

Grüner Wasserstoff für die Industrie: Dezentrale Bereitstellungsstrategien für Spanien und Österreich



Jasmine Ramsebner

ramsebner@eeg.tuwien.ac.at



TU Wien, Gusshausstrasse 25-29/370-3, A-1040 Wien



Reinhard Haas

haas@eeg.tuwien.ac.at



Pedro Linares

pedro.linares@iit.comillas.edu

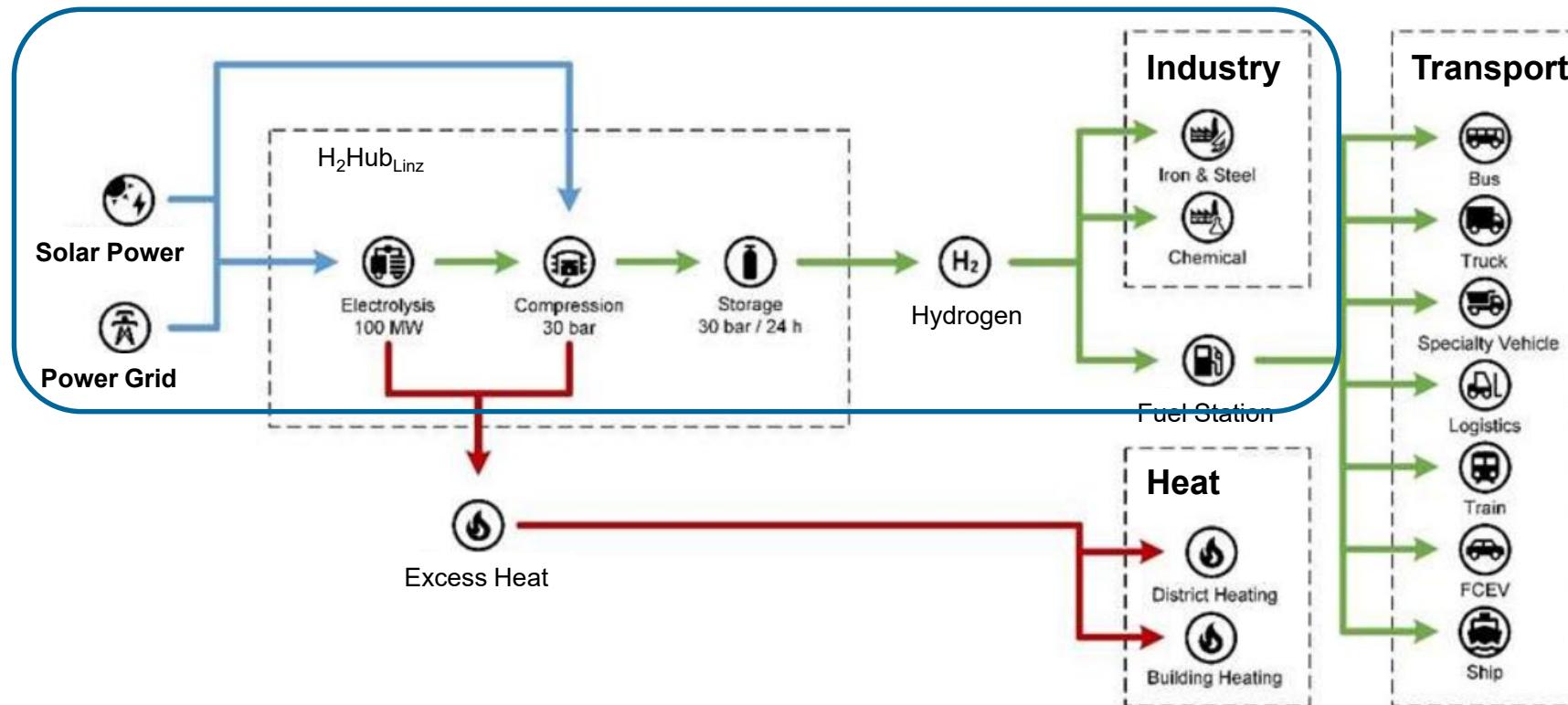
IIT, Universidad Pontificia Comillas, Calle de Santa Cruz de Marcenado 26 28015 Madrid

PRELIMINARY RESULTS

Wasserstoff spielt eine zentrale Rolle in der Dekarbonisierung aller Endverbrauchssektoren

H₂Hub_{Linz}: Power to green hydrogen in Austria

- 100 MW PEM Elektrolyseur
- Stromkosten: 30€/MWh green electricity Power Purchase Agreement

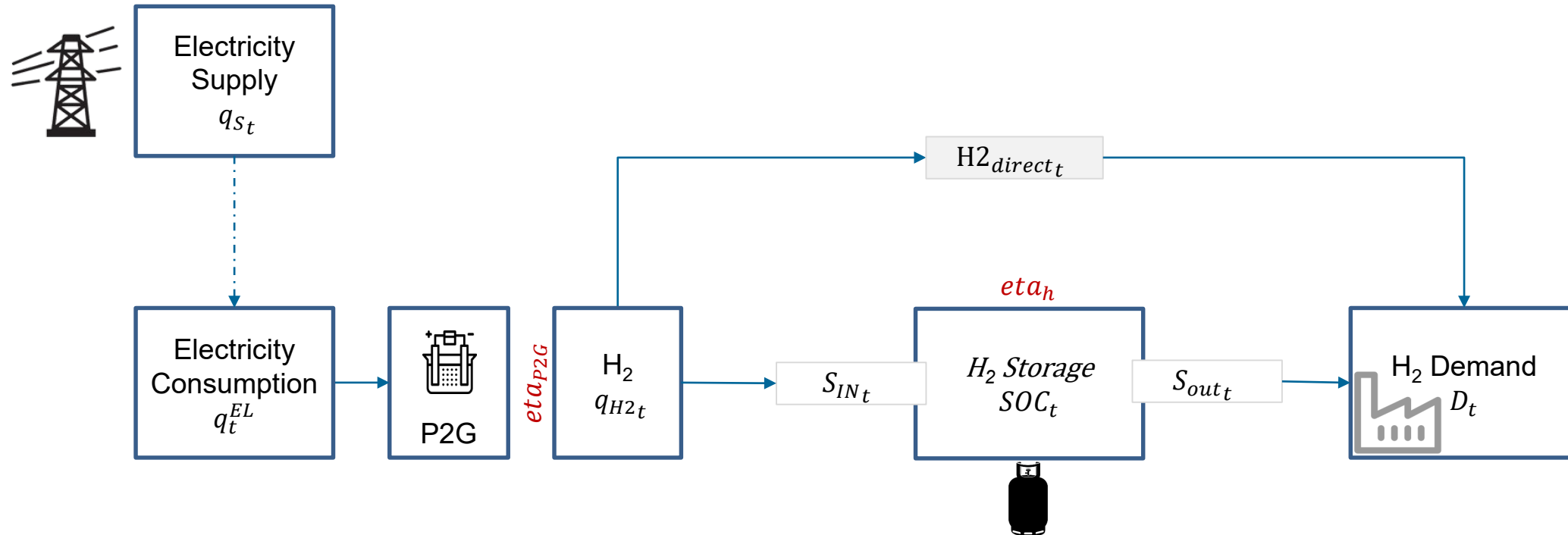


*...die Analyse verschiedener Bereitstellungsstrategien
für grünen Wasserstoff
in der Industrie
und die Bewertung der Gesamtkosten
für Produktion und Speicherung je MWh H₂.*

Als Fallstudien ziehen wir Österreich und Spanien heran.

- a) **Strompreis-optimiert:** H₂ Erzeugung zu günstigen Strompreisen und H₂ Speicherung
- b) **Just in time (JIT):** Erzeugung anhand der Nachfrage unabhängig vom Strompreis
- c) **JIT mit Power Purchase Agreement (PPA):** Erzeugung mit fixem Strompreis (30-60€/MWh)
- d) **Kontinuierliche Produktion mit PPA**
- e) **Kontinuierliche Produktion basierend auf Strompreis**

H₂ Bereitstellungsprozess



q_t^{EL} Electricity consumption/quantity
 S_{out_t} H2 from storage
 S_{IN_t} H2 into storage
 eta_s Storage efficiency
 eta_{p2G} P2G efficiency

D_t Gas Demand
 $H2_{direct}$ H2 directly from P2G plant
 q_{H2_t} H₂ production quantity
 q_{st} Electricity supply

INPUT

Stündlicher Strompreis [ES]	[h]	2019
Jahresbedarf Gas Industrie [ES]		2050 (97 TWh)
Nachfrageprofil Gas Industrie [ES]	[d]	2019
Stromerzeugung [ES]	[h]	2019

Elektrolyseur & Speicherkosten:

CAPEX	high-medium-low
OPEX	3 / 1% der CAPEX
WACC	9 %
Nutzungsdauer	20 Jahre
P2G Effizienz	0.7
Speichereffizienz (round-trip)	0.86

OPTIMIERUNG

Min

$$TC = \frac{ca^{P2G} + \sum p_t^{EL} q_t^{EL} + \sum ca^h}{\sum q_{H2}}$$

Subject to

$$D_t = S_{out_t} + H2_{direct_t}$$

$$q_{H2_t} = S_{IN_t} + H2_{direct_t}$$

$$q_{EL_t} = q_{H2_t} / eta_{P2G}$$

$$SOC_t = SOC_{t-1} + S_{IN_t} eta_s - S_{out_t} / eta_s$$

$$q_{EL_t} \leq q_{S_t}$$

$$SOC_1 = SOC_T$$

All variables ≥ 0

OUTPUT

Optimierung der
Kosten für die
H₂ Bereitstellung
in €/MWh

p_t^{EL} Electricity Price
 q_t^{EL} Electricity consumption/quantity
 ca^{P2G} Yearly P2G capacity cost [€/kW]
 ca_t^h Storage cost
 C_t^h Storage Capacity

S_{out_t} H2 from storage
 S_{IN_t} H2 into storage
 eta_s Storage efficiency
 eta_{P2G} P2G efficiency
 D_t Gas Demand

$H2_{direct}$ H2 directly from P2G plant
 q_{H2_t} H₂ production quantity
 q_{S_t} Electricity supply
 T 8760
 t hourly time steps

Szenarien: Annahmen für die Elektrolyseur & H2 Speicher Kosten

P2G Kapazität - Kosten¹:

Table 3. Techno-economic characteristics of different electrolyser technologies

	Alkaline electrolyser			PEM electrolyser			SOEC electrolyser		
	Today	2030	Long term	Today	2030	Long-term	Today	2030	Long term
Electrical efficiency (% LHV)	63-70	65-71	70-80	56-60	63-68	67-74	74-81	77-84	77-90
CAPEX (USD/kW _e)	500	400	200	1 100	650	200	2 800	800	500
	1400	850	700	1 800	1 500	900	5 600	2 800	1 000

Speicherkapazität - Kosten*:

Gorre et al. ²	375-500€/kg H ₂	11.4-15	€/kWh
H ₂ Hub _{Linz} ³	245€/kg/h	7.4	€/kWh

Gewählte Szenarien

	P2G [€/kW]	Storage [€/kWh]
1	100	2
2	250 ³	5
3	650 ²	7.4
4	1000	15
5		24
6		39

*Bei 33.33kWh/kg H₂

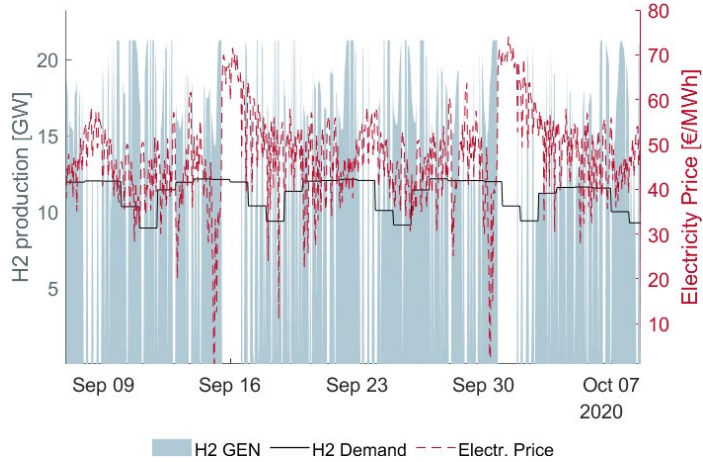
Ergebnisse



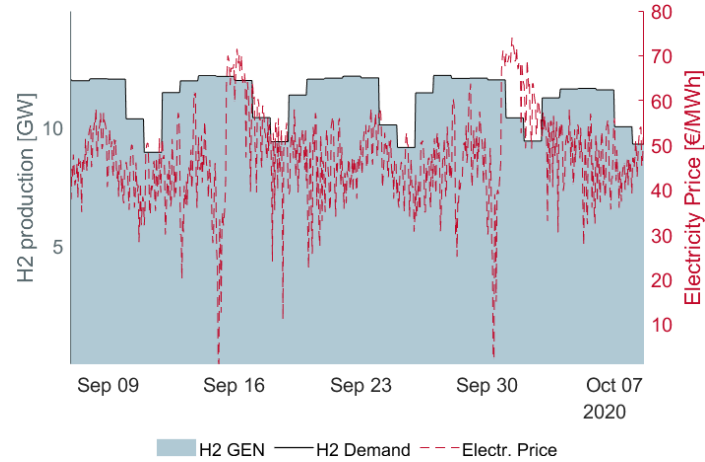
Übersicht über die H2 Bereitstellungsstrategien

Strompreis/PPA

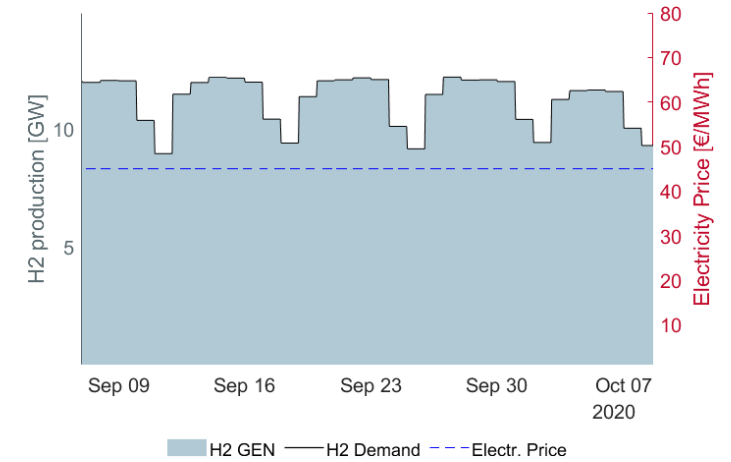
Strompreis-Optimierung



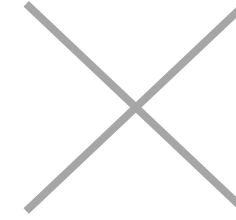
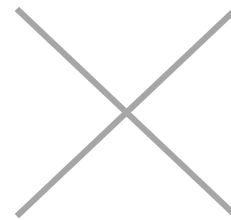
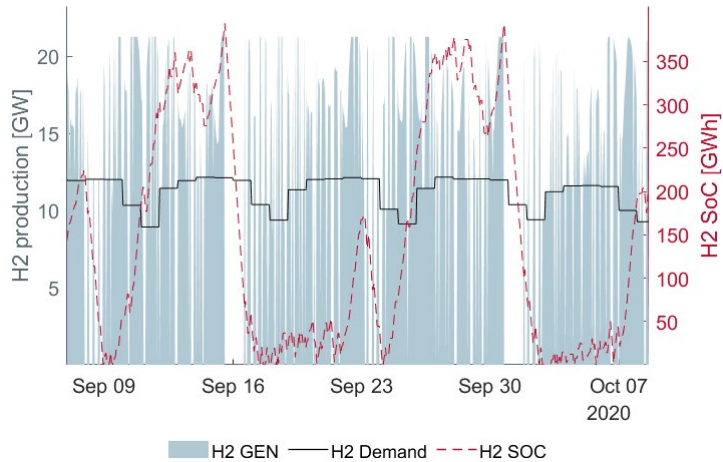
JIT mit Strompreis



JIT mit PPA



H2 State of charge



$$\text{COE/S} = \frac{\text{P2G Kosten} + \text{Speicherkosten}}{\sum_{t=1}^T q_{H_2}}$$

$$= \frac{c_a^{P2G} (1 + OPEX_{P2G}) + \sum_{t=1}^T q_t^{EL} p_t^{EL} + c_a^h (1 + OPEX_h)}{\sum_{t=1}^T q_{H_2}}$$

a) Strompreis Optimierung

- + Optimierte Produktion
- Speicherkosten
- Variable Produktion

JIT - b) Strompreis c) PPA

$$q_{H_2t} = D_t$$

- + Keine Speicherkosten
- + PPA Preissicherheit
- Keine Preisoptimierung

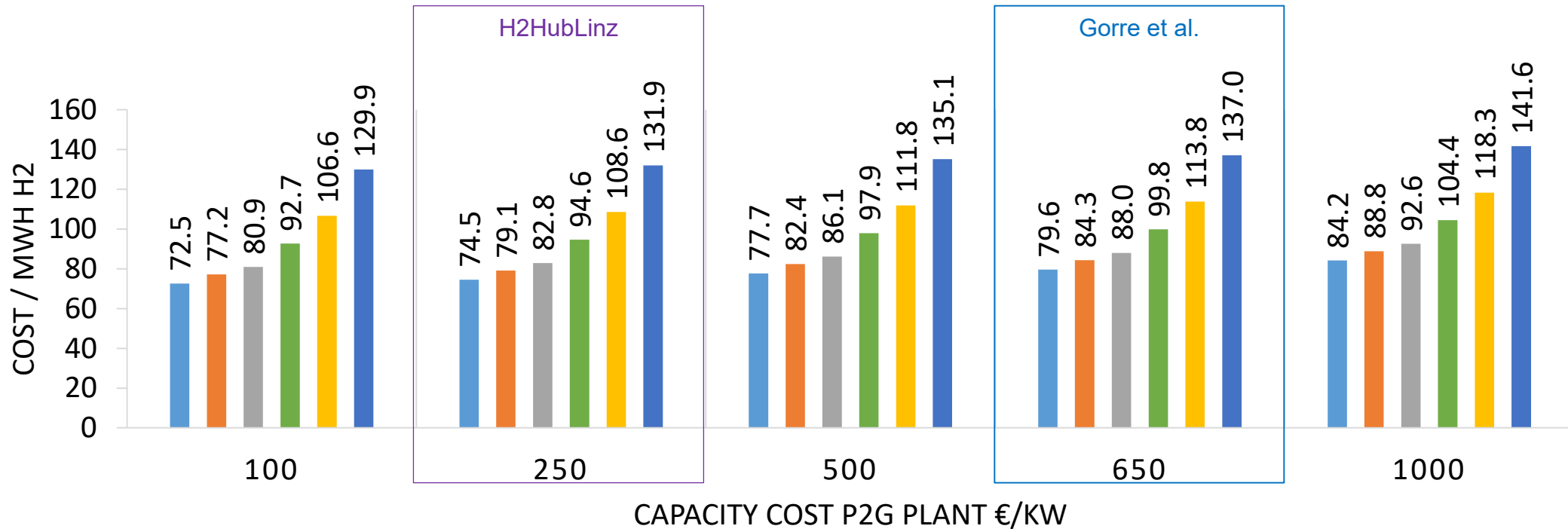
Kontinuierlich – d) PPA e) Strompreis

$$q_{H_2t} = C_t^{P2G}$$

- + Effizienzgewinne durch Kontinuität
- + PPA Preissicherheit
- Hoher Speicherbedarf
- Keine Preisoptimierung

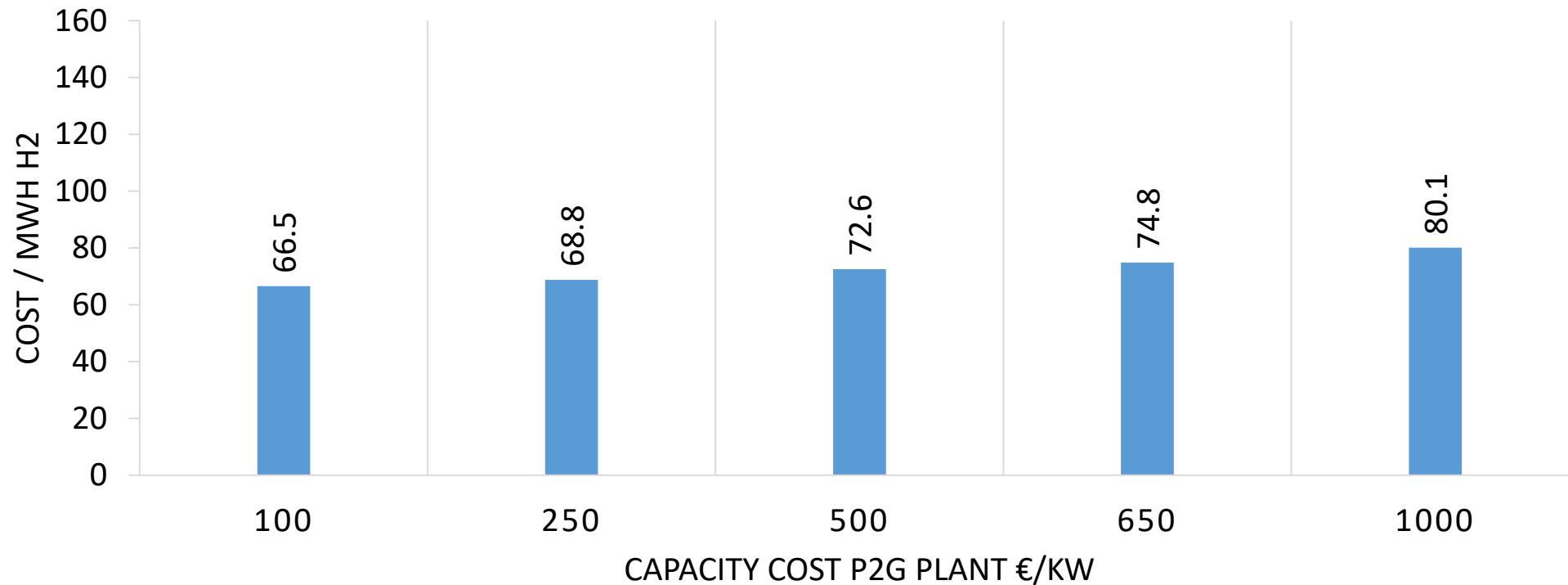
c_a^{P2G} Yearly P2G capacity cost [€/kW]
 p_t^{EL} Electricity Price
 q_t^{EL} Electricity consumption/quantity
 C_t^h Storage Capacity
 q_{H_2t} H_2 production quantity

KONTINUIERLICH - STROMPREIS



■ ch = 2 €/kWh ■ ch = 5 €/kWh ■ ch = 7.4 €/kWh ■ ch = 15 €/kWh ■ ch = 24 €/kWh ■ ch = 39 €/kWh

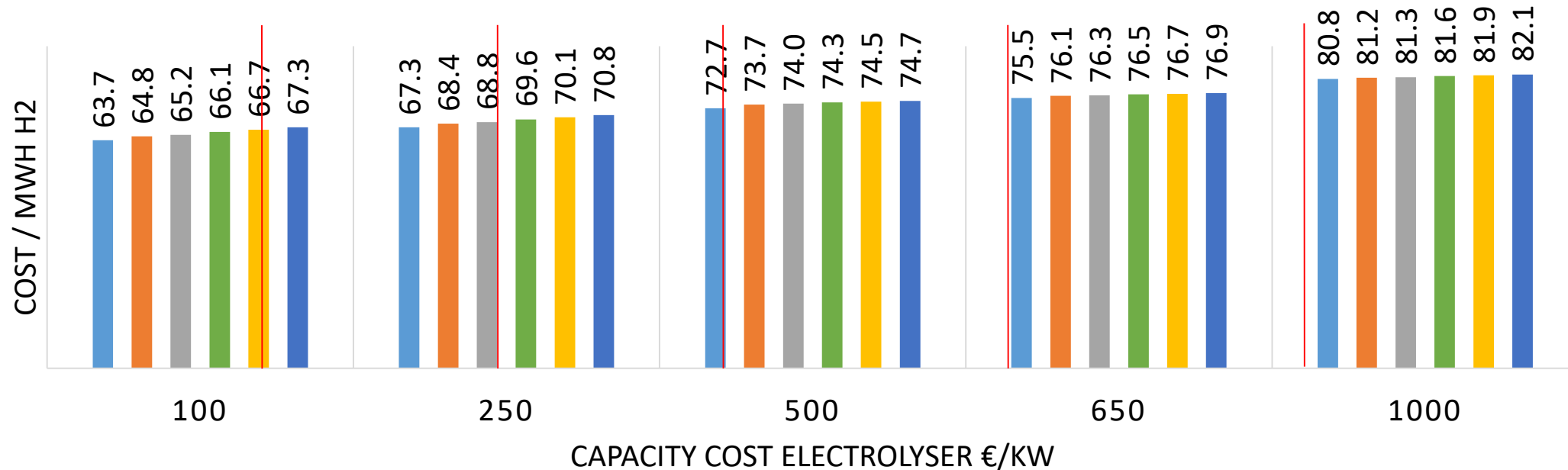
JIT - ELECTRICITY PRICE



Strompreis Optimierung und H2 Speicherung (a)

Bis zu P2G Kapazitätskosten von 250€/kW kann die Strompreisvariabilität erfolgreich ausgenutzt werden

STROMPREIS OPTIMIERUNG



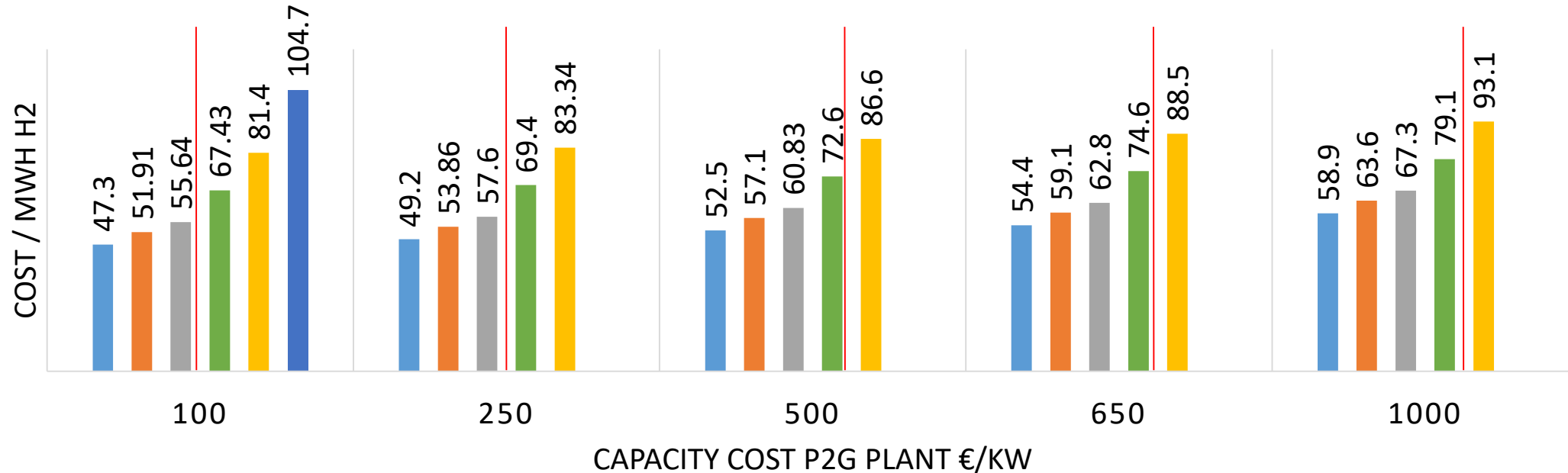
■ ch = 2 €/kWh ■ ch = 5 €/kWh ■ ch = 7.4 €/kWh ■ ch = 15 €/kWh ■ ch = 24 €/kWh ■ ch = 39 €/kWh

— Günstigstes Szenario aus vorhergehender Strategie

Kontinuierliche H2 Produktion basierend auf PPA von 30€/MWh (d)

Diese Strategie erzielt eine weitere Kostenreduktion – allerdings nur bei einem PPA <45€/MWh

KONTINUIERLICH - PPA 30€/MWH

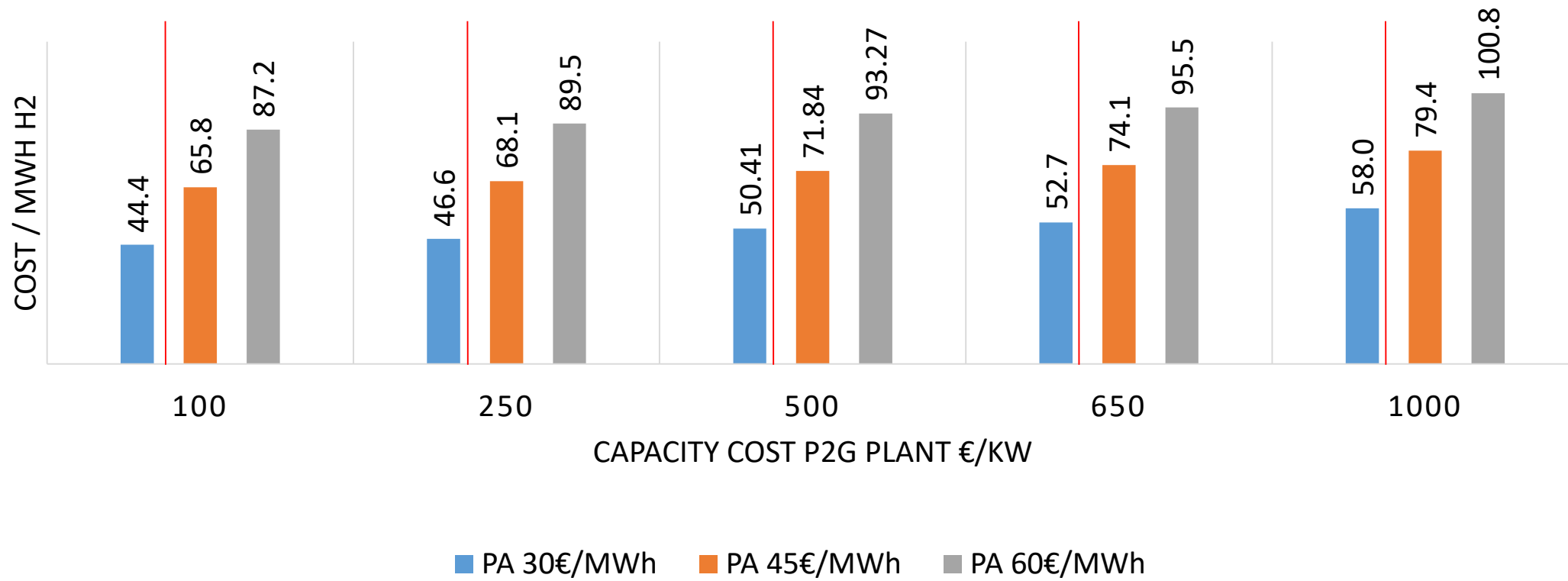


■ ch = 2 €/kWh ■ ch = 5 €/kWh ■ ch = 7.4 €/kWh ■ ch = 15 €/kWh ■ ch = 24 €/kWh ■ ch = 39 €/kWh

— Günstigstes Szenario aus vorhergehender Strategie

Die geringsten Kosten in dieser Studie: JIT Produktion mit PPA von 30€/MWh (c)

JIT MIT PPA



—
Günstigstes Szenario aus vorhergehender Strategie

- Die Strompreis Optimierung ist wertvoll wenn
 - Die Elektrolyseur Kapazitätskosten niedrig sind
 - Dadurch zu niedrigen Strompreisen viel H₂ erzeugt werden kann
 - Die Speicherkosten nicht zu hoch sind
 - Ausreichend Strompreis-Variabilität gegeben ist
- Kontinuierliche Produktion mit einem PPA von <45€/MWh bietet große Sicherheit zu niedrigen Gesamtkosten
- JIT Produktion ist bei höheren Investitionskosten für Elektrolyseur/Speicher sinnvoll
- JIT Produktion mit PPA (sofern das Abkommen flexible Stromabnahme zulässt) kann sehr gute Ergebnisse erzielen

- Effizienzverlust bei niedriger Auslastung des Elektrolyseurs bei Strompreisoptimierung
- Möglichkeit eines vorgelagerten Stromspeichers (recht hohe Kosten)
- H₂ Nachfrageprofil aus dem Industriesektor (z.B. Stahlerzeugung)
- Vergleiche der Strategie-Tendenzen in Spanien und Österreich

Gorre et al. 2020. 'Cost Benefits of Optimizing Hydrogen Storage and Methanation Capacities for Power-to-Gas Plants in Dynamic Operation'. *Applied Energy* 257:113967. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113967.

International Energy Agency (IEA). 2019. *The Future of Hydrogen. Report prepared by the IEA for the G20, Japan.*

Tlili, Olafa, Sébastien de Rivaz, and Paul Lucchese. 2020. *POWER-TO-HYDROGEN AND HYDROGEN-TO-X: SYSTEM ANALYSIS OF THE TECHNO-ECONOMIC, LEGAL AND REGULATORY CONDITIONS.* CEA-Université-Paris-Saclay.

H2Future. 2021. 'H2FUTURE PROJECT - Startseite'. Retrieved 6 September 2021 (<https://www.h2future-project.eu/>).