

# Verbundvorhaben ELFA Effiziente Luftfahrzeuge

## Brennstoffzellensysteme zur Energieerzeugung BREZEN – Teilprojekt: Kerosinaufbereitung

Ralf Peters, Jan Meißner, Joachim Pasel, Remzi Can Samsun,  
Detlef Stolten



Energie & Umwelt /  
Energy & Environment  
Band / Volume 302  
ISBN 978-3-95806-114-9

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institut für Energie- und Klimaforschung  
Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3)

## **Verbundvorhaben ELFA Effiziente Luftfahrzeuge**

### **Brennstoffzellensysteme zur Energieerzeugung BREZEN – Teilprojekt: Kerosinaufbereitung**

Ralf Peters, Jan Meißner, Joachim Pasel, Remzi Can Samsun,  
Detlef Stolten

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Vorwort.....</b>                                                                                              | <b>1</b>  |
| <b>1. Einleitung .....</b>                                                                                       | <b>3</b>  |
| <b>2. Kurzdarstellung.....</b>                                                                                   | <b>5</b>  |
| <b>2.1 ELFA Systemanforderungen und Integrationsaspekte für elektrische Luftfahrzeuge .....</b>                  | <b>5</b>  |
| <b>2.2 Das Teilprojekt BREZEN.....</b>                                                                           | <b>6</b>  |
| <b>2.3 Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele der F&amp;E-Arbeiten .....</b>                         | <b>7</b>  |
| 2.3.1 Geplante wissenschaftlich-technische Inhalte.....                                                          | 7         |
| 2.3.2 Änderungen der Rahmenbedingungen im Laufe des Projektes .....                                              | 11        |
| 2.3.3 Einbindung des Projektes BREZEN in die Projektfamilie APAWAGS, BATI und BRINKS .....                       | 13        |
| <b>2.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....</b>                                | <b>14</b> |
| 2.4.1 Auswahl des Brennstoffzellentyps .....                                                                     | 14        |
| 2.4.1.1 PEFC mit Nafion-Membranen (Arbeitstemperatur: 60 - 80°C).....                                            | 14        |
| 2.4.1.2 SOFC mit keramischem Elektrolyten (Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -stabilisiertes ZrO <sub>2</sub> )..... | 15        |
| 2.4.1.3 HT-PEFC mit PBI-Membranen (Arbeitstemperatur: 160 – 200 °C).....                                         | 16        |
| 2.4.2 Bevorzugte Prozessrouten.....                                                                              | 16        |
| 2.4.3 Stand der Technik auf dem Gebiet der Reformierung .....                                                    | 17        |
| 2.4.4 Stand der Technik auf dem Gebiet der Stacktechnik .....                                                    | 18        |
| 2.4.5 Stand der Technik auf dem Gebiet der HT-PEFC -Systemtechnik.....                                           | 23        |
| <b>2.5 Themenschwerpunkte des Berichts .....</b>                                                                 | <b>24</b> |
| <b>3. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse .....</b>                                                           | <b>25</b> |
| <b>3.1 Komponentenentwicklung .....</b>                                                                          | <b>25</b> |
| 3.1.1 Autothermer Reformer .....                                                                                 | 25        |
| 3.1.2 Wasser-Gas-Shiftreaktor .....                                                                              | 26        |
| 3.1.3 Katalytbrenner .....                                                                                       | 27        |
| <b>3.2 Experimentelle Erprobung .....</b>                                                                        | <b>30</b> |
| 3.2.1 Laborinfrastruktur und Tanklager.....                                                                      | 30        |
| 3.2.2 Autotherme Reformierung.....                                                                               | 31        |
| 3.2.2.1 Betriebsverhalten ATR 9.1.....                                                                           | 31        |
| 3.2.2.2 Langzeitstabilität ATR 9.1.....                                                                          | 36        |
| 3.2.2.3 Langzeitstabilität ATR 9.2.....                                                                          | 37        |
| 3.2.2.4 Spurenbestimmung von Kohlenwasserstoffen im Reformat .....                                               | 38        |
| 3.2.3 Wasser-Gas-Shift-Reaktor.....                                                                              | 44        |

|            |                                                                                      |           |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.4      | Katalytbrenner (CAB 2.2, CAB 2.3).....                                               | 45        |
| <b>3.3</b> | <b>Systementwicklung der Brenngaserzeugung.....</b>                                  | <b>49</b> |
| 3.3.1      | <i>Basic Engineering</i> : statische Auslegung des Package 1.....                    | 49        |
| 3.3.2      | <i>Basic Engineering</i> : statische Auslegung des Package 2.....                    | 50        |
| 3.3.3      | <i>Basic Engineering</i> : dynamische Auslegung .....                                | 50        |
| <b>3.4</b> | <b>Packageentwicklung.....</b>                                                       | <b>52</b> |
| 3.4.1      | Package 1 .....                                                                      | 53        |
| 3.4.2      | Design-Studie .....                                                                  | 54        |
| 3.4.3      | Package 2 .....                                                                      | 54        |
| 3.4.4      | Experimentelle Erprobung von Package 1.....                                          | 56        |
| 3.4.4.1    | Packagebetrieb ohne Katalytbrenner .....                                             | 56        |
| 3.4.4.2    | Packagebetrieb mit Katalytbrenner .....                                              | 58        |
| 3.4.5      | Auswertung der Ergebnisse.....                                                       | 60        |
| 3.4.5.1    | Qualitative Analyse der Wasserverdampfung im Katalytbrenner.....                     | 60        |
| 3.4.5.2    | Quantitative Analyse der Ergebnisse der Versuche IV-VII .....                        | 60        |
| 3.4.5.3    | Quantitative Analyse der Ergebnisse der Versuche VIII-IX .....                       | 63        |
| 3.4.6      | Experimentelle Erprobung von Package 2 .....                                         | 64        |
| <b>4.</b>  | <b>Entwicklungsstand 2013 auf dem Gebiet der Brenngaserzeugung<br/>am IEK-3.....</b> | <b>69</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Autotherme Reformierung .....</b>                                                 | <b>69</b> |
| 4.1.1      | Komponentenentwicklung.....                                                          | 69        |
| 4.1.2      | Vergleich mit anderen Forschungs- und Entwicklungsergebnissen.....                   | 70        |
| 4.1.3      | Benchmark .....                                                                      | 73        |
| <b>4.2</b> | <b>Shiftreaktion.....</b>                                                            | <b>75</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Katalytbrenner .....</b>                                                          | <b>76</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Systemtechnik .....</b>                                                           | <b>76</b> |
| <b>5.</b>  | <b>Zusammenfassung .....</b>                                                         | <b>79</b> |
| <b>6.</b>  | <b>Literatur .....</b>                                                               | <b>81</b> |

**Energie & Umwelt /  
Energy & Environment  
Band / Volume 302  
ISBN 978-3-95806-114-9**

