



# UNTERSUCHUNG DER KOPPLUNG EINES RSOC-SYSTEMS ZUR INDUSTRIE

---

PROJEKT: FIRST

DAVID BANASIAK

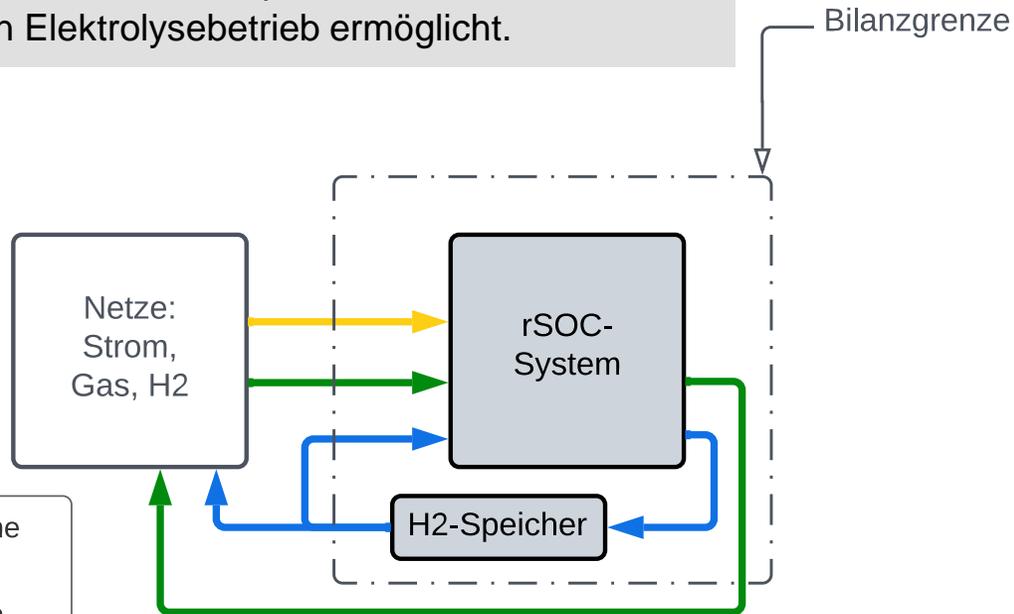
IEWT

15.-17.02.2023

# SZENARIEN DER KOPPLUNG

## rSOC-System:

Basiert auf einer Hochtemperaturbrennstoffzelle, die auch einen Elektrolysebetrieb ermöglicht.



→ Wärme  
→ CH<sub>4</sub>  
→ H<sub>2</sub>  
→ Strom  
 Randbed.  
 Flexibilität

- Betriebsarten rSOC-System:**
- Elektrolyse (EC)
  - Brennstoffzelle
    - Wasserstoff (H<sub>2</sub>)
    - Erdgas (CH<sub>4</sub>)

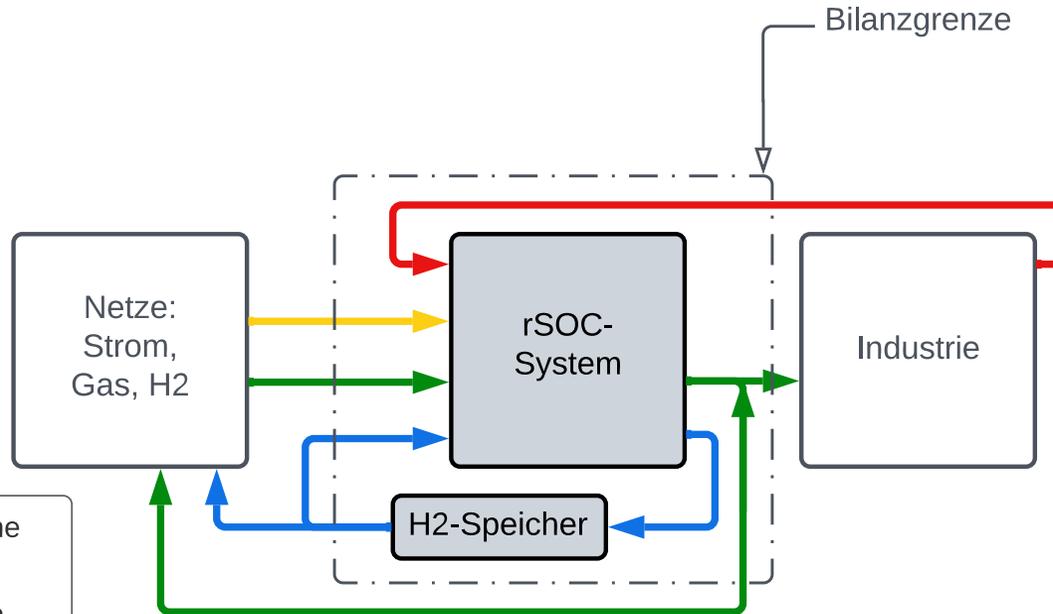
## Referenz (ref)

Das rSOC-System wechselwirkt nur mit den Energienetzen für Strom, Gas und Wasserstoff.

## Abwärmenutzung (AW)

## Abwärmenutzung mit Fernwärmeanschluss (FW)

# SZENARIEN DER KOPPLUNG



→ Wärme  
→ CH<sub>4</sub>  
→ H<sub>2</sub>  
→ Strom  
 Randbed.  
 Flexibilität

- Betriebsarten rSOC-System:**
- Elektrolyse (EC)
  - Brennstoffzelle
    - Wasserstoff (H<sub>2</sub>)
    - Erdgas (CH<sub>4</sub>)

## Referenz (ref)

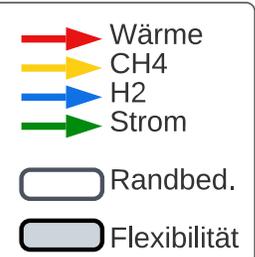
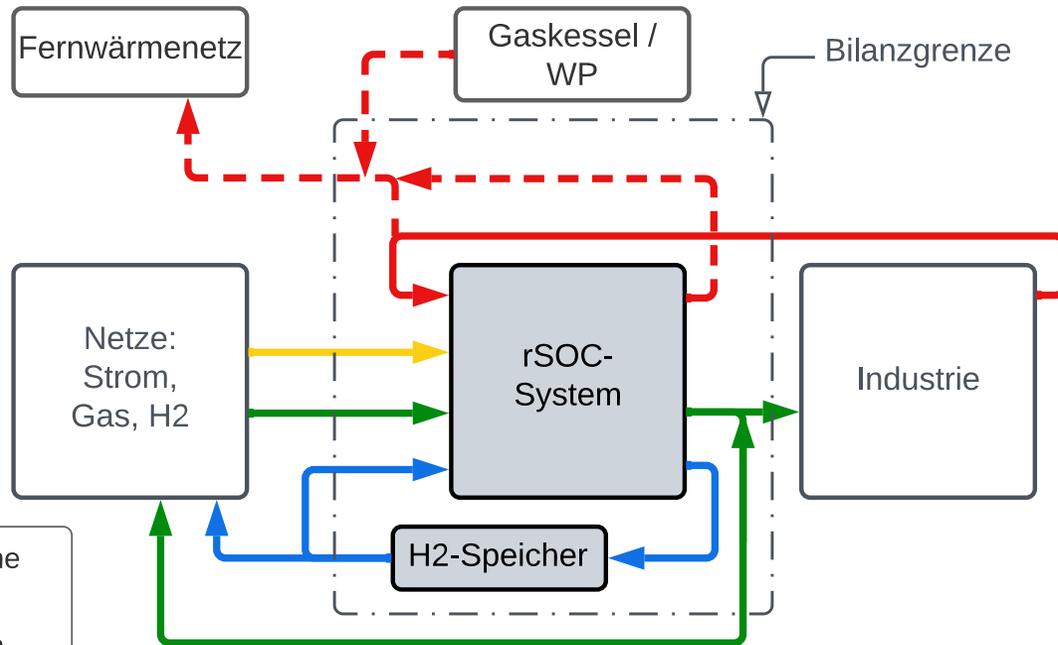
Das rSOC-System wechselwirkt nur mit den Energienetzen für Strom, Gas und Wasserstoff.

## Abwärmenutzung (AW)

Nutzung von Industrieabwärme für Elektrolysebetrieb und Stromeigenbedarfsdeckung

## Abwärmenutzung mit Fernwärmeanschluss (FW)

# SZENARIEN DER KOPPLUNG



- Betriebsarten rSOC-System:**
- Elektrolyse (EC)
  - Brennstoffzelle
    - Wasserstoff (H2)
    - Erdgas (CH4)

## Referenz (ref)

Das rSOC-System wechselwirkt nur mit den Energienetzen für Strom, Gas und Wasserstoff.

## Abwärmenutzung (AW)

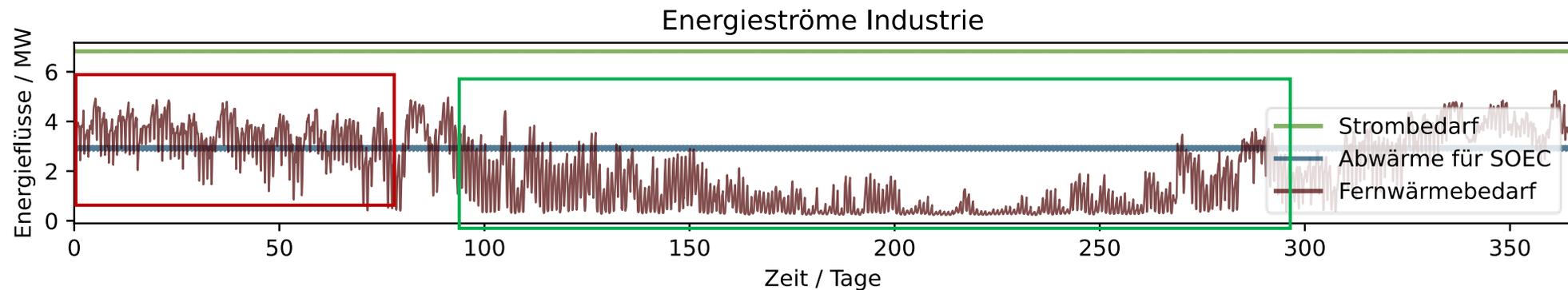
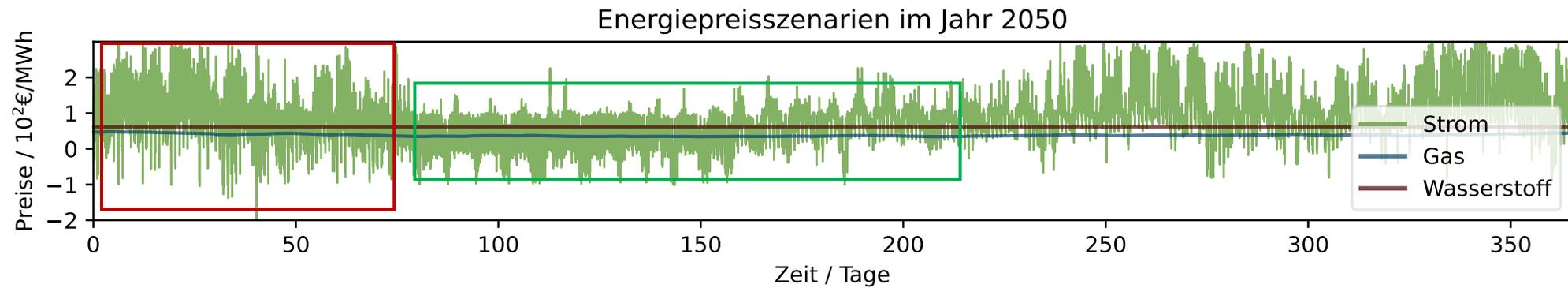
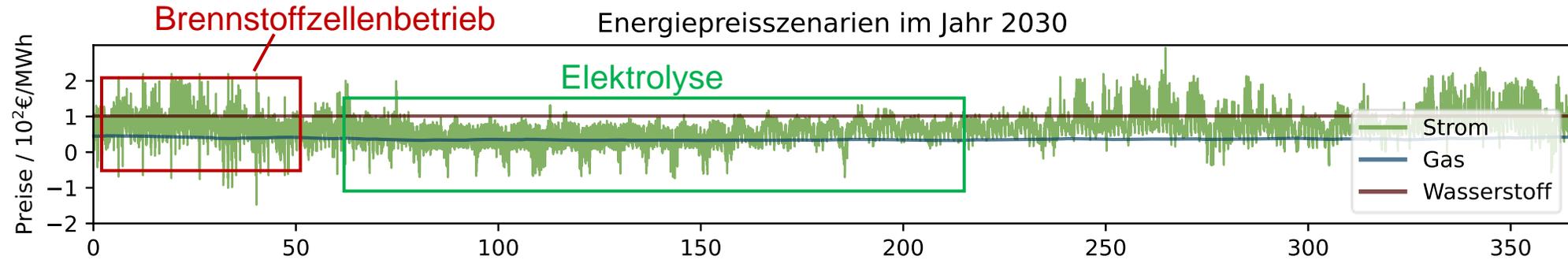
Nutzung von Industrieabwärme für Elektrolysebetrieb und Stromeigenbedarfsdeckung

## Abwärmenutzung mit Fernwärmeanschluss (FW)

Zusätzlich zu Szenario „AW“ Kopplung an ein Fernwärmenetz (Konkurrenz zum Elektrolysebetrieb), aber Wärmeauskopplung vom Brennstoffzellenbetrieb ermöglicht.

# RANDBEDINGUNGEN

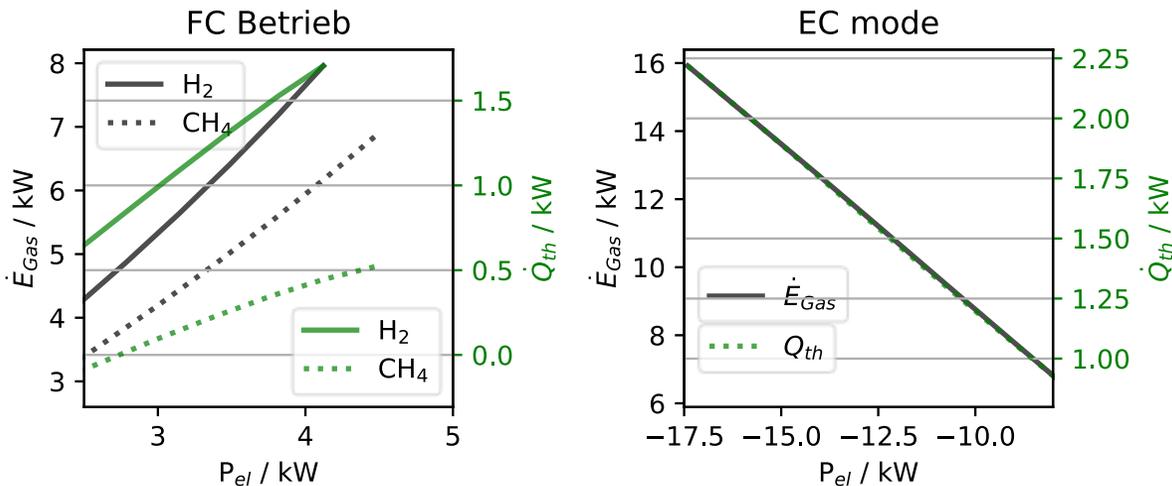
## ENERGIEPREISE UND ENERGIEFLÜSSE



# RANDBEDINGUNGEN

## RSOC-SYSTEMMODELL

### Umwandlungskennlinien des rSOC-Systems



#### FC Betrieb:

- Abwärme mit H<sub>2</sub> größer als mit CH<sub>4</sub>
- Elektr. Effizienz 67%

#### EC Betrieb:

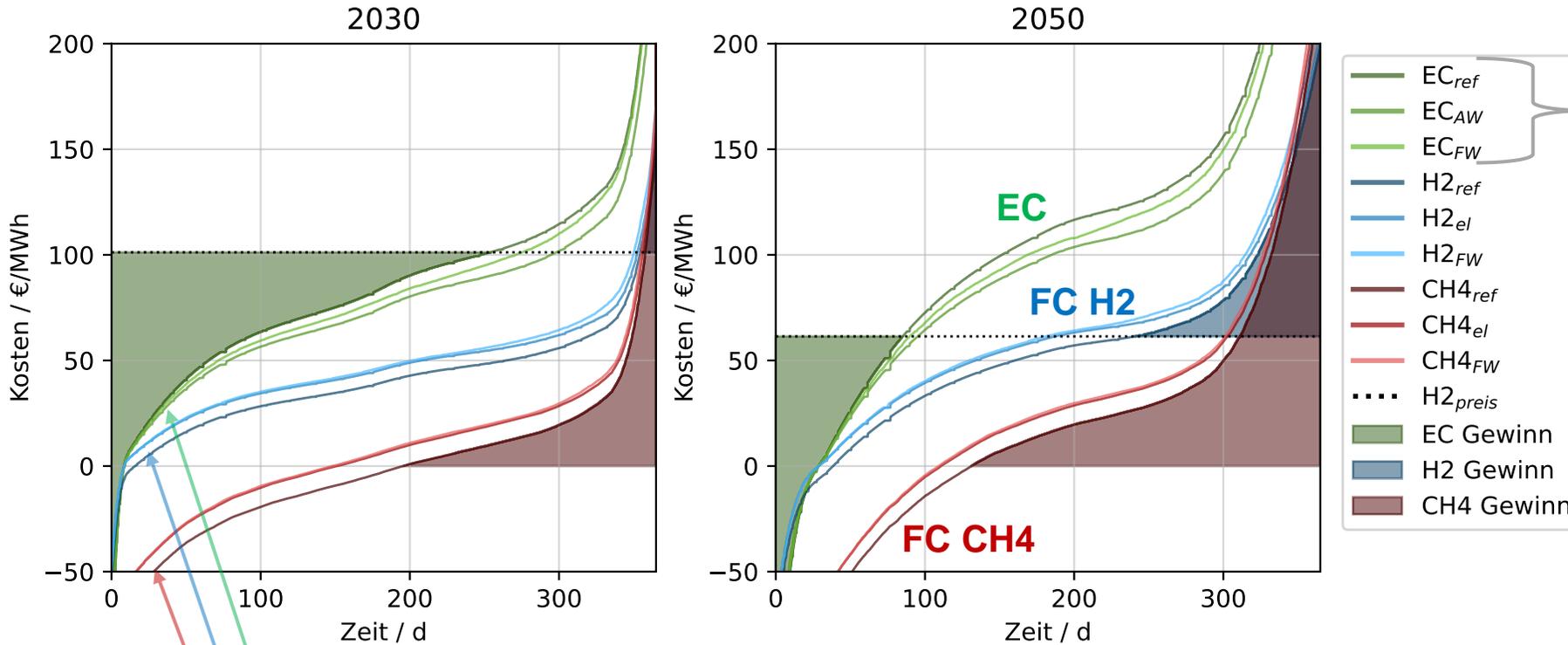
- Energiebedarf 12% Wärme, 88% elektrisch
- Elektr. Effizienz 80%
- „AW“ und „FW“ el. Eff. 90%

### Betriebseinschränkungen und Kosten des rSOC-Systems

Parameter	Wert	Einheit
Einschaltkosten (durch Degradation)	25	ct/kW
Betriebswechselkosten (durch Degradation) für EC/FC/CH <sub>4</sub>	1.0/0.5/0.5	ct/kW
jährliche Speicherkosten	36	ct/kWh
Aufheizenergiebedarf	5	% der nom. EC-Leistung
Abkühlenergiebedarf	1.5	% der nom. EC-Leistung
Standbyenergiebedarf	3	% der nom. EC-Leistung
Abkühl-/Aufheizzeit	75 [15]	min
Betriebswechselzeit EC > FC	3 [16]	min
Betriebswechselzeit FC > EC	13 [16]	min

# ERGEBNISSE

## GEORDNETE JAHRESDAUERLINIEN



### 3 Szenarien:

- Referenz (ref)
- Abwärmenutzung (AW)
- AW mit Fernwärmeanschluss (FW)

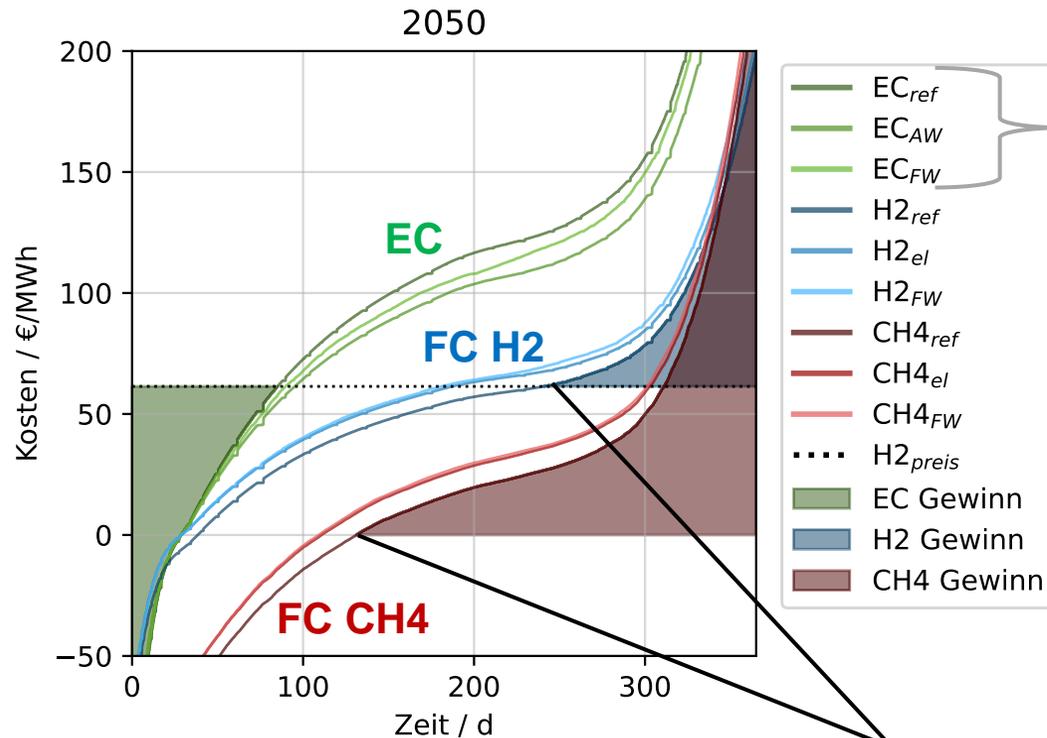
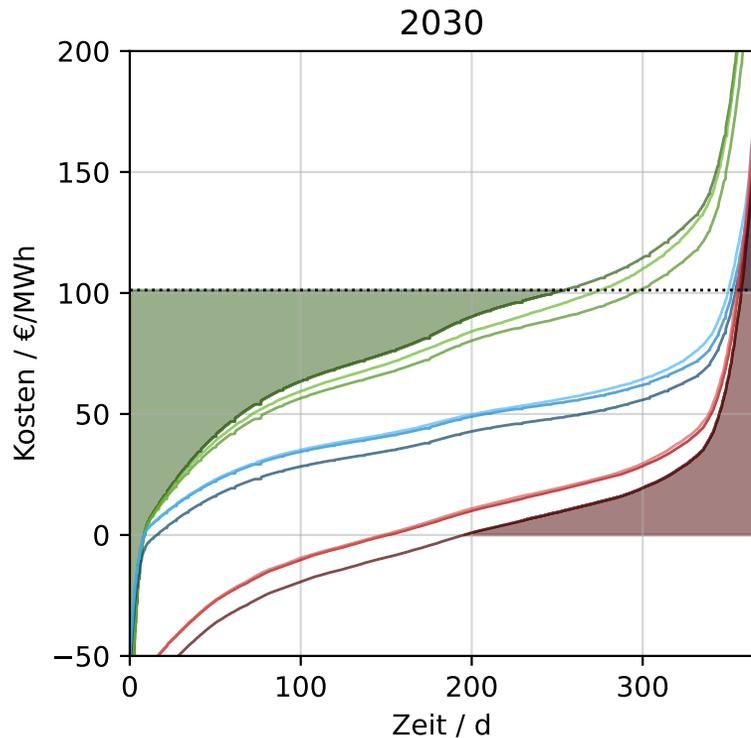
$$Profit_{EC}(t) = c_{H2} - \frac{c_{strom}(t)}{\eta_{EC}}$$

$$Profit_{H2}(t) = \frac{c_{strom}(t)}{\eta_{H2}} - c_{H2}$$

$$Profit_{CH4}(t) = c_{strom}(t) - \frac{c_{CH4}(t)}{\eta_{CH4}}$$

# ERGEBNISSE

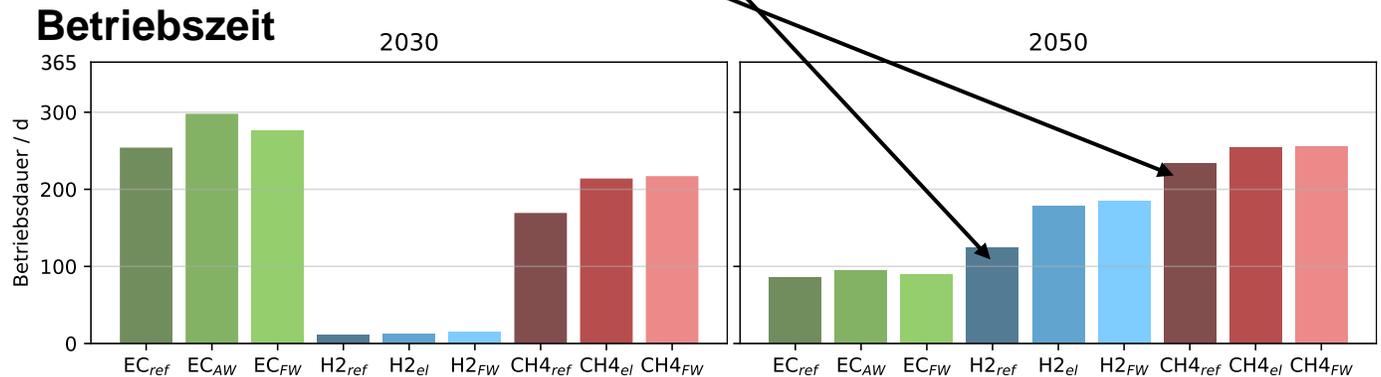
## GEORDNETE JAHRESDAUERLINIEN



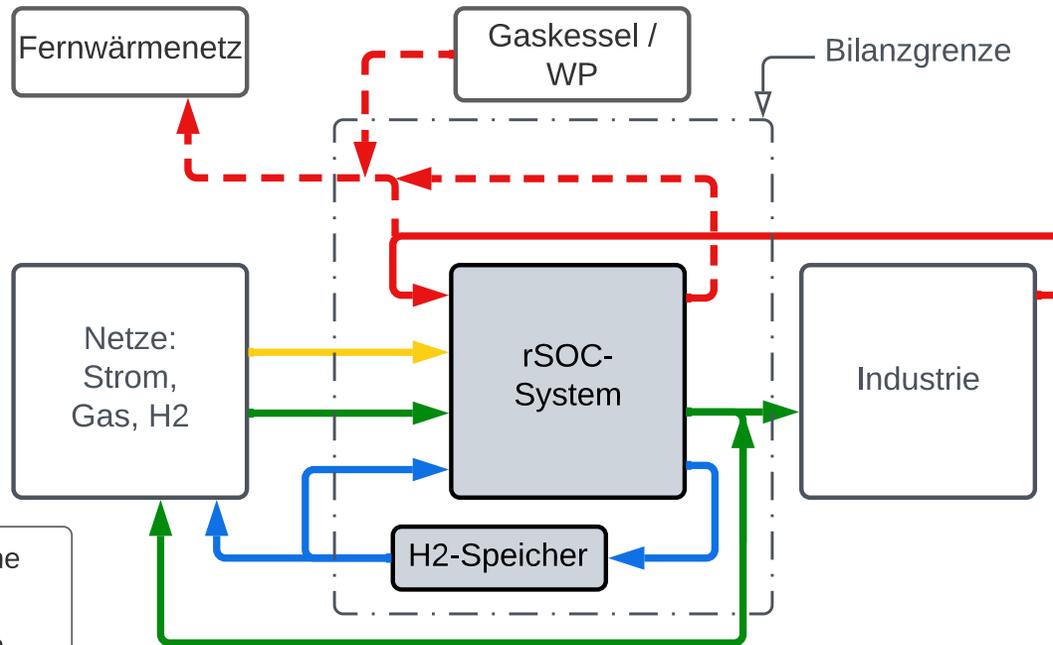
$$Profit_{EC}(t) = c_{H2} - \frac{c_{strom}(t)}{\eta_{EC}}$$

$$Profit_{H2}(t) = \frac{c_{strom}(t)}{\eta_{H2}} - c_{H2}$$

$$Profit_{CH4}(t) = c_{strom}(t) - \frac{c_{CH4}(t)}{\eta_{CH4}}$$



# OPTIMIERUNGSPROBLEM



→ Wärme  
→ CH<sub>4</sub>  
→ H<sub>2</sub>  
→ Strom  
 Randbed.  
 Flexibilität

## Randbedingungen

- Zeitreihen für Energiepreise
- Zeitreihe für Strombedarf und Abwärme der Industrie
- rSOC-System Betriebskennfeld und Einschränkungen

## Variablen

- rSOC-Betriebszustand (EC, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) und Leistung
- Größe des Wasserstoffspeichers
- Entscheidung Wasserstoffverkauf oder Speicherung

## Zielfunktion

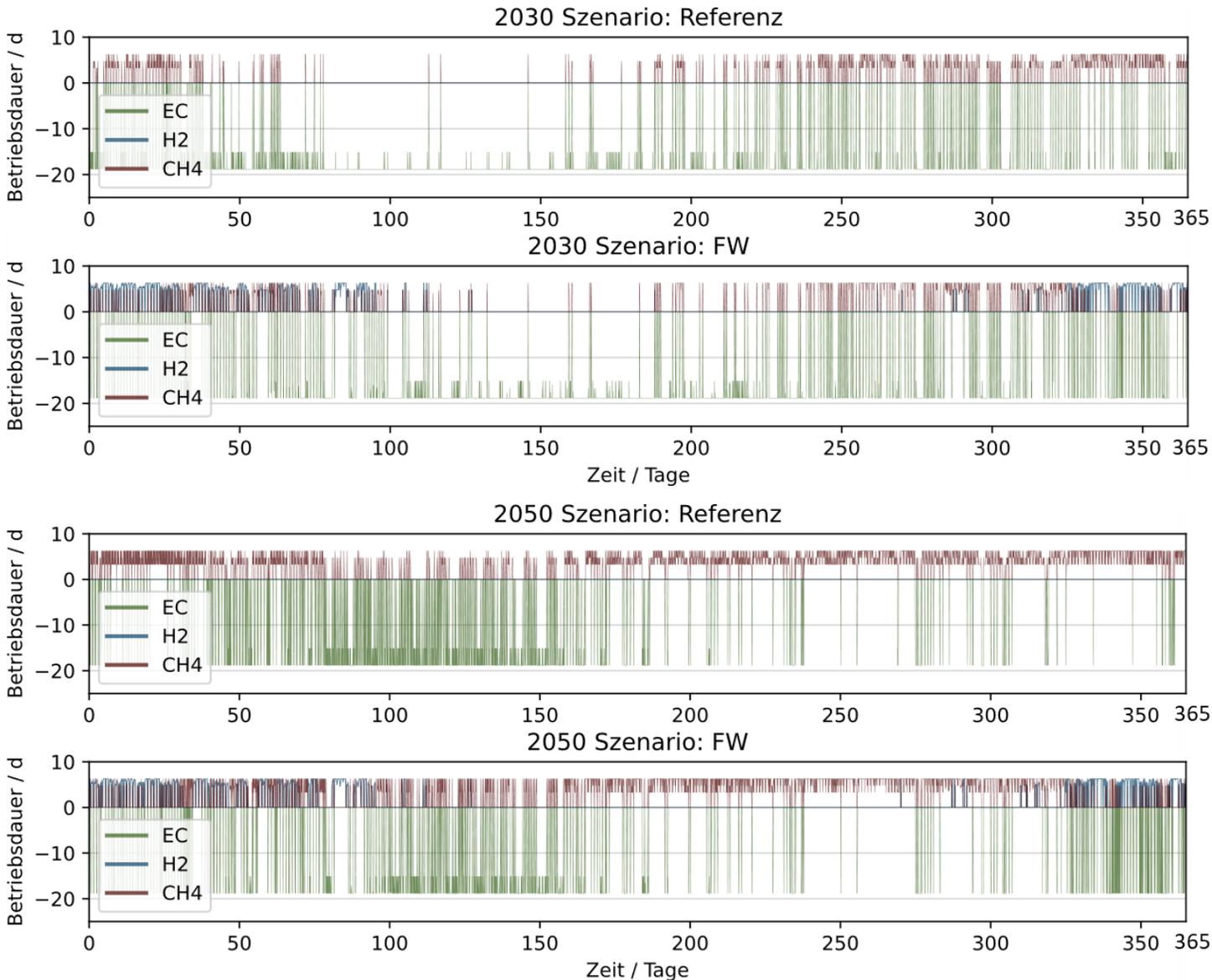
$$c_{ges} = \text{Strombezug} - \text{Stromverkauf} + \text{Gasbezug} + \text{Speicherkosten} + \text{Betriebskosten}$$

## Profit des rSOC-Systems

$$\text{Profit} = \text{Kosten ohne rSOC} - c_{ges}$$

	Kosten ohne rSOC in Mio. €
2030	4.05
2050	5.25

# ERGEBNISSE DER OPTIMIERUNG: ZEITREIHEN



## Vergleich FW zu Referenz Szenario

- Mehr Betriebswechsel
- Mehr Brennstoffzellenbetrieb
- Brennstoffzellenbetrieb mit H<sub>2</sub> nur im FW

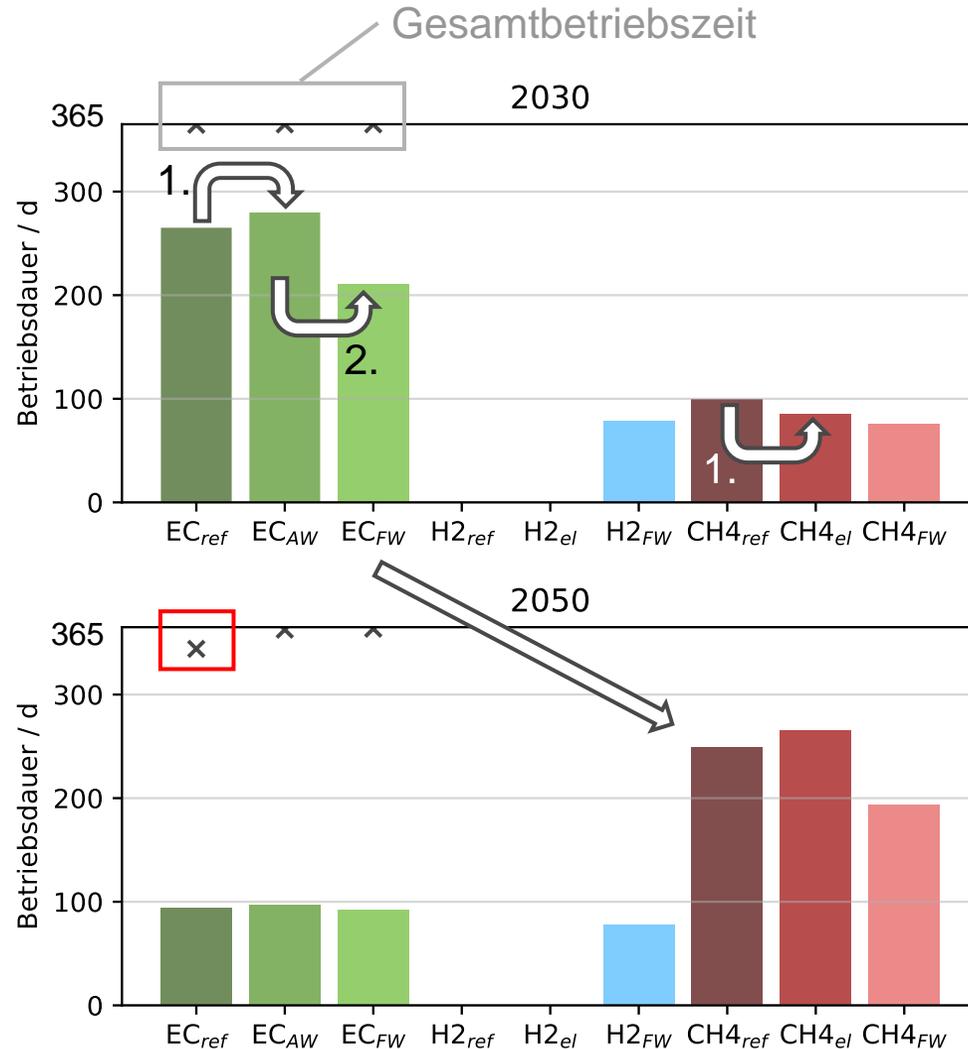
## Vergleich 2050 zu 2030

- Kein „reiner“ Elektrolysebetrieb im Sommer
- Mehr Umschaltflexibilität abgerufen

**rSOC-Systemgröße:**  
18.8 MW EC / 6.3 MW FC

# ERGEBNISSE DER OPTIMIERUNG

## BETRIEBSZEITEN



### Vergleich 2050 zu 2030

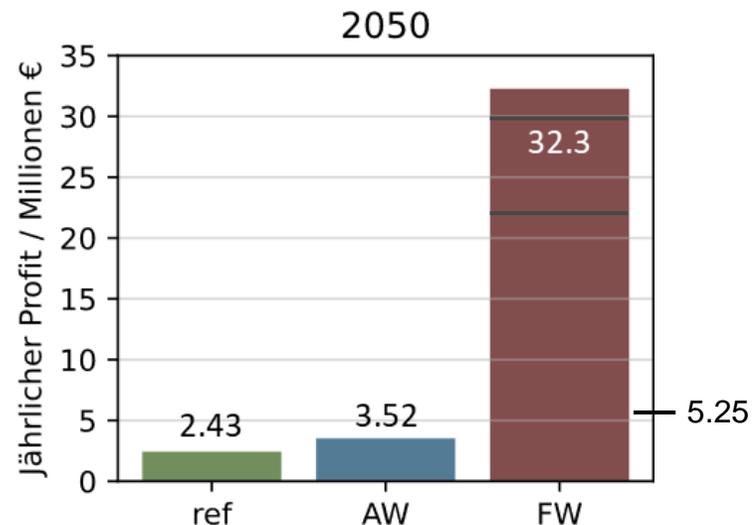
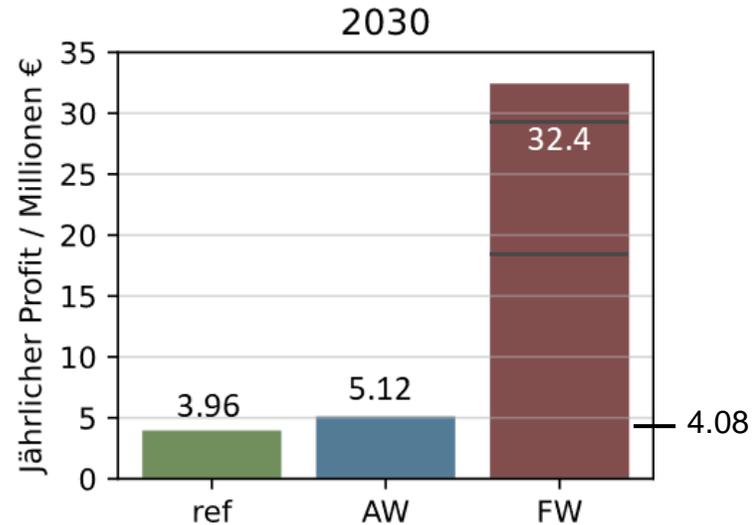
- Stillstandzeiten im Referenzszenario
- Verschiebung von Elektrolyse zu Brennstoffzellenbetrieb mit CH<sub>4</sub>

### Vergleich Szenarien

1. Im AW steigt EC Betriebszeit durch verfügbare Industrieabwärme, daher sinkt CH<sub>4</sub> Betriebszeit
2. Im FW sinkt EC Betriebszeit durch Konkurrenz mit profitablerem FC H<sub>2</sub> Betrieb

# ERGEBNISSE DER OPTIMIERUNG: JÄHRLICHER PROFIT

## JÄHRLICHER PROFIT



### Vergleich Szenarien

- Im AW 30% bzw. 45% höher als im Referenzszenario
- Im FW 8x höher als im Referenzszenario

### Vergleich 2050 zu 2030

- Sinkt um 40% bzw. 30% im Referenz und AW Szenario
- Unverändert für FW

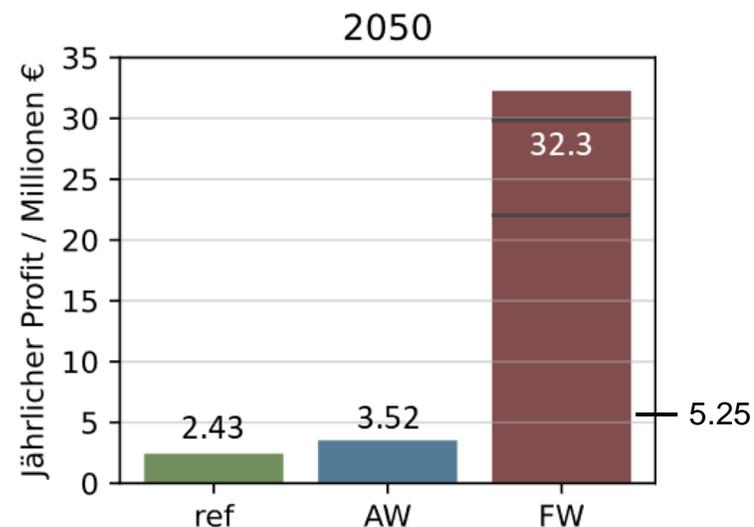
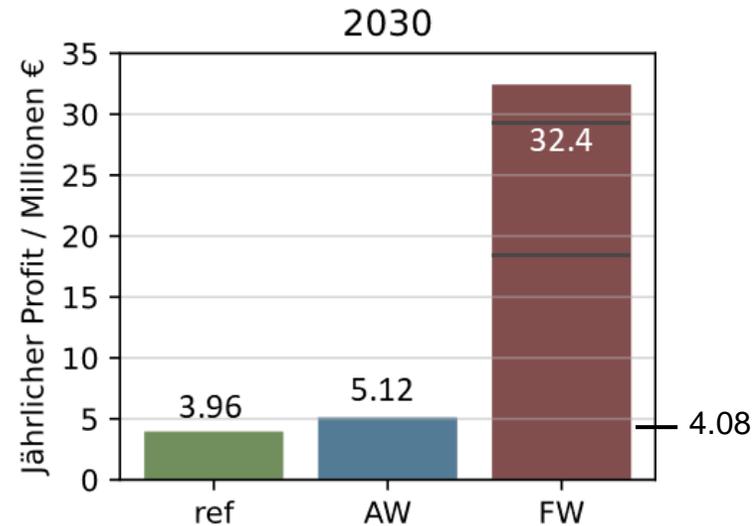
#### Fernwärmeerlöse:

Minimum von Strom und Gaspreis des laufenden 24h Mittelwertes

#### rSOC-Systemgröße:

18.8 MW EC / 6.3 MW FC

# ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK



## Wirtschaftliche Nutzen der rSOC-Industrie-Kopplung

Im AW 30% bzw. 45% höher als im Referenzszenario

- Signifikanter Profitanstieg im AW Szenario
- Großer Profitzuwachs durch Fernwärmenetzanbindung bedarf noch detaillierterer Hinterfragung

## Wahl der Betriebsweisen

- Brennstoffzellenbetrieb mit H<sub>2</sub> nur im Szenario FW gewählt

## Ausblick

- Industrien mit unterschiedlichen zeitlichen Charakteristika
- Einfluss der rSOC-Betriebseinschränkungen und der Dynamik untersuchen
- H<sub>2</sub>-Preis aus Abschreibungsdauer berechnen

---

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

---



**DAVID BANASIAK, MSc.**

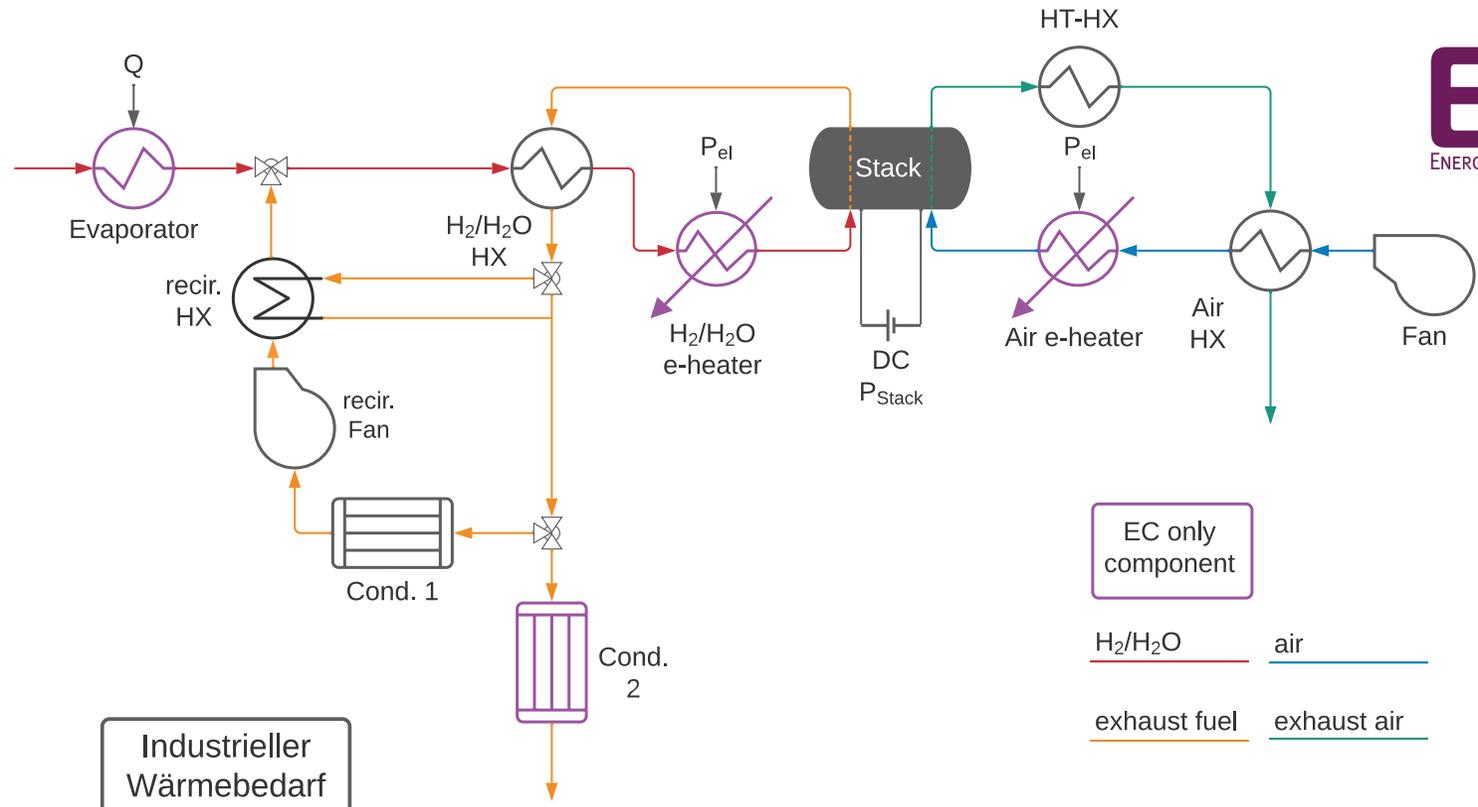
LEHRSTUHL FÜR ENERGIEVERBUNDTECHNIK  
MONTANUNIVERSITÄT LEOBEN

DAVID.PACZONA@UNILEOBEN.AC.AT  
03842 402 5416

 evt@unileoben.ac.at

 www.evt-unileoben.at

# RSOC-SYSTEM

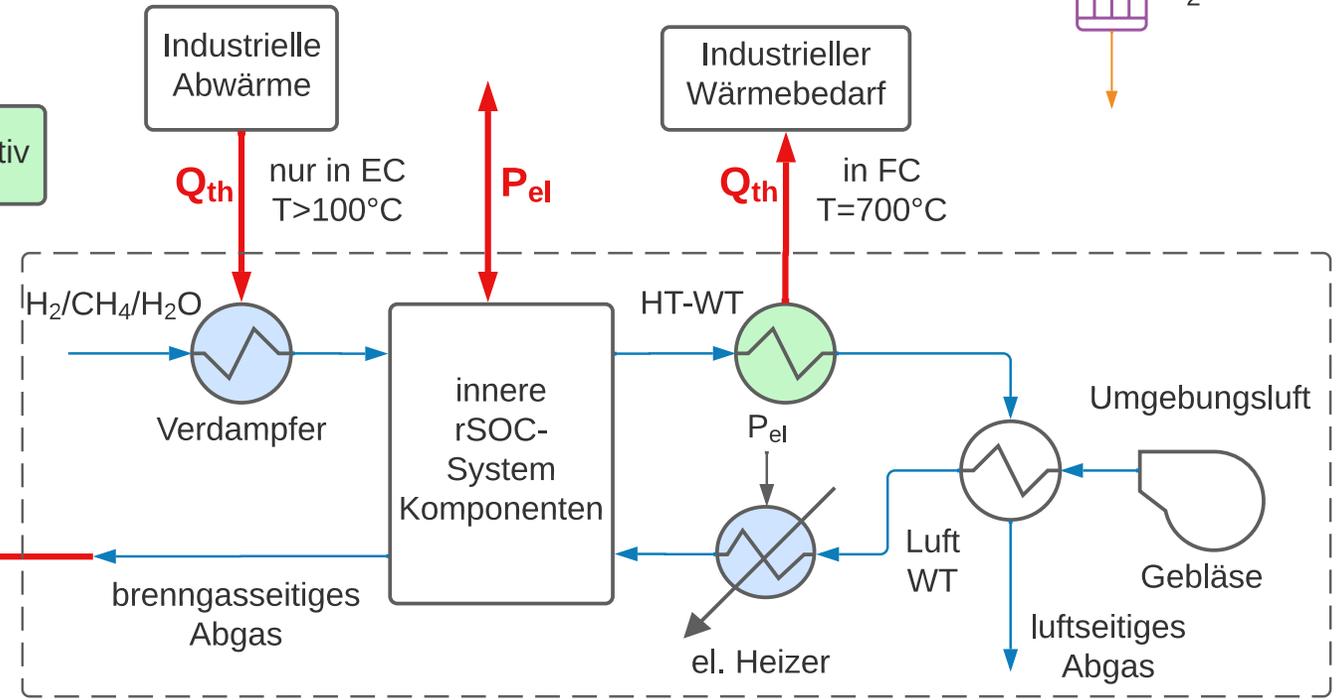


ext. Energieflüsse

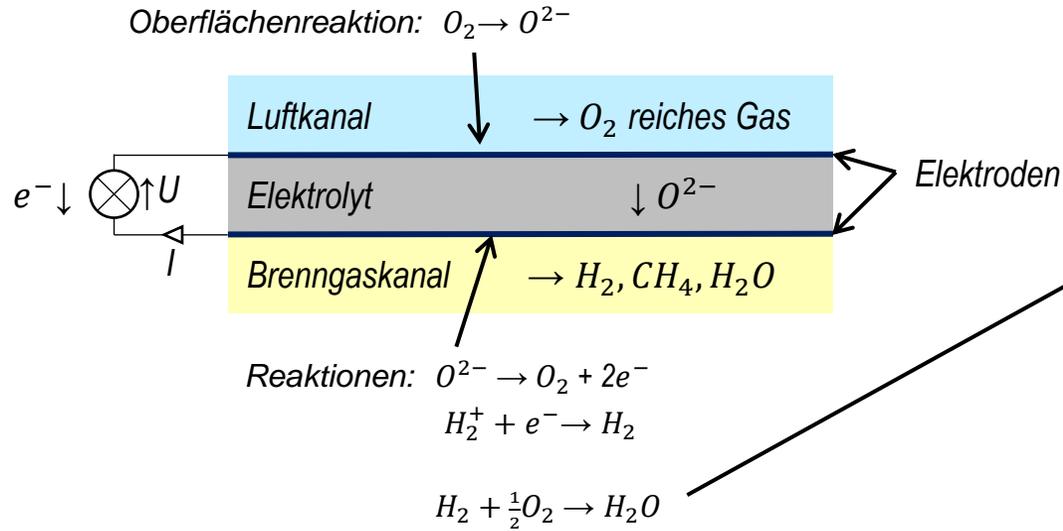
EC aktiv FC aktiv

rSOC-System

Speicher oder Industrie nur in EC H<sub>2</sub>



# RSOC

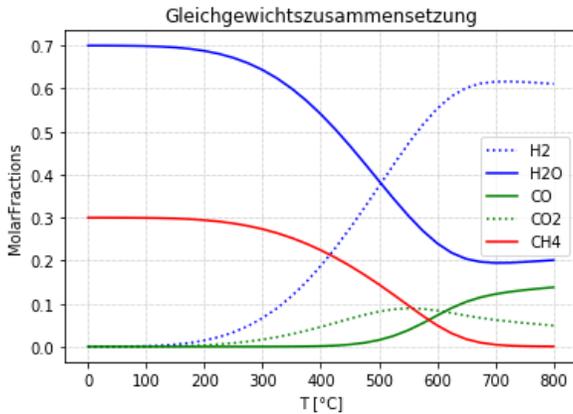


Nernst Gleichung:

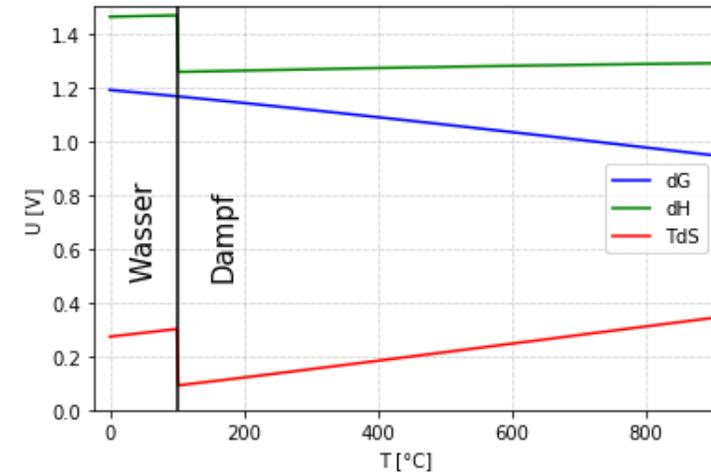
$$U(T, p, x) = \frac{\Delta G}{n_e F}$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$= \Delta G^0(T) + R_G T \ln \left( \frac{x_{H_2O}}{x_{H_2} x_{O_2}^{0.5}} \left( \frac{p_0}{p} \right)^{0.5} \right)$$



**Brenngasflexibilität durch hohe Temperaturen**



**Hohe Elektrolyseeffizienz durch Wärmeintegration**

**Hochtemperatur Abwärme für Industrienutzung**

