

SAFE-FC

Solving the Airfiltration Efficiency Problem for Fuel Cell Systems

Programm / Ausschreibung	FORPA, Dissertaionen 2024, Industrienae Dissertationen 2025	Status	laufend
Projektstart	01.10.2025	Projektende	31.03.2028
Zeitraum	2025 - 2028	Projektlaufzeit	30 Monate
Keywords	Brennstoffzelle, PEM, Schadgase, Filter, Stickoxide		

Projektbeschreibung

Um die im Green Deal der Europäischen Union geforderten Ziele zur Klimaneutralität zu erreichen, ist eine Dekarbonisierung der Energieerzeugung sowie der Fahrzeugflotten zwingend notwendig. Dabei werden Brennstoffzellen, aufgrund der hohen Energiedichte, kurzen Betankungszeiten und der lokalen Emissionsfreiheit, als eine der Schlüsseltechnologie angesehen. Sie werden dabei in der Mobilität vor allem bei schweren Nutzfahrzeugen und Sondermaschinen eine wichtige Rolle spielen, während stationäre Brennstoffzellen zur Strom- und Wärmeerzeugung und zur Dekarbonisierung energieintensiver Industrien verwendet werden.

Rund 60%-70% der weltweit installierten Brennstoffzellenleistung entfällt auf Proton-Exchange-Membran-Brennstoffzellen (PEM-BZ). Für die Sicherheit und Lebensdauer dieser Brennstoffzellentechnologie, ist die Qualität der Luftzufuhr zur Kathodenseite von entscheidender Bedeutung. Luftgetragene Schadstoffe wie Schwefeldioxid (SO₂), Ammoniak (NH₃) und insbesondere Stickoxide (NO, NO₂) führen bereits in geringen Konzentrationen zu Leistungsverlusten oder irreversibler Schädigung der Brennstoffzelle. Bisher eingesetzte Luftfilter, häufig übernommen aus der Innenraumfiltration, erfüllen die spezifischen Anforderungen dieser Anwendungen nur unzureichend. Gerade die Filtration von Stickstoffmonoxid (NO) stellt eine besondere Herausforderung dar: dieses kommt im Straßenverkehr in signifikanten Mengen vor und ist auf Grund seiner geringen Reaktivität mit den aktuell erhältlichen Filtern kaum adsorbierbar.

Im Rahmen dieser Dissertation wird ein neuartiger, modularer Ansatz zur Zuluftreinigung für PEM-Brennstoffzellen entwickelt und validiert. Ziel ist es, die Luftqualität im Kathodenpfad signifikant zu verbessern und damit die Lebensdauer und Effizienz der Brennstoffzelle zu erhöhen. Der Fokus liegt dabei auf der Kombination passiver und aktiver Technologien:

Adsorbermaterialien (z. B. Aktivkohle, modifizierte Zeolithe), katalytische Konverter zur gezielten Oxidation von NO zum deutlich reaktiveren NO₂ sowie photodissoziative Verfahren unter UV-Strahlung werden hinsichtlich ihrer Filtrationseffizienz, Systemkompatibilität und Reinigungsleistung bewertet. Zusätzlich wird der Einsatz von feinstdispergiertem Wasserspray zur Bindung löslicher Gase untersucht.

Zur Untersuchung dieser Technologien werden Messdaten aus vorangegangenen Projekten (B.GasUs, HyFIT, HyComm) zur Definition realitätsnaher Belastungsszenarien (Straßenfahrten, Tunneldurchfahrt, Stau) herangezogen. Zur Darstellung dieser Belastungsszenarien wird der am Virtual Vehicle vorhandene Prüfstand zur Untersuchung der Filterperformance um einen dynamischen Gasmischer erweitert. Dieser ist in der Lage, definierte Konzentrationsverläufe und Gasmischungen

herzustellen. Die eingesetzte UV-Absorptionsspektroskopie ermöglicht eine kontinuierliche Analyse der Gaszusammensetzung vor und nach der Filtereinheit.

In einem iterativen Prozess werden geeignete Filtermaterialien und Technologiekombinationen zunächst im Komponentenprüfstand getestet, bewertet und anschließend in einem modularen Prototyp zusammengeführt. Dieser wird abschließend unter realen Betriebsbedingungen im Brennstoffzellenprüfstand validiert. Ziel ist die Entwicklung eines skalierbaren Reinigungskonzepts, das sich in mobile Anwendungen integrieren lässt.

Abstract

In order to achieve the climate neutrality targets set out in the European Union's Green Deal, it is essential to decarbonize energy generation and vehicle fleets. Fuel cells are seen as one of the key technologies here due to their high energy density, short refueling times and zero local emissions. They will play an important role in mobility, especially in heavy commercial vehicles and special machinery, while stationary fuel cells will be used to generate electricity and heat and to decarbonize energy-intensive industries.

Proton exchange membrane fuel cells (PEM FCs) account for around 60%-70% of the fuel cell capacity installed worldwide. The quality of the air supply to the cathode side is of crucial importance for the safety and service life of this fuel cell technology. Airborne pollutants such as sulphur dioxide (SO₂), ammonia (NH₃) and especially nitrogen oxides (NO, NO₂) lead to a loss of performance or irreversible damage to the fuel cell even at low concentrations. Previously used air filters, often taken from indoor filtration, do not adequately meet the specific requirements of these applications. The filtration of nitrogen monoxide (NO) poses a particular challenge: this occurs in significant quantities in road traffic and, due to its low reactivity, cannot be filtered out with the currently available air filters.

As part of this dissertation, a new, modular approach to inlet air purification for PEM fuel cells is being developed and validated. The aim is to significantly improve the air quality in the cathode path and thus increase the service life and efficiency of the fuel cell. The focus here is on the combination of passive and active technologies: Adsorber materials (e.g. activated carbon, modified zeolites), catalytic converters for the targeted oxidation of NO to the significantly more reactive NO₂ as well as photodissociative processes under UV radiation are evaluated in terms of their filtration efficiency, system compatibility and cleaning performance. In addition, the use of finely dispersed water spray to bind soluble gases is being investigated.

To investigate these technologies, measurement data from previous projects (B.GasUs, HyFiT, HyComm) will be used to define realistic load scenarios (road travel, tunnel passage, traffic jams). To represent these load scenarios, a dynamic gas mixer is being added to the existing test bench at the Virtual Vehicle to investigate filter performance. This is capable of producing defined concentration curves and gas mixtures. The UV absorption spectroscopy used enables continuous analysis of the gas composition before and after the filter unit.

In an iterative process, suitable filter materials and technology combinations are first tested and evaluated in the component test bench and then combined in a modular prototype. This is then validated under real operating conditions in the fuel cell test bench. The aim is to develop a scalable cleaning concept that can be integrated into mobile applications.

Projektpartner

- Virtual Vehicle Research GmbH