

H₂-Produktion und Flexibilität

Hochtemperatur-Brennstoffzellensystem

David BANASIAK // david.banasiak@unileoben.ac.at
Lehrstuhl für Energieverbundtechnik
Montanuniversität, Franz-Josef-Str. 18 A-8700 Leoben

Untersuchung eines rSOC-Systems in Wechselwirkung mit industriellen Prozessen

EINLEITUNG

Ein rSOC-System basiert auf einer elektrochemischen Zelle, mit bei hohen Temperaturen sauerstoffionenleitendem Elektrolyt. rSOC steht für „reversible Solid Oxide Cell“, und deutet damit auf die Möglichkeit des Betriebs als Elektrolyse- (EC) oder Brennstoffzelle (FC) hin. Im Elektrolysebetrieb kann Abwärme genutzt werden und damit die Effizienz der Wasserstoffproduktion gesteigert werden. Durch die Kombination mit einem möglichen Brennstoffzellenbetrieb, steigt die Anzahl der wirtschaftlichen Betriebsstunden.

Forschungsfrage

Werden Industrien in Zukunft, durch Nutzung ihrer Abwärme mit einem rSOC-System, günstig Wasserstoff bereitstellen können?

Insbesondere wird in dieser Arbeit der wirtschaftliche Vorteil der Kopplung von Industrie und rSOC-System untersucht.

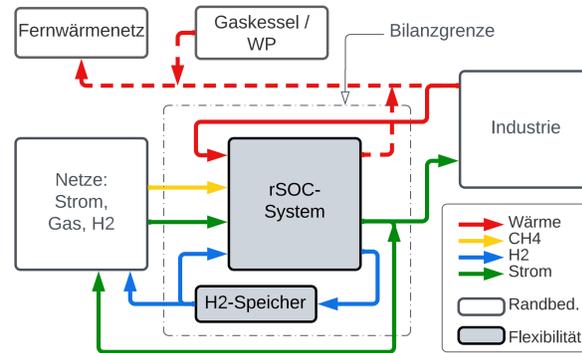


Abbildung 1: Wechselwirkungen des rSOC-Systems mit Industrie, Fernwärme und Energienetzen

AUSGANGSSITUATION

Mit Hilfe von Ganymed [1], einem Programm zur Erstellung von Energieflusszeitreihen für Industrien, werden Industrielastprofile für einen fiktiven Betrieb der Glasindustrie, einer Brauerei und einer Textilindustrie erstellt. Weiters werden Energiepreiszeitreihen [2] für Strom, Gas und Wasserstoff für die beiden Szenarienjahren verwendet. Aus diesen Zeitreihen und der nominalen Effizienz können geordnete Dauerlinien erstellt werden (siehe Abbildung 2). In diesen Zukunftsszenarien werden die wirtschaftlichen Betriebsstunden durch den sinkenden Wasserstoffpreis weniger und verschieben sich von Elektrolyse- zu Brennstoffzellenbetrieb.

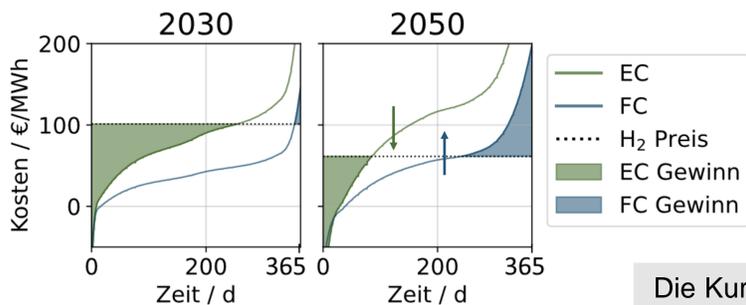


Abbildung 2: Geordnete Jahresdauerlinie des Profits

Durch Nutzung industrieller Abwärme und Fernwärmeauskopplung verschieben sich die Kurven in Abbildung 2. Dadurch steigen die wirtschaftliche Betriebsstunden und der Profit.

Die Kurven in Abb. 2 ergeben sich aus Energiepreisen und Systemeffizienz:

$$Profit_{EC}(t) = c_{H_2} - \frac{c_{strom}(t)}{\eta_{EC}} \quad \text{Ertrag}$$

$$Profit_{FC}(t) = \frac{c_{strom}(t)}{\eta_{FC}} - c_{H_2} \quad \text{Kosten}$$

SZENARIEN

Für die Jahre 2030 und 2050 wurden Szenarien der Energiepreise verwendet und die folgenden Kopplung an die Industrie untersucht:

- Referenz (ref): rSCO-System wechselwirkt nur mit den Energienetzen (Strom, Gas, H₂)
- Abwärmenutzung (AW): zusätzlich zu „ref“ Nutzung von Industrieabwärme für EC
- Fernwärmeauskopplung (FW): zusätzlich zu „AW“ Nutzung von FC-Abwärme



METHODE

Mathematische Optimierung

Die Optimierung bestimmt den Betriebsmodus des rSOC-Systems, den Nutzungspfad für Wasserstoff und die optimale H₂-Speichergröße so, dass der Profit maximiert wird. Das gemischt-ganzzahlige Problem kann mit Pyomo [3] in Python formuliert und durch Gurobi [4] gelöst werden.

Die Dimensionierung des rSOC-Systems erfolgt außerhalb der Optimierung anhand der verfügbaren Abwärme.

ERGEBNISSE

Ergebnisse der Analyse der Szenarien

Auf Grund der höheren Leistung der Abwärme, ist die rSOC-Leistung für eine beispielhaften Standort der Glasindustrie wesentlich größer, als für eine Brauerei oder Textilindustrie, wie in Abbildung 3 zu sehen ist. In allen drei Fällen ist die Brennstoffzellenleistung, die ein Drittel der Elektrolyseleistung entspricht, unter dem Strombezug der Industrie. Daher kann in diesen Fällen der Strom des Brennstoffzellenbetriebs auch bei Vollast intern verbraucht werden.

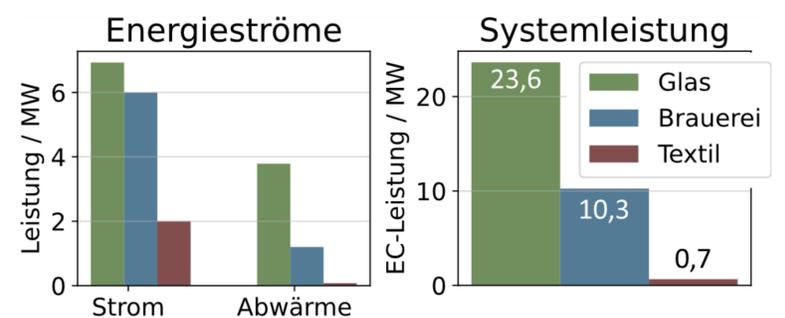


Abbildung 3: Energieströme in den Industrien und Nominale EC-Leistung des rSOC-Systems

Ergebnisse der Optimierung

Die optimalen Betriebszeiten für die beiden Betriebsmodi verschieben sich vom vorrangigen Elektrolysebetrieb im Jahr 2030 auf Brennstoffzellenbetrieb im Jahr 2050. Wobei der Betrieb mit Gas (CH₄ und H₂) aus dem Netz dem Betrieb mit Wasserstoff aus einem Speicher vorgezogen wird. Die Amortisationszeit ergibt sich aus dem optimalen Profit und den Investitionskosten. Für die drei Industrien ergeben sich sehr ähnliche Ergebnisse und nur der Fall der Glasindustrie ist hier dargestellt (Abbildung 4). Die Amortisationszeit im Szenario „AW“ verringert sich um 1.2 Jahre gegenüber dem Szenario „ref“ mit 6.8 bzw. 9.7 Jahren. Im Szenario „FW“ fällt die Reduktion etwas geringer aus.

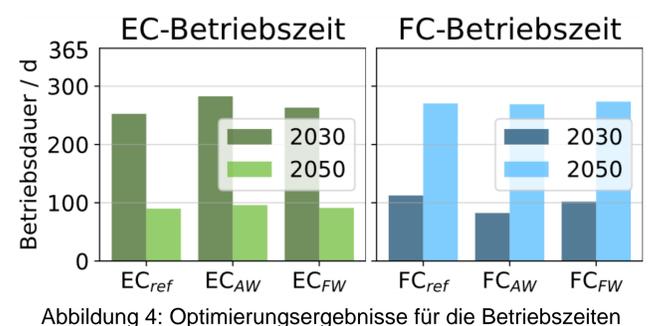


Abbildung 4: Optimierungsergebnisse für die Betriebszeiten

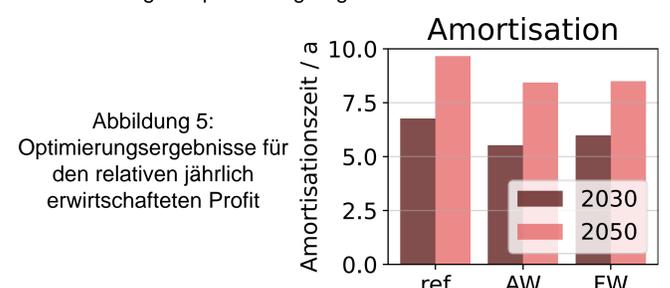


Abbildung 5: Optimierungsergebnisse für den relativ jährlich erwirtschafteten Profit

SCHLUSSFOLGERUNGEN & AUSBLICK

Die Ergebnisse der Optimierung zeigen, dass die Kopplung des rSOC-Systems zu industrieller Abwärme einen großen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit des rSOC-Systems leistet und die Amortisationszeit verkürzt. Jedoch können die Vorteile der Nutzung von Abwärme, des rSOC-Systems in einem Fernwärmenetz, den Nachteil durch die Konkurrenz mit dem Elektrolysebetrieb nicht zur Gänze aufwiegen.

Literatur

- Binderbauer P J, Kienberger T, Staubmann T 2022 Synthetic load profile generation for production chains in energy intensive industrial subsectors via a bottom-up approach Journal of Cleaner Production 331 130024. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130024>
- Traupmann A, Greiml M, Steinegger J, Kühberger L, Kienberger T 2022 Analysing sector coupling technologies for Re-purposing coal-fired power plants—Case study for the ENTSO-E grid IET Energy Syst Integration. <https://doi.org/10.1049/esi2.12087>
- Hart, William E., Jean-Paul Watson, and David L. Woodruff. "Pyomo: modeling and solving mathematical programs in Python." Mathematical Programming Computation 3(3) (2011): 219-260
- Gurobi Optimization L L 2023 Gurobi Optimizer Reference Manual Gurobi Optimization, LLC <https://www.gurobi.com>