

IEA AFC Annex 35: Brennstoffzellen für portable Anwendungen

Arbeitsperiode 2014 - 2017 V. Hacker, B. Cermenek

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

28/2017

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

IEA AFC Annex 35: Brennstoffzellen für portable Anwendungen

Arbeitsperiode 2014 - 2017

Assoc.Prof. Dr. Viktor Hacker
DI Bernd Cermenek, BSc
Technische Universität Graz
Institut für Chemische Verfahrenstechnik und
Umwelttechnik Brennstoffzellenlabor

Graz, April 2017

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1.	Kurzfassung	5
1.1.	Deutsche Kurzfassung	5
1.1.1.	Ausgangssituation/Motivation	5
1.1.2.	Inhalt und methodische Vorgehensweise	5
1.1.3.	Ergebnisse.....	6
1.2.	Englische Kurzfassung.....	7
1.2.1.	Motivation	7
1.2.2.	Content and approach.....	7
1.2.3.	Results	8
2.	Einleitung.....	9
3.	Hintergrundinformation zum Projektinhalt	10
4.	Ergebnisse des Projektes	12
4.1.	Beschreibung der Projektergebnisse.....	12
4.1.1.	Arbeitspaket 1: Projektmanagement und Öffentlichkeitsarbeit.....	12
4.1.2.	Arbeitspaket 2: System-, Stapel- und Zellentwicklung, Verlängerung der Lebensdauer für portable Brennstoffzellen	13
4.1.3.	Arbeitspaket 3: Vorleistungen.....	17
5.	Vernetzung und Ergebnistransfer	18
5.1.	IEA Vernetzungstreffen	18
5.2.	International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells	20
5.3.	International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells	21
5.3.1.	Student Poster Session / Poster Prize	22
6.	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	23
7.	Verzeichnisse	24
7.1.	Literaturverzeichnis.....	24
7.1.1.	Auflistung der peer-reviewed Publikationen innerhalb des Annex 35	24
7.1.2.	Beiträge in referierten Konferenz-Berichten/Proceedings und als Abstracts.....	25
7.1.3.	Vorträge im Rahmen wissenschaftlicher Veranstaltungen	27
7.1.4.	Posterpräsentationen im Rahmen wissenschaftlicher Veranstaltungen	27
7.2.	Abbildungsverzeichnis.....	29
7.3.	Tabellenverzeichnis	30
7.4.	Abkürzungsverzeichnis	30

1. Kurzfassung

1.1. Deutsche Kurzfassung

1.1.1. Ausgangssituation/Motivation

Annex 35 des Technology Collaboration Programm on Advanced Fuel Cells der International Energy Agency (IEA) umfasste den Austausch von Informationen und Forschungsergebnissen über die neuesten Entwicklungen im Bereich der portablen Brennstoffzellen, wie zum Beispiel der Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle (DEFC). Neben der Systementwicklung werden die Herstellung der Membran-Elektroden-Einheit (MEE), die Systemkomponenten wie der elektrische Konverter oder die Gasversorgung, der Aufbau und die Auslegung von Hybriden, sowie die Aspekte der Sicherheit und Normierung behandelt.

Der Schwerpunkt liegt, aufgrund der Vorteile für den Benutzer, auf Niedertemperatur- und Direkt-Alkohol-Brennstoffzellen. Das Ziel des Projektes war es hocheffiziente, stabile und kostengünstige Zellkomponenten für die portablen Brennstoffzellen (insbesondere DEFC und DBFC) zu entwickeln, um deren Lebensdauer sowie deren Leistungsdichten zu verbessern.

1.1.2. Inhalt und methodische Vorgehensweise

Die DEFC sowie die DBFC wurden für portable Anwendungen entwickelt.

Die Themen der Subtasks des Annex 35 waren:

- Systemanalyse und Hybridisierung
- System-, Stapel- und Zellentwicklung
- Codes und Normen, Sicherheitsbedingungen, Brennstoffe und deren Verpackung, Transport
- Verlängerung der Lebensdauer für portable Brennstoffzellen

Die Forschungstätigkeit der TU Graz im Annex 35 konzentrierte sich vorwiegend auf Subtask 2 „System-, Stapel- und Zellentwicklung“ und Subtask 4 „Verlängerung der Lebensdauer für portable Brennstoffzellen“.

Die Entwicklung und Charakterisierung neuer Materialien für Brennstoffzellen, die flüssige Energieträger wie Ethanol und NaBH₄ effizient in elektrische Energie umwandeln, wurden in der Periode vom 2014-2017 thematisiert.

Die Kosten wurden durch neue Herstellungsverfahren sowie durch den Einsatz von günstigeren Materialien für die Brennstoffzellenkomponenten reduziert. Im Rahmen des Projektes „e!Polycat“ wurden für die Verbesserung der Leistung der alkalischen DEFC mehrstufige Verfahren zur Herstellung von Pt-freien Anodenkatalysatoren und Polysaccharid-Membranen basierend auf Kompositmaterialien entwickelt. Die synthetisierten Komponenten wurden in Form einer MEE (siehe Abbildung 1, links) in einer Einzelzelle (siehe Abbildung 1, rechts) bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen untersucht.

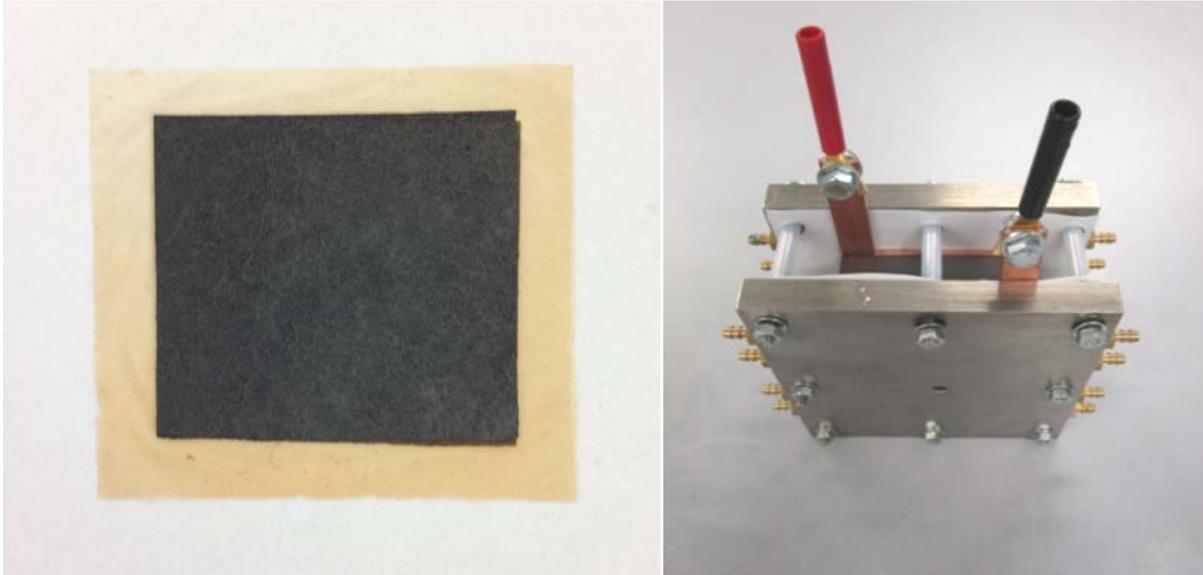


Abbildung 1: Gefertigte MEE mit selbsthergestellten Pt-freien Elektrokatalysatoren und mit einer selbstentwickelten Polysaccharid-basierten Anionenaustauschermembran für die alkalische DEFC (Quelle: Technische Universität Graz, ICVT, 2017).

Im Rahmen des Projektes „H₂-Speicher“ wurden zwei Prototypen realisiert und die dargestellten Methoden einem erfolgreichem Proof-of-Concept unterzogen. Zum einen wurde eine Demoanlage mit H₂-Freisetzungsreaktor und Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (PEMFC) gefertigt und zum anderen eine DBFC (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Prototypen, links: H₂-Freisetzungsreaktor mit PEM-Brennstoffzelle, rechts: Direkt-Borhydrid-Brennstoffzelle (Quelle: Technische Universität Graz, ICVT, 2017).

Ein weiterer Schwerpunkt an der TU Graz liegt in der Entwicklung von Verfahren, zur einfachen, effizienten und sicheren Wasserstoffspeicherung mit Metallen und in ionischen Flüssigkeiten.

1.1.3. Ergebnisse

Die Ergebnisse aus aktuellen Forschungsprojekten der Technischen Universität Graz im Zusammenhang mit den Teilaufgabengebieten des Annex 35 „System-, Stapel- und Zellentwicklung“ und „Verlängerung der Lebensdauer für portable Brennstoffzellen“ wurden in peer-review Fachjournale, Proceedings oder als Abstracts disseminiert. Auch im Rahmen von Posterpräsentationen bzw. Vorträgen auf nationalen und internationalen Veranstaltungen sowie in

den Workshops der International Energy Agency (IEA) wurden die Forschungsergebnisse präsentiert und anschließend intensiv diskutiert.

1.2. Englische Kurzfassung

1.2.1. Motivation

The aim of Annex 34 of Technology Collaboration Programm on Advanced Fuel Cells of the International Energy Agency (IEA) included information exchange on the status and new developments of portable fuel cell systems such as the direct ethanol fuel cell (DEFC) and the direct borohydride fuel cell (DBFC) and comprised the development and manufacture of membrane electrode assemblies (MEAs) all the way through to system components such as electronic converters or gas supply units. In addition the setup and configuration of hybridized systems and the key topics of secure operation, codes and standards were of interest.

Due to user-friendliness, the focus is on low-temperature and direct-alcohol fuel cells. The aim of the project was to develop highly efficient, stable and cost-effective cell components for the portable fuel cells (in particular DEFC and DBFC) in order to improve their life time and their power densities.

1.2.2. Content and approach

The DEFC and the DBFC were developed for portable applications, respectively.

The subjects of subtasks of the Annex 35 were:

- System analysis and hybridization
- System, stack and cell development
- Codes and standards, safety conditions, fuels and their packaging, transport
- Extension of the life time for portable fuel cells

The research activities at Graz University of Technology in Annex 35 focus predominantly on subtask 2 "System, stack and cell development" and subtask 4 "Extension of the life time for portable fuel cells".

The development and characterization of new materials for fuel cells, which convert liquid fuels such as ethanol and NaBH_4 efficiently into electrical energy, were discussed in the period from 2014 to 2017.

The cost were reduced by new synthesis procedures and by the use of cheaper materials for fuel cell components, respectively. Within the framework of the project "e!Polycat", multi-stage processes are developed for the synthesis of Pt-free anode catalysts and polysaccharide membranes based on composite materials to improve the performance of the alkaline direct ethanol fuel cell. The synthesized components were investigated in form of a MEA (see Figure 1, left) in a single cell configuration (see Figure 1, right) under various operating conditions.

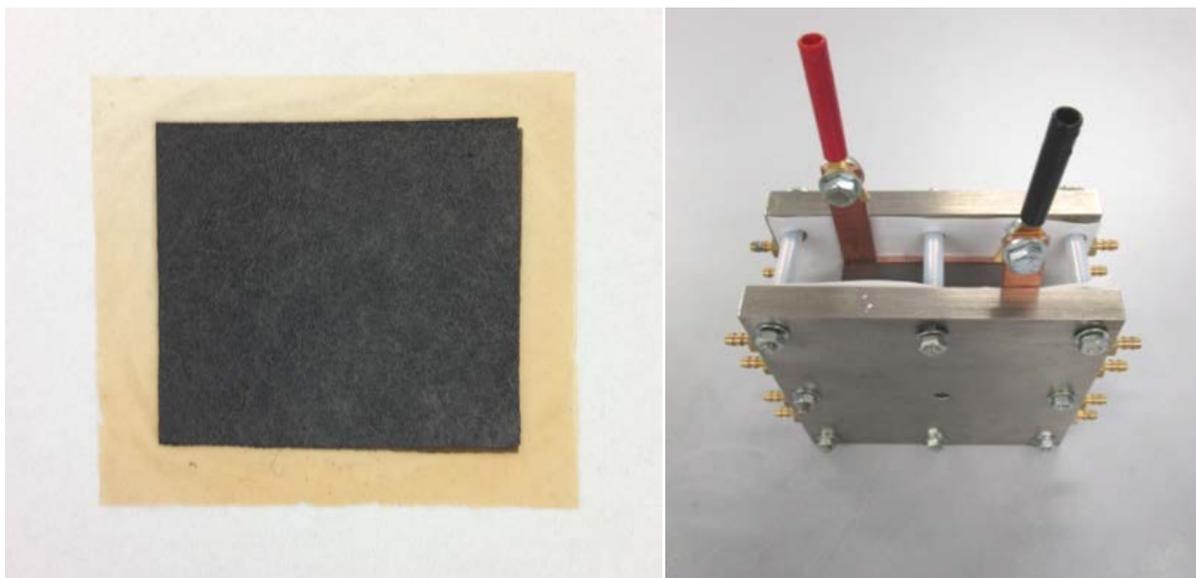


Figure 1: Manufactured MEA (left) included self-synthesized Pt-free electrocatalysts and a self-developed polysaccharide based anion exchange membrane for the alkaline DEFC (Source: Graz University of Technology, CEET, 2017).

Within the framework of the project “H₂ store”, two prototypes were constructed and successfully used for the proof-of-concept. This included a pilot plant for the selective release of hydrogen with a Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) and a DBFC (see Figure 2).



Figure 2: Prototypes, left: H₂ release reactor with PEM fuel cell, right: direct borohydride fuel cell (Source: Graz University of Technology, CEET, 2017).

Another focus at Graz University of Technology is the development of processes for simple, efficient and safe hydrogen storage with metals and in ionic liquids.

1.2.3. Results

The results of current research projects at the Graz University of Technology relating to the subtasks of the Annex 35 "System-, stack- and cell development" and "Extension of the life time for portable fuel cells" were disseminated in peer-reviewed journals, proceedings or as abstracts. The research results were also presented within the scope of poster presentations and lectures at national and international events, as well as in the workshops of the International Energy Agency (IEA).

2. Einleitung

Brennstoffzellen für portable Anwendungen sind sogenannte „Kleinstsysteme“, wie Niedertemperatur-Brennstoffzellen, insbesondere die Direktalkohol-Brennstoffzellen oder Brennstoffzellensysteme mit anderen flüssigen Brennstoffen, die den jeweiligen Brennstoff direkt in Elektrizität umwandeln.

Ziel des Annex 35 des Technology Collaboration Program on Advanced Fuel Cells der International Energy Agency (IEA) ist ein Austausch von Informationen und Forschungsergebnissen über die neuesten Entwicklungen im Bereich der portablen Brennstoffzellensystemen. Brennstoffzellen für portable Anwendungen bedeutet, dass die Systeme so ausgelegt sind, um im Betrieb von Hand gehalten, von einer Person transportiert (portabel), von einem Ort zum anderen transportiert (transportabel) und für Transportzwecke (leichte Traktion) verwendet, zu werden. Die ersten Brennstoffzellensysteme sind bereits auf dem Markt erhältlich. Die Entwicklung von portablen und kleinen mobilen Brennstoffzellensystemen auf Basis von Protonenaustauschermembranen begann Mitte der 90er Jahre. Seit 2000 haben die ersten Unternehmen mit der Entwicklung von Systemen für den Verbrauchermarkt begonnen. Diese Brennstoffzellensysteme finden in den Bereichen Freizeit, Mobilität und Industrie ihre Anwendung [1].

Im Rahmen des Annex 35 werden Brennstoffzellensysteme wie Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle (DEFC) und Direkt-Borhydrid-Brennstoffzelle (DBFC) an der Technischen Universität Graz am Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik entwickelt. Aufgrund der noch geringen Leistungsdichte sowie Lebensdauer der beiden hochattraktiven Brennstoffzellentechnologien werden am Institut an neuen Materialien (Katalysator, Membran) intensiv geforscht. Diese beiden Brennstoffzellensysteme werden als potentiellen Kandidaten für portable Anwendungen gesehen.

Das Technology Collaboration Program on Advanced Fuel Cells der International Energy Agency (Annex 35) gibt die Möglichkeit einen Überblick über die aktuellen Entwicklungen der Brennstoffzellenforschung für portable Anwendungen national und international zu erhalten und mit qualifizierten Experten zu diskutieren. Die Experten sind von Universitäten, Forschungsinstituten und Industrie sowie aus verschiedenen Ländern der Welt, darunter Deutschland, Italien, Japan, Korea Österreich und Schweden (siehe Tabelle 1) [1].

Die Technische Universität Graz konnte bereits in der Vergangenheit an den Aktivitäten des Technology Collaboration Program teilnehmen und davon profitieren. Aus der Collaboration sind zahlreiche Projekte hervorgegangen. Die Teilnahme an den zweimal jährlich stattfindenden Annex Executive Committee und Workgroup Meetings ermöglicht darüber hinaus die internationale Abstimmung der Forschungsarbeiten und liefert wichtige Anregungen und Input aus der Industrie und aus anderen Forschungseinrichtungen.

Durch die Beteiligung am IEA AFC Annex 35 wird die Erforschung und Entwicklung für Schlüsselkomponenten und -systemen von Brennstoffzellen und in weiterer Folge die Markteinführung dieser Systeme für portable Anwendungen vorangetrieben.

3. Hintergrundinformation zum Projektinhalt

Das Hauptziel dieses Implementing Agreements ist die forcierte Technologieentwicklung von Schlüsselkomponenten und -systemen von Brennstoffzellen und in weiterer Folge die Unterstützung der Marktimplementierung durch die Analyse und Entwicklung der hierfür erforderlichen politischen Rahmenbedingungen und Instrumente bzw. dem Abbau existierender Markteintrittsbarrieren. Auf nationaler bzw. internationaler Ebene werden Analysen, Berichte und Medieninformationen erarbeitet und der IEA, den nationalen und internationalen Entscheidungsträgern, den umsetzungsorientierten Unternehmen und Institutionen bzw. der breiten Öffentlichkeit (inkl. Medien) zur Verfügung gestellt.

Die Aktivitäten inkludieren [1]:

- Das Durchführen und Monitoring von F&E Aktivitäten (inkl. der Analyse der Kosten für Zellen, Stacks und Systeme)
- System und Marktanalysen (inkl. technologischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte)
- Analyse von Markt- bzw. Umsetzungsbarrieren
- Verstärkte Disseminations- und Verbreitungsaktivitäten (inkl. Newsletter, Annual Reports, Workshops, spezifische Reports zu aktuellen Themen, etc.).

Das Programm strukturiert sich in drei technologisch-typenorientierte Annexe, in drei applikationsorientierte Annexe, einen Annex zur Systemanalyse sowie einen Annex zur Modellierung von Brennstoffzellensystemen [1].

- Annex 30: Elektrolyse
- Annex 31: Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen
- Annex 32: Oxidkeramische Brennstoffzellen
- Annex 33: Brennstoffzellen für stationäre Applikationen
- Annex 34: Brennstoffzellen für Transport
- **Annex 35: Brennstoffzellen für portable Applikationen**
- Annex 36: Systemanalysen (Zahlen, Daten und Fakten)
- Annex 37: Modellierung von Brennstoffzellensystemen

Am Implementing Agreement Fortschrittliche Brennstoffzellen Annex 35 nahmen folgende Länder teil: Dänemark, Deutschland, Italien, Japan, Südkorea, Schweden und Österreich. In diesem Implementing Agreement wurden zwei Teilaufgabengebiete wie „System-, Stapel- und Zellentwicklung“ und „Verlängerung der Lebensdauer für portable Brennstoffzellen“ abgearbeitet. Forschung und Entwicklung konzentrieren sich dabei auf die Entwicklung neuer Materialien für die individuellen Stapelkomponenten, Aspekte des Systems, der Komponentenauslegung und der Systemperipherie, sowie die speziellen Anforderungen von Direktbrennstoff-Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen. Die Technische Universität Graz ist dabei in die Bearbeitung aller Aufgabenstellungen involviert [1].

In Form von periodischen Meetings wird über die Ergebnisse der Forschungsaktivitäten informiert und weitere Forschungsarbeiten festgelegt.

Die Ziele dieser Beteiligung sind wie folgt definiert [1]:

- Integration österreichischer Spitzenforschung in internationale F&E Arbeitsschwerpunkte
- Internationale Arbeitsteilung bei Hochrisikoforschungen und bei kapitalintensiven Demonstrationsprojekten
- Transfer von internationalem Know-how nach (und in) Österreich
- Forcierung und Mobilisierung der österreichischen angewandten und Grundlagen-F&E (durch gewonnenes IEA Know-how)
- Generell die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit und Internationalisierung der österreichischen Wirtschaft

Tabelle 1: Aktuelle Liste der im IEA AFC Annex 35 teilnehmenden Einrichtungen [1].

FIRST NAME	LAST NAME	COUNTRY	COMPANY	EMAIL
VIKTOR	HACKER	Austria	Technische Universität Graz	viktor.hacker@tugraz.at
PER	BALSLEV	Denmark	Dantherm Power A/S	peb@dantherm.com
CARSTEN	CREMERS	Germany	Fraunhofer - Institut Chem. Technologien	carsten.cremers@ict.fraunhofer.de
ALEXANDER	DYCK	Germany	NEXT ENERGY	alexander.dyck@next-energy.de
MARTIN ANDREAS	MÜLLER GLÜSEN	Germany	Forschungszentrum Jülich GmbH	mar.mueller@fz-juelich.de a.gluesen@fz-juelich.de
FABIO	MATERA	Italy	CNR-ITAE	fabio.matera@itae.cnr.it
AKITERU	MARUTA	Japan	AIST	maruta@technova.co.jp
SANG-KYUNG	KIM	Korea	KIER	ksk@kier.re.kr
MARIA	WESSELMARK	Sweden	Intertek	maria.wesselmark@intertek.com

4. Ergebnisse des Projektes

4.1. Beschreibung der Projektergebnisse

4.1.1. Arbeitspaket 1: Projektmanagement und Öffentlichkeitsarbeit

Im Arbeitspaket 1 wurden laufend die Projektsteuerung und die Koordination der Tasks innerhalb der einzelnen Arbeitspakete durchgeführt. Im Wesentlichen wurden Meetings zur technischen Abstimmung und zum Projektcontrolling innerhalb der einzelnen Arbeitspakete organisiert. Dabei wurden immer Risiken analysiert und die Qualität der Arbeiten und Ergebnisse diskutiert.

Im Rahmen der Dissemination wurden zahlreiche Publikationen für peer-review Fachjournale angefertigt, 14 wurden im Laufe des Projektes angenommen (siehe Literaturverzeichnis, Kapitel 7.1.1). Im Rahmen der Kommunikationsstrategie werden zusätzlich Beiträge im BMVIT finanzierten Mitteilungsblatt über Biomasse für Energie und Industrie in einer nachhaltigen Wirtschaft (Biobased Future) veröffentlicht, die Einblick in die Tätigkeiten des Brennstoffzellenlabors gewähren, veröffentlicht [2].

Die Forscher des Brennstoffzellenlabors präsentierten die Ergebnisse aus dem Arbeitspaket 2 bei den folgenden stattfindenden Treffen der IEA:

- Annex Meeting bei Next Energy in Oldenburg, Deutschland, 16.-17. September 2015
- IEA Vernetzungstreffen bei bmvit in Wien, Österreich, 29. Oktober 2015
- Annex Meeting am CNR-ITAE in Messina, Italien, 31. März -1. April 2016
- IEA Vernetzungstreffen bei bmvit in Wien, Österreich, 20. Oktober 2016
- Annex Meeting in Peking, China, 09. – 10. November 2016

Desweiteren wurden die Ergebnisse aus dem Arbeitspaket 2 im Rahmen der für den Annex 35 relevanten Projekte durch zahlreiche Vorträge sowie Posterpräsentationen auf internationalen Workshops bzw. Kongressen, die in „Proceedings“ sowie in „Book of Abstracts“ veröffentlicht wurden (siehe Literaturverzeichnis, Kapitel 7.1.2 bis 7.1.4). Es sind weitere Beiträge für Fachjournale sowie ein Buch in Bearbeitung.

Von 28.08.2016 bis 03.09.2016 wurde an der TU Graz die “9th International Summer School on Advanced Studies of PEFCs” abgehalten. Der “2nd International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells” fand am 31.08.2016 an der TU Graz statt (www.ceet.tugraz.at/fuelcells).

Neben der Teilnahme und Dissemination auf Konferenzen wurden die Projekte und Projektergebnisse auch regelmäßig auf den A3PS-Treffen vorgestellt.

Am 15./16. Mai 2017 wird an der TU Graz der Workshop “Highlights of International Fuel Cell Research 2017 Results of Annex 31 & 35 of the IEA AFC Technology Collaboration Programme” in Graz veranstaltet, sowie ein IEA Annex 31 Meeting abgehalten.

4.1.2. Arbeitspaket 2: System-, Stapel- und Zellentwicklung, Verlängerung der Lebensdauer für portable Brennstoffzellen

Das Projekt „e!Polycat“ beschäftigt sich mit der Entwicklung und Charakterisierung neuer Materialien für Brennstoffzellen, die Ethanol effizient in elektrische Energie umwandeln. Für die Verbesserung der Leistung der alkalischen Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle (DEFC) werden mehrstufige Verfahren zur Herstellung von Pt-freien Anodenkatalysatoren und Polysaccharid-Membranen basierend auf Kompositmaterialien entwickelt.

Im Rahmen des Projektes wurden folgende Ziele/Highlights in Hinblick auf die Katalysator- sowie Membranentwicklung erreicht:

- Ethanol-tolerante Pt-freie Kathodenkatalysatoren mit hoher ORR-Performance wurden hergestellt (siehe Kapitel 7.1.1.: I. Grimmer et al.).
- Die mechanische Stabilität, die physiko-chemischen und die thermischen Eigenschaften der hergestellten N-[(2-Hydroxy-3-trimethylammonium)propyl] chitosan chlorid / quaternisiertes Polyvinylalkohol (HTCC/QPVA) Anionenaustauschermembranen (AEMs) wurden durch Quervernetzung mit Glutaraldehyd (GA) und Ethylenglykoldiglycidylether (EGDGE) und zusätzlicher thermischer Behandlung verbessert. Diese AEMs wiesen auch zufriedenstellende Anionenleitfähigkeiten und niedrige Ethanolpermeabilitäten auf (siehe Kapitel 7.1.1: Feketeföldi et al.).
- Herstellung von neuartigen bi-metallischen Gold-basierten sowie ternären Palladium basierten Anodenkatalysatoren mit hoher Toleranz gegenüber den EOR-Zwischenprodukten (B. Cermenek et al. *Catalysis Science & Technology (Royal Society of Chemistry) IF: 5.773 in preparation*).
- Es wurde ein neuartiger ternärer Anodenkatalysator mit hoher EOR-Performance (niedriges Onset-Potential, hohe Toleranz gegenüber den Ethanoloxidationszwischenprodukten, hohe Peak-Stromdichte) entwickelt (B. Cermenek et al. *Catalysis Science & Technology (Royal Society of Chemistry) IF: 5.773 in preparation*).

Entwicklung von Pt-freien Katalysatoren für die alkalische Direkt-Ethanol Brennstoffzelle

Neuartige bi-metallische Gold-basierten sowie ternäre Palladium basierten Anodenkatalysatoren wurden mittels der stromlosen Abscheidungsmethode („Instant-Methode“) für die alkalische Direkt-Ethanol Brennstoffzelle hergestellt.

Die Aktivität sowie die Stabilität der Katalysatoren gegenüber der alkalischen Ethanoloxidationsreaktion (EOR) wurden mittels Cyclovoltammetrie/Chronoamperometrie unter Verwendung einer rotierenden Scheibenelektrode charakterisiert. Desweiteren wurden die Kristallstruktur, die Morphologie sowie die Elementzusammensetzung der hergestellten Katalysatoren mit XRD, XPS, TEM/EDX und ICP-OES untersucht.

Entwicklung von alkalischen AEM-Membranen auf Basis von Polysacchariden (PS-AEM)

(vom Projektpartner JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH/Materials; Institut für Oberflächentechnologien und Photonik; e!Polycat-Projekt)

Zur Charakterisierung der Eigenschaften der durch mehrstufigen Synthesemethoden entwickelten Polysaccharid-basierten Anionenaustauschermembranen wurden folgende Methoden herangezogen: Rasterelektronenmikroskopie (REM), DSC/TG-FTIR, FT-IR-Spektroskopie, $^1\text{H-NMR}$ Spektroskopie, Röntgenphotoelektronenmikroskopie (XPS), Strömungs-Zetapotential, Ethanolpermeabilitätsmessung, Bestimmung der Ionenaustauscherkapazität mittels Säure-Base Rücktitration, Bestimmung der Anionenleitfähigkeit mittels Elektrochemischer Impedanzspektroskopie (EIS) und die Ermittlung der alkalischen Quellung durch eine Wiegeprozedur .

Alkalische Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle (ADEFC)

- Entwicklung von hocheffizienten Membran-Elektroden-Einheiten

Zwischen den Elektroden wird eine 4x4 cm große bereits alkalisierte (semi-)kommerzielle (z.B.: Tokuyama A201 oder Fumatech FAA3 verstärkt) oder selbsthergestellte (HTCC/QPVA quervernetzt mit GA und EGDGE) Anionenaustauschermembran platziert und in einer Heißpresse zu einer Membran-Elektroden-Einheit (MEE) gepresst (siehe Abbildung 3). Die MEEs werden anschließend in die Einzelzelle verbaut und charakterisiert.



Abbildung 3: Membran-Elektroden-Einheiten (MEEs) (links: kommerziell; rechts: selbsthergestellt) für die alkalische DEFC.

- Elektrochemische in-situ Charakterisierung von Membran-Elektroden-Einheiten (MEEs)

Es wurden MEEs mit den katalytisch Aktivsten unter den selbstsynthetisierten Anodenkatalysatoren gegenüber der EOR sowie der Kathodenkatalysator mit der höchsten ORR-Aktivität sowie hoher Ethanol-Toleranz in der alkalischen Direkt-Ethanol Brennstoffzelle untersucht. Dabei wurden die maximalen Leistungsdichten und das dynamische Verhalten der hergestellten MEEs bei verschiedenen Temperaturen durch Aufnahme von Strom-Spannungskennlinien und Elektrochemischer Impedanzspektroskopie (EIS) bestimmt.

Projekt H₂-Speicher mit ionischen Flüssigkeiten

Ziel des Projekts H₂-Speicher ist die Entwicklung eines regenerierbaren, bei Umgebungsbedingungen drucklosen, flüssigen und stabilen Wasserstoffspeichers unter Verwendung ionischer Flüssigkeiten. Mit entsprechender Peripherie kann dieser Speicher als Wasserstoffspeicher für automotive Anwendungen eingesetzt werden. Die hohe Speicherdichte (etwa 1/3 von Benzin) erlaubt kompakte und drucklose Langzeitspeicher bei Raumtemperatur, die mit anderen Methoden nicht darstellbar sind.

Im Projekt wurden zwei Prototypen realisiert und die dargestellten Methoden einem erfolgreichem Proof-of-Concept unterzogen. Zum einen wurde eine Demoanlage mit H₂-Freisetzungsreaktor und PEM-Brennstoffzelle gefertigt und zum anderen eine Direkt-Borhydrid-Brennstoffzelle (siehe Abbildung 1). Die Direktbrennstoffzelle wurde ohne kostspielige Ionenaustauschmembranen und Platinkatalysatoren gefertigt. Es handelt sich um ein passives, selbstatmendes Zelldesign welche die ionische Leitfähigkeit des Brennstoffes selbst nützt.

Die Leistungsfähigkeit dieses Brennstoffzellentyps, bestehend aus zwei Zellen, ist in Abbildung 4 dargestellt. Es konnte eine Leistung von 375 mW erreicht werden.

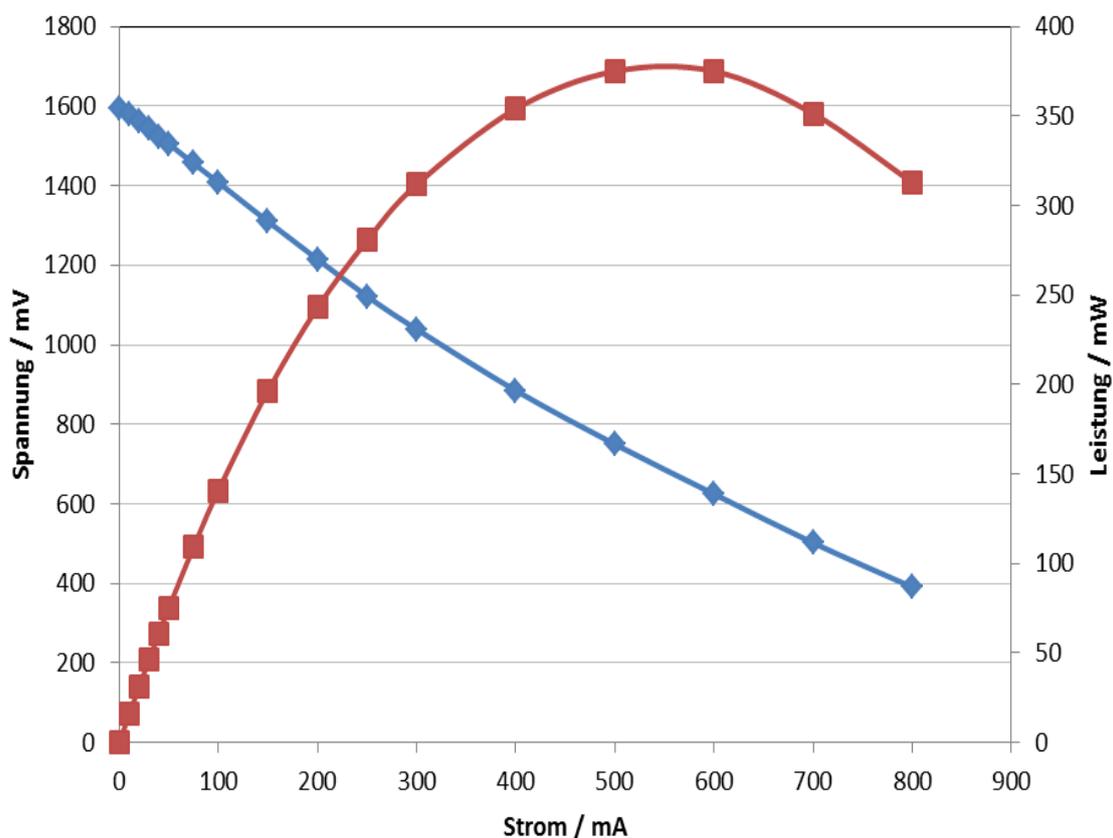


Abbildung 4: Strom-Spannungs-Kennlinie der Direktbrennstoffzelle.

Das Redoxverhalten von Borhydrid-basierten Speichermedien auf Edelmetallkatalystoren wurde mittels Rotating Disk Electrode Cyclic Voltammetry (RDE-CV) untersucht und kinetische Parameter bestimmt (Platin, Gold, Ruthenium, Rhodium und Palladium). Zudem wurden bimetallische Katalysatoren aus den oben genannten Metallen hergestellt und untersucht (Pt_xAu_y/C , Pt_xPd_y/C , Pt_xIn_y/C).

Ein Beispiel für ein RDE-CV auf Pt/C (50 wt%) ist in Abbildung 5 zu sehen.

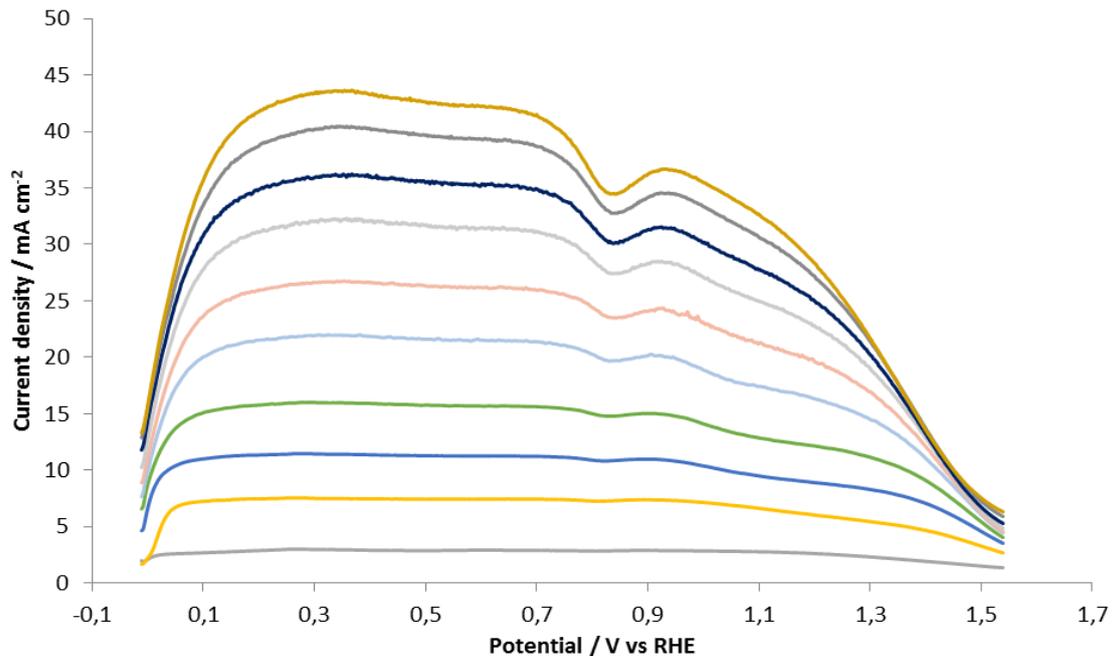


Abbildung 5: RDE-CV von Pt/C (50%) in 1 M NaOH und 5 mM NaBH₄.

Des Weiteren wurde im Rahmen der Entwicklung der oben gezeigten Prototypen eine Versuchsanordnung entwickelt, mit der die Überwachung der Hydrolyse-Nebenreaktion während des Betriebes einer „Direct Borohydride Fuel Cell“ (DBFC) möglich ist. Diese ist schematisch in Abbildung 6 zu sehen. Die Quantifizierung des entstandenen Wasserstoffs erfolgt elektrochemisch unter Anwendung des Faraday’schen Gesetzes.

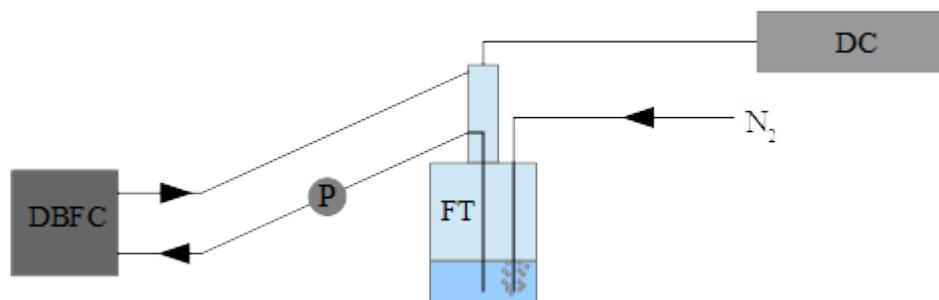


Abbildung 6: Messanordnung für die Hydrolyseüberwachung. FT: Tank für Brennstoff, DBFC: Direct Borohydride Fuel Cell, DC: Detektionszelle, P: Pumpe.

In Abbildung 7 ist eine Polarisationskurve von $\text{Pt}_{0,8}\text{In}_{0,2}/\text{C}$ als Anodenkatalysator und die dazugehörige Wasserstoffdetektionskurve zu sehen.

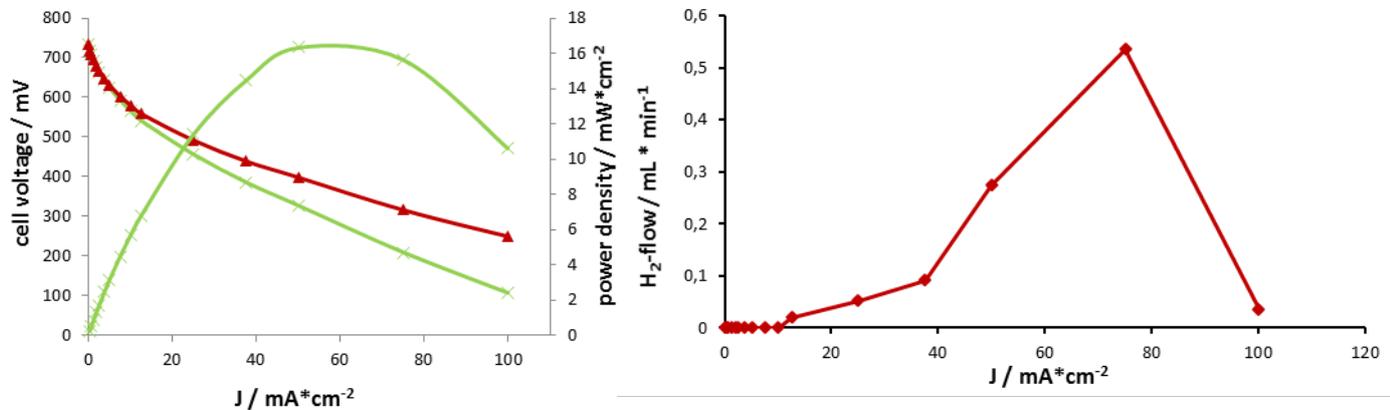


Abbildung 7: Polarisationskurve und Hydrolyseüberwachung einer Testzelle mit $\text{Pt}_{0,8}\text{In}_{0,2}/\text{C}$ als Anodenkatalysator.

Es konnte gezeigt werden, dass die Legierung mit unedlen Metallen die Aktivität gegenüber der Nebenreaktion gesenkt bzw. die katalytische Aktivität gesteigert werden kann.

Projekt H_2 -Speicher mit Metallen

Das Projektziel ist die Entwicklung eines Systems zur sicheren und verlustfreien Speicherung, sowie zur dezentralen Bereitstellung von Hochdruckwasserstoff. Die Beladung des Speichers erfolgt mit einem Synthesegas, das aus erneuerbaren Rohstoffen hergestellt wird. Der Druckwasserstoff kann hocheffizient in Drucktanks abgefüllt und zum Betanken von Brennstoffzellenfahrzeugen verwendet werden. Die eisenbasierte Kontaktmasse erreicht eine hohe theoretische Speicherdichte von $85,9 \text{ kg H}_2/\text{m}^3$, dies entspricht einem konventionellen Drucktank mit 1000 bar.

4.1.3. Arbeitspaket 3: Vorleistungen

Das Annex 35 Meeting (vormals Annex 27) fand im Herbst 2014 am CNR-ITAE in Messina (Italien) statt. Die Teilnahme am Meeting diente der Repräsentation Österreichs im Rahmen der IEA AFC Annexes. Im Rahmen des Meetings erfolgte die Präsentation neuer Forschungsthemen der einzelnen Teilnehmer. Die TU Graz präsentierte schwerpunktmäßig die Forschung des Borhydrid basierten Wasserstoffspeichersystems.

5. Vernetzung und Ergebnistransfer

5.1. IEA Vernetzungstreffen

Durch die regelmäßige Teilnahme an IEA Vernetzungstreffen kann die internationale Position der Technischen Universität Graz und Österreichs in der Brennstoffzellenforschung als Gesamtes gestärkt werden. Der inhaltliche Wissensaustausch ermöglicht Forschung und Entwicklung auf hohem Niveau. Die Treffen haben insbesondere das Ziel, die Abstimmung, Kommunikation und Kollaboration zwischen Regierungseinrichtungen, Industrie und universitären Forschungseinrichtungen in Hinblick auf die Etablierung von Brennstoffzellensystemen zu ermöglichen.

Im Rahmen von Annex 35 („Brennstoffzellen für portable Anwendungen“) fanden Meetings 2015 in Oldenburg und 2016 bei CNR-ITAE in Messina statt (siehe Abbildung 8). Im Rahmen des Meetings in Messina wurde die Möglichkeit einer gemeinsamen Publikation angesprochen. Darüber hinaus wurde der Veranstaltungsort für das nächste Vernetzungstreffen diskutiert. Aufgrund der thematischen Nähe zu einem dort stattfindenden Kongress fiel die Wahl auf Peking (China).



Abbildung 8: IEA-Vernetzungstreffen (Teilnehmer des Annex 35 und des Annex 31) am CNR-ITAE in Messina (Sizilien, Italien).



Abbildung 9: IEA-Vernetzungstreffen (Teilnehmer des Annex 35 und des Annex 31) in Peking (China).

Um die Brennstoffzellentechnologie in China zu stärken, wurde der „1st International Fuel Cell Vehicle Congress (FCVC)“ in Peking gemeinsam mit dem „53rd Executive Committee and Annex Meeting“ der International Energy Agency abgehalten. Das Meeting gab einen Überblick über den derzeitigen Status und zukünftig erwartete Entwicklungen im Bereich der Fahrzeugtechnologie innerhalb und außerhalb Chinas. Insbesondere die Entwicklungsschwerpunkte chinesischer und internationaler Automobilhersteller, sowie der notwendige Ausbau der Wasserstoffherstellung und Infrastruktur wurden beleuchtet. Brennstoffzellenleistungsbeurteilung, Codes und Standards wurden ebenfalls diskutiert.

5.2. International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells

Die „*International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells*“ wird jährlich als Aktivität im Rahmen der internationalen Kooperation mit der Yokohama National University durchgeführt. Dieses interdisziplinäre Trainingsprogramm für junge WissenschaftlerInnen startete im Jahre 2008 in Folge des Abkommens der Technischen Universität Graz mit der Yokohama National University zum akademischen Austausch.

Das Programm der Sommerakademie umfasst Forschung, Entwicklung und Anwendung von Brennstoffzellensystemen sowie die Themenbereiche Elektrochemie, Thermodynamik, Kinetik und Katalyse.

Das vorrangige Ziel der Veranstaltung ist die Vermittlung von theoretischen Grundlagen an junge WissenschaftlerInnen und die Schaffung einer Plattform des wissenschaftlichen Austausches in diesem interdisziplinären Wissenschaftszweig. Die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und der Wissenstransfer zwischen den ForscherInnen sind essentiell für die Implementierung dieser neuen und umweltschonenden Technologie.

Neben den wissenschaftlichen Vorträgen werden auch jährlich soziale Aktivitäten organisiert.



Abbildung 10: TeilnehmerInnen der Brennstoffzellen Sommerakademie 2016 in Graz.

2016 fand die Veranstaltung zum neunten Mal statt. 52 StudentInnen aus China, Deutschland, Ecuador, Frankreich, Indien, Italien, Japan, Kroatien, Norwegen, Österreich, Simbabwe und Südafrika nahmen an der Sommerakademie teil. International anerkannte Experten im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie aus Deutschland, Frankreich, Italien, Japan, Österreich und Südafrika konnten als Vortragende gewonnen werden [2].



Abbildung 11: Ausflug auf den Schöckl, 2016.

Die Kurzbeiträge der Sommerakademie wurden im gemeinsam erstellten Konferenzbericht veröffentlicht:

V. Hacker, A. Schenk, S. Mitsushima, T. Araki, K. Ota, (eds.), „Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells, 9th International Summer School“, Verlag der TU Graz (2016) ISBN: 978-3-85125-481-5

5.3. International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells

Der „International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells“ wurde 2016 erstmalig in Graz veranstaltet und bot den geeigneten Rahmen um die aktuellen Entwicklungen im IEA Implementing Agreement Advanced Fuel Cells in entspannter Atmosphäre zu diskutieren.

Die Veranstaltung wurde durch Vizerektor Prof. Bischof, Institutsleiter Prof. Siebenhofer und den Organisator Prof. Hacker eröffnet. Dr. Cordellia Sita von der University of the Western Cape aus Südafrika und Dr. Têko W. Napporn von der Université de Poitiers aus Frankreich konnten als Keynote-Speaker gewonnen werden. Dr. Sita, Direktorin des Kompetenzzentrums HySA Systems in Kapstadt, präsentierte in Ihrer Keynote „Fuel Cells in South Africa: Research, Development, Innovation and Market Trends“ die Entwicklungen und Erfolge der Brennstoffzellenforschung in Südafrika. Dr. Napporn, Gastprofessor an der Yokohama National University, hielt einen Vortrag zum Thema „Gold at Nanoscale as Electrocatalyst for Glucose / Air Fuel Cell“[2].



Abbildung 12: Keynote-Speaker Dr. Napporn und Dr. Sita.

5.3.1. Student Poster Session / Poster Prize

Bei der anschließend stattfindenden Student Poster Session präsentierten 38 Studierende die Ergebnisse ihre Forschungsarbeiten. Die vier besten Poster-Präsentationen wurden ausgezeichnet und erhielten einen Preis gesponsert von FoE Mobility & Production.



Abbildung 13: Verleihung der Posterpreise (von re. nach li.: Prof. Mitsushima, Dr. Reimer, A. Maeda, S. Hashimura, F. Labbé, B. Pichler, Prof. Kokoh, Prof. Hacker).

Die Kurzbeiträge der Posterpräsentationen wurden in einem Abstract Book zum Workshop veröffentlicht (siehe Kapitel 7.1.2).

6. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Innerhalb des Projektes wurden zahlreiche Aspekte, welche für die Etablierung der portablen Brennstoffzelle relevant sind, behandelt. Durch die Teilnahme an drei unter Annex 35 abgehaltenen Meetings (Oldenburg September 2015, Messina März/April 2016 und Peking November 2016) und der Organisation eines weiteren im Mai 2017 in Graz konnte nicht nur die Sichtbarkeit der Technischen Universität Graz und somit auch Österreichs nach außen gestärkt werden, sondern auch forschungsrelevante Aspekte auf internationalem Niveau diskutiert werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden in stark vernetzten Projekten verwertet.

Die Ergebnisse des Projektes und die Arbeiten an der Technischen Universität Graz unterstützen damit sowohl die Industrie, Regierung und Behörden wie auch nationale und internationale Forschungseinrichtungen.

Durch das bereits fixierte Meeting im Mai 2017 in Graz wird Österreich in diesem Forschungsbereich international noch stärker präsent sein.

7. Verzeichnisse

7.1. Literaturverzeichnis

- [1] <http://www.ieafuelcell.com/annexdescriptions.php> (accessed Mar 17, 2017)
[2] <https://www.tugraz.at/institute/ceet/be-intl/fc-summer-school/> (accessed Mar 21, 2017)

7.1.1. Auflistung der peer-reviewed Publikationen innerhalb des Annex 35

- (1) I. Grimmer, P. Zorn, S. Weinberger, **C. Grimmer**, B. Pichler, **B. Cermenek**, F. Gebetsroither, R. Zacharias, A. Schenk, F.-A. Mautner, B. Bitschnau, **V. Hacker**, Ethanol tolerant precious metal free cathode catalyst for alkaline direct ethanol fuel cells, *Electrochimica Acta* 228 (2016) 325-331.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2017.01.087>
- (2) C. Chaiburi, **B. Cermenek**, B.E. Pichler, **C. Grimmer**, A. Schenk, **V. Hacker**, Ethanol-Tolerant Pt-free Catalysts for the Alkaline Direct Ethanol Fuel Cell, (in Bearbeitung).
<http://www.groupes.polymtl.ca/jnmes/modules/journal/index.php/content1010.html>
- (3) B. Feketeföldi, **B. Cermenek**, C. Spirk, A. Schenk, **C. Grimmer**, M. Bodner, M. Koller, V. Ribitsch, **V. Hacker**, Chitosan-Based Anion Exchange Membranes for Direct Ethanol Fuel Cells, *J. of Membrane Science & Technology* 6 (1) (2016) 145.
<https://www.omicsonline.org/open-access/chitosanbased-anion-exchange-membranes-for-direct-ethanol-fuel-cells-2155-9589-1000145.php?aid=69824>
- (4) **V. Hacker**, **B. Cermenek**, **C. Grimmer**, Direktverstromung von Ethanol, *Biobased Future* 5 (2016) 19-19.
http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea_pdf/newsletter/iea_bioenergy_mitteilungsblatt_biobased_future_05_2016.pdf
- (5) **C. Grimmer**, M. Grandi, R. Zacharias, **B. Cermenek**, H. Weber, C. Morais, T.W. Napporn, S. Weinberger, A. Schenk, **V. Hacker**, The electrooxidation of borohydride: A mechanistic study on palladium (Pd/C) applying RRDE , ¹¹B-NMR and FTIR, *Appl. Catal. B Environ.* 180 (2016) 614–621.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337315300473>
- (6) **C. Grimmer**, M. Grandi, R. Zacharias, S. Weinberger, A. Schenk, E. Aksamija, F.-A. Mautner, B. Bitschnau, **V. Hacker**, Carbon Supported Nanocrystalline Manganese Oxide: Surpassing Platinum as Oxygen Reduction Catalyst in Direct Borohydride Fuel Cells, *J. Electrochem. Soc.* 163 (8) (2016) F885-F890.
<http://jes.ecsdl.org/content/163/8/F885.abstract>
- (7) **C. Grimmer**, R. Zacharias, M. Grandi, B. Pichler, I. Kaltenboeck, F. Gebetsroither, J. Wagner, **B. Cermenek**, S. Weinberger, A. Schenk, **V. Hacker**, A membrane-free and practical mixed electrolyte direct borohydride fuel cell, *J. Electrochem. Soc.* 163 (3) (2016) F278-F283.
<http://jes.ecsdl.org/content/163/3/F278.abstract>
- (8) C. Ranacher, R. Resel, P. Moni, **B. Cermenek**, **V. Hacker**, A.M. Coclite, Layered Nanostructures in Proton Conductive Polymers obtained by initiated Chemical Vapor Deposition, *Macromolecules* 48 (2015) 6177-6183.
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.macromol.5b01145>
- (9) M. Bodner, **B. Cermenek**, M. Rami, **V. Hacker**, The Effect of Platinum Electrocatalyst on Membrane Degradation in Polymer Electrolyte Fuel Cells, *Membranes* 5(4) (2015) 888-902.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4704018/>

- (10) **C. Grimmer**, R. Zacharias, M. Grandi, **B. Cermenek**, A. Schenk, S. Weinberger, F.-A. Mautner, B. Bitschnau, **V. Hacker**, Carbon Supported Ruthenium as Anode Catalyst for Alkaline Direct Borohydride Fuel Cells, *J. Phys. Chem. C*. 119 (2015) 23839–23844.
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jpcc.5b06862>
- (11) **C. Grimmer**, S. Nestl, J. Senn, **V. Hacker**, Selective real-time quantification of hydrogen within mixtures of gases via an electrochemical method, *Int. J. Hydrogen Energy*. 40 (2015) 2055–2061.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319914032601>
- (12) **C. Grimmer**, T. Friedrich, D. Woisetschläger, N. Mayer, R. Kalb, **V. Hacker**, Novel Borohydride-Based Ionic Liquids as Hydrogen Carrier, *Chemie Ing. Tech.* 86 (2014) 1443–1443.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cite.201450539/abstract>
- (13) A. Schenk, **C. Grimmer**, M. Perchthaler, S. Weinberger, B. Pichler, C. Heinzl, C. Scheu, F.-A. Mautner, B. Bitschnau, **V. Hacker**, Platinum–cobalt catalysts for the oxygen reduction reaction in high temperature proton exchange membrane fuel cells – Long term behavior under ex-situ and in-situ conditions, *J. Power Sources*. 266 (2014) 313–322.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775314007058>
- (14) T. Friedrich, **C. Grimmer**, D. Woisetschläger, N. Mayer, M. Koncar, **V. Hacker**, Borhydride mit Ionic-Liquid-Kation als Wasserstoffspeicher – Rezyklierung des Speichermediums, *Chemie Ing. Tech.* 86 (2014) 1429–1430.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cite.201450514/abstract>

7.1.2. Beiträge in referierten Konferenz-Berichten/Proceedings und als Abstracts

- B. Cermenek**, J. Ranninger, **I. Grimmer**, B. Feketeföldi, C. Spirk, **V. Hacker** Pt-free membrane electrode assemblies for the alkaline direct ethanol fuel cell. 26th ATC Industrial Inorganic Chemistry – Materials and Processes, Frankfurt am Main, Germany, (2017) 40-40.
- B. Cermenek**, J. Ranninger, **I. Grimmer**, B. Feketeföldi, C. Spirk, **V. Hacker**, Pt-free electrocatalysts and chitosan-based anion exchange membranes for the low temperature ADEFC. International Workshop on Ethanol Electro-oxidation (DECORE WORKSHOP), Florence, Italy, (2016) 28-28.
- A. Schenk, **C. Grimmer**, M. Bodner, **B. Cermenek**, **V. Hacker**, DAFC, DBFC, HTPEM and AFC. Graz, Austria, (2016) 139-149.
- A. Schenk, **B. Hammer**, M. Bodner, **B. Cermenek**, **V. Hacker**, The Austrian participation in the IEA Technology Collaboration Program on Advanced Fuel Cells. 2nd International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells, Graz, Austria, (2016) 102-103.
- C. Grimmer**, R. Zacharias, M. Grandi, **V. Hacker**, Platinum-free Direct Borohydride Fuel Cells. 2nd International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells, Graz, Austria, (2016) 44-45.
- M. Bodner, **B. Cermenek**, M. Rami, A. Schenk, **V. Hacker**, MEMBRANE DEGRADATION MITIGATION BY THE PRESENCE OF PLATINUM ELECTROCATALYST. 2nd International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells, Graz, Austria, (2016) 34-35.
- I. Kaltenböck, **C. Grimmer**, B. E. Pichler, **B. Cermenek**, A. Schenk, **V. Hacker**, Non-precious cathode catalysts for direct liquid fuel cells. 12th Minisymposium Verfahrenstechnik, (2016) 75-78.
- B. Cermenek**, A. Schenk, S. Weinberger, **C. Grimmer**, **V. Hacker**, Sustainable and Economical Materials for the Alkaline Direct Ethanol Fuel Cell. Workshop on Ion Exchange Membranes for Energy Applications – EMEA2016 (2016).

9. C. Chaiburi, **B. Cermenek**, B. E. Pichler, **C. Grimmer**, **V. Hacker**, Study on ethanol-tolerant electrocatalysts for oxygen reduction reaction in alkaline media. 12th Minisymposium Verfahrenstechnik at Graz University of Technology. (2016), S. 109-112.
10. **C. Grimmer**, J. Senn, T. Friedrich, D. Woisetschläger, N. Mayer, R. Kalb, M. Koncar, J. Wagner, **V. Hacker**, Borohydride based Ionic Liquids as novel Hydrogen Storage. 5th European PEFC & H₂ Forum - Proceedings (2015), S. B0305/1-B0305/8.
11. **B. Cermenek**, B. Feketeföldi, R. Zacharias, V. Ribitsch, **V. Hacker**, Characterization of Platinum-free electrocatalysts and anion exchange membranes for direct ethanol fuel cell. Proceedings of 6th European Fuel Cell - Piero Lunghi Conference (2015), S. 167-168.
12. **C. Grimmer**, M. Grandi, J. Senn, R. Zacharias, T. Friedrich, **V. Hacker**, Liquid Hydrogen Carrier Technology based on Ionic Liquids. 11th Minisymposium Verfahrenstechnik - Proceedings (2015), S. 40-43.
13. **C. Grimmer**, R. Zacharias, M. Grandi, **V. Hacker**, The benefits of a mixed electrolyte approach for direct borohydride fuel cells. 1st International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells (2015), S. 36-37.
14. J. Senn, **C. Grimmer**, S. Nestl, **V. Hacker**, Real-time quantification method for hydrogen. 1st International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells (2015), S. 32-33.
15. M. Grandi, **C. Grimmer**, R. Zacharias, J. Senn, **V. Hacker**, Synthesis and characterisation of carbon supported bimetallic Platinum-Gold-Nanoparticles for Borohydride Direct Oxidation. 1st International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells (2015), S. 30-31.
16. I. Kaltenböck, A. Schenk, **C. Grimmer**, B. E. Pichler, **V. Hacker**, Active and stable oxygen reduction catalysts for the high temperature Polymer electrolyte fuel cell. 1st International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells (2015), S. 18-19.
17. R. Zacharias, **C. Grimmer**, M. Grandi, J. Senn, **V. Hacker**, Hydrolysis in direct borohydride fuel cells. 1st International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells (2015), S. 34-35.
18. **B. Cermenek**, R. Zacharias, M. Grandi, **C. Grimmer**, A. Schenk, **V. Hacker**, Palladium based electrocatalysts for ethanol oxidation reaction in alkaline medium. 1st International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells (2015), S. 28-29.
19. **C. Grimmer**, T. Friedrich, D. Woisetschläger, N. Mayer, M. Koncar, R. Kalb, **V. Hacker**, Borohydride based Ionic Liquids as Hydrogen and Energy Carrier. Proceedings of the 10th Minisymposium Verfahrenstechnik (2014), S. 95-98.
20. **C. Grimmer**, M. Grandi, J. Senn, T. Friedrich, **V. Hacker**, Novel ionic liquids based on borohydrides for hydrogen and energy storage. 7th International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells (2014), S. 155-156.
21. T. Friedrich, **C. Grimmer**, D. Woisetschläger, N. Mayer, M. Koncar, R. Kalb, **V. Hacker**, Ionic Liquid Borohydrides - A Liquid Phase Chemical Hydrogen Storage Material. MH2014 Programme and Abstracts (2014), S. 191.
22. J. Senn, **C. Grimmer**, M. Grandi, T. Friedrich, **V. Hacker**, Comparison of different nickel foams as catalyst support for hydrogen release of borohydride based liquid storage systems. 7th International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells (2014), S. 161-162.

23. A. Schenk, **C. Grimmer**, M. Perchthaler, B. E. Pichler, **V. Hacker**, Platinum Cobalt Catalysts for the High Temperature PEFC. *Advanced Studies on Polymer Electrolyte Fuel Cells* (2014), S. 147-148.
24. T. Friedrich, **C. Grimmer**, D. Woisetschläger, N. Mayer, M. Koncar, R. Kalb, **V. Hacker**, Borhydridbasierte flüssige Wasserstoffspeicher - Rezyklierung des Speichermediums. - in: *Proceedings of the 10th Minisymposium Verfahrenstechnik* (2014), S. 91–94.
25. T. Friedrich, **C. Grimmer**, D. Woisetschläger, N. Mayer, M. Koncar, R. Kalb, **V. Hacker**, Ionic liquid borohydrides - recycling of the storage medium. *7th International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells* (2014), S. 151-152.

7.1.3. Vorträge im Rahmen wissenschaftlicher Veranstaltungen

1. **V. Hacker**, IEA AFC Annex 35 Meeting, Peking, China, 09.-10.11.2016.
2. **V. Hacker**, AFC Annex 31 und Annex 35, IEA Vernetzungstreffen bei bmvit, Wien, Austria, 20.10.2016.
3. A. Schenk, **C. Grimmer**, M. Bodner, **B. Cermenek**, **V. Hacker**, DAFC, DBFC, HTPEM and AFC. *9th International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells*, Graz, Austria, 02.09.2016.
4. **C. Grimmer**, R. Zacharias, M. Grandi, **V. Hacker**, A Direct Borohydride Fuel Cell Without Hydrogen Release Side Reaction, *67th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry*, The Hague, Netherlands, 25.08.2016.
5. **B. Cermenek**, **C. Grimmer**, **V. Hacker**, CEET Research Activities on Portable Applications - Highly Efficient Anode Catalysts for Alkaline Direct Ethanol Fuel Cells' IEA AFC Annex 35 Meeting, Messina, Italy, 01.04.2016.
6. **V. Hacker**, Highlights der Brennstoffzellenentwicklung, AFC Annex 31 und Annex 35, IEA Vernetzungstreffen bei bmvit, Wien, Austria, 29.10.2015.
7. **C. Grimmer**, R. Zacharias, M. Grandi, **V. Hacker**, Electrochemical Oxidation of Borohydride for Direct Fuel Cells. *228th Meeting of the Electrochemical Society*, Phoenix, USA, 11.10.2015.
8. T. Friedrich, **C. Grimmer**, **V. Hacker**, CEET research Activities on Portable FC Applications. IEA AFC Implementing Agreement Annex 35 Meeting, Oldenburg, Germany, 16.09.2015.
9. **C. Grimmer**, T. Friedrich, D. Woisetschläger, N. Mayer, R. Kalb, M. Koncar, **V. Hacker**, Borohydride based Ionic Liquids as novel Hydrogen Storage Technology. *European Fuel Cell Forum*, Lucerne, Switzerland, 30.06.2015.
10. **C. Grimmer**, M. Grandi, J. Senn, R. Zacharias, T. Friedrich, **V. Hacker**, Liquid Hydrogen Carrier Technology based on Ionic Liquids. *Minisymposium Verfahrenstechnik*, Vienna, Austria, 14.04.2015.
11. T. Friedrich, **C. Grimmer**, **V. Hacker**, CEET Research Activities on Portable Applications - Borohydride H₂ Storage System. IEA AFC Annex 27 Meeting, Messina, Italy, 11.09.2014.

7.1.4. Posterpräsentationen im Rahmen wissenschaftlicher Veranstaltungen

1. **B. Cermenek**, J. Ranninger, **I. Grimmer**, B. Feketeföldi, C. Spirk, **V. Hacker** Pt-free membrane electrode assemblies for the alkaline direct ethanol fuel cell, *26th ATC Industrial Inorganic Chemistry – Materials and Processes*, Frankfurt am Main, Germany, 23.02.-24.02.2017.
2. **C. Grimmer**, R. Zacharias, M. Grandi, **V. Hacker**, Platinum-free Direct Borohydride Fuel Cells. *2nd International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells*, Graz, Austria. 31.08.2016.
3. **C. Grimmer**, S. Weinberger, **V. Hacker**, Challenges for practical direct borohydride fuel cells.

Workshop on Ion Exchange Membranes for Energy Applications – EMEA2016, Bad Zwischenahn, Germany, 30.06.2016.

4. **B. Cermenek**, A. Schenk, S. Weinberger, **C. Grimmer**, **V. Hacker**, Sustainable and Economical Materials for the Alkaline Direct Ethanol Fuel Cell, Workshop on Ion Exchange Membranes for Energy Applications – EMEA2016, Bad Zwischenahn, Germany, 30.06.2016.
5. M. Bodner, **B. Cermenek**, M. Rami, A. Schenk, **V. Hacker**, MEMBRANE DEGRADATION MITIGATION BY THE PRESENCE OF PLATINUM ELECTROCATALYST, 2nd International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells, Graz, Austria, 31.08.2016.
6. **B. Cermenek**, J. Ranninger, **I. Grimmer**, B. Feketeföldi, C. Spirk, **V. Hacker**, Pt-free electrocatalysts and chitosan-based anion exchange membranes for the low temperature ADEFC, International Workshop on Ethanol Electro-oxidation (DECORE WORKSHOP), Florence, Italy, 07.12.2016.
7. I. Kaltenböck, P. J. Zorn, **B. Cermenek**, B. E. Pichler, **V. Hacker**, A passive, membraneless and platinum-free direct ethanol fuel cell, Den Haag, Netherlands, 21.08.-26.08.2016.
8. A. Schenk, B. Hammer, M. Bodner, **B. Cermenek**, **V. Hacker**, The Austrian Participation in the IEA Technology Collaboration Program on Advanced Fuel Cells, 2nd International Workshop on Hydrogen and Fuel Cells, Graz, Austria, 31.08.2016.
9. I. Kaltenböck, **C. Grimmer**, **B. Cermenek**, **V. Hacker**, Non-precious cathode catalysts for direct liquid fuel cells, 12th Minisymposium Verfahrenstechnik, Graz, Austria, 30.03.2016.
10. C. Chaiburi, **B. Cermenek**, B. E. Pichler, **C. Grimmer**, **V. Hacker**, Study on ethanol-tolerant electrocatalysts for oxygen reduction reaction in alkaline media, 12th Minisymposium Verfahrenstechnik, Graz, Austria, 30.03.2016.
11. **B. Cermenek**, B. Feketeföldi, R. Zacharias, V. Ribitsch, **V. Hacker**, Characterization of Platinum-free electrocatalysts and anion exchange membranes for direct ethanol fuel cell, 6th European Fuel Cell - Piero Lunghi Conference, Neapel, Italy, 16.12.-18.12.2015.
12. **B. Cermenek**, R. Zacharias, M. Grandi, **C. Grimmer**, A. Schenk, **V. Hacker**, Palladium based electrocatalysts for ethanol oxidation reaction in alkaline medium.. 8th International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells, Yokohama, Japan, 02.09.2015.
13. **C. Grimmer**, R. Zacharias, M. Grandi, **V. Hacker**, A mechanistic Study of Palladium as Anode Catalyst for Direct Borohydride Fuel Cells. 8th International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells, Yokohama, Japan, 30.08.2015.
14. J. Senn, **C. Grimmer**, S. Nestl, **V. Hacker**, Real-time quantification method for hydrogen. 8th International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells. Yokohama, Japan, 31.08.2015.
15. R. Zacharias, **C. Grimmer**, M. Grandi, J. Senn, **V. Hacker**, Hydrolysis in direct borohydride fuel cells. 8th International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells, Yokohama, Japan, 30.08.2015.
16. M. Grandi, **C. Grimmer**, R. Zacharias, J. Senn, **V. Hacker**, Synthesis and characterisation of carbon supported bimetallic Platinum-Gold-Nanoparticles for Borohydride Direct Oxidation. 8th International Summer School on advanced studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells. Yokohama, Japan, 31.08.2015.
17. **C. Grimmer**, T. Friedrich, D. Woisetschläger, N. Mayer, R. Kalb, M. Koncar, **V. Hacker**, Novel Borohydride based Ionic Liquids as Hydrogen Carrier. ProcessNet Jahrestagung, Aachen, Germany, 30.09.2014.

- 18. C. Grimmer**, T. Friedrich, D. Woisetschläger, N. Mayer, M. Koncar, R. Kalb, **V. Hacker**, Borohydride based Ionic Liquids as Hydrogen and Energy Carrier. 10. Minisymposium Verfahrenstechnik, Vienna, Austria, 17.06.2014.
- 19. C. Grimmer**, M. Grandi, J. Senn, T. Friedrich, **V. Hacker**, Novel ionic liquids based on borohydrides for hydrogen and energy storage. 7th International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells, Graz, Austria, 09.09.2014.
- 20.** J. Senn, **C. Grimmer**, M. Grandi, T. Friedrich, **V. Hacker**, Comparison of different nickel foams as catalyst support for hydrogen release of borohydride based liquid storage systems. 7th International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells, Graz, Austria, 08.09.2014.
- 21.** T. Friedrich, **C. Grimmer**, D. Woisetschläger, N. Mayer, M. Koncar, R. Kalb, **V. Hacker**, Ionic Liquid Borohydrides - A Liquid Phase Hydrogen Carrier. 10. Minisymposium Verfahrenstechnik, Vienna, Austria, 17.06.2014.
- 22.** T. Friedrich, **C. Grimmer**, D. Woisetschläger, N. Mayer, M. Koncar, R. Kalb, **V. Hacker**, Ionic liquid borohydrides - Recycling of the storage medium. 7th International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells, Graz, Austria, 09.09.2014.

7.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gefertigte MEE mit selbsthergestellten Pt-freien Elektrokatalysatoren und mit einer selbstentwickelten Polysaccharid-basierten Anionenaustauschermembran für die alkalische DEFC (Quelle: Technische Universität Graz, ICVT, 2017).....	6
Abbildung 2: Prototypen, links: H ₂ -Freisetzungsreaktor mit PEM-Brennstoffzelle, rechts: Direkt-Borhydrid-Brennstoffzelle (Quelle: Technische Universität Graz, ICVT, 2017).....	6
Abbildung 3: Membran-Elektroden-Einheiten (MEEs) (links: kommerziell; rechts: selbsthergestellt) für die alkalische DEFC.	14
Abbildung 4: Strom-Spannungs-Kennlinie der Direktbrennstoffzelle.	15
Abbildung 5: RDE-CV von Pt/C (50%) in 1 M NaOH und 5 mM NaBH ₄	16
Abbildung 6: Messanordnung für die Hydrolyseüberwachung. FT: Tank für Brennstoff, DBFC: Direct Borohydride Fuel Cell, DC: Detektionszelle, P: Pumpe.	
Abbildung 7: Polarisationskurve und Hydrolyseüberwachung einer Testzelle mit Pt _{0,8} In _{0,2} /C als Anodenkatalysator.	
Abbildung 8: IEA-Vernetzungstreffen (Teilnehmer des Annex 35 und des Annex 31) am CNR-ITAE in Messina (Sizilien, Italien).	18
Abbildung 9: IEA-Vernetzungstreffen (Teilnehmer des Annex 35 und des Annex 31) in Peking (China).	19
Abbildung 10: TeilnehmerInnen der Brennstoffzellen Sommerakademie 2016 in Graz.	20
Abbildung 11: Ausflug auf den Schöckl, 2016.	21
Abbildung 12: Keynote-Speaker Dr. Napporn und Dr. Sita.	22
Abbildung 13: Verleihung der Posterpreise (von re. nach li.: Prof. Mitsushima, Dr. Reimer, A. Maeda, S. Hashimura, F. Labbé, B. Pichler, Prof. Kokoh, Prof. Hacker).	22

7.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aktuelle Liste der im IEA AFC Annex 35 teilnehmenden Einrichtungen [1]. 11

7.4. Abkürzungsverzeichnis

AAM	Anionen-Austauscher-Membran
ADEFC	Alkaline Direct Ethanol Fuel Cell
CA	Chronoamperometrie
CV	Cyclovoltammetrie
DBFC	Direct Borohydride Fuel Cell
DEFC	Direct Ethanol Fuel Cell
EGDGE	Ethylenglykoldiglycidylether
EIS	Elektrochemische Impedanz Spektroskopie
EOR	Ethanol-Oxidation-Reaction
GA	Glutaraldehyd
HTCC	N-[(2-Hydroxy-3-trimethylammonium)propyl] chitosan chlorid
IEA-AFC IA	International Energy Agency – Advanced Fuel Cells Implementing Agreement
MEA	Membran-Elektroden-Einheit
ORR	Oxygen-Reduction-Reaction
QPVA	Quaternisiertes Polyvinylalkohol
RDE	Rotating Disk Electrode