

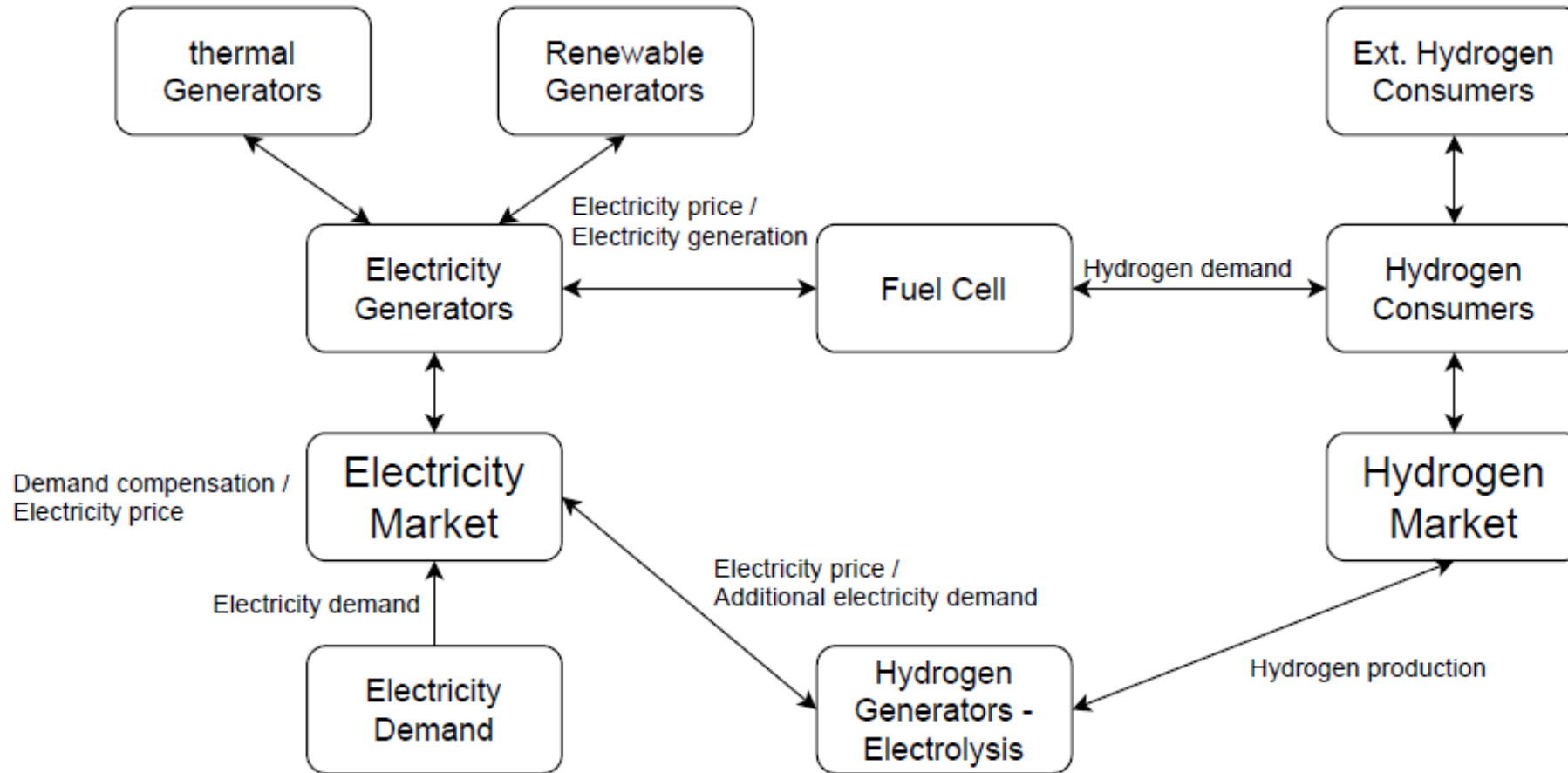
# Wasserstoff als kurzfristige Flexibilität und saisonaler Speicher in einem sektorgekoppelten Strommarkt

Christoph Loschan\*, Daniel Schwabeneder, Georg Lettner  
Energy Economics Group, Technische Universität Wien  
13. Internationale Energiewirtschaftstagung, 16.02.2023, Wien

- Strommarktmodell von Zentraleuropa
- Europäischer Strommarkt & nationale Wasserstoffmärkte
- Elektrolyseure und Brennstoffzellen (EU Ziele)
- Zeitliche Flexibilität der H2 Produktion
- Saisonale H2 Speicherung & Rückverstromung

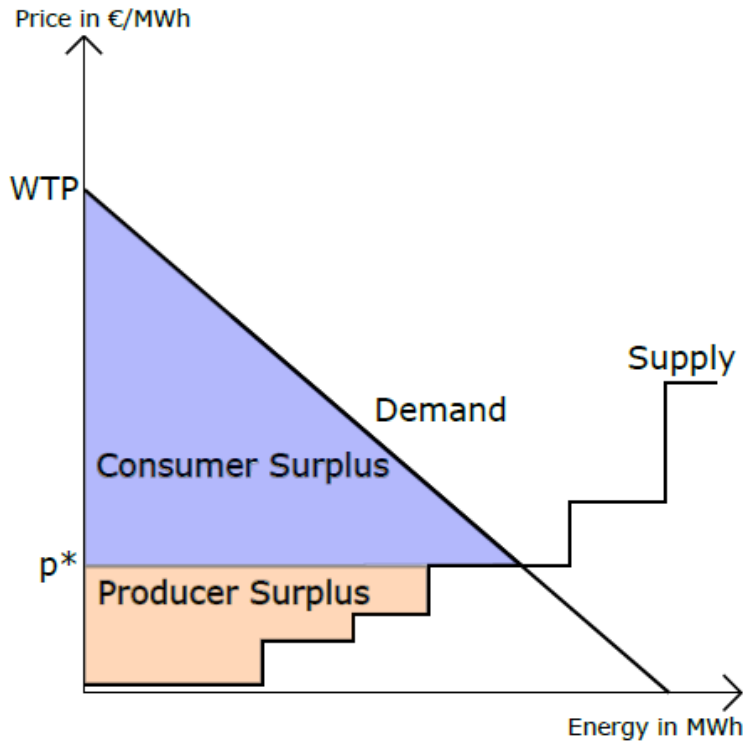


- Wie beeinflusst die H<sub>2</sub> Produktion die Konsumentenrente?
- Wie verändert sich die Produzentenrenten von verschiedenen KW Typen und Speichern?
- Welchen Einfluss haben Strom- und H<sub>2</sub> Preisen auf die Produzentenrente der H<sub>2</sub> Marktakteure?
- Wie ist der Einfluss von Strom- und H<sub>2</sub> Preisen auf die Verschiebung der sozialen Wohlfahrt? Konsumenten <-> Produzenten, Strommarkt <-> Wasserstoffmarkt
- Welche Typen von Wasserstoff werden produziert?

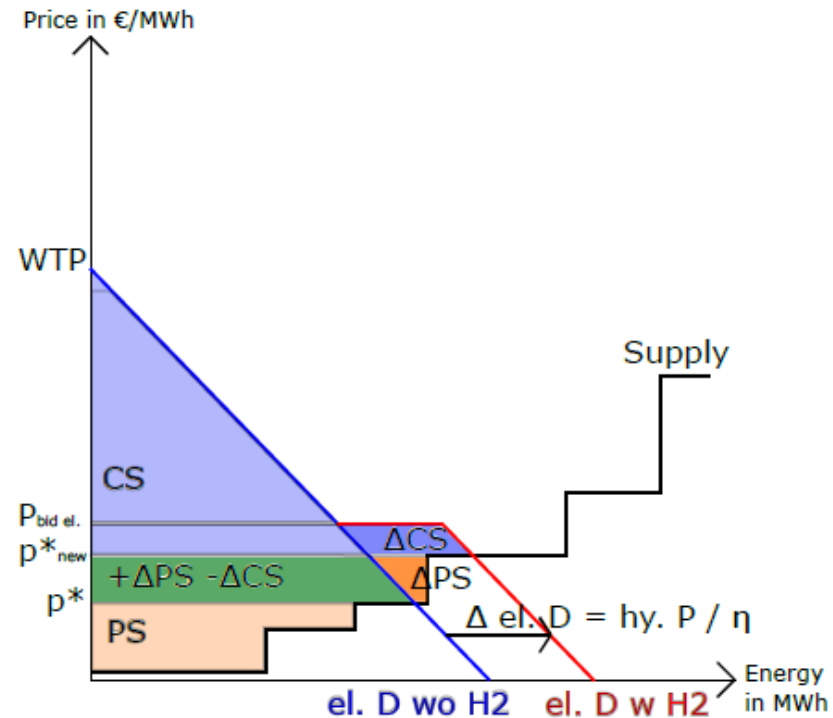


max. soziale Wohlfahrt = el. KR + el. PR (+ H2 PR)

Ohne Sektorkopplung

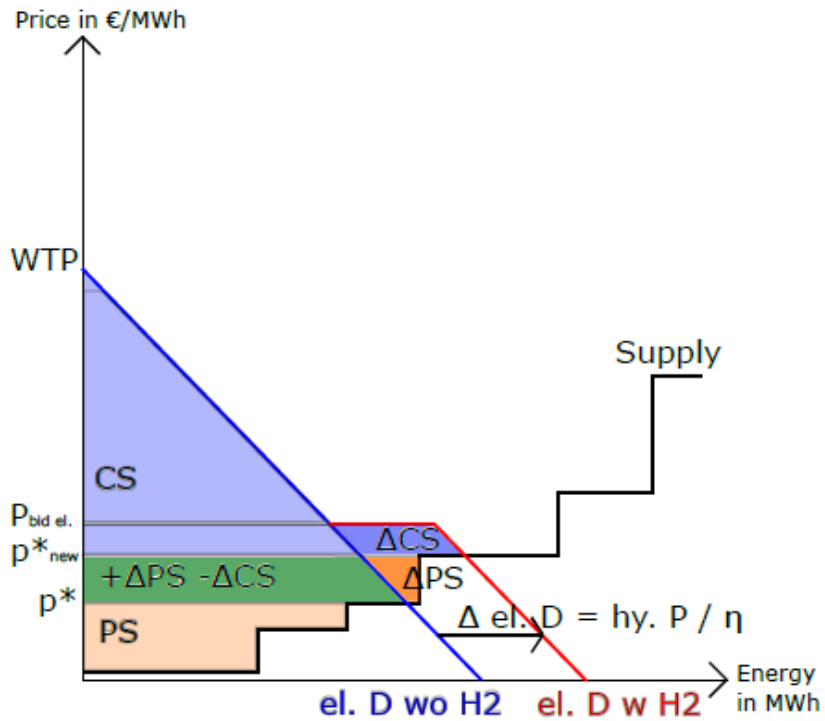


Mit Sektorkopplung

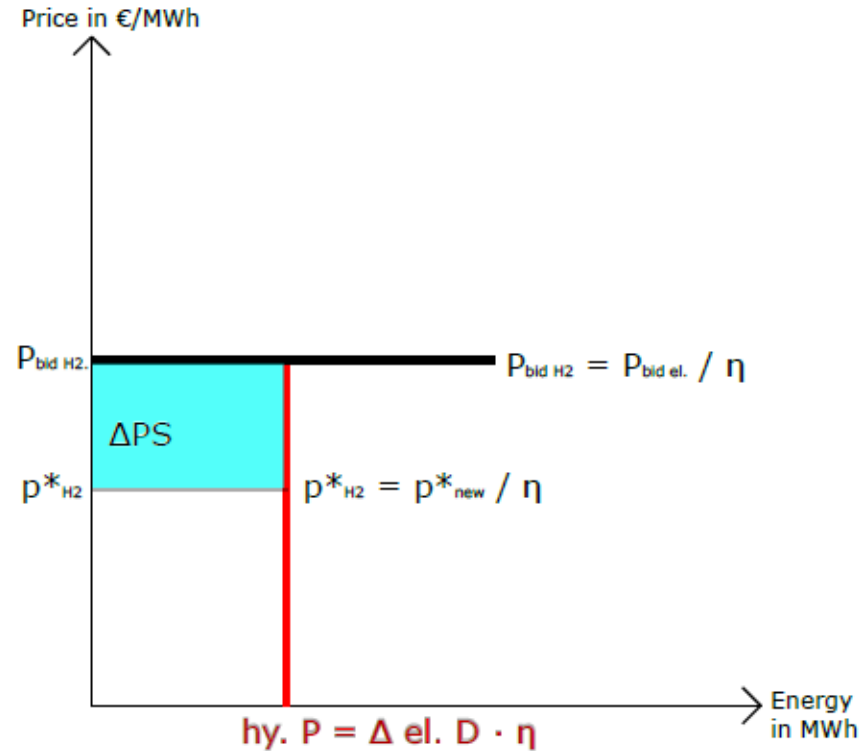


- + hy. Erzeugung -> el. Nachfrage  
-> + el. Preis -> ± el. KR  
+ el. PR + hy. PR

## Strommarkt



## Wasserstoffmarkt



- Gebotspreis Strom <-> Gebotspreis H2
- Strompreis <-> H2 Preis
- el. Nachfrage <-> hy. Erzeugung
- Grenzfall: hy. PR = 0

## Zielfunktion

$$\begin{aligned}
 & \min_{p, str, spill^{RESE}, p^{tu}, nse, p^{H2}, p_{H2}^{el}} \\
 & \sum_{t \in T} \sum_{th \in TH} (p_{t,th} \cdot SRMC_{th} + str_{t,th} \cdot C_{th}^{start}) + \sum_{t \in T} \sum_{ps \in PS} p_{t,ps}^{tu} \cdot C^{ps} \\
 & + \sum_{t \in T} \sum_{r \in RESE} (P_t^{RESE} - spill_{t,r}^{RESE}) \cdot C^{RESE} + \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} nse_{t,n} \cdot VoLL \\
 & - \sum_{t \in T} \sum_{e \in E} P_{H2}^{bid} \cdot p_{el,t,e}^{H2} + \sum_{t \in T} \sum_{fc \in FC} P_{H2}^{bid} \cdot d_{el,t,fc}^{H2}
 \end{aligned}$$

## Equilibrium

Endogene Nachfrage

$$\begin{aligned}
 & \underbrace{D_{t,n}^{el}}_{\text{Exogene Nachfrage}} + \sum_{e \in E_n} d_{H2,t,e}^{el} = \sum_{th \in TH_n} p_{t,th} + \sum_{fc \in FC_n} p_{H2,t,fc}^{el} + \sum_{ps \in PS_n} (p_{t,ps}^{tu} - p_{t,ps}^{pu}) \\
 & + \sum_{st \in ST_n} (p_{t,st}^{out} - p_{t,st}^{in}) + P_{t,n}^{RESE} - spill_{t,n}^{RESE} - exch_{t,n} + nse_{t,n} : p_{t,n}^{CP}
 \end{aligned}$$

Clearingpreis  
Strommarkt

## Konversionstechnolgien (Elektrolyseur / Brennstoffzelle)

$$\boxed{p_{el}^{H2}} = d_{H2}^{el} \cdot \eta_e$$

Produzierter H2

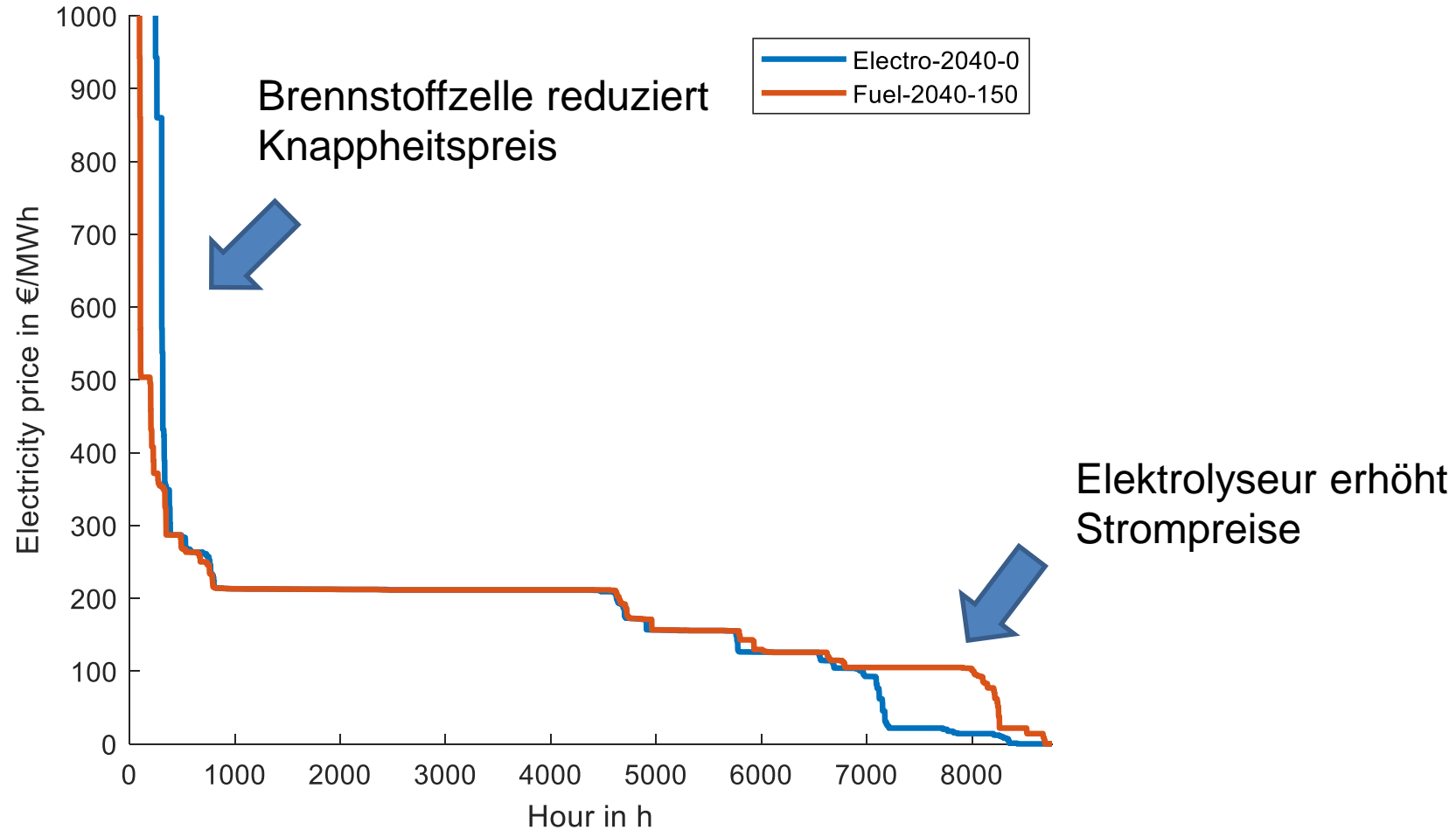
$$\boxed{p_{H2}^{el}} = d_{el}^{H2} \cdot \eta_{fc}$$

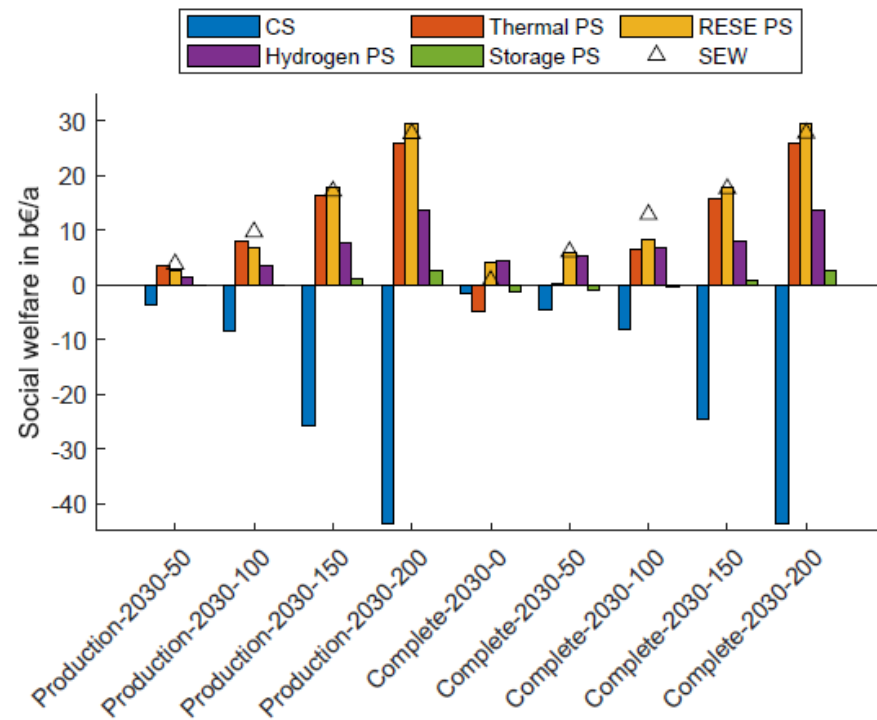
Stromerzeugung durch H2

- “ENTSO-E National Trends” Szenarien:
  - 2030 / 2040
  - Elektrolyseur / Elektrolyseur + Brennstoffzelle
  - H<sub>2</sub> Preis = 0 : 50 : 200 €/MWh<sub>H<sub>2</sub></sub>
- Elektrolyseur Wirkungsgrad: 70 %
- Brennstoffzelle Wirkungsgrad: 60 %
- Erdgaspreis: 100 €/MW
- Jahresoptimierung: 8760 h in einer Optimierung



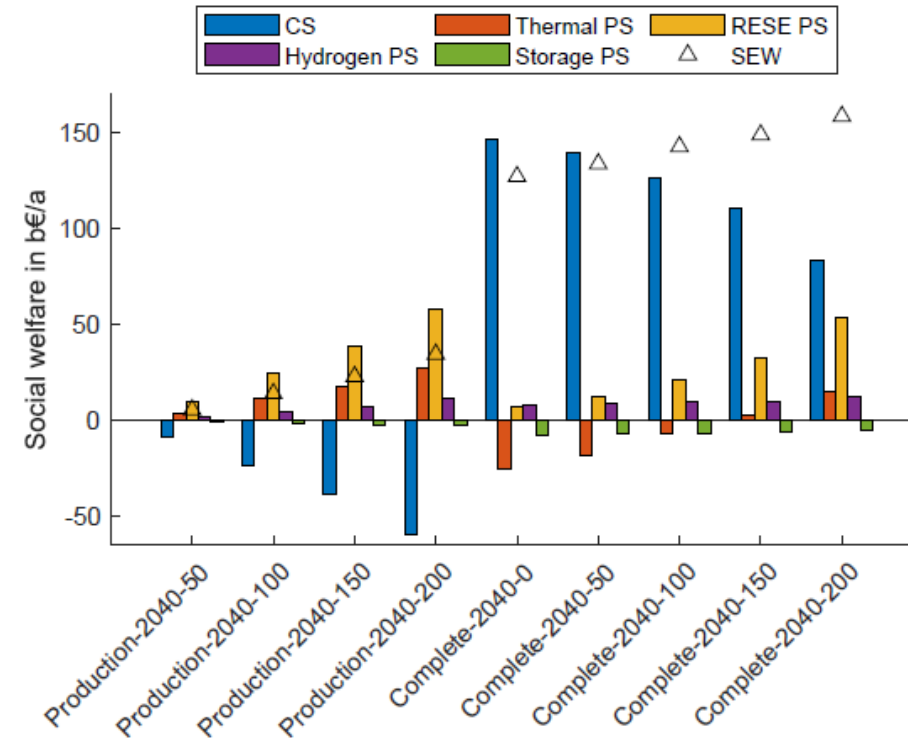
- Baseline vs. Sektorenkopplung (2040: Deutschland)





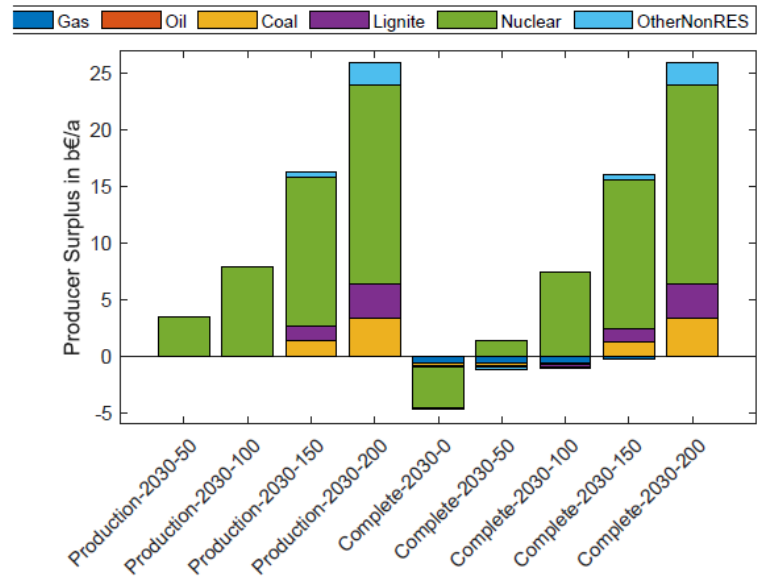
## 2030

- Erhöhung SEW
- Verschiebung KR zu PR
- ~ ähnlich für therm. KW & RESE PR



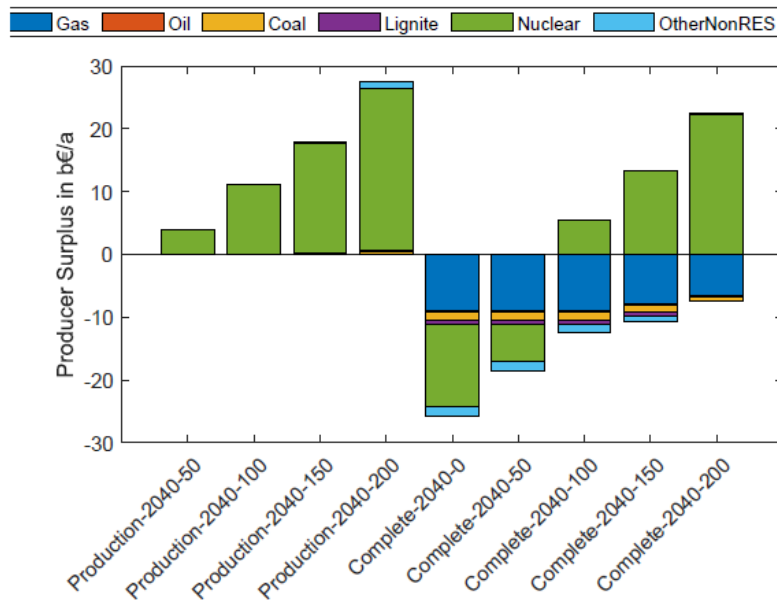
## 2040

- Hohe RESE PR
  - Brennstoffzelle
    - <-> Verschiebung PR zu KR
    - <-> höherer Vorteil für RESE als therm. KW
    - <-> negative therm. KW PR
- (H2 Preis 0 – 100 €/MWh)



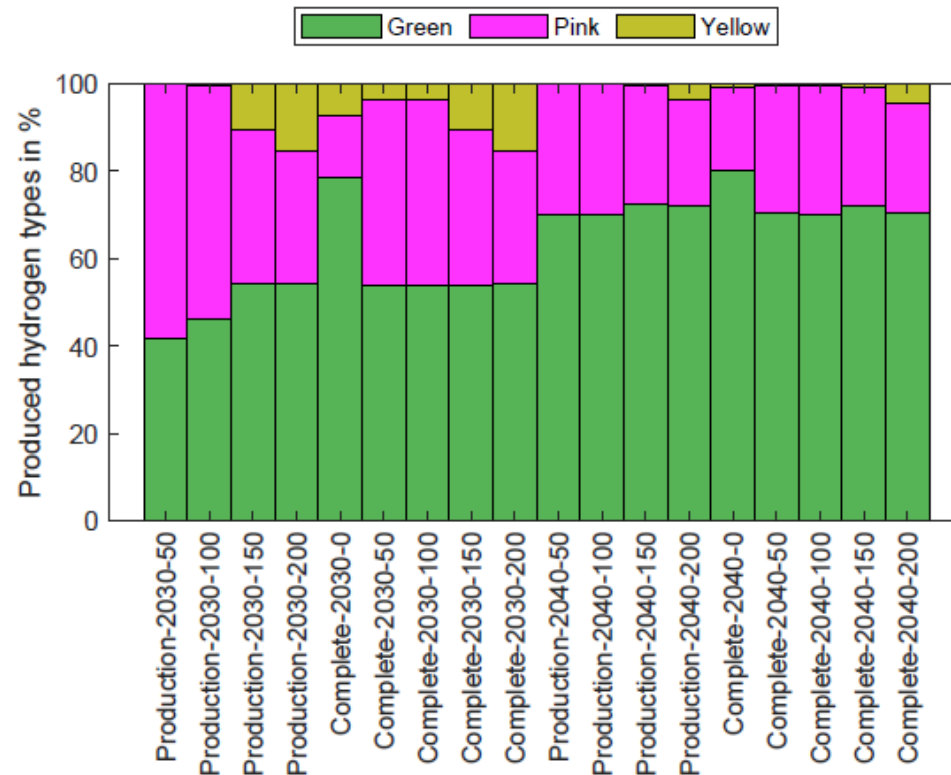
## 2030

- H2 Preis <-> Atomkraft PR
- H2 Preis (ab 125 €/MWh) <-> Kohle/Braunkohle Erhöhung
- Brennstoffzelle  
<-> leicht reduzierte Gas/Öl PR



## 2040

- Elektrolyseur <-> Atomkraft PR
- Brennstoffzelle  
<-> verhindert NSE  
<-> verringert therm. PR (spez. Gas)



- Grüner H2 am Höchsten
- Pinker H2 signifikant
- Gelber H2, aufgrund der NT Szenarien, wenig relevant

# Vielen Dank!

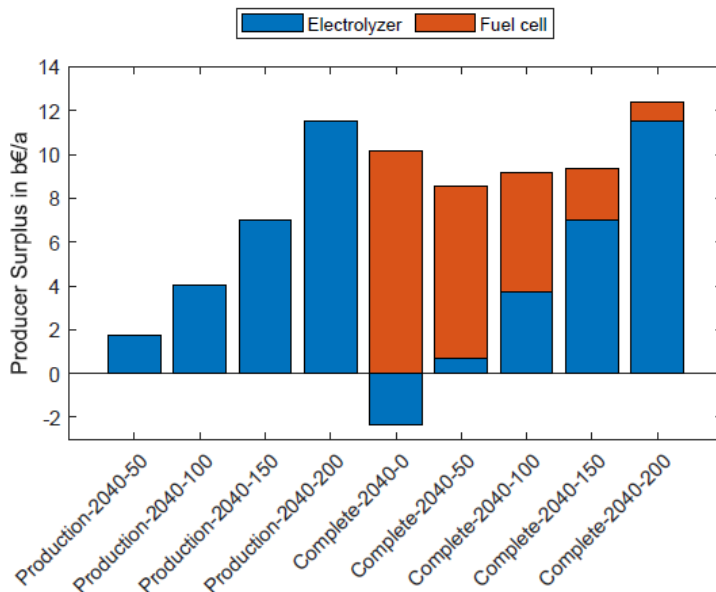
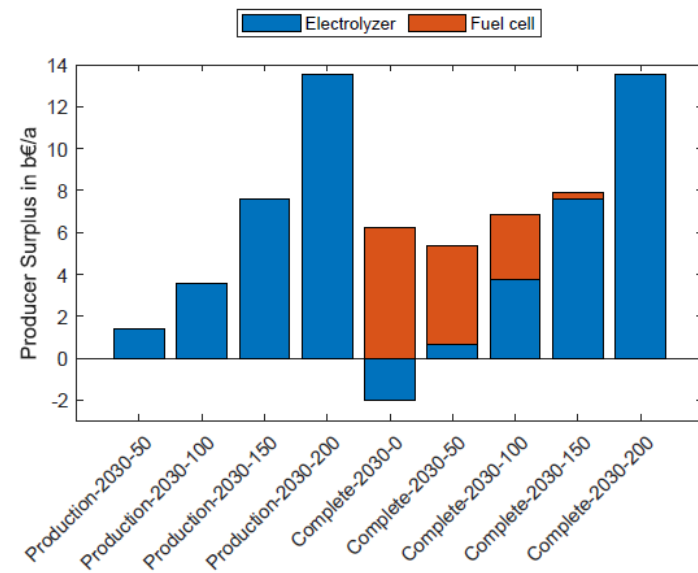
## Wasserstoff als kurzfristige Flexibilität und saisonaler Speicher in einem sektorgekoppelten Strommarkt

Christoph Loschan\*, Daniel Schwabeneder, Georg Lettner  
Energy Economics Group, Technische Universität Wien  
Internationale Energiewirtschaftstagung, 16.02.2023, Wien

***Dieses Projekt „Saisonale Speicher – S24RES“ wird aus Mitteln des BMKs gefördert und im Rahmen des Energie.Frei.Raum Programms 2022 durchgeführt.***



 Bundesministerium  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

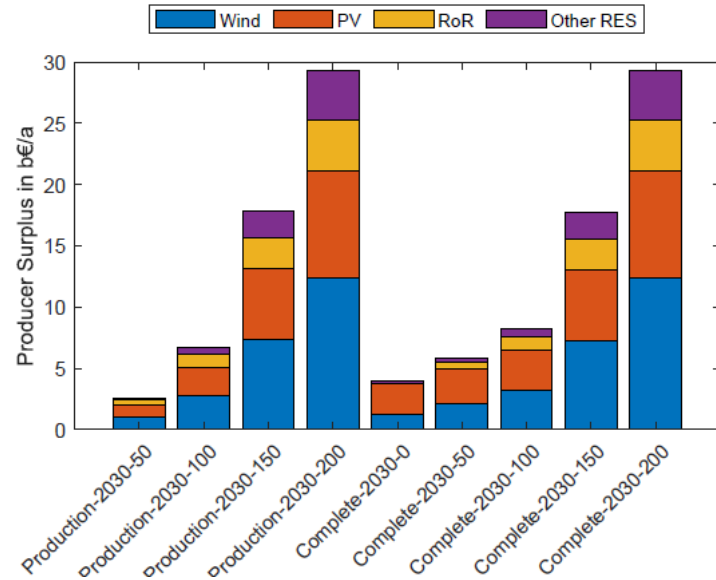


## 2030

- H2 Preis <-> H2 Elektrolyseur PR
  - Brennstoffzelle
- <-> hohe Brennstoffzelle PR (bei geringen H2 Preisen)
- <-> Bei 0 €/MWh  
Brennstoffzelle regt Produktion an (negative Elektrolyseur PR)

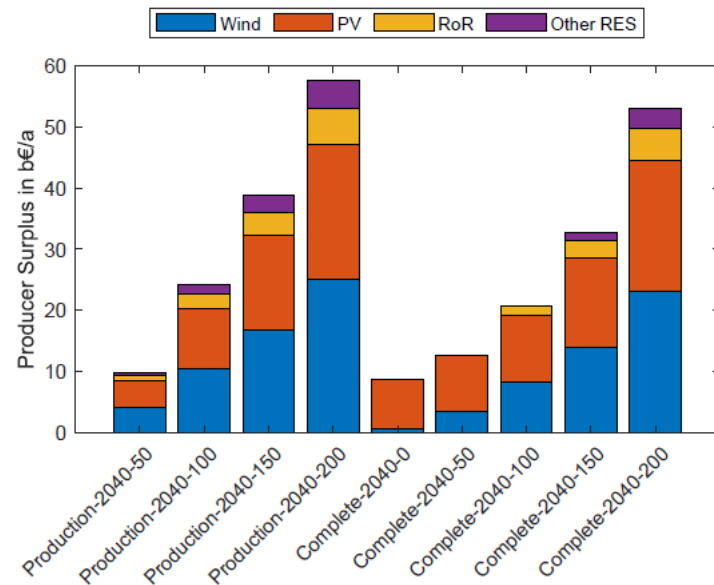
## 2040

- Brennstoffzelle
- <-> verhindert NSE
- <-> Elektrolyseur PR sinkt
- <-> hohe Brennstoffzelle PR



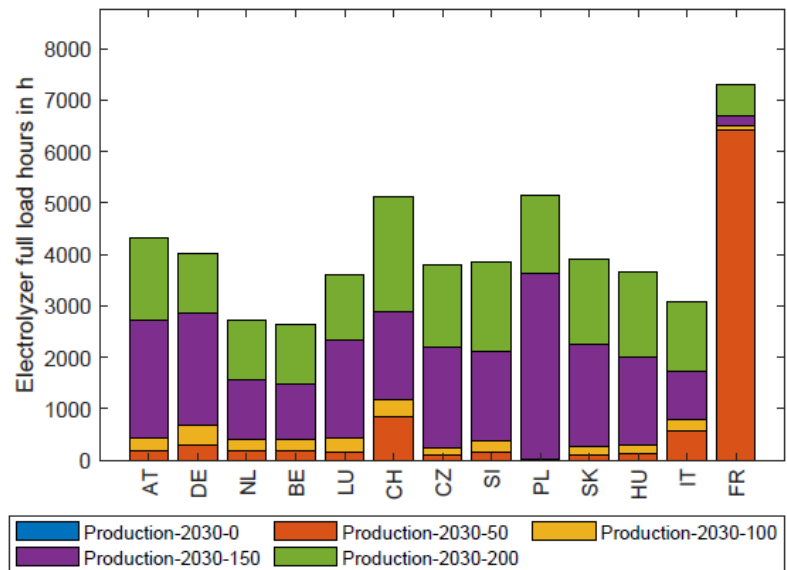
## 2030

- H2 Preis <-> RESE PR (nicht linear)
- Brennstoffzelle  
 <-> höhere PR (H2 Preis 0 – 100 €/MWh)  
 <-> Kein Einfluss (H2 Preis 150 – 200 €/MWh)



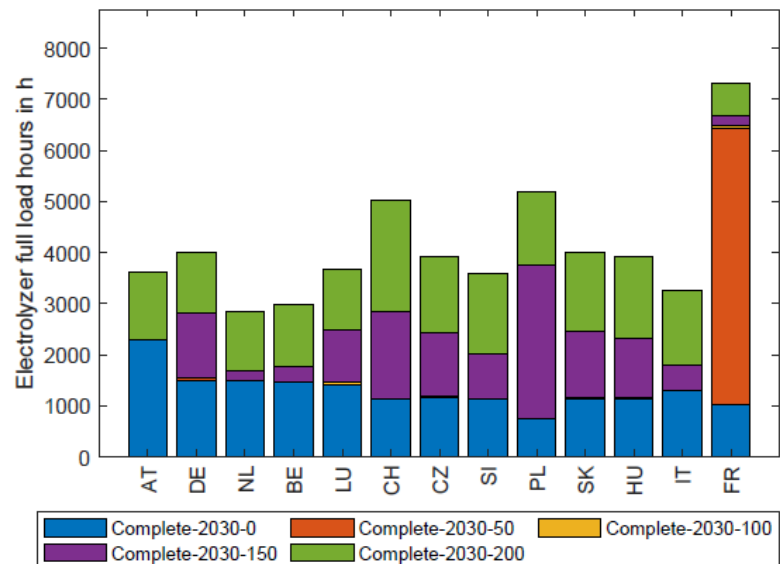
## 2040

- Brennstoffzelle  
 <-> verhindert NSE  
 <-> PR sinkt im Vgl. zu Elektrolyseur



## 2030

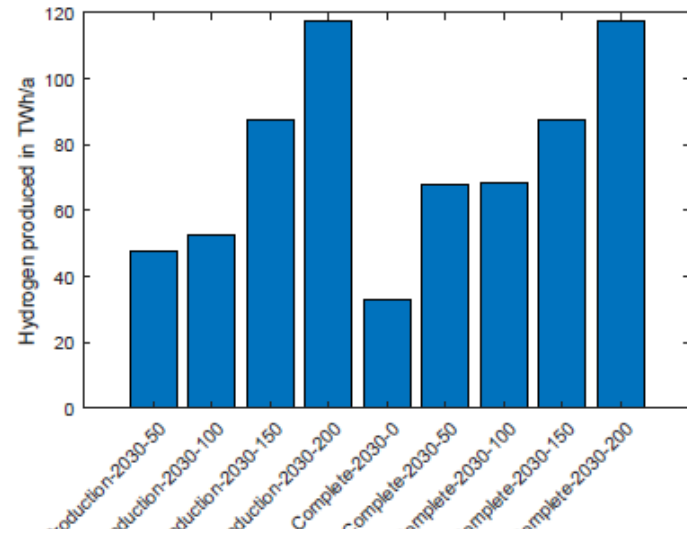
- AT: ab 150 €/MWh signifikante Volllaststunden
- FR: ab 50 €/MWh wenig Einfluss



## 2040

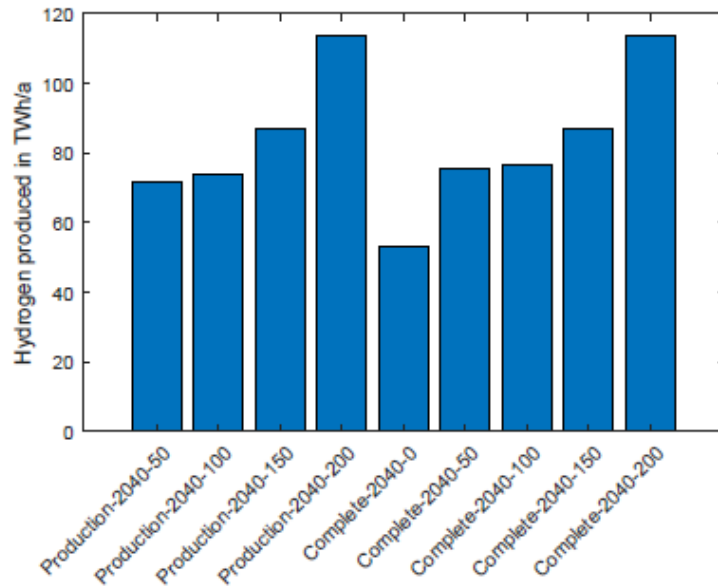
- Ähnliche Produktion bei niedrigeren Preisen (Aufgrund von höherer RESE Abregelung)





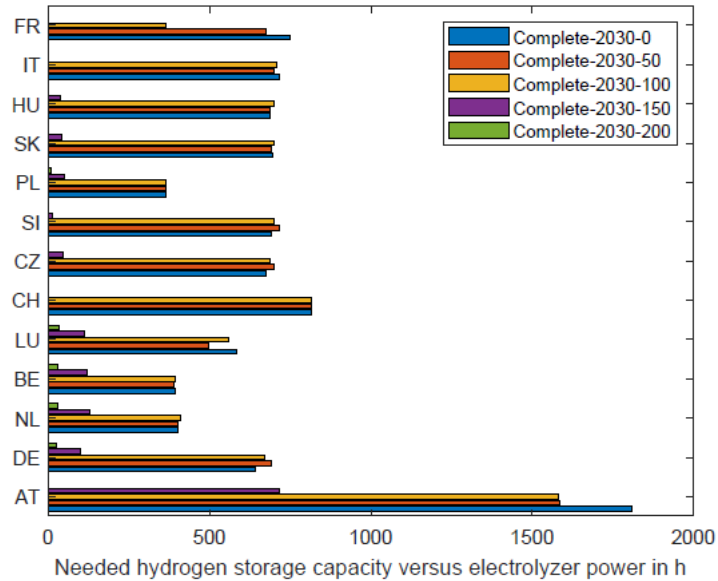
2030

Bei niedrigen Preisen bewirkt Brennstoffzelle eine höhere H2 Produktion



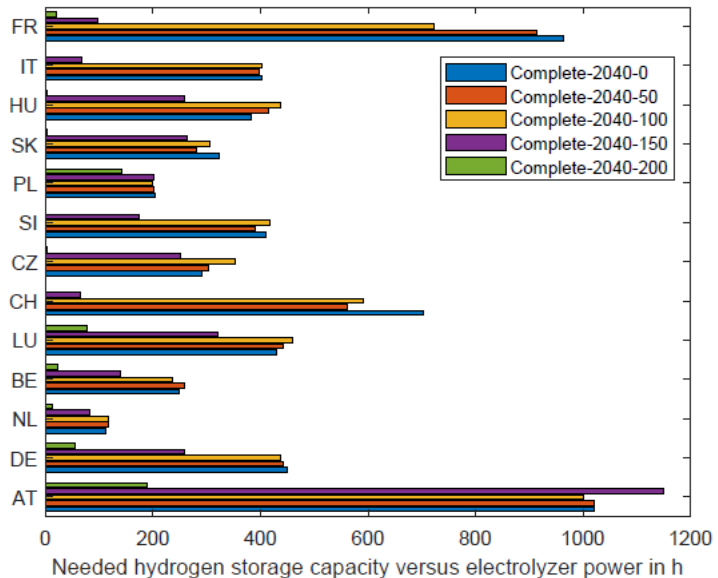
2040

Produktion nicht signifikant höher  
-> niedrigere Volllaststunden



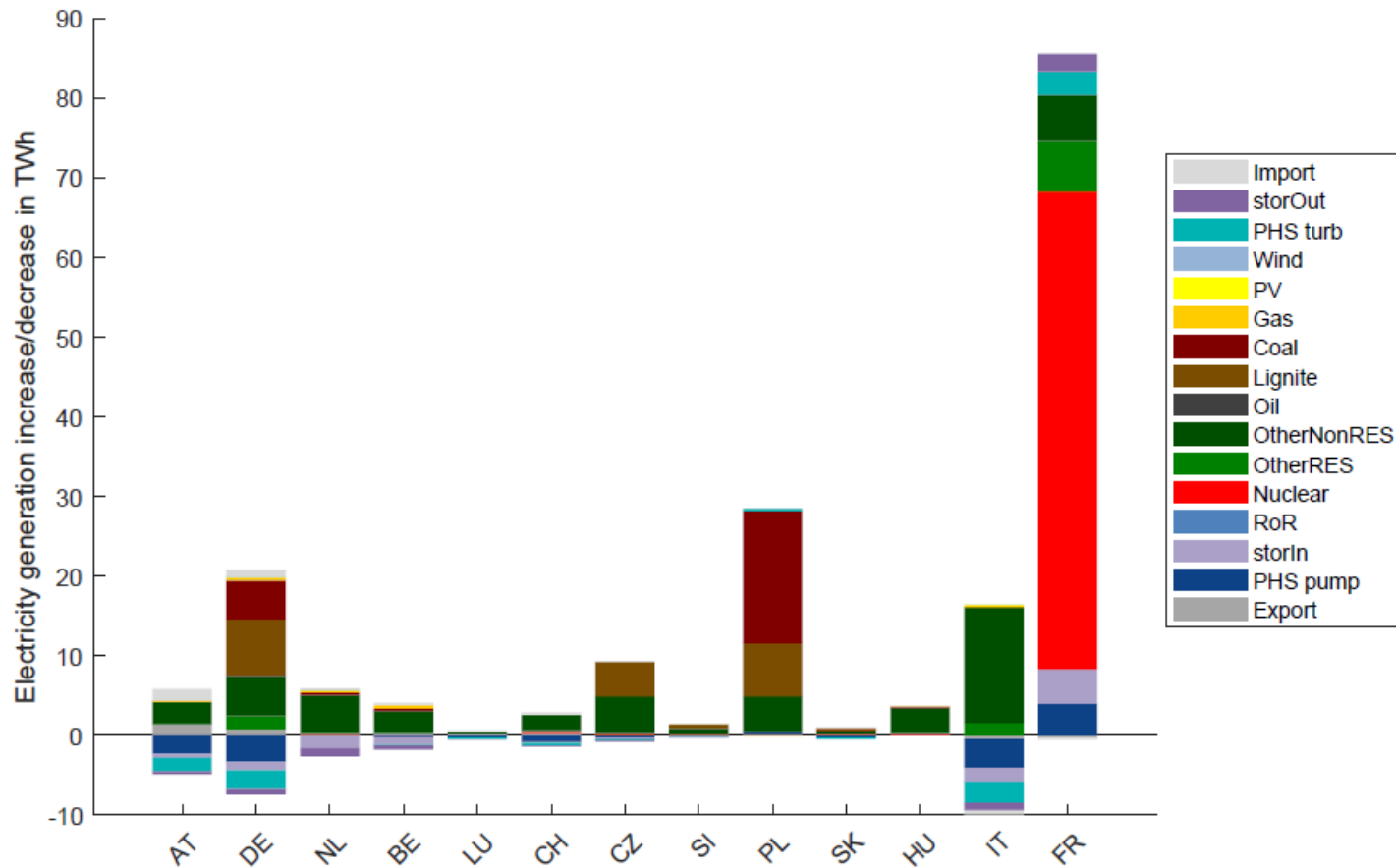
## 2030

- Wochen- bis 2-Monatsspeicher
- Höherer H2 Preis -> Speichergröße stark reduziert



## 2040

- energetischer Speicherbedarf steigt (Grafik als E-zu-P Verhältnis)



2030 – Brennstoffzelle mit  
200 €/MWh<sub>H2</sub>

- Zunahme von Kohle
- Zunahme von Atomkraft (FR)
- Zunahme von RESE
- Speicherbetrieb Abnahme