

Elektrochemische Wasserstoffproduktion mit solarthermischen Hybridkraftwerken

Andreas Rosenstiel*, Nathalie Monnerie, Martin Roeb, Christian Sattler

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Future Fuels, Linder Höhe, 51147 Köln
*andreas.rosenstiel@dlr.de

Einleitung

- Der Sonnengürtel der Erde verfügt über ein enormes Potenzial an erneuerbarer Energie und kann sich dadurch zum Exporteur CO₂-neutraler Energieträger entwickeln. Die elektrochemische Wasserstoffproduktion ist dafür die zentrale Technologie, derzeit Fokus auf die Niedertemperaturelektrolyse (AEL oder PEMEL).
- Niedrige Wasserstoffgestehungskosten (engl: LCOH = Levelized Cost Of Hydrogen) erfordern neben niedrigen Stromkosten auch hohe Elektrolyseurvolllaststunden.
- Die Photovoltaik (PV) weist an guten Standorten sehr niedrige Stromgestehungskosten auf, erreicht aber ohne Speicheroption nur etwa 2000 Volllaststunden.
- Die Hybridisierung mit solarthermischen Kraftwerken (engl: CSP plants = Concentrating Solar Power plants) kann diesen Nachteil ausgleichen.
- CSP Kraftwerke verfügen über effiziente und kostengünstige Flüssigsalz-Wärmespeicher. An guten Standorten kann dadurch fast kontinuierlich Strom produziert bzw. die Stromproduktion an den Bedarf angepasst werden.
- Zukünftig: Vielversprechende Erweiterung des Konzepts auf die Hochtemperaturelektrolyse (HTEL) mit kosteneffizienter Wärmebereitstellung durch CSP.

PV/CSP Hybridkonzept

- Kostengünstige Anpassung der regelbaren Stromproduktion in solarem Dampfkraftprozess an die Elektrolyseeinheit.
- Implementierung einer Betriebsstrategie mit prioritärer Nutzung des fluktuierenden PV-Stromanteils.
- Nutzung von Synergieeffekten zwischen CSP-Eigenbedarf und PV-Stromproduktion.
- Option thermische Speicherung von PV-Überschüssen über elektrischen Flüssigsalzheizer.

Techno-ökonomische Systemoptimierung

- Wasserstoffproduktion mit alkalischer Elektrolyse (AEL) mit Option Stand-by-Betrieb (1% Strombedarf)
- Kostengünstige Auslegung der Systemkomponenten (PV/CSP+AEL) durch Minimierung der Wasserstoffgestehungskosten (LCOH):

$$\min(LCOH) = f(P_{CSP,Rec}, P_{PV,Peak}, P_{AEL}, P_{Turb}, C_{TES}, P_{Heater,el})$$

- Globale Optimierung mit Pattern Search Algorithmus von MathWorks®

Prozesskonzept und Optimierungsvariablen

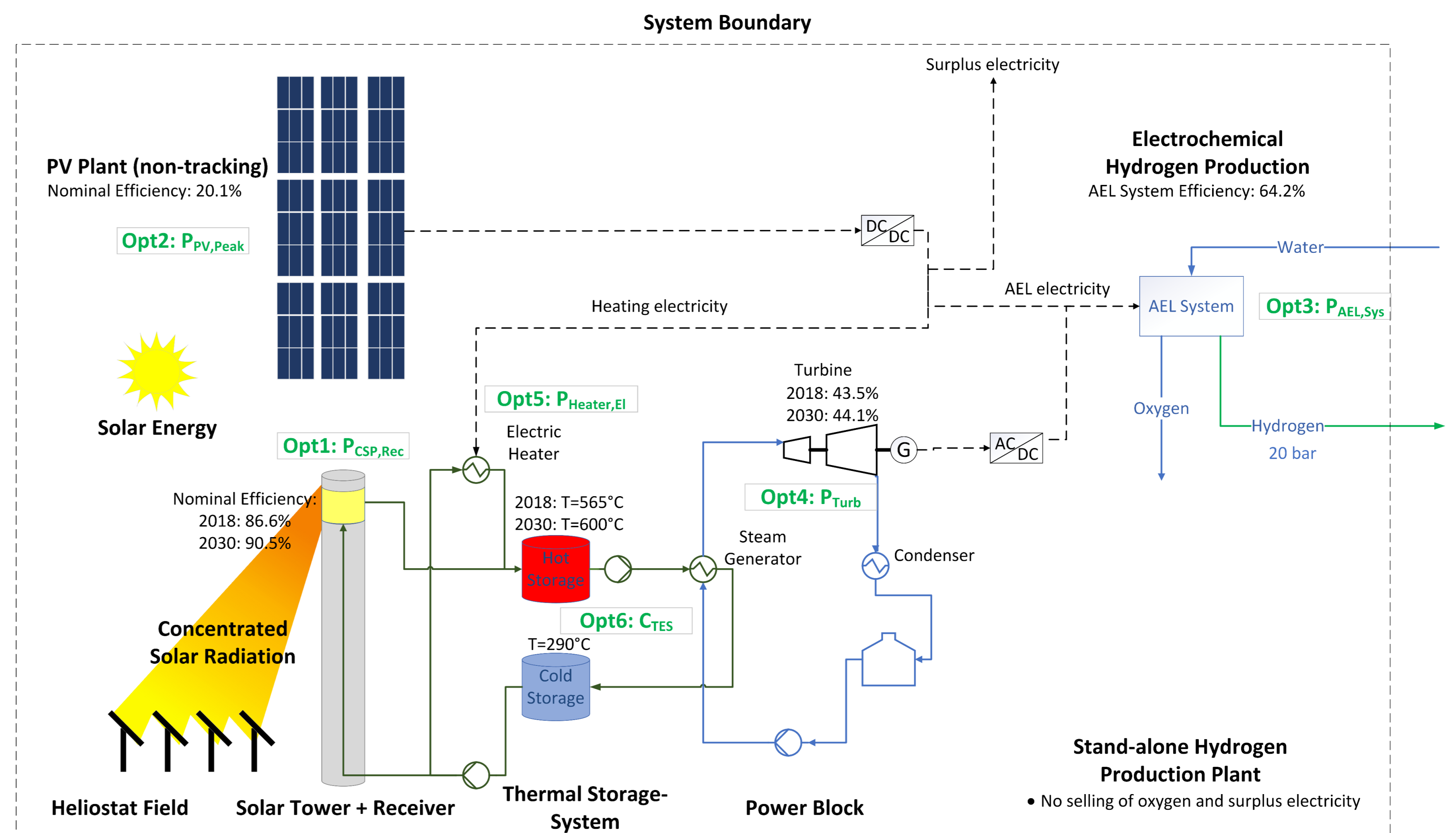


Abb. 1: Prozessschema und Optimierungsvariablen des PV/CSP-Hybridkraftwerks zur elektrochemischen Wasserstoffproduktion.

Ergebnisse

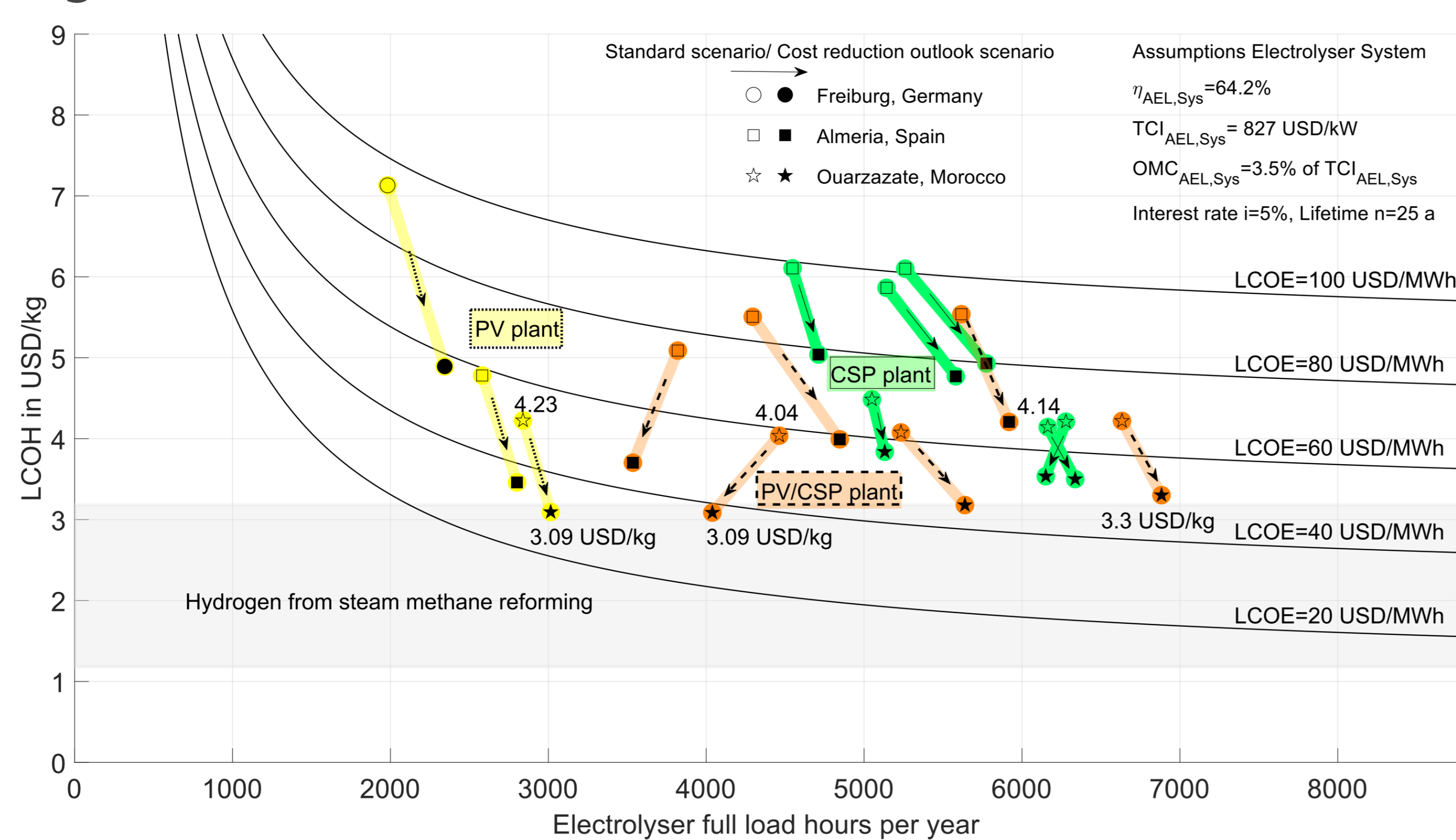


Abb. 2: Wasserstoffgestehungskosten (LCOH) in Abhängigkeit der Elektrolyseurvolllaststunden und den Strombereitstellungskosten (LCOE) für verschiedene Systemkonfigurationen.

Vergleich von Betriebsstrategien

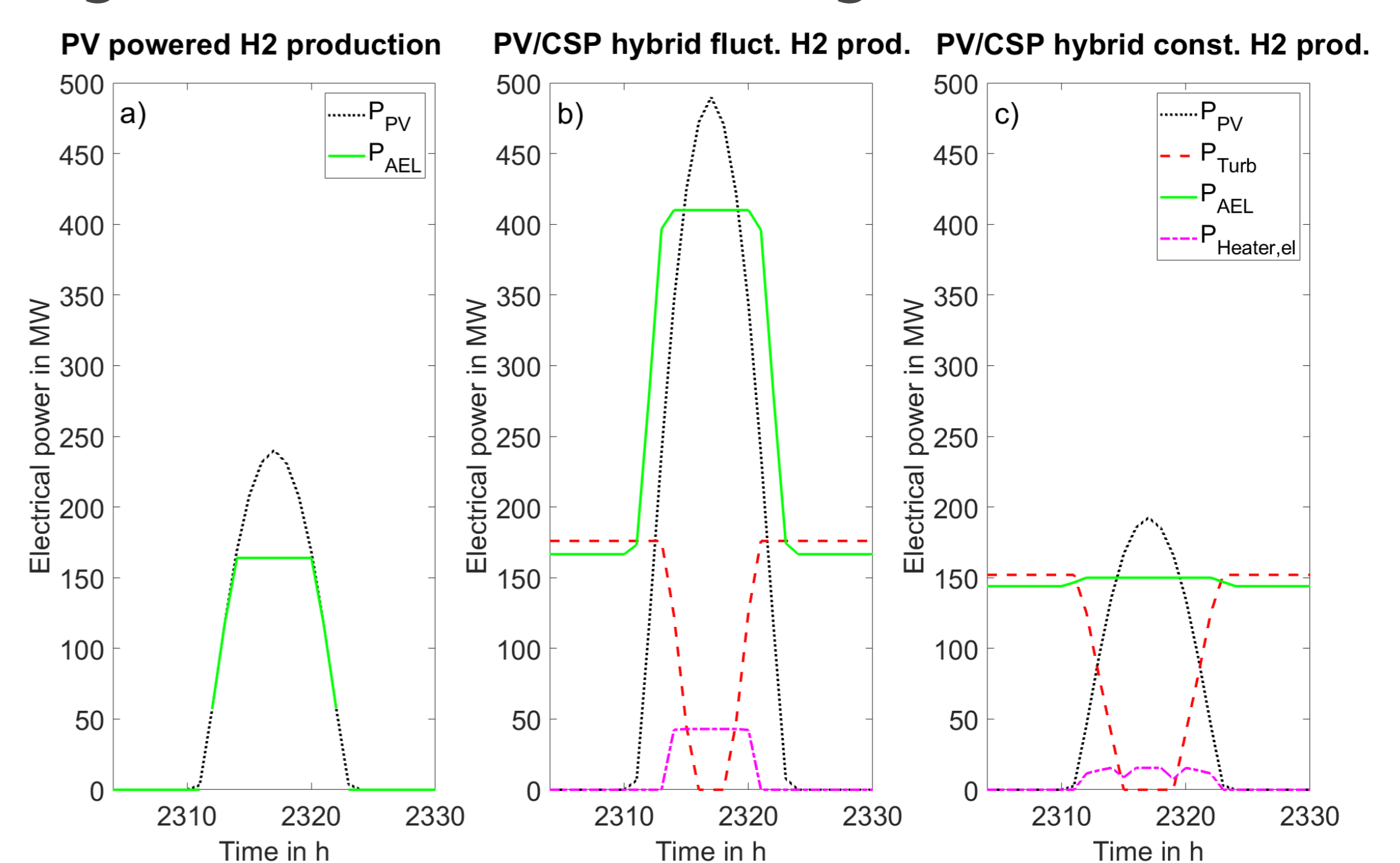


Abb. 3: Vergleich verschiedener Betriebsstrategien: a) reines PV-System, b) fluktuierendes PV/CSP System mit hohem PV-Anteil. c) kontinuierliches PV/CSP System mit hohem CSP-Anteil

Fazit und Ausblick

- PV/CSP-Hybridkraftwerke mit thermischem Speicher erhöhen die Wirtschaftlichkeit der elektrochemischen Wasserstoffproduktion im Vergleich zu reinem PV oder CSP-System.
- Vorteile kontinuierliche Wasserstoffproduktion bei Kopplung an Kraftstoffsyntheseprozesse oder H₂-Verflüssigung.
- Niedrige PV-Stromgestehungskosten begünstigen generell eine Überskalierung der Photovoltaik (Erhöhung der spezifischen Strombereitstellungskosten)
- CSP-Wärmebereitstellung günstiger als rein elektrisches Heizsystem.
- Konzept der CSP-Hybridisierung mit thermischem Speicher erweiterbar auf weitere fluktuierende Stromquellen (z. B. Windkraft).

Quellen

- (1) Brandes, J., et al., Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. 2021, Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE.
- (2) Peterssen, F., et al., Hydrogen Supply Scenarios for a Climate Neutral Energy System in Germany. International Journal of Hydrogen Energy (Accepted for Publication), 2022.
- (3) Roeb, M., et al., Wasserstoff als ein Fundament der Energiewende Teil 1: Technologien und Perspektiven für eine nachhaltige und ökonomische Wasserstoffversorgung. 2020, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR): Köln, Germany.
- (4) Rosenstiel, A., et al., Electrochemical Hydrogen Production Powered by PV/CSP Hybrid Power Plants: A Modelling Approach for Cost Optimal System Design. Energies, 2021. 14(12).
- (5) Benitez, D., et al., Solarthermische Kraftwerke. Wärme, Strom und Brennstoffe aus konzentrierter Sonnenenergie. 2021, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Solarforschung: Köln (D).

Danksagung: Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz für die Förderung des Projektes SolareKraftstoffe (Förderkennzeichen: 03EIV221, gefördert aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.