Gefördert durch:

Bundesministerium
für Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Freiburg, 14.11.2025

Verbundvorhaben H2-Brennstoffzellen-Stack für Luftfahrtanwendungen „H2Sky“

Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase 2

Teilvorhaben der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.

Sachbericht zum Verwendungsnachweis - Teil I: Kurzbericht

Stand:	31.07.2025
Einreichungsdatum:	14.11.2025
Partnerin/Partner:	Teilvorhaben der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V
Autorinnen/Autoren:	A. Münchinger
Fördertitel:	Verbundvorhaben H2-Brennstoffzellen-Stack für Luftfahrtanwendungen „H2Sky“
Laufzeit:	01.03.2022 bis 31.07.2025
Förderkennzeichen:	03B10706F
Disclaimer:	Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

I. Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand zum Projektstart

Das Verbundvorhaben „H2Sky“ zielt auf die technologische Weiterentwicklung emissionsfreier Antriebssysteme für die Luftfahrt. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung eines luftfahrttauglichen Polymerelektrolyt-Membran-(PEM) Brennstoffzellenstacks als Hauptantriebsquelle für Passagierflugzeuge. Der Stand der Technik basiert auf automobilen Brennstoffzellensystemen, die den Anforderungen der Luftfahrt hinsichtlich Leistung, Lebensdauer und Betriebssicherheit nicht genügen. Ziel des Projekts ist die Weiterentwicklung eines bestehenden automobilen Stackdesigns zu einem skalierbaren, industriell einsetzbaren Luftfahrt-Prototypensystem.

Hierzu untersucht die Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V. (kurz Hahn-Schickard) die Integration neuartiger Materialien in luftfahrttaugliche Brennstoffzellensysteme. Im Mittelpunkt stehen ionenleitfähige Kohlenwasserstoffe als Elektrolytkomponenten in Membran-Elektroden-Einheiten (MEA), die aufgrund ihrer hohen thermischen Stabilität einen potenziell stabileren und effizienteren Betrieb bei Temperaturen oberhalb von 100 °C ermöglichen. Damit stellen sie eine fluorfreie und nachhaltigere Alternative zu den bislang vorwiegend eingesetzten PFSA-basierten Elektrolytsystemen dar. Im Jahr 2021 gelang der Arbeitsgruppe von Hahn-Schickard erstmals die Entwicklung vollständig kohlenwasserstoffbasierter MEAs, die unter Laborbedingungen eine vergleichbare Leistungsdichte wie PFSA-basierte Systeme erreichen. Aufbauend darauf verfolgt Hahn-Schickard im Projekt „H2Sky“ das Ziel, kohlenwasserstoffbasierte Materialsysteme gezielt an die spezifischen Anforderungen der Luftfahrt anzupassen und weiterzuentwickeln.

II. Ablauf des Vorhabens

Das Gesamtvorhaben H2Sky gliedert sich in drei Hauptarbeitspakete (HAP), welche einem aufeinander aufbauenden Entwicklungsprozess folgen. Die Arbeiten von Hahn-Schickard sind dem HAP „MEA“ zugeordnet, in dem das Institut für die Optimierung kohlenwasserstoffbasierter Membran-Elektrodeneinheiten verantwortlich ist. Aufbauend auf einer fundierten Literatur- und Marktanalyse soll die Auswahl geeigneter sulfonierter Kohlenwasserstoffmaterialien (Membranen und Ionomere) erfolgen. Unter Berücksichtigung der ersten ex-situ Ergebnisse des Instituts für Mikrosystemtechnik (IMTEK) der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg werden Katalysator-Tintenformulierungen evaluiert und einzellige Modell-Elektroden und Modell-MEAs entwickelt. In einem anschließenden iterativen Prozess sollen die auftretenden Verlustmechanismen sowie die Lebensdauer der von Hahn-Schickard hergestellten Brennstoffzellen von den beteiligten Projektpartnern (IMTEK / Technische Universität München, TUM) analysiert und bewertet werden. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse verfolgt Hahn-Schickard einen gezielten Optimierungsansatz zur Verbesserung der Leistung und Langlebigkeit kohlenwasserstoffbasierter MEAs. Der Projektpartner Aerostack GmbH evaluiert die optimierte Elektrokatalysator-Tintenformulierung anschließend auf der für die Anwendung erforderlichen Zellfläche (d. h. in der Vollzelle).

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

III. Zusammenfassung der Ergebnisse und Zusammenarbeit mit Projektteilnehmern

Auf Basis der durchgeführten Literaturrecherche wurde im vorliegenden Projekt auf die Klasse der sulfonierten, phenylierten Polyphenylene als vielversprechende Kohlenwasserstoffelektrolyte (Membranen/Ionomere) zurückgegriffen. Optimiert auf den sprühbeschichteten Herstellungsprozess führten Tintensysteme auf Basis niedrigsiedender Lösungsmittel – besonders Isopropanol in einem gleichwertigen Massenverhältnis zu Wasser – sowie Elektrokatalysatoren mit porösem Kohlenstoffträger zu kohlenwasserstoffbasierten Brennstoffzellenelektroden mit bislang maximaler Leistungsdichte. Ausgehend von den ersten in-situ-Erkenntnissen des Projektpartners IMTEK konnte ein deutliches Leistungsdefizit dieser vollständig kohlenwasserstoffbasierten MEAs im Vergleich zu gängigen PFSA-basierten Referenzen festgestellt werden. Dieses Defizit zeigte sich besonders unter den trockenen Betriebsbedingungen der Luftfahrt. Als Hauptverlustmechanismus wurde vom Projektpartner IMTEK ein Zielkonflikt zwischen hoher protonischer Elektrodenleitfähigkeit und ausreichendem (Sauerstoff-) Gasttransport in der porösen katalytischen Schicht der Kathode identifiziert. Dadurch wird der maximale volumetrische Ionomergehalt der Kathode auf Werte deutlich unterhalb derjenigen gängiger PFSA-Referenzen begrenzt.

Zur Lösung des Konflikts entwickelte die Arbeitsgruppe von Hahn-Schickard sowohl vollständig kohlenwasserstoffbasierte Kathoden mit graduiertem Ionomergehalt als auch Elektroden mit reduzierter Schichtdicke. Letzteres wurde durch Variation der Pt-Beladung des Kohlenstoffträgers erreicht. In beiden Fällen konnten die Leistungsanforderungen des ersten Projektmeilensteins von 550 mA cm^{-2} bei 740 mV (2 bar_{abs}, T_{mittel} = 90 °C, 80 % RH) erfüllt werden. Der zweite Meilenstein wurde durch die Weiterentwicklung des Ansatzes dünner Elektroden erreicht. Hierzu charakterisierte der Projektpartner IMTEK verschiedene ungeträgerte Platin-Elektrokatalysatoren. Eine darauf aufbauende Tintenrezeptur ermöglichte die Herstellung von Kathoden mit einer Schichtdicke < 2,5 µm, wodurch der ausgemachte Zielkonflikt gelöst werden konnte. Als Ergebnis konnte erstmals eine Leistungsdichte von über 650 mA cm^{-2} bei 740 mV (2 bar_{abs}, T_{mittel} = 95 °C, 60 % RH) nachgewiesen werden.

IV. Ausstehende Meilensteine und zukünftige Forschungsperspektiven

Der zu Projektbeginn definierte dritte Meilenstein (750 mA cm^{-2} bei 740 mV unter 2 bar_abs, T_mittel = 100 °C, 40 % RH) konnte nicht erreicht werden. Nachfolgende Untersuchungen sollten sich daher neben den kinetischen Verlustmechanismen in der Kathode insbesondere auf eine Optimierung der Kohlenwasserstoffmembran konzentrieren. Darüber hinaus bestätigte der Projektpartner TUM die Bedeutung ausgeprägter Konditionierungsprofile für kohlenwasserstoffbasierte Elektroden. Ferner identifizierte der Projektpartner IMTEK in beschleunigten Alterungstests verstärkte, leistungsmindernde Degradationsphänomene an den von Hahn-Schickard hergestellten Modellelektroden. Es ist ein erneuter Iterationsschritt erforderlich, um die gewonnenen Erkenntnisse der Projektpartner in die Entwicklung zukünftiger Hochleistungs-MEAs auf Basis von fluorfreien Polymeren einzubeziehen.