



**- Abschlussbericht zum Projekt HylInnoSOFC -**  
**- Teil I: Kurzbericht -**

**Zuwendungsempfänger: Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen**

**Förderkennzeichen: 03ZU1115FB**

**Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2021 – 31.10.2024**

**Berichtszeitraum: 01.11.2021 – 31.10.2024**

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## 1. Stand der Technik

Die Kombination von Festoxidbrennstoffzellen (SOFC) mit variabler Brennstoffzufuhr, insbesondere unter Einsatz von Wasserstoff-Methan-Gemischen (Hythane), wird seit mehreren Jahren als mögliche Schlüsseltechnologie für die flexible Strom- und Wärmeversorgung in stationären Anwendungen diskutiert. Während die Materialentwicklung und Stack-Optimierung kontinuierlich voranschreiten, bestehen auf Systemebene weiterhin große Herausforderungen bei der Regelung, Integration und praktischen Umsetzung unter realitätsnahen Bedingungen.

Insbesondere der Einsatz von katalytischer partieller Oxidation (CPOx) in Kombination mit Wasserstoffbeimischungen ist bislang kaum untersucht worden. Die wissenschaftliche Literatur konzentriert sich überwiegend auf Systeme mit Dampfreformierung oder reine Methanbetriebe. Für Systeme mit CPOx, die zudem über nur eingeschränkten Steuerungszugriff verfügen – wie im vorliegenden Projekt –, fehlen bisher belastbare Regelstrategien, die unter stationären Bedingungen validiert wurden.

Diese Lücke wurde am TME adressiert. Aufbauend auf numerischen Modellierungen sowie den konzeptionellen Vorarbeiten des Projektpartners IEK-14 konnten am TME experimentelle Strategien zur UMZ-basierten Regelung in einem Seriensystem praktisch umgesetzt werden. Die Einbindung von Messtechnik, eine adaptive Gasversorgung sowie eine in Echtzeit kommunizierende Python-Schnittstelle zur Stromregelung stellten dabei zentrale Bausteine dar.

Parallel dazu untersuchte das EBC die Einsatzmöglichkeiten von SOFC-Brennstoffzellen für die dezentrale Wärme- und Stromversorgung in Wohnquartieren. Ziel von Arbeitspaket 1 war die Analyse relevanter Anwendungsfälle und Versorgungsszenarien hinsichtlich eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands. Hierzu wurden Quartiere mit unterschiedlichen Gebäudetypen, Bedarfsstrukturen und Erzeugereinheiten (Heizkessel, Wärmepumpe, Brennstoffzelle) energetisch modelliert und optimiert. Dabei kamen gemischt-ganzzahlige lineare Programme zum Einsatz, die strom- und wärmespezifische Bedarfe zeitaufgelöst abbilden.

Die Untersuchungen am EBC zeigen, dass der vermehrte Einsatz von Brennstoffzellen in Quartieren zwar zur Reduktion von Spitzenlasten und Betriebskosten beitragen kann, gleichzeitig aber durch den erhöhten Erdgasverbrauch tendenziell die CO<sub>2</sub>-Emissionen steigen. Eine verbesserte Energieeffizienz lässt sich insbesondere durch bauliche Maßnahmen erzielen, während der systemische Nutzen einer Brennstoffzellen-Integration innerhalb üblicher  $\mu$ -BHKW-Leistungsbereiche begrenzt bleibt.

## 2. Wesentliche Projektergebnisse

Im Rahmen des Projekts HyInnoSOFC übernahm das TME die experimentelle Umsetzung und Validierung einer brennstoffflexiblen Betriebsstrategie für stationäre Hochtemperatur-Brennstoffzellensysteme. Im Zentrum stand ein seriennahes SOFC-System (Sunfire Home 750), das am TME erweitert wurde. Dies beinhaltete sowohl die messtechnische Aufrüstung als auch die Integration einer anpassungsfähigen Gasversorgung und die Kopplung an eine externe elektronische Last zur geregelten Leistungsabnahme.

Zu Beginn wurde eine Variation der Wasserstoffbeimischung im Bereich von 13–25% in 1%-Schritten durchgeführt, bei konstant gehaltener Systemregelung. Ziel war es, die isolierte Systemantwort auf unterschiedliche Hythane-Mischungsverhältnisse zu charakterisieren. Die Ergebnisse zeigten, dass bei unveränderter Regelung lediglich geringe Effizienzschwankungen (<0,5%) auftraten, was die Notwendigkeit aktiver Regelstrategien unterstreicht.

Darauf aufbauend wurden gezielte Regelanpassungen über die Messzellenspannung ( $U_{Mz}$ ) vorgenommen. Dabei konnte gezeigt werden, dass eine Erhöhung der  $U_{Mz}$  zu einer Reduktion des Luftüberschusses im Reformier führt. Diese indirekte Beeinflussung der Reformierbedingungen erlaubte in Kombination mit einer stromseitigen Lastregelung eine Effizienzsteigerung: Bei 25% Wasserstoffbeimischung wurde ein elektrischer Wirkungsgrad von bis zu 38,1 % erzielt.

Die Betriebsführung wurde softwareseitig automatisiert und erlaubte eine verlässliche Durchführung der Messreihen. Kritische Betriebsgrößen wie Lambda, Zellspannung und Reformier-Temperatur blieben auch bei Wasserstoffbeimischungen bis 25 % in stabilen Bereichen. Hinweise auf Kohlenstoffbildung wurden nicht festgestellt, eine vertiefte Analyse ist Bestandteil zukünftiger Arbeiten.

Die im Projekt erzielten Erkenntnisse wurden in das Folgevorhaben HyInnoSOC2 überführt. Sie bilden zudem die Grundlage für aktuelle Abschlussarbeiten und fließen in die Entwicklung eines digitalen Zwillings zur modellgestützten Regelung und Analyse des Gesamtsystems ein. Am EBC wurden die Potenziale von reversiblen SOFC-Systemen in Energiezentralen für Quartiere untersucht. Dazu wurden drei unterschiedliche Quartierstypen modelliert, basierend auf Baujahren 1975, 1989 und 2004. Für jedes dieser Quartiere wurden verschiedene Technologiekonfigurationen betrachtet, darunter Varianten mit Heizkessel, Wärmepumpe und Brennstoffzelle.

Zur Bewertung wurden umfangreiche Betriebsoptimierungen durchgeführt, wobei ein gemischt-ganzzahliges lineares Programm (MILP) zum Einsatz kam. Die Modelle berücksichtigten gebäudescharfe, zeitaufgelöste Bedarfsprofile für Raumwärme, Trinkwarmwasser und Strom. Die wirtschaftliche und ökologische Bewertung erfolgte anhand

verschiedener Rahmenbedingungen, einschließlich variierender Sanierungsgrade sowie Strom- und Gaspreisniveaus der Referenzjahre 2018 und 2022.

Die Ergebnisse zeigen, dass der systemische Nutzen der Brennstoffzellen innerhalb der betrachteten  $\mu$ -BHKW-Leistungsbereiche begrenzt ist. Zwar können sie Lastspitzen reduzieren und zur Flexibilisierung beitragen, gleichzeitig führt der erhöhte Erdgasverbrauch zu einer moderaten Steigerung der  $\text{CO}_2$ -Emissionen. Die Deckungsgrade der Eigenstromversorgung verbessern sich zwar, bleiben jedoch unterhalb des vollständigen Eigenbedarfs. Die Integration von Wasserstoffspeichern erhöht die technische Flexibilität, verursacht jedoch deutlich höhere Investitionskosten. Ein wirtschaftlicher Betrieb war nur unter der Annahme vollständiger Eigenversorgung ohne Netzbezug möglich. In diesen Szenarien wurden allerdings hohe Gesamtkosten festgestellt, wodurch sich kein ökonomischer Vorteil gegenüber einem Referenzsystem mit Gaskessel und Netzstrom ergibt.