# - Abschlussbericht zum Projekt HyInnoSOFC -

**- Teil III: Erfolgskontrollbericht -**

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

**Förderkennzeichen: 03ZU1115FB**

**Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2021 – 31.10.2024**

**Berichtszeitraum: 01.11.2024 – 30.04.2025**

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

**Inhaltsverzeichnis**

Abkürzungsverzeichnis ..... iii

1. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse ..... 4

2. Fortschreibung des Verwertungsplans ..... 4

2.1. Erfindung/Schutzrechtsanmeldung und erteilte Schutzrechte ..... 4

2.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende ..... 4

2.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende ..... 4

2.4. Wissenschaftliche und Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit ..... 6

3. Arbeiten ohne erfolgreiche Lösungen ..... 6

4. Einhaltung der Ausgaben- und der Zeitplanung ..... 6

**Abkürzungsverzeichnis (Erweiterung)**

| | |
|---|---|
| SOFC | Solid Oxide Fuel Cell |
| KWK | Kraft-Wärme-Kopplung |
| BoP | Balance Of Plant |
| AOGR | Anode Off-Gas Recirculation |
| CPOX | Catalytic Partial Oxidation |
| rSOC | Reversible Solid Oxide Cell |

## 1. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Am TME wurde im Rahmen des Projekts HyInnoSOFC ein seriennahes SOFC-System (Sunfire Home 750) unter Berücksichtigung von Wasserstoffbeimischung umfassend experimentell untersucht. Im Fokus stand die Validierung einer Regelstrategie zur indirekten Steuerung des Reformerbetriebs über die Messzellenspannung ($U_{MZ}$). Dabei wurden Versuchsreihen mit 13–25% $H_2$-Beimischung durchgeführt. Eine gezielte Variation der $U_{MZ}$ ermöglichte die Reduktion des Luftüberschusses im Reformer und führte in Kombination mit Stromregelung zu einer Effizienzsteigerung von bis zu 3,9 Prozentpunkten. Die entwickelte Python-Schnittstelle und LabVIEW-Integration erlaubten eine Echtzeitregelung externer Komponenten. Die Ergebnisse bilden eine Grundlage für das Folgeprojekt HyInnoSOC2.

Am EBC wurde das wissenschaftlich-technische Ergebnis durch detaillierte Simulationen von SOFC-Systemen im Kontext der Quartiersversorgung erzielt. Es wurden sowohl gebäudebasierte Hybridansätze als auch zentrale Energiezentralen mit Wasserstofftechnologien untersucht. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass Brennstoffzellen in Quartieren bei aktueller Kostenstruktur zu erhöhten $CO_2$-Emissionen führen, während Betriebskosten und Spitzenlasten nur begrenzt gesenkt werden. In Szenarien mit zentralem $H_2$-System führen hohe Investitionskosten und eingeschränkter Stromexport zu wirtschaftlichen Nachteilen, obwohl die Emissionen theoretisch vermeidbar wären.

## 2. Fortschreibung des Verwertungsplans

### 2.1. Erfindung/Schutzrechtsanmeldung und erteilte Schutzrechte

Nicht zutreffend.

### 2.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Am TME liegen wirtschaftliche Erfolgsaussichten insbesondere in der Weiterentwicklung effizienter Steuerstrategien für $H_2$-fähige SOFC-Systeme. Die entwickelte Testumgebung stellt eine dauerhaft verfügbare Infrastruktur für die Systemintegration, Komponentenbewertung und Betriebsführung dar. Neben der Integration in das Folgeprojekt HyInnoSOC2 ergeben sich daraus auch Perspektiven für industrielle Anwendungen im Bereich digitaler Zwillingssysteme, MPC-basierter Betriebsstrategien und dynamischer Simulationen. Besonders hervorzuheben ist das Potenzial zur Effizienzsteigerung durch gezielte Prozesskombinationen wie CPOx und AOGR sowie die Perspektive zur Systemskalierung in modularen Anwendungsfeldern. Perspektivisch eröffnet sich zudem ein Anwendungsfeld in der maritimen Energietechnik, insbesondere im Kontext hybrider Bordenergiesysteme und emissionsarmer Schiffsantriebe mit hoher Brennstoffflexibilität.

Am EBC zeigen sich wirtschaftliche Erfolgsaussichten primär im Erkenntnisgewinn zur Vermeidung ineffizienter Technologiewahl. Die Projektergebnisse bieten eine robuste Entscheidungsgrundlage für Entwickler und Investoren und ermöglichen die zielgerichtete Auswahl wirtschaftlich tragfähiger Versorgungskonzepte unter Berücksichtigung aktueller Preisentwicklungen und Rahmenbedingungen. Die Übertragbarkeit der Simulationsmodelle auf andere Quartierstypen sichert langfristige Anwendungsmöglichkeiten.

### 2.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Am TME ergeben sich wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten insbesondere aus dem systematischen Ausbau der Reformerregelung für katalytische partielle Oxidation (CPOx) unter Wasserstoffbeimischung. Auf Basis der erarbeiteten Datenbasis wird eine gezielte Weiterentwicklung von Regelstrategien verfolgt, mit besonderem Fokus auf dynamische Lastwechsel, transienten Betrieb und die Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrads. Die Weiterführung erfolgt unter Einbindung eines digitalen Zwillings, der zur simulationsgestützten Betriebsoptimierung und Komponentenbewertung (z. B. Reformer, Brennstoffdosierung) eingesetzt wird.

Zudem besteht perspektivisch ein hohes Innovationspotenzial für die Übertragung der entwickelten Regel- und Simulationsmethodik auf stationäre und maritime SOFC-Anwendungen. Insbesondere für hybride Bordenergiesysteme mit wechselnden Betriebsprofilen können die gewonnenen Erkenntnisse zur Optimierung von Wirkungsgrad, Lastverhalten und Brennstoffausnutzung beitragen.

Am EBC bestehen wissenschaftliche Erfolgsaussichten in der Weiterentwicklung und Verfeinerung der techno-ökonomischen Modelle. Die systematische Bewertung von Systemkonfigurationen, darunter rSOC-Konzepte, PV- und Windintegration sowie saisonale Speicherstrategien, bildet eine fundierte Grundlage für Folgeprojekte. Besonderes Augenmerk liegt auf der Berücksichtigung zukünftiger Energiepreisszenarien, regulatorischer Entwicklungen sowie der Einbindung neuer Speicher- und Umwandlungstechnologien wie Power-to-Gas oder $H_2$-basierte Langzeitspeicher.

Darüber hinaus wird die methodische Weiterentwicklung auf kommunaler Ebene vorangetrieben, um Planungsinstrumente zur nachhaltigen Quartiersentwicklung bereitzustellen. Ziel ist die Integration der Simulationsansätze in bestehende Entscheidungsunterstützungssysteme für Städte, Wohnungsbaugesellschaften und Projektentwickler. Die Ergebnisse tragen zur Erarbeitung robuster Entscheidungsgrundlagen in interdisziplinären Netzwerken bei und können in akademischen Lehrformaten sowie als Grundlage für wissenschaftliche Publikationen genutzt werden. Zudem ist geplant, die entwickelten Modelle in zukünftige Forschungskooperationen mit Industrie- und Verwaltungspartnern einzubringen.

### 2.4. Wissenschaftliche und Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Am TME wird die geschaffene Infrastruktur in Lehre und Forschung (Bachelor-, Master-, Doktorarbeiten) sowie im Folgeprojekt HyInnoSOC2 genutzt. Der Fokus liegt auf Komponentenentwicklung, dynamischer Betriebsfähigkeit und rSOC-Kopplung. Darüber hinaus erfolgt eine strategische Verankerung der Ergebnisse in industrienaher Forschungskooperation, insbesondere im Hinblick auf hybride Energiesysteme.

Am EBC bietet die Übertragbarkeit der Bewertungsmodelle Potenzial für zukünftige Anwendungen. Projektentwickler können auf Basis der Ergebnisse gezielt effiziente Technologien kombinieren. Die systematische Nutzung der Ergebnisse in der kommunalen Energieplanung und die Integration in kommunale Entscheidungshilfen zur Quartiersentwicklung sichern eine nachhaltige Verwertung.

## 3. Arbeiten ohne erfolgreiche Lösungen

Am TME konnten geplante Startversuche mit Hythane aufgrund sicherheitstechnischer und systembedingter Einschränkungen nicht durchgeführt werden. Insbesondere der nicht regelbare Startbrenner und die systemseitige Limitierung auf wenige Starts pro Jahr verhinderten eine risikofreie Umsetzung dieser Tests. Die zu erwartenden Lambda-Verschiebungen wären im sicherheitsrelevanten Bereich nicht mehr mit ausreichender Genauigkeit kontrollierbar gewesen. Eine alternative Konzeption für zukünftige Versuchsaufbauten ist in Planung.

Am EBC wurde das geplante Arbeitspaket 5.1 zur experimentellen Erprobung inhaltlich angepasst. Statt der vorgesehenen Systemtests wurden erweiterte Simulationen für rSOC-Systeme in Typquartieren mit 40 Gebäuden durchgeführt. Im Fokus standen Anlagenkombinationen aus Photovoltaik, Windenergie, Wärmepumpen, Wasserstoffspeichern und reversiblen SOFC-Systemen. Zusätzlich erfolgten Szenarienanalysen zur Bestimmung technischer Spezifikationen, $CO_2$-Emissionen, Jahreskosten und elektrischer Spitzenlasten. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen der gezielten Planung integrierter Quartiersenergiekonzepte.

## 4. Einhaltung der Ausgaben- und der Zeitplanung

Der Ausgaben- und Zeitplan wurde eingehalten.