

Reversible SOC als Bindeglied zwischen Plus-Energie-Quartier und Strom-, Wärme- sowie Gasnetz

Dominik Jankowski^{1,2}, Anton Seidl¹, Robert Pratter², Johanna Ganglbauer², Christof Bernsteiner², Christoph Hochenauer¹, Vanja Subotic¹

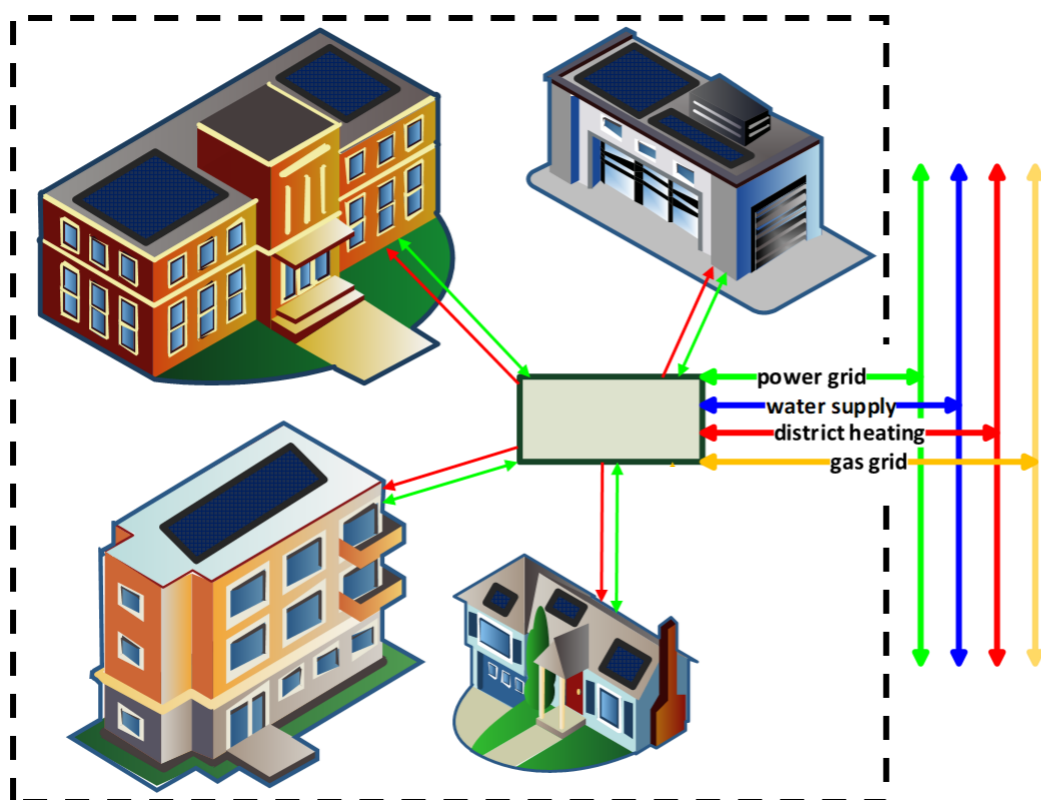
1) Technische Universität Graz
Institut für Wärmetechnik (IWT)
Inffeldgasse 25/B
A-8010 Graz

2) 4ward Energy Research GmbH
Reininghausstraße 13a
A-8020 Graz

Graz, 16.02.2024

Begriffsdefinition

- Plus-Energie-Quartier → Positive Jahresenergiebilanz



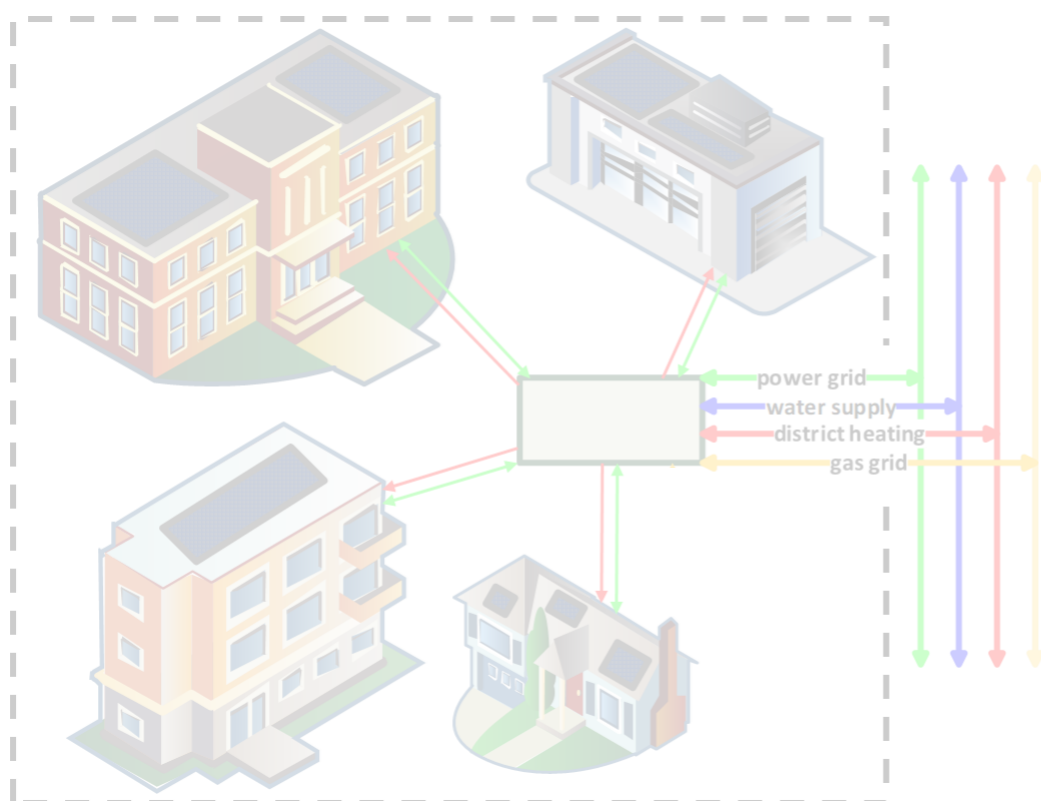
Ziel: Reduktion der CO₂-Emissionen

Eigenschaften:

- Energieeffiziente Gebäude
- Energieflexibel
- Klimaneutral
- Nutzt lokale Strukturen
- Nutzt erneuerbare Energien
- Finanziell leistbar
- ...

Begriffsdefinition

- Plus-Energie-Quartier → Positive Jahresenergiebilanz



Ziel: Reduktion der CO₂-Emissionen

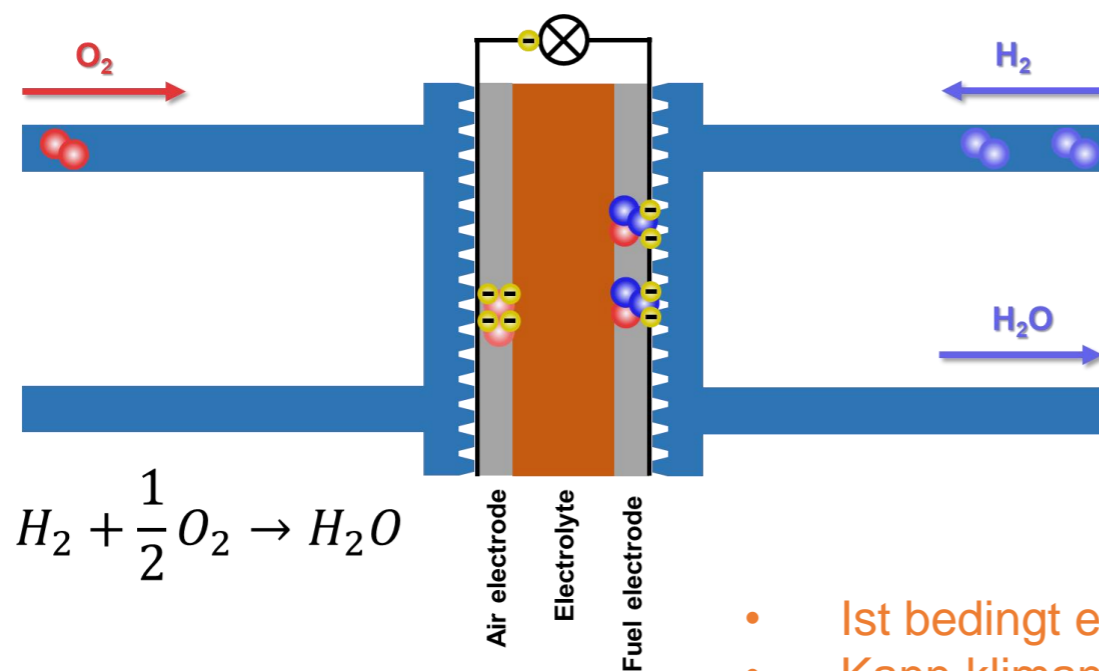
Eigenschaften:

- Energieeffiziente Gebäude
- **Energieflexibel**
- **Klimaneutral**
- **Nutzt lokale Strukturen**
- **Nutzt erneuerbare Energien**
- Finanziell leistbar
- ...

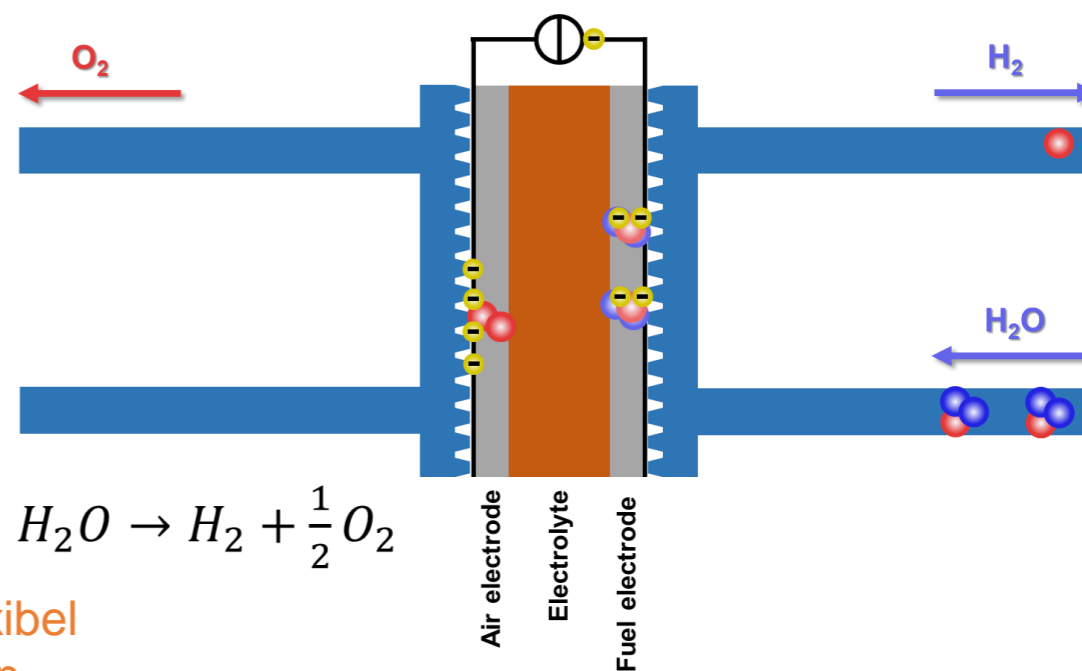
**Anforderungen an
das Energiesystem**

Begriffsdefinition

- Reversible Solid Oxide Cell (rSOC)
SOFC (Brennstoffzelle)



- SOEC (Elektrolysezelle)



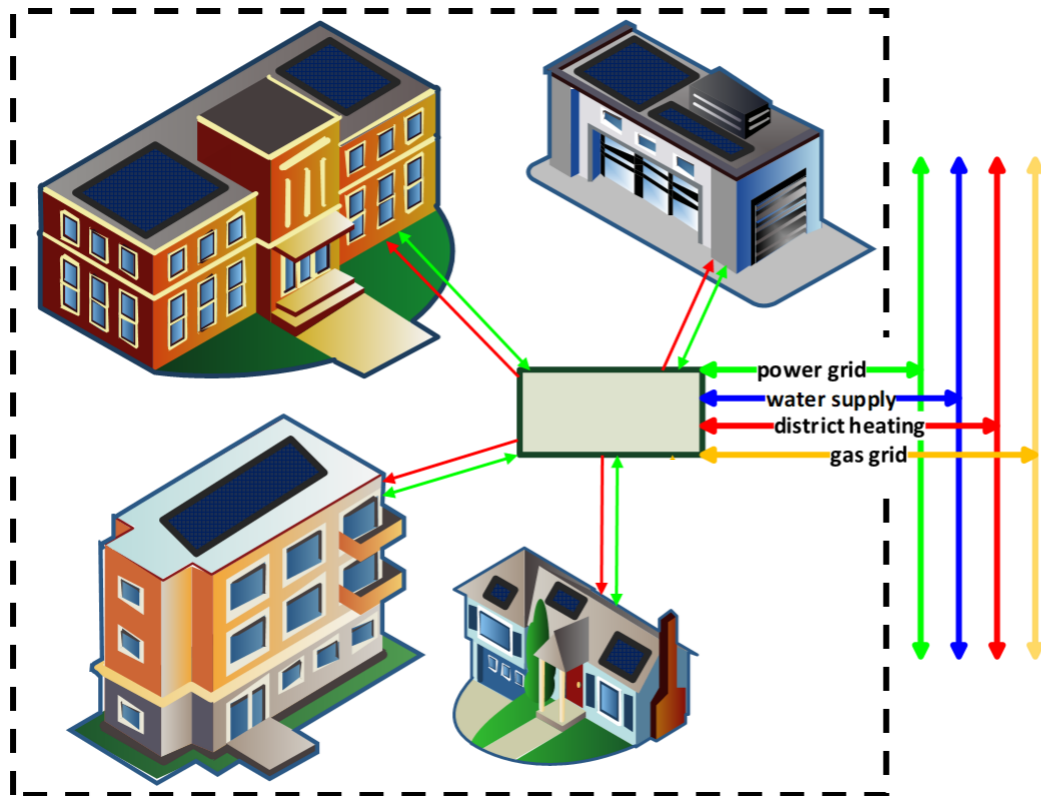
- Ist bedingt energieflexibel
- Kann klimaneutral sein
- Kann lokale Strukturen nutzen
- Kann erneuerbare Energien nutzen

rSOC im Plus-Energie-Quartier - Projekt Cell4Life

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

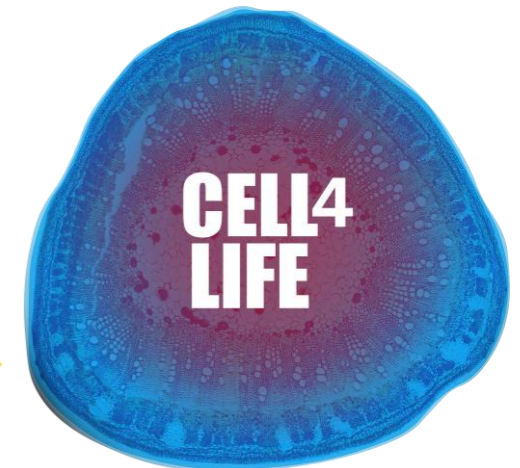


- Saisonale Speicherung überschüssiger Energie



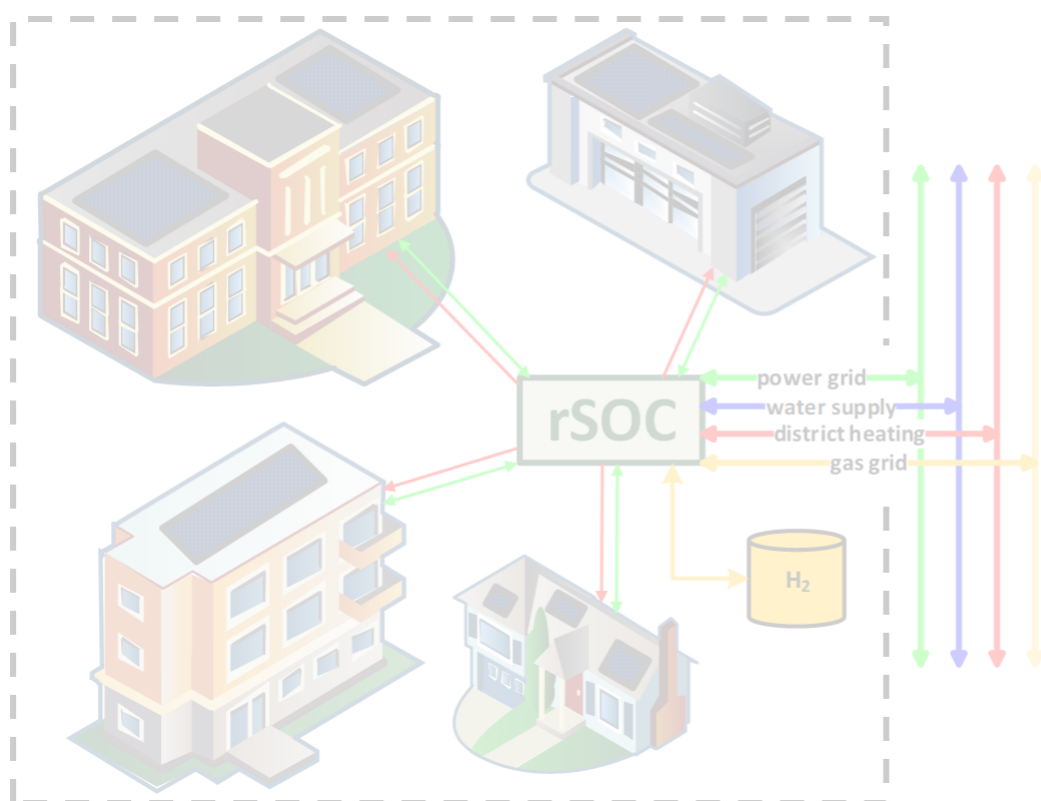
Ziele:

- Nutzung vorhandener Infrastruktur
- Maximierung CH₄-Substitution durch H₂
- Optimierung H₂-Herstellung
- Optimierung dynamischer Betrieb
- Labordemonstration
- ...



rSOC im Plus-Energie-Quartier - Projekt Cell4Life

- Saisonale Speicherung überschüssiger Energie



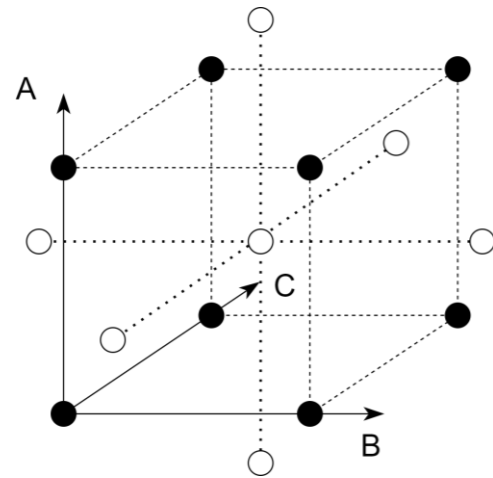
Ziele:

- Nutzung vorhandener Infrastruktur
- Maximierung CH₄-Substitution durch H₂
- Optimierung H₂-Herstellung
- **Optimierung dynamischer Betrieb**
- Labordemonstration
- ...

Herausforderungen: Ort, Zeit, Wetter,...

Optimierungsstrategie

Statische Optimierung

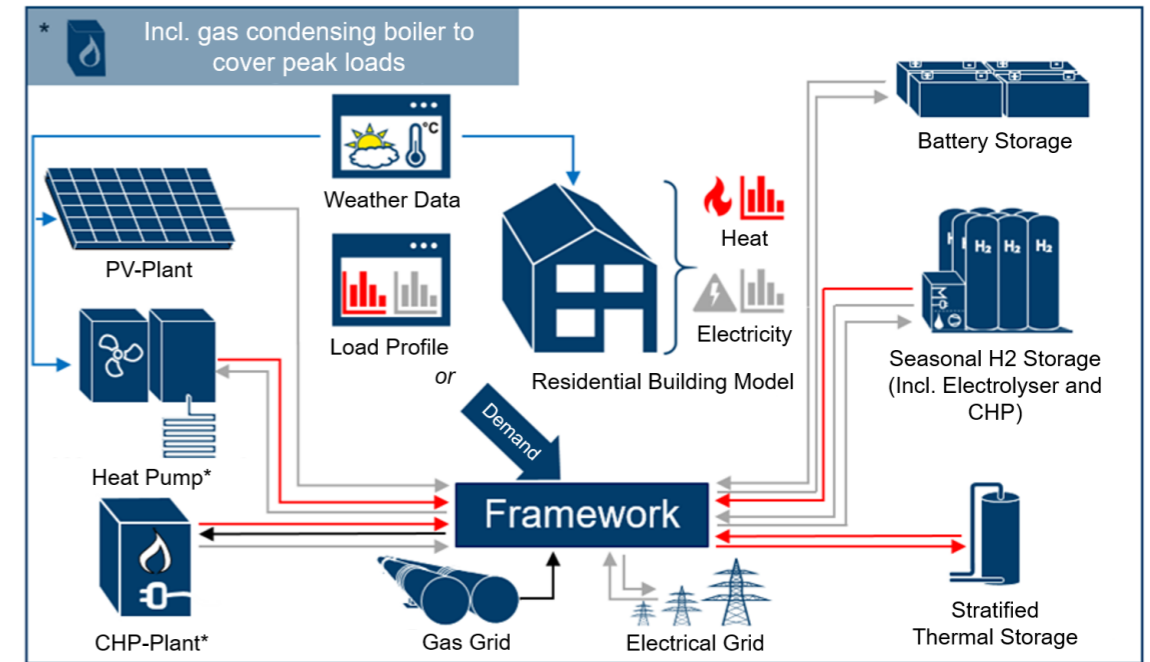


Design of Experiments

+

Response Surface Methodology

Gesamtsystemsimulation



HiSim – Modellumgebung © IEK-3

Punktewolke

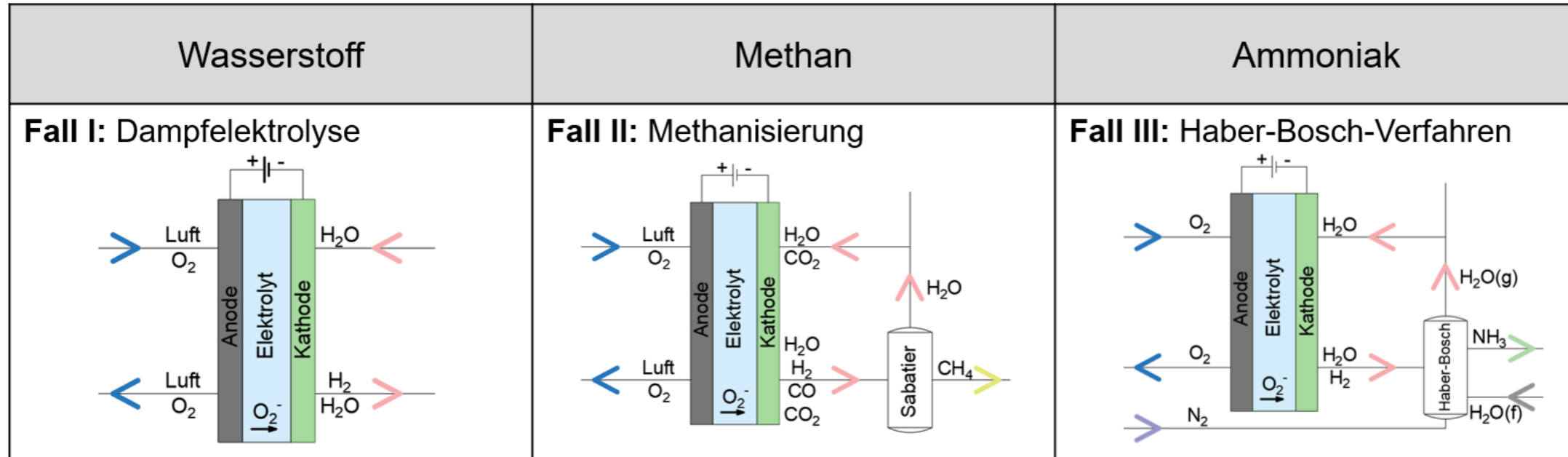


Dynamische Optimierung



Lastkurven

Auswahl Betriebsmöglichkeit SOEC



- Vorteil der Einspeisung in (I) und (II)
- Zusätzlicher Anlagenaufwand in (II) und (III)
- Bedarf nach Zusatzstoffen wie CO₂ in (II) oder N₂ in (III)

→ Abhängigkeit zu SOFC-Betrieb (Brennstoffauswahl)

Auswahl Betriebsmöglichkeiten SOFC

Wasserstoff		Methan		Ammoniak		Fall	Reaktionsgleichungen
Fall I: Direktumsetzung H₂ 		Fall III: Interne Reformierung CH₄ 		Fall V: Direktumsetzung NH₃ 		I	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O} (\text{g})$
Fall II: Direktumsetzung H₂ mit Rezirkulation 		Fall IV: Externe Reformierung CH₄ 		II	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \leftrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$		
						III	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \leftrightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O} (\text{g})$
						V	

Auswahl Betriebsmöglichkeiten SOFC

- Theoretische Betrachtung → ideale Bedingungen & Reaktionen
- Systemgrenze: Reaktion

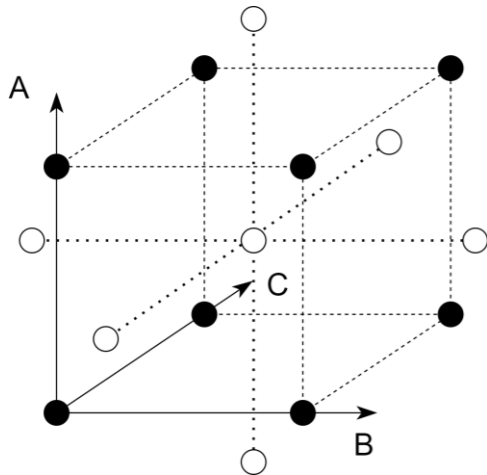
Fall	Brennstoff	Betrieb	Q_{ab} in kJ/mol _{Brennstoff}	ϕ_N in V	η_{th} in %
I	H ₂	Ohne Rezirkulation	47,8	1,06	83
II	H ₂	Mit Rezirkulation	59,8	1,06	83
III	CH ₄	Interne Reformierung	0,3	1,07	92
IV	CH ₄	Externe Reformierung	47,8	1,06	83
V	NH ₃	Interne Spaltung	47,8	1,06	83

Fall II: Hohe Abwärme
 → Th. Spitzenlast (kalte Tage)

Fall IV: Geringe Abwärme
 → El. Spitzenlast an milden Tagen

Szenarien zur experimentellen Untersuchung

Versuchspunkte zur statischen Optimierung

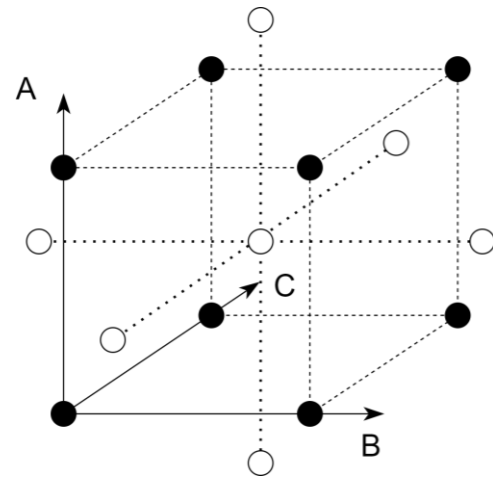


Verwendung realistischer Szenarien
 → Bspw. Zumischung H₂ zu CH₄

Szenario	Betriebsmodus	Brennstoff(e)
1	SOEC	Wasserdampf
2	SOFC	100 % H ₂
3	SOFC	20% H ₂ 80% CH ₄
4	SOFC	10% H ₂ 90% CH ₄
5	SOFC	100% CH ₄

Optimierungsstrategie

Statische Optimierung

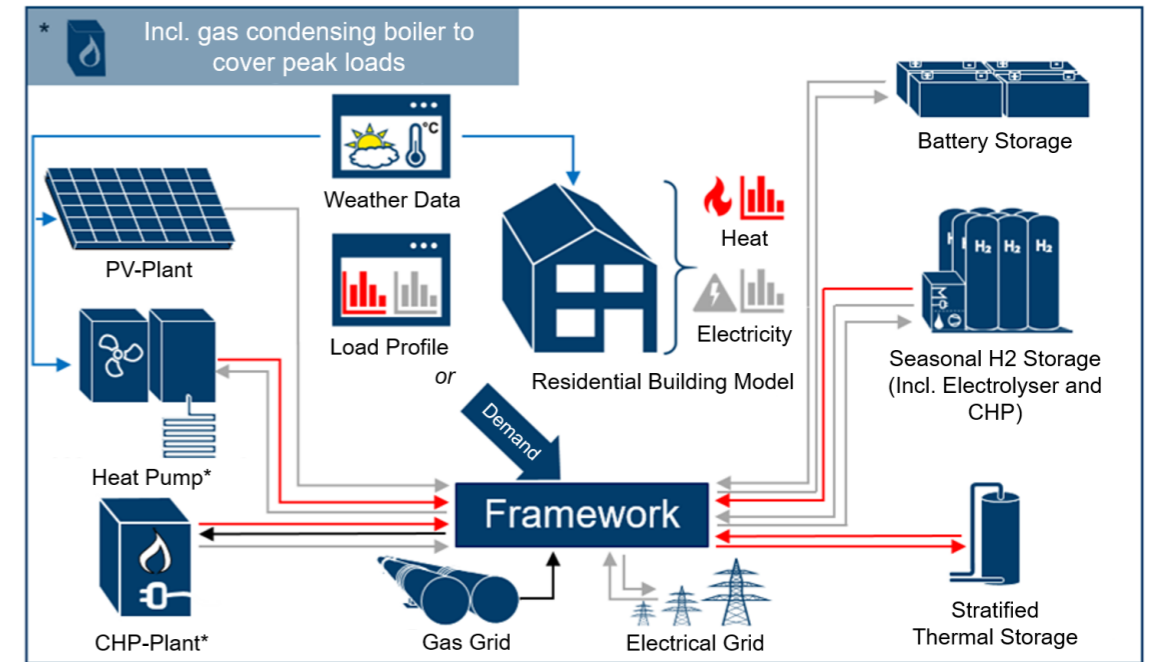


Design of Experiments

+

Response Surface Methodology

Gesamtsystemsimulation



HiSim – Modellumgebung © IEK-3

Punktewolke



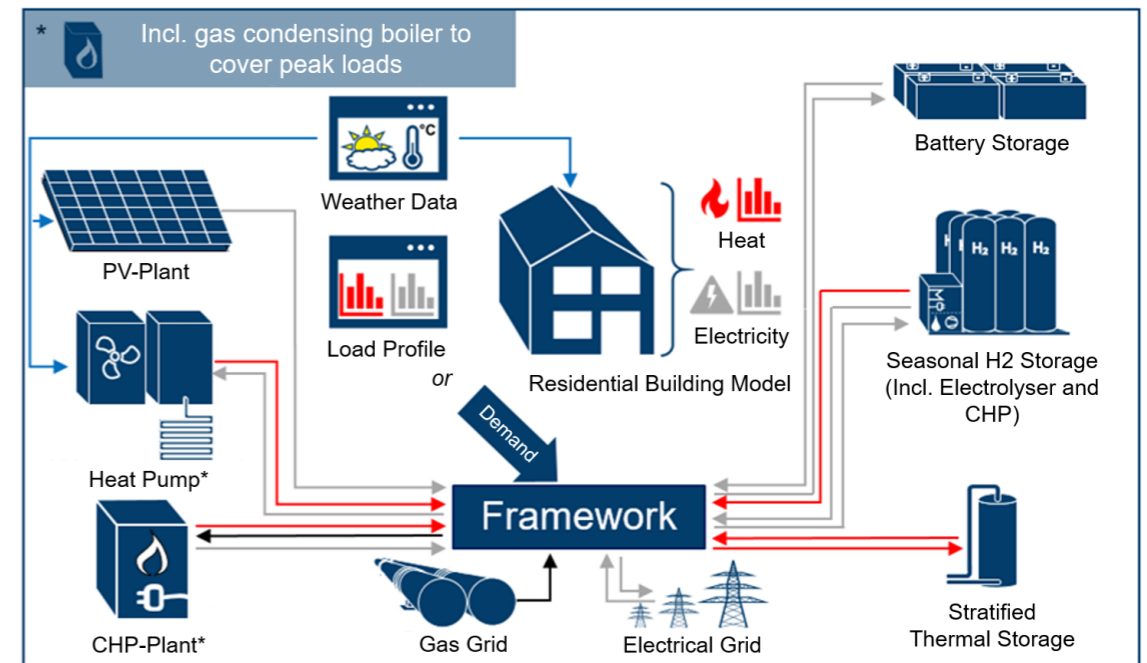
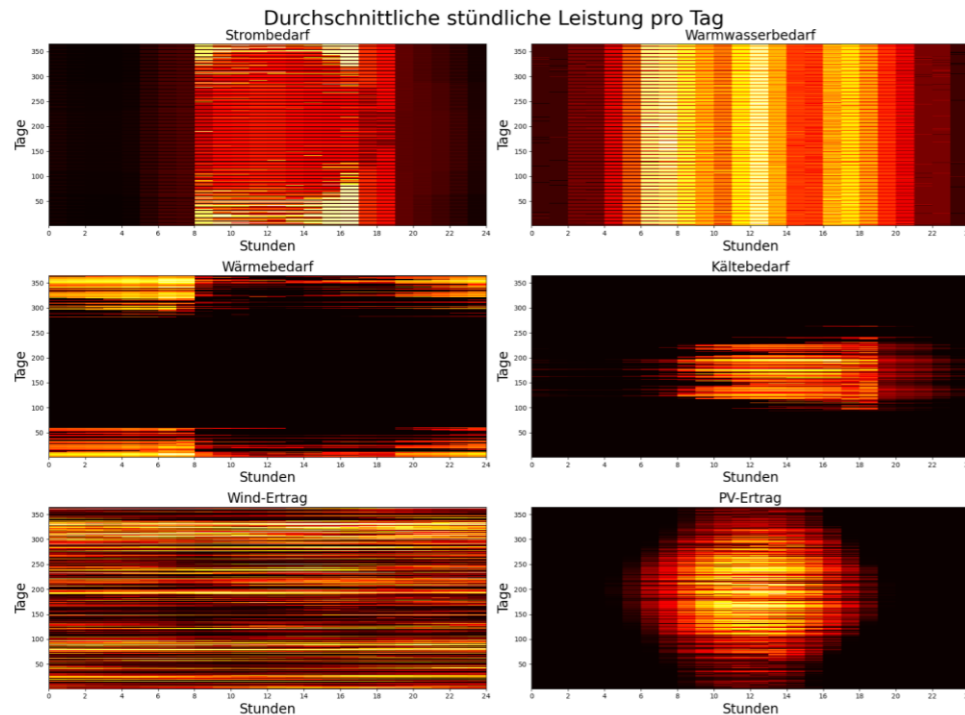
Dynamische Optimierung



Lastkurven

Ausgangszustand

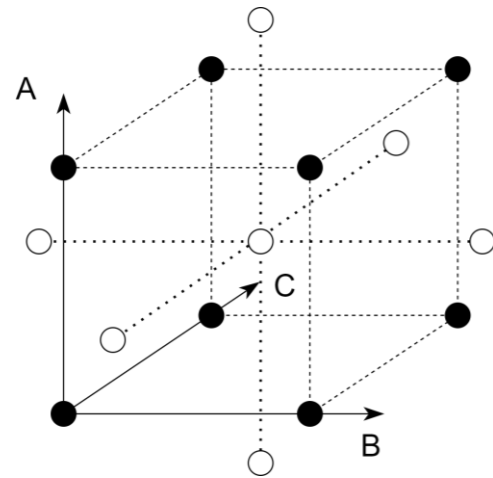
- Verwendung und Adaptierung HiSim-Modellumgebung auf PEQ
 - Elektrolyseur, H₂-Speicher, Brennstoffzelle, Batterie erweitert
- Datengrundlage: „PEQ21“



HiSim – Modellumgebung © IEK-3

Optimierungsstrategie

Statische Optimierung

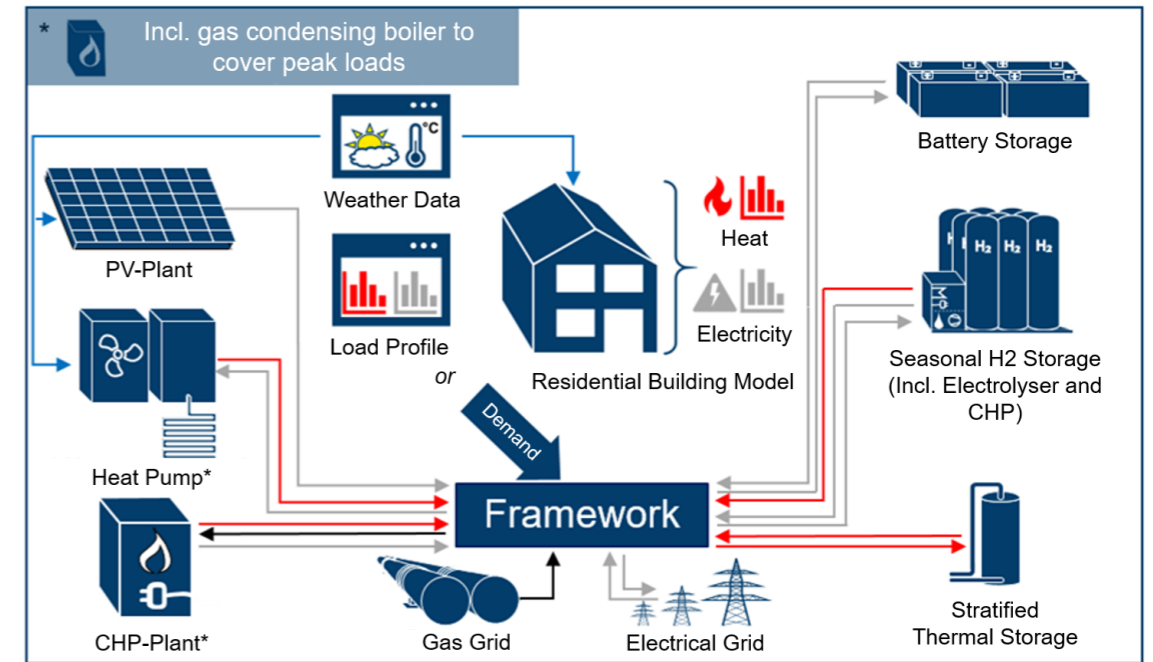


Design of Experiments

+

Response Surface Methodology

Gesamtsystemsimulation



HiSim – Modellumgebung © IEK-3

Punktewolke



Dynamische Optimierung



Lastkurven

Schlussfolgerungen

Eigenschaften rSOC:

- Brennstoffflexibilität
 - Hohe Brennstoffausnutzung (thermisch + elektrisch)
 - SOFC- und SOEC-Modus in einem Gerät möglich
 - Verwendung vorhandener Infrastruktur möglich
- rSOC-Technologie hat Potenzial für PEQ

Aktuelle Herausforderungen:

- Investitionskosten
- Systemregelung in Verbindung mit fluktuierender Energieerzeugung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

„Stadt der Zukunft“ ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMK von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH (AWS) und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) abgewickelt.