

Freiburg, 26.03.2026

**QT 1.2 Fluorfreie-MEA - fluorfreie Membran-Elektroden-Einheiten mit hoher Effizienz, geringem Gasübertritt und langer Lebensdauer zur nachhaltigen Erzeugung von Wasserstoff;  
Universität Freiburg**

**Sachbericht zum Verwendungsnachweis - Teil I: Kurzbericht**

---

Stand:	26.03.2026
Einreichungsdatum TIB (Teil I+II):	26.03.2026
Partnerin/Partner:	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Technische Fakultät – IMTEK
Autorinnen/Autoren:	S. Vierrath, J. Stiegeler
Fördertitel:	H2Giga_QT1.2_Fluorfreie-MEA
Laufzeit:	01.04.2021 bis 31.12.2025
Förderkennzeichen:	03HY1106C
Disclaimer:	Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

---

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Forschung, Technologie  
und Raumfahrt



Finanziert von der  
Europäischen Union  
NextGenerationEU

## Teil I – Kurzbericht

### 1. Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Im Rahmen des Teilvorhabens FF-MEA des IMTEK der Universität Freiburg wurde die Entwicklung stabiler, fluorfreier, verstärkter Membranen für die Wasserelektrolyse verfolgt. Dafür sollte eine Testinfrastruktur eingerichtet werden, die eine effiziente chemische und mechanische Charakterisierung ionomer-basierter Membranen und ihrer Verstärkungen ermöglichte und gleichzeitig die Möglichkeit bot, Membran-Elektroden-Einheiten (MEA) effizient in Elektrolysetestständen zu prüfen.

Für kohlenwasserstoffbasierte Membranen war ein Verstärkungsmaterial entscheidend, um Stabilität zu gewährleisten und ein Auswaschen zu verhindern. Der aktuelle Stand der Technik in PEM-Brennstoffzellen umfasste bereits mehrere Verstärkungsstrategien: die Mischung des protonenleitenden Polymers mit einem mechanisch stabilen Träger (z. B. PVDF oder PBI) sowie die Infiltration poröser Netzwerke (z. B. gerecktes PTFE). Die positiven Effekte poröser Netzwerke aus Brennstoffzellen ließen sich auch auf fluorfreie Membranen in der Wasserstoff-Elektrolyse übertragen. Das im Projekt zudem verfolgte neuartige Konzept beruhte auf elektrogesponnenen Nanofasern. Diese erhöhten nicht nur die mechanische Festigkeit, sondern konnten die Kosten gegenüber etablierten Verfahren senken.

Erste Kombinationsversuche von elektrogesponnenen Nanofasermatten mit dem Membranpolymer hatten bereits Komposit-Membranen mit guter Lebensdauer hervorgebracht.<sup>1</sup> Durch weitere Modifikationen konnten Leistung und Langzeitstabilität gegenüber dem Stand der Technik weiter verbessert werden.<sup>2</sup> Zudem zeigte die Arbeitsgruppe, dass das Elektro-Spinning die Iridium-Beladung bei der PEM-Elektrolyse erheblich reduzierte, ohne Effizienz oder Stabilität zu beeinträchtigen.<sup>3</sup>

Zusätzlich verfügte das Team über langjährige Erfahrung in der Charakterisierung von PEM-Elektrolyseuren und der Analyse von Degradationsmechanismen. Vorhandene Teststände für kleine (5 cm<sup>2</sup>) und mittlere (25–50 cm<sup>2</sup>) Zellen wurden erweitert, um die neu entwickelten Materialien umfassend zu prüfen. Das Know-how aus früheren BMBF-Verbundprojekten, insbesondere „PowerMEE“, wurde genutzt, um detaillierte „Loss-Break-Down“-Analysen,

---

<sup>1</sup> Matthias Breitwieser et al., „Simple fabrication of 12 μm thin nanocomposite fuel cell membranes by direct electrospinning and printing.“ *Journal of Power Sources* 337 (2017): 137–144.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775316315038>.

<sup>2</sup> Matthias Breitwieser et al., „Cerium Oxide Decorated Polymer Nanofibers as Effective Membrane Reinforcement for Durable, High-Performance Fuel Cells.“ *Advanced Energy Materials* 7, Nr. 6 (2017): 1602100.  
<https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aenm.201602100>.

<sup>3</sup> Friedemann Hegge et al., „Efficient and Stable Low Iridium Loaded Anodes for PEM Water Electrolysis Made Possible by Nanofiber Interlayers.“ *ACS Applied Energy Materials* 3, Nr. 9 (2020): 8276–8284.

Gaspermeationsmessungen und weitere Diagnosen durchzuführen. Diese Basis ermöglichte die zielgerichtete Entwicklung langzeitstabiler, fluorfreier Membran-Elektroden-Einheiten.

## 2. Ablauf des Vorhabens

Das Gesamtvorhaben FF-MAE gliederte sich in vier Arbeitspakete: AP 1 – Polymerentwicklung, AP 2 – Polymersynthese, AP 3 – Komposit Membran und AP 4 – Membran-Elektroden-Einheit.

Innerhalb von AP 1 wurde die Infrastruktur für chemische Analysen aufgebaut und Messmethoden etabliert, um Ionomere effizient charakterisieren zu können.

In AP 3 wurden elektrogewebene Nanophasen sowie mikroporöse Schäume als Verstärkungsmaterial hergestellt, zu verstärkten Membranen weiterverarbeitet und deren Eigenschaften charakterisiert.

In AP 4 wurden alle Membranen zu Membran-Elektroden-Einheiten weiterverarbeitet und getestet. Zusätzlich wurde die Testinfrastruktur am IMTEK weiter ausgebaut, um mehr Zellen prüfen zu können und um Zellen unter industriellen Bedingungen (Druck bis zu 30 bar) zu betreiben.

## 3. Wesentliche Ergebnisse

Im Rahmen des Teilvorhabens wurde eine neuartige fluorfreie, verstärkte Membran entwickelt, die in Bezug auf die Leistungsfähigkeit mit konventionellen fluorhaltigen Membranen vergleichbar ist und über 1 000 h stabil betrieben werden konnte. Ein Ergebnis, das zum damaligen Zeitpunkt noch nicht in der Literatur gezeigt wurde. Es wurden drei verschiedene Membran-Verstärkungssysteme untersucht. Der mikroporöse PEEK-Schaum wies die besten mechanischen Eigenschaften auf, jedoch waren die protonischen Leitfähigkeiten der daraus resultierenden Membranen zu niedrig, um sie in Elektrolysezellen einzusetzen. Die mit elektrogewebenen PBI-Nanofasermaterial sowie das PEEK-Mesh zeigten sehr ähnliche Eigenschaften: Sie stabilisierten die Membran mechanisch, während zugleich alle funktionalen Merkmale, insbesondere die protonische Leitfähigkeit, erhalten blieben. Diese beiden Systeme ermöglichen den zuverlässigen Einsatz der fluorfreien Membranen in Wasserstoff-Elektrolyseuren. Insgesamt konnten so mehrere vielversprechende Membranverstärkungen umfassend untersucht werden.

## 4. Zusammenarbeit mit anderen (Forschungs-)Einrichtungen

Während des Projektzeitraums fand ein intensiver Austausch mit Industriepartnern, insbesondere Siemens Energy statt. Siemens Energy evaluierte verstärkte sPPS Membranen welche innerhalb des Projektes erstellt wurden.