

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Abschlussbericht

ZE: <b>Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE</b>	Förderkennzeichen: <b>01FS14015</b>
Vorhabenbezeichnung: <b>VariPrüfBZ – Untersuchung der Variabilität von Prüfmethoden und Randbedingungen zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Brennstoffzellenprüfungen nach der DIN EN IEC 62282-2</b>	
Laufzeit des Vorhabens: <b>01.09.2014 – 28.02.2017</b>	
Autor: <b>Thomas Jungmann</b>	



Quelle: balticFuelCells



Quelle: HOPPECKE



Quelle: Ballard



Quelle: Proton Motor

## Inhaltsverzeichnis

1	Kurzdarstellung .....	3
1.1	Aufgabenstellung .....	3
1.2	Voraussetzungen für die Vorhabendurchführung .....	3
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	3
1.4	Basis des wissenschaftlich-technischen Standes .....	4
1.5	Konstruktionen, Verfahren, Schutzrechte als Basis für das Vorhaben .....	4
1.6	Verwendete Fachliteratur und Informationsdienste .....	4
1.7	Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	5
2	Detailldarstellung .....	6
2.1	Abstract .....	6
2.2	Ergebnisse .....	6
2.2.1	Prüfungsvorbereitung und –planung .....	6
2.2.2	Durchführung der Prüfungen .....	9
2.2.3	Statistische Auswertung .....	10
2.2.4	Ermittlung der Verfahrenskennwerte .....	14
2.2.5	Bewertung der Untersuchung .....	15
2.2.6	Transfer und Verwertung der Ergebnisse .....	15
2.3	Fazit Ergebnisbericht .....	15
2.4	Nutzen und Verwertbarkeit .....	16
2.5	Themenverwandte Fortschritte bei anderen Stellen .....	16
2.6	Geplante Veröffentlichung .....	16
Anhang	.....	17
Anhang 1	.....	18
Anhang 2	.....	19

# 1 Kurzdarstellung

Zu Beginn wird ein kompakter Überblick zu verschiedenen projektspezifischen Punkten gegeben.

## 1.1 Aufgabenstellung

Ziel dieses Verbundprojektes mit den Partnern ZBT (Koordinator), DLR-VE (ehemals NEXT ENERGY) und Fraunhofer ISE war es herauszufinden, ob die normgerechte Charakterisierung von Brennstoffzellenmodulen in unterschiedlichen Laboren zu gleichen oder zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Diese Überprüfung erfolgte anhand von Ringversuchen mit Prüflingen, die als kommerzielle Produkte der Spezifikation der betrachteten internationalen Norm DIN EN 62282-2 „Brennstoffzellentechnologien – Teil 2: Brennstoffzellenmodule (IEC 62282-2:2012)“ entsprechen. In diesem Vorhaben wurde der Fokus auf die Überprüfung von Leistungskennwerten gelegt. Die genannte Norm hat bisher keine Definition für Leistungskennwertprüfungen hinterlegt, was einerseits den forschungsrelevanten Ansatz bildet und andererseits perspektivisch in diese Norm eingearbeitet werden soll. Dafür ist während der Projektlaufzeit eine Working Group im internationalen Komitee der IEC, dem TC 105, unter Leitung des Projektpartners DLR-VE (ehemals NEXT ENERGY) gegründet worden.

Die Herangehensweise erfolgte über eine Literaturrecherche und das Erstellen einer Parameter-Querempfindlichkeitsmatrix. Die Ringversuche wurden so konzipiert, dass derjenige Projektpartner, der mit dem entsprechenden Prüfling begonnen hat, diesen dann final noch einmal charakterisiert. Ziel bei den Ringversuchen war keine Charakterisierung hinsichtlich Degradation, sondern eine definierte Überprüfung der von den Herstellern gegebenen Leistungsdaten. Mit diesen Vergleichsprüfungen sollten die Querempfindlichkeiten und Abhängigkeiten einzelner Parameter, die Variabilität der Prüfmethode als auch die Wiederhol- und Vergleichspräzision der Messergebnisse ermittelt werden. Dabei wurden auch die Umgebungsbedingungen mit betrachtet, um diese Einflüsse ebenfalls mit zu vergleichen. Alle erhaltenen Ergebnisse sind einer statistischen Betrachtung unterzogen worden, um eine Priorisierung der Einflussparameter vornehmen zu können. Des Weiteren wurden die Ergebnisse hinsichtlich der Messunsicherheit betrachtet. So sollte es möglich sein ebenfalls etwaige Einflüsse aus den Messungen an den unterschiedlichen Standorten und an verschiedenen Testständen genauer beurteilen zu können.

## 1.2 Voraussetzungen für die Vorhabendurchführung

Voraussetzung für die Vorhabendurchführung war die Expertise des Konsortiums, welche zum Teil aus vorangegangenen Projekten sowie aus der Arbeit in nationalen und internationalen Normungsgremien bekannt war. So konnten im EU-Projekt „Stack-Test“ erste Erfahrungen in der systematischen Leistungskennwertprüfung sowie in der Strukturierung von Ringversuchen erhalten werden. Aus diesem Projekt ist beispielsweise der Antrag zur Erweiterung der Norm DIN EN 62282-2 hinsichtlich der Leistungskennwertprüfung entstanden.

## 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Hier werden die Überlegungen zum Projektablauf für das Fraunhofer ISE dargestellt.

- Durchführung einer Literaturstudie zur Zusammenfassung der wesentlichen Parameter, deren Querempfindlichkeiten einen Einfluss auf die Leistung der Brennstoffzelle haben
- Erarbeitung eines Prüf- und Parameterprotokolls für die in den Ringversuchen durchzuführenden Leistungskennwertprüfungen (alle Projektpartner)
- Definition und Beschaffung der Prüflinge
- Durchführung der Prüfungen an allen Prüflingen inklusive Abschlussprüfung eines Stacks
- Erarbeitung einer Tabelle zur Bestimmung der Messunsicherheiten
- Einheitliche Auswertung der Messergebnisse (graphisch, statistisch)
- Präsentation der Projektergebnisse in Workshops

Alle erarbeiteten Vorschläge wurden innerhalb des Konsortiums diskutiert und weiterentwickelt. Die in der Detaildarstellung vorgestellten Ergebnisse sind – sofern nicht anders angegeben – die finalen Versionen.

## **1.4 Basis des wissenschaftlich-technischen Standes**

Innerhalb des Bereiches Wasserstofftechnologien am Fraunhofer ISE beschäftigt sich die Abteilung Brennstoffzellensysteme mit Energieversorgungen im kleineren und mittleren Leistungsbereich. In dieser Gruppe arbeiten ca. 30 Mitarbeiter an der Entwicklung von PEM-Brennstoffzellen, sowie der Modellierung, Charakterisierung und Simulation von Membranbrennstoffzellen. Basierend auf diesen Erfahrungen sowie dem Wissen der aktuellen normativen Definitionen aus der aktiven Mitarbeit in den entsprechenden nationalen (DKE K 384) und internationalen (IEC TC 105) Gremien hat sich herausgestellt, dass speziell eine Festlegung von Leistungskennwertprüfungen für die Beurteilung und den bestimmungsgemäßen Einsatz von Brennstoffzellenmodulen notwendig ist, um kommerzielle Produkte auch korrekt zu nutzen und in erweiterte Systeme mit einbinden zu können.

## **1.5 Konstruktionen, Verfahren, Schutzrechte als Basis für das Vorhaben**

Für dieses Verbundprojekt war es nicht notwendig bestehende Patente, Konstruktionen oder Verfahren zu berücksichtigen. Aufgrund des Einsatzes von kommerziellen Brennstoffzellenmodulen als Prüflinge musste sichergestellt werden, dass während des Projektes keine Veränderungen an diesen vorgenommen werden.

## **1.6 Verwendete Fachliteratur und Informationsdienste**

Innerhalb der Projektlaufzeit wurden die aktuellen Entwicklungen in den Themengebieten der Leistungskennwertprüfung, der Messunsicherheitsbetrachtungen sowie der normativen Aktualisierungen, speziell in der internationalen Normengruppe DIN EN 62282, beobachtet und gegebenenfalls berücksichtigt. Dabei wurden im Wesentlichen folgende Quellen herangezogen:

- Aktuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen: ScienceDirect Internetbibliothek (<http://www.sciencedirect.com>)
- Aktuelle Normungsarbeit: International Electrotechnical Commission ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## ***1.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen***

Die Erreichung des Projektzieles konnte vollständig durch die Projektpartner gewährleistet werden. Es war daher nicht notwendig andere Partner zu beauftragen.

## 2 Detaildarstellung

In Kapitel 2 wird detailliert auf alle erhaltenen Ergebnisse eingegangen sowie ein Überblick zum allgemeinen Stand der Technik gegeben.

### 2.1 Abstract

Innerhalb des Projektes VariPrüfBZ wurde erfolgreich eine Leistungskennwertprüfung für Brennstoffzellenmodule erarbeitet. Diese wurde mit kommerziellen Produkten des Typs PEM-Brennstoffzelle in Ringversuchen validiert. Die dabei erhaltenen Ergebnisse wurden systematisch ausgewertet und beurteilt. Basis der Leistungskennwertprüfung war ein innerhalb des Projektes erarbeitetes Prüfprotokoll, das sowohl aussagekräftig als auch kompakt gestaltet werden konnte. Einfluss auf die erarbeitete Leistungskennwertprüfung hatte weiterhin eine Querempfindlichkeitsmatrix, die anhand einer Literaturrecherche das Fraunhofer ISE erstellt wurde. Dabei lag der Fokus auf der Möglichkeit der Vergleichbarkeit der Ergebnisse ohne, dass die Prüflinge während des Ringversuches einer Alterung unterzogen wurden, die eine Verfälschung der Ergebnisse zur Folge gehabt hätte. Alle erhaltenen Resultate wurden systematisch ausgewertet. Dies geschah sowohl tabellarisch für ausgewählte Messwerte, als auch graphisch. Für die tabellarische Auswertung wurde eine Messunsicherheitsbetrachtung durchgeführt, um die Einflüsse und Genauigkeiten der verschiedenen Parameter zu berücksichtigen und miteinander vergleichen zu können. Aus der graphischen Auswertung konnten dann die wesentlichen Verfahrenskennwerte extrahiert werden, was eine Priorisierung der Ergebnisse ermöglichte.

Die Projektergebnisse wurden in verschiedenen Workshops sowie einem Abschlussworkshop präsentiert und mit Interessierten diskutiert.

### 2.2 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Fraunhofer ISE, die in diesem Verbundprojekt erzielt wurden, im Detail vorgestellt. Dabei werden exemplarisch auch Versuchsergebnisse sowie die Herangehensweise der Erstellung der Querempfindlichkeitsmatrix sowie der systematischen Auswertung, die laut dem Projektantrag vom Fraunhofer ISE durchgeführt werden sollten, dargestellt.

#### 2.2.1 Prüfungsvorbereitung und –planung

In diesem Abschnitt werden die Zuarbeiten des Fraunhofer ISE, Auflistung der Einflussfaktoren, Benennen der Querempfindlichkeiten und Erarbeitung einer Matrix der auftretenden Parameter, dargelegt. Des Weiteren werden die Prüflinge, die das Fraunhofer ISE innerhalb des Projektes beschafft hat, vorgestellt. Alle vorgestellten Ergebnisse sind Teil des Arbeitspaketes 1.

##### 2.2.1.1 Auflistung der Einflussfaktoren

Für die Literaturrecherche wurden die wesentlichen Faktoren, die die Leistungskennwerte einer Brennstoffzelle (BZ) beeinflussen, evaluiert. Diese sind:

- Druck (Differenzdruck A / K, beidseitiger Überdruck)
- Temperatur (Betriebstemperatur, Umgebungstemperatur)
- Stöchiometrie
- Feuchte (beidseitig identisch, einseitig erhöht)
- Gasqualität (Wasserstoff)
- Wasserhaushalt (stabiler Arbeitspunkt)
- Materialien (BPP, 7-Lagen-MEA)

Daraus wurde eine erste theoretische Bewertung hinsichtlich ihres Einflusses untereinander durchgeführt. Dieser ist in Abbildung 1 dargestellt.

	Einfluss auf die Leistung der BZ			
	stark	mittel	gering	untergeordnet
Druck (Differenzdruck A / K, beidseitiger Überdruck)		X		
Temperatur (Betriebstemperatur, Umgebungstemperatur)	X			
Stöchiometrie			X	
Feuchte (beidseitig identisch, einseitig erhöht)		X		
Gasqualität (Wasserstoff)		X		
Wasserhaushalt (stabiler Arbeitspunkt)		X		
Materialien (BPP, 7-Lagen-MEA)				X

Abbildung 1: Erste Zusammenfassung der Einflussparameter

Anhand der Literaturrecherche und aufgrund von Diskussionen innerhalb des Konsortiums haben sich die ersten Bewertungen teilweise nicht bestätigt, so dass auftretende Abweichungen in der nachfolgend aufgeführten Matrix erklärbar sind. Die so validierten Ergebnisse wurden dann bindend für die weiteren Betrachtungen innerhalb des Projektes angesehen.

### 2.2.1.2 Querempfindlichkeiten und Parametermatrix

Basierend auf den ermittelten Einflussfaktoren wurde die Matrix hinsichtlich des Potenzials zur Verbesserung oder Verschlechterung der Leistung der Brennstoffzelle bewertet und dokumentiert. Dabei sind auch die wichtigsten Literaturquellen mit angegeben. Abbildung 2 zeigt die abschließende Querempfindlichkeitsmatrix. Dabei wurde festgestellt, dass die Beeinflussung der Wasserstoffqualität auf das Leistungsverhalten bisher in der Literatur nicht auftaucht.

Beteiligte Parameter	Einfluss auf die Leistung der BZ				Quelle
	Verbesserung im vgl zu vorheriger Variation	Verbesserung	Neutral	Verschlechterung	
Einströmende Gase sind befeuchtet		x			M.G. Santarelli, M.F. Torchio; Experimental analysis of the effects of the operating variables on the performance of a single PEMFC (2006); Energy Conversion & Management
Steigerung der Zelltemperatur im Bereich 50-80°C					
Hohe Zelltemperatur		x			
Steigerung Feuchte					
Geringe Zelltemperatur				x	
Steigerung Feuchte					
Erhöhung Druck		x			
Trockene Ströme				x	
Feuchte Anode (Verbesserung im vgl zu trocken)	x				
Trocken			x		
Erhöhung des Drucks					
Feuchte Anode		x			
Erhöhung des Drucks					
Feuchte Anode und Kathode					
Erhöhung des Drucks	x				
Betriebstemperatur höher als Temperatur des Gasbefeuchtungsstroms				x	Lin Wang, Attila Husar, Tianhong Zhou, Hongtan Liu; A parametric study of PEM fuel cell performances (2003); International Journal of Hydrogen Energy
Temperatur der Kathodenbefeuchtung			x		
Luftstöchiometrien unter 2 sollten verhindert werden		x			M.G. Santarelli, M.F. Torchio, M. Cali, V. Giaretto; Experimental analysis of cathode flow stoichiometry on the electrical performance of a PEMFC stack (2006); International Journal of Hydrogen Energy
Steigerung der Wasserstoff-Durchflussrate		x			K. Latha, S. Vidhya, B. Umamaheswari, N. Rajalakshmi, K.S. Dathathreyan; Tuning of PEM fuel cell model parameters for prediction of steady state and dynamic performance under various operating
Steigerung der Luft-Durchflussrate		x			
Optimum conditions within the selected parameter values are 5 bar for pressure, 75 °C for humidifiers temperature, 1/2 for flow rate ratios of H2 to O2 and 75 °C for fuel cell temperature					Süleyman Kaytakoğlu, Levent Akyalçın; Optimization of parametric performance of a PEMFC (2007); International Journal of Hydrogen Energy
In Regionen höherer Reaktionsraten Katalysator verwenden		x			Ramin Roshandel*, Farzad Ahmadi; Effects of catalyst loading gradient in catalyst layers on performance of polymer electrolyte membrane fuel cells (2013); Renewable Energy
Flow Field: Metallschaum in mehrere Regionen aufteilen, die Einlässe effektiv nutzen		x			Bin-Tsang Tsai, Chung-Jen Tseng, Zhong-Sheng Liu, Chih-Hao Wang, Chun-I Lee, Chang-Chung Yang, Shih-Kun Lo; Effects of flow field design on the performance of a PEM fuel cell with metal foam as the flow distributor (2012); International Journal of Hydrogen Energy
Verbesserung der Gasqualität		x			???

Abbildung 2: Querempfindlichkeitsmatrix für die Leistungskennwertprüfung an PEM-Brennstoffzellen

### 2.2.1.3 Prüfprotokoll

Anhand der vorgestellten Querempfindlichkeitsmatrix wurde ein Prüfprotokoll erarbeitet, welches sowohl eine Strom-Spannungs-Kennlinie als auch verschiedene Lastpunkte beinhaltet. Bei der Definition der Strom-Spannungs-Kennlinie wurden auch die Erfahrungen aus dem Projekt Stack-Test berücksichtigt. Für die Auswahl der Lastpunkte wurden im realen Betrieb typische Belastungen hinterlegt. Zu Beginn und zum Abschluss der Charakterisierung erfolgt das Anfahren eines Referenzpunktes, um mögliche leistungsbeeinflussende Effekte festzustellen. In Abbildung 3 ist der Verlauf eines Prüflaufes dargestellt. Für die Ringversuche wurde dieser Prüflauf mindestens 5-mal wiederholt, um später bei der Auswertung eine grundsätzliche statistische Beurteilung durchführen zu können.



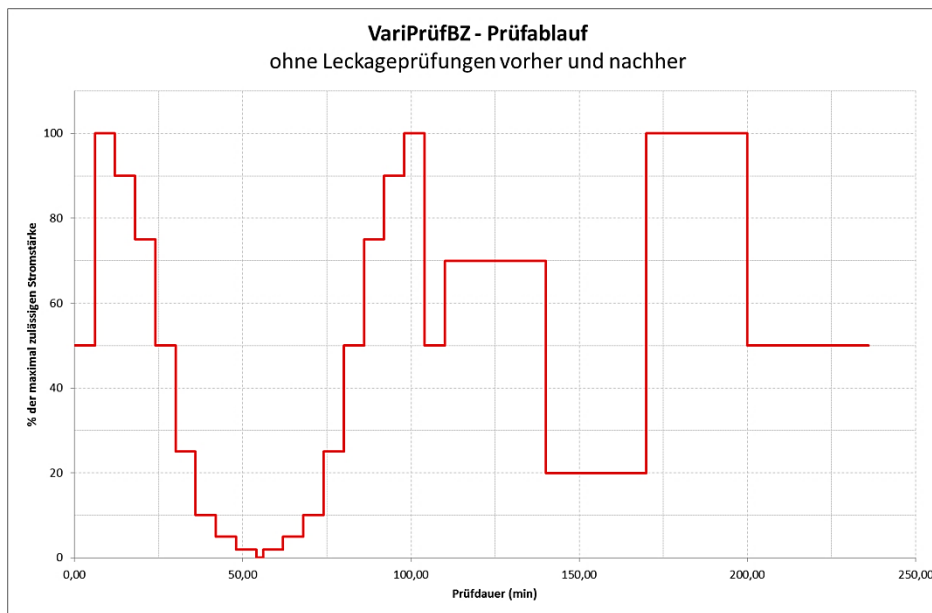


Abbildung 3: Einzelner Prüfablauf für die Ringversuche im Projekt VariPrüfBZ

### 2.2.1.4 Prüflinge

Für die Durchführung der Prüfläufe hat jeder Projektpartner verschiedene Prüflinge beschafft bzw. zur Verfügung gestellt. Das Fraunhofer ISE hat dabei einen luftgekühlten PEM-Brennstoffzellenstapel vom Typ ACS1020 mit einer Leistung von 1 kWel der Firma Ballard Power Systems sowie einen flüssigkeitsgekühlten PEM-Brennstoffzellenstapel vom Typ PM 200 mit einer Leistung von 4 kWel der Firma Proton Motor Fuel Cell GmbH in das Projekt eingebracht. Bilder dieser beiden Prüflinge sind auf der Titelseite zu sehen. Beide Prüflinge entsprechen der Definition für Brennstoffzellenmodule gemäß der Norm DIN EN 62282-2. Die beiden anderen validierten Prüflinge wurden durch die Projektpartner ZBT und DLR-VE (ehemals NEXT ENERGY) zur Verfügung gestellt.

### 2.2.2 Durchführung der Prüfungen

Nach Abschluss der vorbereitenden Arbeiten wurde ein geeigneter Teststand des Fraunhofer ISE ausgewählt, kalibriert und anschließend in Betrieb genommen. An diesem Teststand wurden alle Validierunguntersuchungen innerhalb des Projektes VariPrüfBZ durchgeführt. Abbildung 4 zeigt diesen Teststand.

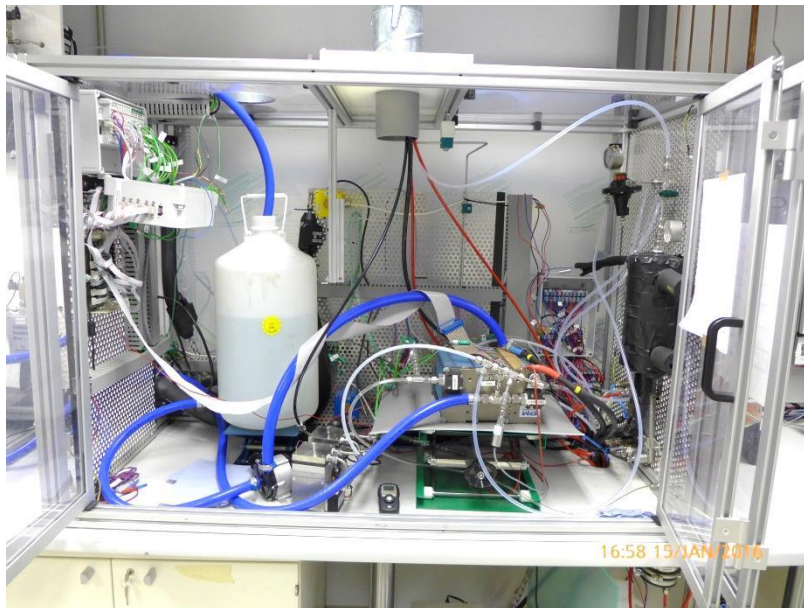


Abbildung 4: Teststand des Fraunhofer ISE zur Validierung im Projekt VariPrüfBZ

Bei der Durchführung der Prüfläufe kam es zu keinen grundlegenden Problemen. Anhand der Erfahrungen, die alle Projektpartner während der Ringversuche gesammelt hatten, wurden verschiedene Anpassungen in den Abläufen vorgenommen, wobei der entwickelte Prüflauf (siehe Abbildung 3) nicht verändert werden musste. Ein beispielhafter Prüflauf am Beispiel des Prüflings Ballard ACS1020 wird in Abbildung 5 vorgestellt.

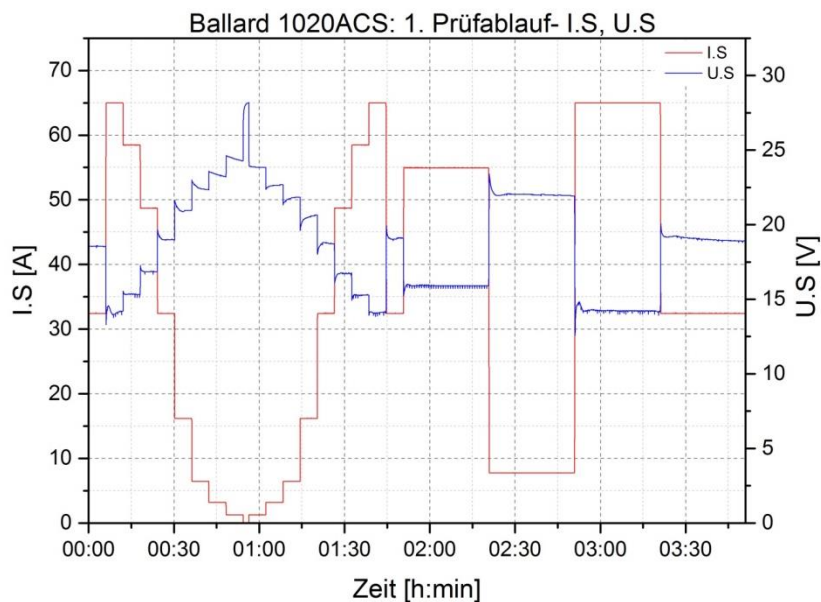


Abbildung 5: Strom-Spannungsverlauf eines Prüflings im Projekt VariPrüfBZ

## 2.2.3 Statistische Auswertung

Nach der Durchführung der Prüfungen (Prüfabläufe) wurden diese statistisch ausgewertet, um einerseits systematisch die Varianz der wiederholend durchgeführten Prüfabläufe miteinander vergleichen zu können

und um andererseits innerhalb des Konsortiums die Ergebnisse einfacher beurteilen zu können. Dafür wurden nach dem ersten Ringversuch durch das Fraunhofer ISE verschiedene Graphen zur Visualisierung der Messergebnisse erarbeitet. Diese beinhalten sowohl die einzelnen Prüfläufe als auch verschiedene Vergleiche der gesamten Messkampagne. Die Auswertung wurde den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Abbildung 6 zeigt beispielhaft die vergleichende Auswertung der Strom-Spannungs-Kennlinien für den Brennstoffzellenstapel PM 200. Insgesamt wurden folgende graphische Auswertungen durchgeführt:

- Gesamter Prüfablauf: Strom und Spannung über die Zeit
- Alle Einzelspannungen über die Zeit
- Einzelspannungen min., max., mittel über die Zeit
- Temperaturen am Brennstoffzellenstapel über die Zeit
- Strom-Spannungs-Kennlinie: Mittlere Stapelspannung und Mittelwert aus der Summe der Einzelspannungen
- Vergleich der Strom-Spannungs-Kennlinien aller Prüfläufe des jeweiligen Prüflings
- Mittlere Stapelspannungen bzw. mittlere Einzelspannungen in Abhängigkeit von ausgewählten Lastpunkten (s. Abbildung 7)
- Prozentuale Abweichung ausgewählter Lastpunkte der einzelnen Messungen innerhalb eines Labors.

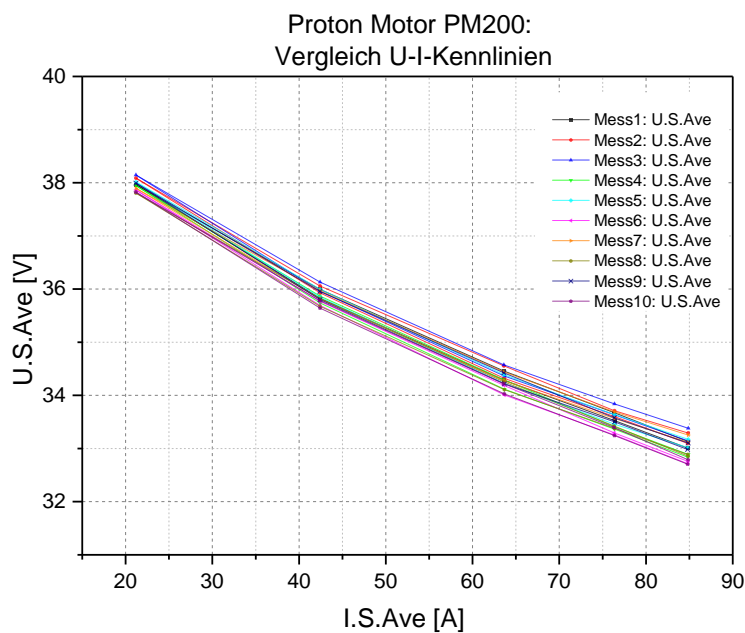


Abbildung 6: Vergleich der Strom-Spannungs-Kennlinien innerhalb des Ringversuches am Fraunhofer ISE

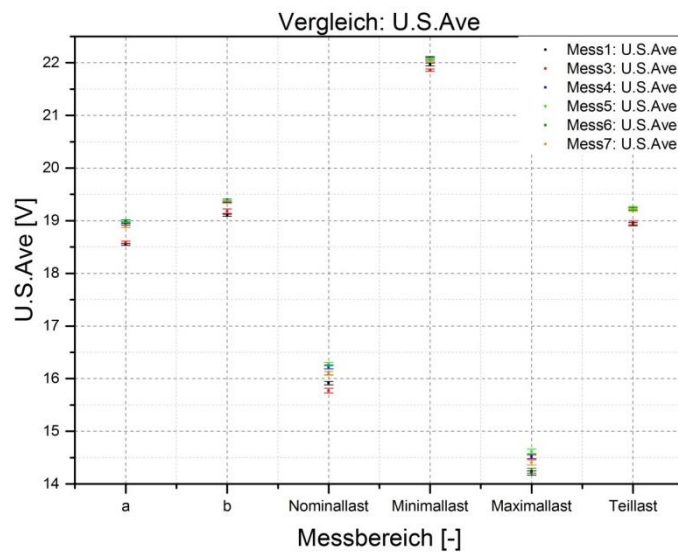


Abbildung 7: Beispiel für den Vergleich der mittleren Stapelspannungen ausgewählter Lastpunkte der einzelnen Messungen innerhalb eines Labors. Hier Fraunhofer ISE, Ballard ACS1020

Für die Ermittlung der Kennwerte aus den Ringversuchen wurde im Konsortium beschlossen, jeweils das letzte Drittel eines Messwertes in die Auswertung einzubeziehen. Um die Messwerte miteinander vergleichen zu können und um mögliche Fehlerursachen näher bestimmen zu können, wurde ein Fehlerberechnungstool erarbeitet. Dieses wird in den Parameterprotokollen angewandt, in dem daraus die Messunsicherheit der einzelnen Werte bestimmt wird. In Abbildung 8 ist dieses Tool übersichtsweise dargestellt.



## 2.2.4 Ermittlung der Verfahrenskennwerte

Basierend auf den statistischen Ergebnissen wurden im Projektkonsortium Überlegungen zu möglichen Verfahrenskennwerten und deren statistischer Variabilität hinsichtlich Messverfahren, Labor, Bediener oder Prüfstand durchgeführt. So wurde ein deutlicher Einfluss der Prüfläufe auf die Ergebnisse festgestellt, was in unterschiedlichen Kennlinienverläufen der einzelnen Labore zu erkennen ist.

Unter der Annahme, dass die sogenannten Verfahrenskennwerte als Mittel zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Brennstoffzellenmoduls gemäß der existierenden Datenblätter herangezogen werden, ist eine Übersicht von dem Projektkonsortium sinnvoll erscheinender zulässiger Abweichungen entstanden. Diese wird in Abbildung 9 vorgestellt. Die darin festgelegten Genauigkeiten sind einerseits aus den Projektergebnissen und andererseits aus bereits existierenden Dokumenten (bspw. aus der 62282er Normenreihe oder dem Projekt Stack-Test) entstanden und stellen eine Empfehlung für die Mindestanforderungen an Teststände und Laborumgebungen für die Charakterisierung von Leistungskennwerten von PEM-Brennstoffzellenmodulen dar.

	Selektion aus 62282er Normenreihe	Vorschlag VariPrüfBZ	Allgemeine Bemerkungen
<b>Prüfumgebung</b>			
Temperatur (Standort)	20°C ± 5°C	25°C ± 15°C	während der Messung
Absolutdruck (Standort)	± 0,5 %	91 kPa (abs) bis 106 kPa (abs)	
relative Luftfeuchte (Standort)	65 % ± 20 %	50 % ± 25 %	
<b>Messparameter</b>			
Strom (Modulaustritt)	± 0,5 %	± 1 %	bezogen auf den maximalen Strom laut Datenblatt
Spannung (Modulaustritt)	± 0,5 %	± 1 %	bezogen auf die maximale Spannung laut Datenblatt
Spannung (Einzelzelle)	± 0,5 %	± 1 mV	
Temperatur (Eingang Anode)	± 1°C	± 1°C (± 2°C)	Wert gilt, wenn der Parameter eine Regelgröße ist. Wenn der Parameter eine Messgröße ist, gilt der Wert in Klammern.
Temperatur (Ausgang Anode)	± 1°C	± 1°C (± 2°C)	
Temperatur (Eingang Kathode)	± 1°C	± 1°C (± 2°C)	
Temperatur (Ausgang Kathode)	± 1°C	± 1°C (± 2°C)	
Temperatur (Eingang Kühlmedium)	± 1°C	± 1°C (± 2°C)	
Temperatur (Ausgang Kühlmedium)	± 1°C	± 1°C (± 2°C)	
Temperatur (Oberfläche)	± 1°C	± 1°C (± 2°C)	
Flussrate (Anode)	± 0,5 %	± 0,5 %	
Flussrate (Kathode)	± 0,5 %	± 0,5 %	
Flussrate (Kühlmedium)	± 0,5 %	± 0,5 %	
Druck (absolut, Eingang Anode)	± 1 %	± 0,5 %	
Druck (absolut, Ausgang Anode)	± 1 %	± 0,5 %	
Druck (absolut, Eingang Kathode)	± 1 %	± 0,5 %	
Druck (absolut, Ausgang Kathode)	± 1 %	± 0,5 %	
Druck (absolut, Eingang Kühlmedium)	± 1 %	± 0,5 %	
Druck (absolut, Ausgang Kühlmedium)	± 1 %	± 0,5 %	
Aufzeichnungszeit	1 Hz	1 Hz	
<b>Sensorposition</b>			
Umgebungstemperatur		(20 ... 40) x (20 ... 40) x (20 ... 40) cm	oberhalb des Prüflings, nicht im Zu- oder Abluftstrang platzieren
(relative) Umgebungsfeuchte		(20 ... 40) x (20 ... 40) x (20 ... 40) cm	
Moduldruck (allgemein)		10 cm vom Prüflingsein- bzw. -ausgang	
Modultemperatur (allgemein)		10 cm vom Prüflingsein- bzw. -ausgang	

Abbildung 9: Übersicht zu den Verfahrenskennwerten, entwickelt im Projekt VariPrüfBZ

## 2.2.5 Bewertung der Untersuchung

Innerhalb des Verbundprojektes VariPrüfBZ konnte festgestellt werden, dass die während der Ringversuche erhaltenen Ergebnisse teilweise stark variieren. Einerseits lag dies daran, dass die Bedienungsanleitungen und Datenblätter der Hersteller lückenhaft waren und so eine einheitliche Beurteilung der Leistungskennwerte nicht immer gegeben war. Auf der anderen Seite war es herausfordernd einen Prüfablauf zu entwickeln, der sowohl für Brennstoffzellenstapel als auch –module gemäß der Definition in der Norm DIN EN 62282-2 angewendet werden kann. Die detaillierte (statistische) Auswertung der Ringversuche hat aber gezeigt, dass der entwickelte Prüflauf (siehe Abbildung 3) dafür geeignet scheint. Eine abschließende Bewertung ist schwierig, da aufgrund verschiedener Umstände (defekte Prüflinge, lange Reparaturzeiten) nur zwei Ringversuche abgeschlossen werden konnten. Nichtsdestotrotz werden die im Projekt erhaltenen Ergebnisse in der internationalen Arbeitsgruppe zum NWIP für die Leistungskennwertprüfung von PEM-Brennstoffzellenmodulen eingebracht. Diese Arbeitsgruppe wird vom DLR-VE (ehemals NEXT ENERGY) geleitet und auch das Fraunhofer ISE ist Teil dieser Arbeitsgruppe. Da diese Arbeitsgruppe während der Projektlaufzeit entstanden ist, hat das Konsortium entschieden zusätzlich kein direktes Empfehlungsschreiben zu einem Normentwurf zu formulieren.

## 2.2.6 Transfer und Verwertung der Ergebnisse

Das Fraunhofer ISE war, genauso wie die anderen Projektpartner, innerhalb der Projektlaufzeit in verschiedenen Gremien (z.B. Jahrestagung des DKE K 384 „Brennstoffzellen“, dem nationalen Spiegelgremium des IEC TC 105 und WHEC 2016, siehe Anhang 1) und Veranstaltungen (z.B. f-cell, Stuttgart) aktiv, um die Projektergebnisse zu diskutieren. Weiterhin hat das Projektkonsortium einen Abschlussworkshop durchgeführt. Der Flyer für diese Veranstaltung ist in Anhang 2 angehängt.

## 2.3 Fazit Ergebnisbericht

Im Projekt VariPrüfBZ konnte das Fraunhofer ISE nach der Entwicklung einer Querempfindlichkeitsmatrix einen wesentlichen Beitrag zur Erarbeitung des Prüflaufes sowie des Prüf- bzw. Parameterprotokolls leisten. Weiterhin konnten alle vier Prüflinge im Teststand des Fraunhofer ISE validiert und ausgewertet werden. Auf Basis dieser Auswertungen wurde ein Fehlerberechnungstool entwickelt, das es ermöglicht verschiedene Testparameter und Messwerte statistisch auszuwerten. Mit diesen Ergebnissen hat das Fraunhofer ISE einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg des Projektes geleistet.

Die aufgetretenen Probleme, die es nicht ermöglicht haben, einen Versuchsschluss aller Ringversuche zu realisieren, können Basis für die Bearbeitung eines Folgeprojektes sein, indem beispielsweise genaue Festlegungen zu den Inhaltsangaben ausgelieferter Brennstoffzellenmodule betrachtet werden. So könnte ein Beitrag dazu geleistet werden, dass minimale Anforderungen an die Voraussetzungen für Leistungskennwertprüfungen in unterschiedlichen Laboren getroffen werden. In diesem Zusammenhang sind auch die Verfahrenskennwerte noch einmal hinsichtlich ihrer Genauigkeit zu überprüfen.



## **2.4 Nutzen und Verwertbarkeit**

Mit den vorhandenen Ergebnissen sind die Voraussetzungen geschaffen, eine einheitliche normgerechte Überprüfung von Leistungskennwerten von PEM-Brennstoffzellenmodulen zu realisieren. Diese Prüfungen können dann laborübergreifend durchgeführt werden. Die Ergebnisse werden in der während der Projektlaufzeit entstandenen internationalen NWIP-Arbeitsgruppe „Fuel cell technologies - Part 2-201: Fuel cell modules - Performance (PEFC)“ vorgestellt werden.

## **2.5 Themenverwandte Fortschritte bei anderen Stellen**

Im Laufe des Projektes sind dem Konsortium keine vergleichbaren Arbeiten bekannt geworden.

## **2.6 Geplante Veröffentlichung**

Das abschließende Ergebnis des Gesamtprojektes wurde innerhalb des Abschlussworkshops (siehe Anhang 2) gemeinsam von allen Projektpartnern vorgestellt. Weiterhin werden die Arbeiten in der NWIP-Arbeitsgruppe präsentiert, so dass dort eine fundierte Basis zur Realisierung des Vorhabens gegeben werden kann.

In dem unter anderem von den Projektpartnern organisierten jährlichen nationalen Workshop „Zulassung – Zertifizierung – Normung im Bereich Brennstoffzellen und Wasserstoff“ werden die Ergebnisse ebenfalls vorgestellt und weiterentwickelt.

Eine Präsentation des bereits existierenden Brennstoffzellenservicelabors auf der Bereichs-Homepage des Fraunhofer ISE unter <https://www.ise.fraunhofer.de/de/servicebereiche/servicelab-fuel-cells.html> zu finden.



Gefördert durch:



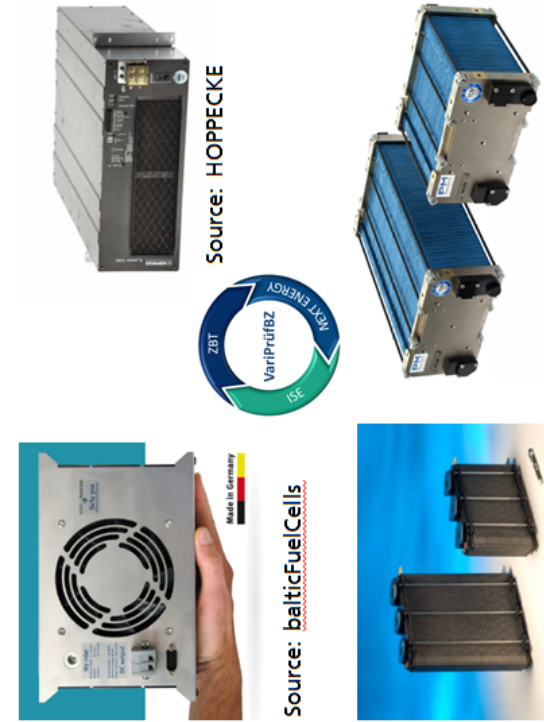
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Anhang

- 1) Titel des Vortrags auf der World Hydrogen Energy Conference WHEC 2016, Zaragoza, Spanien
- 2) Flyer des Abschlussworkshops im Projekt VariPrüfBZ 2017, Oldenburg, Deutschland

## Anhang 1

# COMPARABILITY OF DEVELOPED TEST PROCEDURES FOR PEMFC STACKS AND MODULES ANALYZED IN ROUND-ROBIN-TESTS



Thomas Jungmann, Corinna  
Harms, Katrin Nürnberg

Fraunhofer Institute for Solar  
Energy Systems ISE

21<sup>st</sup> WHEC 2016,  
Session Fuel Cell Stacks  
Zaragoza, 15.06.2016  
[www.h2-ise.com](http://www.h2-ise.com)

Source: Ballard

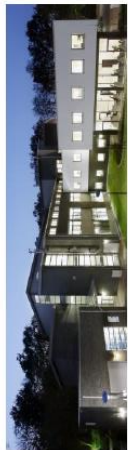
Source: Proton Motor

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Anhang 2



### Erfahrungsbericht der im Ringversuch ermittelten Leistungskennwerte

Referentin: Dr. Corinna Harms (NEXT ENERGY)

Das wesentliche Projektziel die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Brennstoffzellenprüfungen darzustellen, wird wie folgt präsentiert werden:

- Aufarbeitung der Messungen
- Darstellung der Messergebnisse die aus den durchgeführten Messungen vorliegen
- Statistische Aufbereitung der Messergebnisse
- Grafische Aufbereitung und Belegung der Gewichtungen für die zuvor festgelegten Verfahrenskennwerte.

Weiter sollen sowohl die Erfahrungen als auch der Transfer der Ergebnisse dargelegt werden.

### Organisation

Anmeldung bitte bis zum 10.02.2017 bei  
Dr. Corinna Harms unter  
corinna.harms@next-energy.de

Die Teilnahme ist kostenlos.

Veranstaltungsort:  
NEXT ENERGY - EWE-Forschungszentrum für  
Energietechnologie e. V.  
Carl-von-Ossietzky-Str. 15  
26129 Oldenburg

Anfahrt: [http://www.next-energy.de/  
institut/so-finden-sie-uns](http://www.next-energy.de/institut/so-finden-sie-uns)

Gefördert mit Mitteln des BMWi aus den  
Zuwendungen der Fördermaßnahme  
„TuIT – Technologie und Innovationstransfer“

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

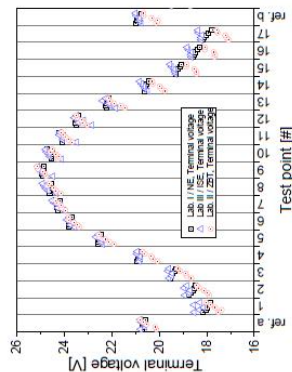


### Abschlussworkshop Projekt VariPrüfBZ

Untersuchung der Variabilität von  
Prüfmethoden und  
Randbedingungen zur  
Vergleichbarkeit der Ergebnisse  
von Brennstoffzellenprüfungen

**22.02.2017 14:30 - 16:30 Uhr**  
am

**EWE-Forschungszentrum für  
Energietechnologie NEXT ENERGY,  
Oldenburg**





## Ziel

Das hier vorgestellte Projekt durchgeführt von den Forschungsinstituten NEXT ENERGY, Fraunhofer ISE und ZBT zielt auf die Bewertung der Interpretationsmöglichkeit in der Variabilität der Umsetzung der Brennstoffzellenprüfungen, insbesondere der Leistungsprüfung von Brennstoffzellenmodulen. Durch systematische Untersuchungen der Prüfmethoden, -anweisungen und -ergebnisse in Ringversuchen soll der Spielraum in der Umsetzbarkeit der Prüfungen ermittelt werden. Für die Ringversuche wurden kommerzielle Brennstoffzellen-stapel und -Subsysteme verwendet.

Im Anschluss an die Vorträge wird ausreichend Zeit für Diskussionen und einen Erfahrungsaustausch sein.

Dieser Workshop findet im Anschluss an den 6. Workshop Zulassung - Zertifizierung - Normung von Brennstoffzellen statt.

## Agenda

- 14:30 – 14:45 Einführung in das Projekt VariPrüfBZ
- 14:45 – 15:10 Herangehensweise zur Vergleichbarkeit der Messergebnisse
- 15:10 – 15:35 Entwicklung eines vergleichbaren und rückführbaren Prüfablaufs für Ringversuche
- 15:35 – 16:00 Erfahrungsbericht der im Ringversuch ermittelten Leistungskennwerte
- 16:00 – 16:30 Feedback- und Diskussionsrunde



## Einführung in das Projekt VariPrüfBZ

Referent: Joachim Jungsbluth (ZBT)

Sowohl die Quersensitivitäten und Abhängigkeiten einzelner Parameter als auch die Variabilität der Prüfmethoden beeinflussen die Wiederhol- und Vergleichspräzision von Messergebnissen.

Für die Einführung in das Projekt VariPrüfBZ werden die Ausgangslage und anschließend die Hintergründe der bestehenden Variabilität in der Prüfauslegung der Leistungsmessung von Brennstoffzellenmodulen ausführlich beschrieben.

## Herangehensweise zur Vergleichbarkeit der Messergebnisse

Referent: Mario Koppers (ZBT)

Die Rückführbarkeit und der Vertrauensbereich von Messergebnissen bildet die Grundlage zu belastbaren Aussagen zur Leistungsfähigkeit von Prüflingen.

Mit diesem Fokus werden Dokumente zu Prüfständen, zu Kalibrierungen, zur Messkettendarstellung sowie Anweisungen zur Prüfmethode vorgestellt.



## Entwicklung eines vergleichbaren und rückführbaren Prüfablaufs für Ringversuche

Referent: Thomas Jungmann (Fraunhofer ISE)

Vorstellung des Prüfprotokolls zur Umsetzung der Vergleichs- und Ringversuche. Hierbei wurde auch auf Erfahrungen des EU-Projektes Stack-Test zurückgegriffen und diese praktisch angewendet.

Zielsetzung war es, ein Protokoll zu entwickeln das genügend Messdaten für den Vergleich der unterschiedlichen Messaufbauten erlaubt und so zielführend ermöglicht die Varianz der Prüfaufbauten zueinander zu identifizieren.

Eine der Herausforderungen bestand dabei in der Identifikation und Festlegung ausreichend präziser Stabilitätskriterien.

