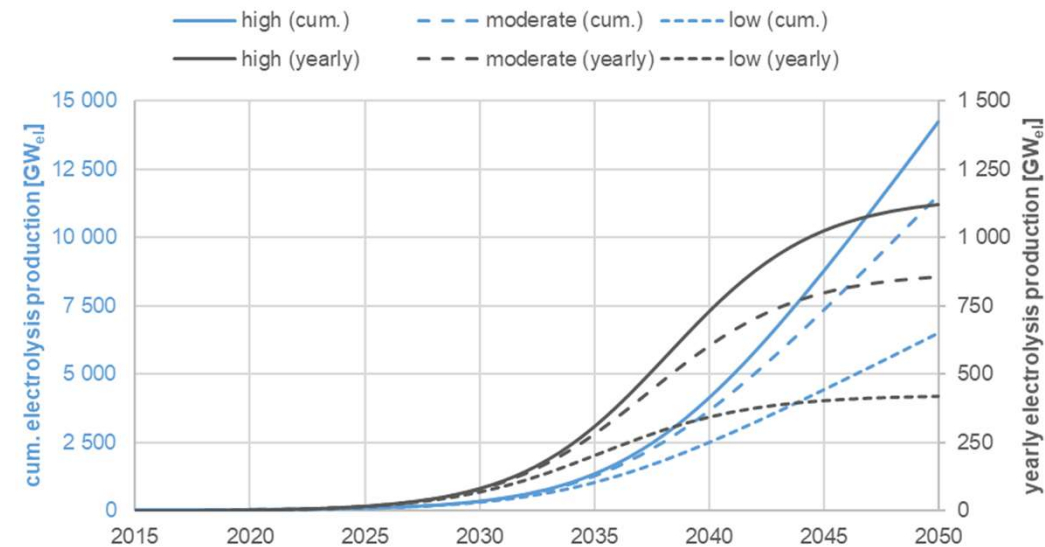
❖ Bisher kumulativ erzeugte Menge der Komponenten

- ❖ Daten aus der Literatur

❖ In Zukunft kumulativ umgesetzte Menge der Komponenten

- ❖ Literaturübersicht über das Nachfragepotenzial von PtG auf verschiedenen Ebenen (national, europäisch und global) und
- ❖ STORE&GO-Szenarien für das PtG-Nachfragepotenzial wurden auf europäischer und globaler Ebene entwickelt

Beispiel: Angenommene kumulative und jährliche Gesamtproduktion von Elektrolysesystemen (Nennleistung)



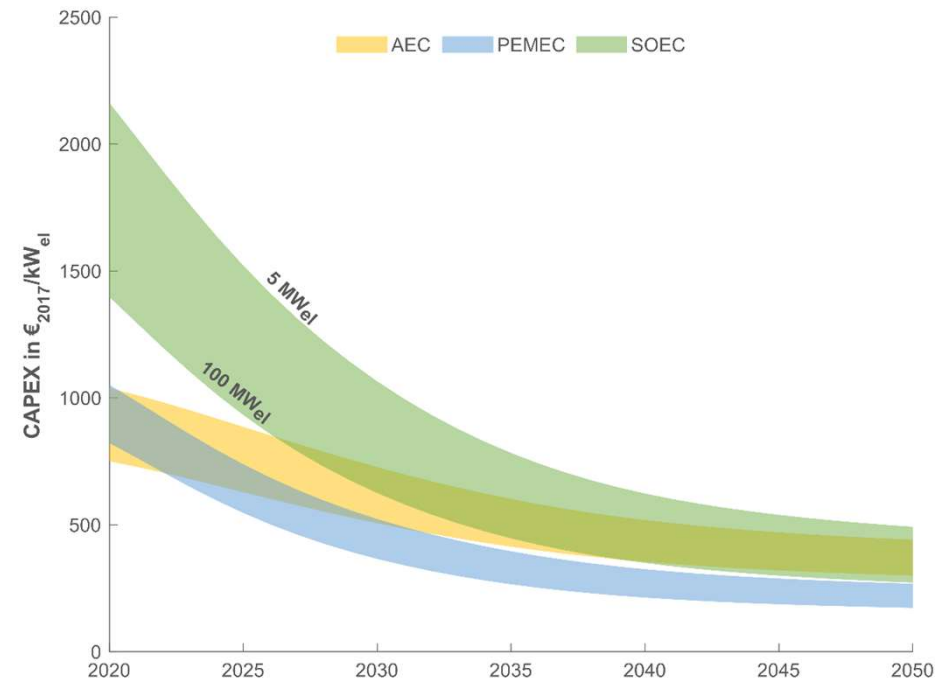
Ergebnisse – Kostenentwicklung des Elektrolysesystems

- Elektrolysesystem zeigt **aussichtsreiches Potential zur Kostenreduktion** durch
 - Verbesserung der Technik (Kostensenkung durch Erhöhung des Produktionsvolumens)
 - Skalierungseffekte** (Kostensenkungen als Folge einer Größenzunahme in Form von Skalierung)

Technology	5 MW _{el} system CAPEX €/kW		100 MW _{el} system CAPEX €/kW	
	2020	2050	2020	2050
AEC	1040	440	750	300
PEMEC	1050	270	820	170
SOEC	(2160)	490	(1400)	270

- Entspricht einer durchschnittlichen **Lernrate von 13%** (jedes Mal, wenn die Produktion verdoppelt wird, sinken die Investitionskosten um 13%)

Cost development of electrolysis systems related to scaling effects and technological learning



Note: The produced volume of power-to-gas plants and therefore the gained experience (technological learning) will depend on the development of the future global demand for power-to-gas products which is subject to climate and policy measures (e.g. carbon taxes, the scope of government R&D, subsidies, and market introduction programs) and economic factors (e.g. economic growth).

Ergebnisse – Kostenentwicklung des Methanisierungssystems

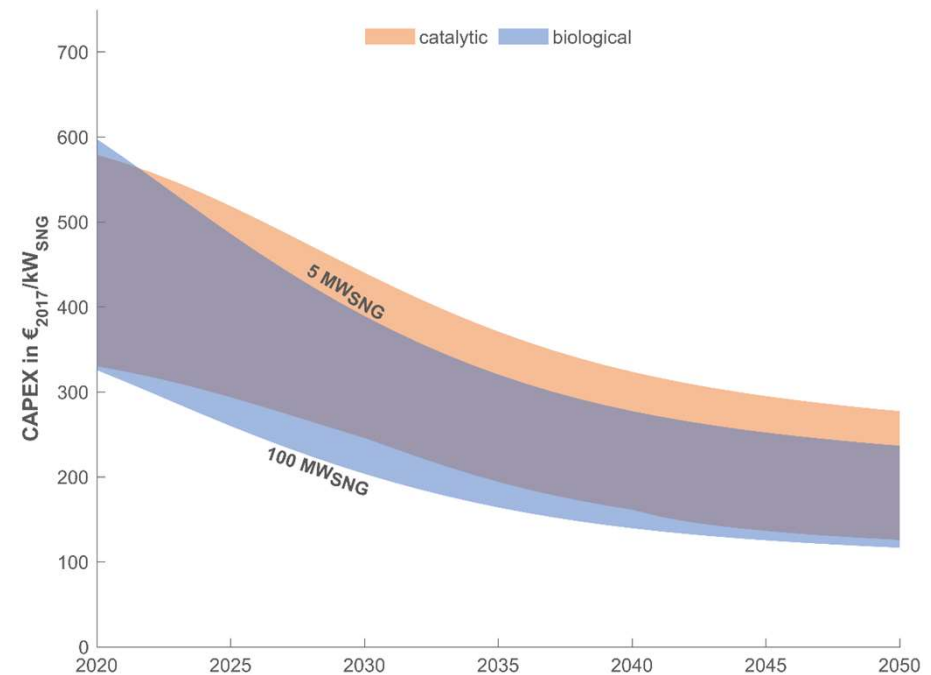
❖ Methanisierung zeigt **aussichtsreiches Potenzial zur Kostenreduktion** durch

- ❖ Verbesserung der Technik (Kostensenkung durch Erhöhung des Produktionsvolumens)
- ❖ **Skalierungseffekte** (Kostensenkungen als Folge einer Größenzunahme in Form von Skalierung)

Technology	5 MW _{SNG} system CAPEX €/kW		100 MW _{SNG} system CAPEX €/kW	
	2020	2050	2020	2050
Catalytic	580	280	330	125
Biological	600	240	325	120

- ❖ Entspricht einer durchschnittlichen **Lernrate von 12%** (jedes Mal, wenn die Produktion verdoppelt wird, sinken die Investitionskosten um 12%)

Cost development of methanation systems related to scaling effects and technological learning



Note: The produced volume of power-to-gas plants and therefore the gained experience (technological learning) will depend on the development of the future global demand for power-to-gas products which is subject to climate and policy measures (e.g. carbon taxes, the scope of government R&D, subsidies, and market introduction programs) and economic factors (e.g. economic growth).

Ergebnisse– Investmentkosten des Gesamtsystem

- Komplettsystem besteht aus mehr als Elektrolyse- und Methanisierungsreaktor
- Um eine schlüsselfertige Anlage zu erhalten, müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden
 - Rohrleitung
 - Instrumentierung und Automatisierung
 - Gebäude
 - Entwicklung des Standortes
 - Planung und Bau der Anlage
- Alle Positionen stellen dann die Investitionskosten dar.



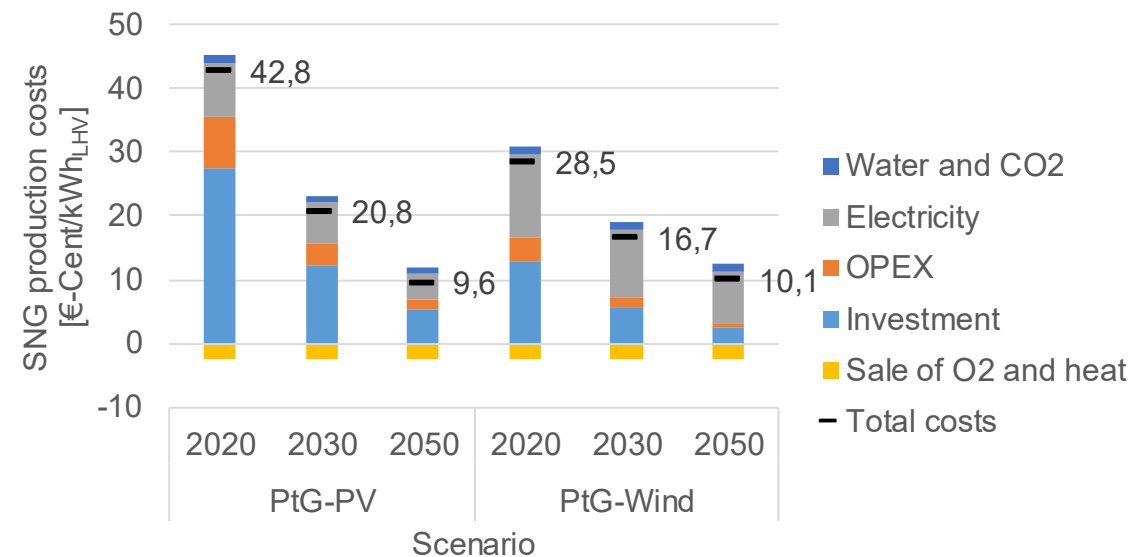
ADD-on Factor

Installation equipment	15 %
Process piping	45 %
Instrumentation	10 - 15 %
Building and site development	40 - 50 %
Auxiliary services	0 - 10 %
Outside lines	0 - 10 %
Engineering and construction	30 - 35 %
Size factor	5 - 30 %

Ergebnisse – SNG Produktionskosten für PV und Wind

- Die **Elektrizität** wird direkt von einem Windpark oder einer PV-Anlage bezogen.
- Bei **heutigen Anwendungen** sind die SNG-Produktionskosten aufgrund des hohen Anteils der Investitionskosten relativ hoch.
- Die SNG-Produktionskosten steigen, wenn nur überschüssiger Strom verwendet wird, da der Rückgang der **Volllaststunden** zu einem weiteren Anstieg des Anteils der Investitionskosten führt.
- Der Anteil der **Stromkosten** im Fall PtG-Wind ist höher, da Windkraft im Jahr 2050 voraussichtlich etwa 40 €/MWh und PV etwa 20 €/MWh kosten wird.
- Aufgrund der **Verringerung des CAPEX** der PtG-Anlage und der Stromkosten aus PV oder Wind wird ein deutlicher **Rückgang der SNG-Produktionskosten** erwartet.

Spezifische SNG-Produktionskosten für die Szenarien PtG-PV und PtG-Wind in den Jahren 2020, 2030 und 2050

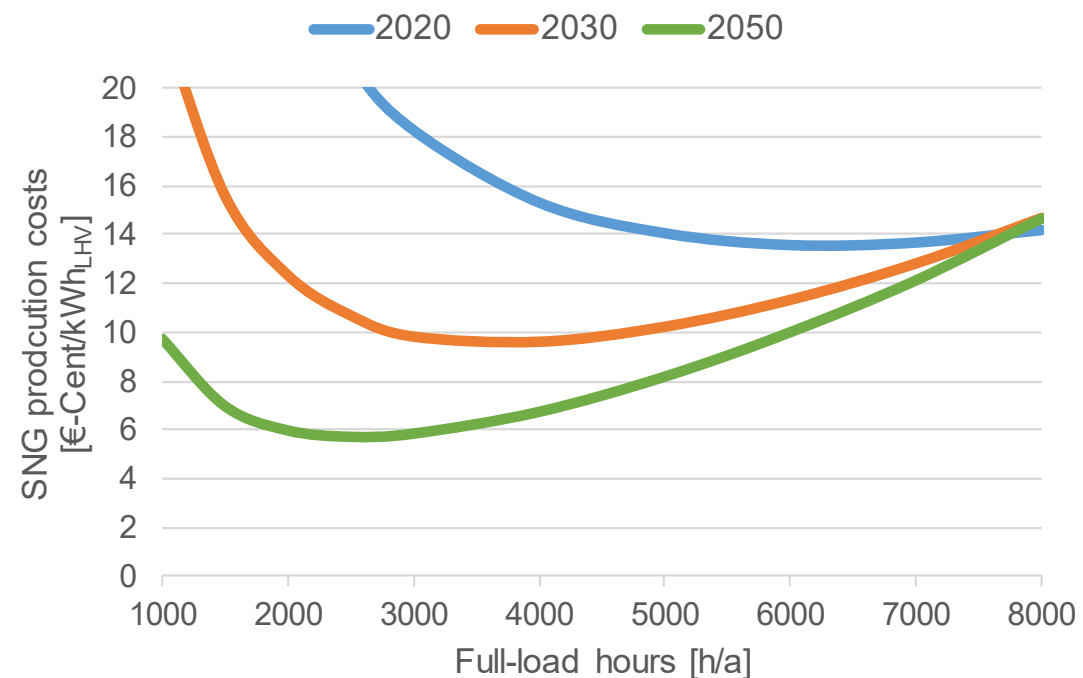


Note: The development of power-to-gas technology is subject to fundamental energy and climate policy decisions; thus, assumptions made about the future can change significantly. This has a major impact on the future SNG production costs calculated in this report.

Ergebnisse – SNG Produktionskosten für Netzbezug

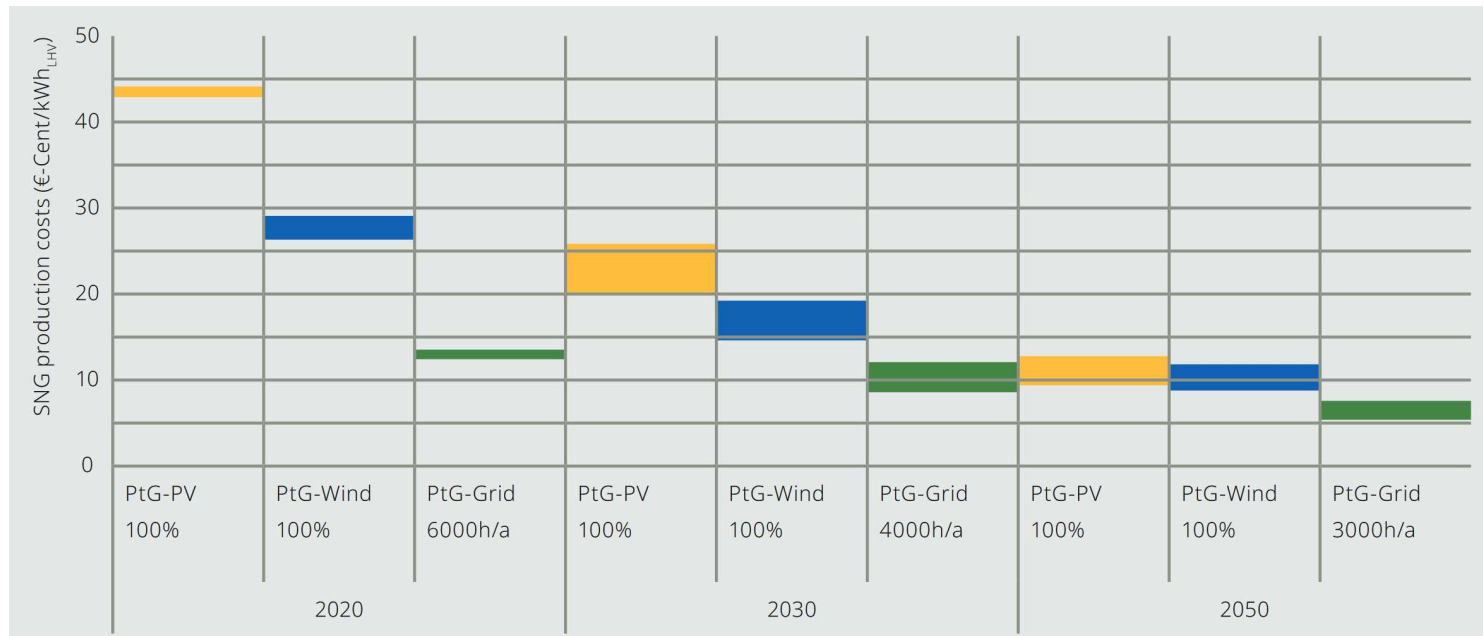
- In den **ersten Anwendungen** müssen PtG-Anlagen mit **hohen Volllaststunden** (>5.000) laufen, um niedrige SNG-Produktionskosten zu erreichen.
- Später (**ab 2030**) werden die niedrigsten Kosten bei weniger **Volllaststunden (2.000-4.000 h/a)** erreicht, wenn die Anlage nur zu den niedrigsten Strompreisen betrieben wird.
- In einem **auf erneuerbaren Energien basierenden** Energiesystem mit einem hohen Anteil fluktuierender Energieträger sollte die PtG-Anlage so betrieben werden, dass das **Stromnetz/System nicht zusätzlich belastet**, sondern bestmöglich unterstützt wird. Ein Dauerbetrieb (Volllaststunden >6000 h/a) der PtG-Anlage ist daher nicht wünschenswert. Hohe Volllaststunden führen zu deutlich höheren SNG-Kosten.

Specific SNG production costs in relation to the full-load hours for the scenarios PtG-Grid in 2020, 2030 and 2050



Note: The development of power-to-gas technology is subject to fundamental energy and climate policy decisions; thus, assumptions made about the future can change significantly. This has a major impact on the future SNG production costs calculated in this report.

Potential und Entwicklung



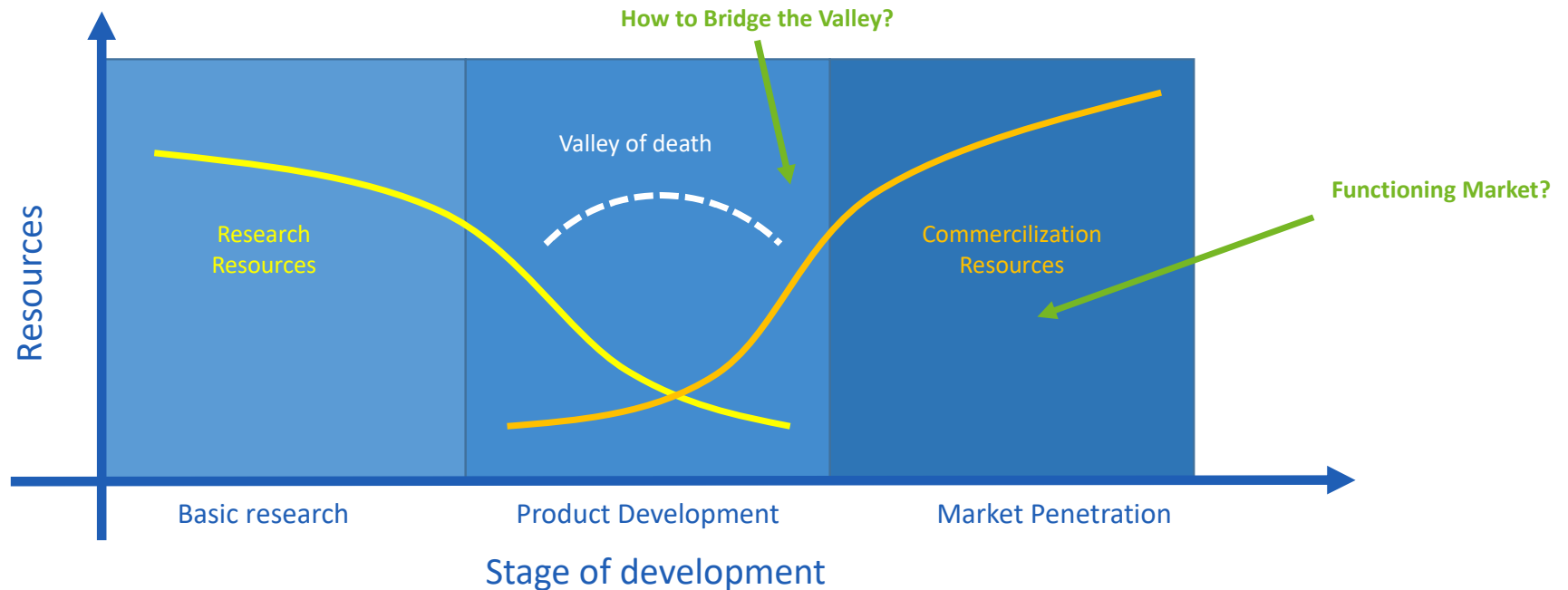
Eine weitere Anmerkung zur europäischen Perspektive...

- Mehr als 70% der Kostensenkungseffekte können allein mit dem Power-to-Gas-Potenzial der EU erreicht werden
- Weitere Lerneffekte sind zu erwarten, wenn man die weltweite Nachfrage berücksichtigt
- Die Chancen für Europa als technologischer Vorreiter erscheinen sehr günstig und übersteigen die Chancen einer auf Europa allein beschränkten Perspektive

Entwicklung der Gestehungskosten – Hauptaussagen

- Die beiden **Hauptkomponenten der PtG-Technologie**, Elektrolyseur und Methanisierungssysteme, zeigen durch Skalierungseffekte und technologisches Lernen **ein unmittelbares und erhebliches Kostensenkungspotential**.
- In **heutigen Anwendungen** (d.h. 2020) führt die Nutzung von **überschüssigem Strom** aus PV oder Wind nicht zu akzeptablen SNG-Produktionskosten.
- In **heutigen Anwendungen müssen PtG-Anlagen bei hohen Volllaststunden (> 4.000 h/a) laufen**, um niedrige SNG-Produktionskosten zu erreichen.
- **Künftig** werden die niedrigsten Kosten mit einer geringeren Anzahl von Volllaststunden (3.000 h/a) erreicht, wenn die Anlage **nur in Zeiten mit den niedrigsten Strompreisen** betrieben wird. Mehrere Faktoren, wie z.B. die Notwendigkeit, grünes Gas zu produzieren, können jedoch für höhere Volllaststunden sprechen, wenn auch mit höheren SNG-Kosten.
- Die **Senkung der SNG-Produktionskosten erfordert den Einkauf kostengünstiger Elektrizität**, die Maximierung der Anlageneffizienz, die Senkung der Investitionskosten und in Fällen, in denen die Anlage an einen PV- oder Windpark angeschlossen ist, den Bau des PV- oder Windparks an guten Standorten mit hohen Volllaststunden.
- Die **Entwicklung** der Power-to-Gas-Technologie **unterliegt Klima- und politischen Maßnahmen** (z.B. Kohlenstoffsteuern, Umfang der staatlichen F&E, Subventionen und Markteinführungsprogramme) und wirtschaftlichen Faktoren (z.B. Wirtschaftswachstum).

Massnahmen & Empfehlungen



- Um von der „**Forschung**“ zur "**Marktdurchdringung**" zu gelangen, sind sowohl Maßnahmen zur Überbrückung des „Tal des Todes“ als auch für ein funktionierender Markt für grüne Gase erforderlich
- Zusätzlich sollten weitere **Vorteile für das Energiesystem durch Power-to-Gas** in Betracht gezogen werden
- Und einseitige Förderungen sollten gestrichen werden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

More Information:

STORE&GO: www.storeandgo.info (Engl.)

Jachin Gorre: <https://www.linkedin.com/in/jachin-gorre-a50366131/>

Grinix: www.grinix.de (German)

If you have further questions, please contact me directly:

gorre@grinix.de