

Jahresbericht 2005

IEA ECBCS Annex 42 “FC+GOGEN-SIM”

The Simulation of Building-Integrated Fuel Cell and Other Cogeneration Systems

Projekt Schweiz

Autor und Koautoren	Viktor Dorer
beauftragte Institutionen	EMPA (PL), EPFL-LENI, Siemens Schweiz AG, Sulzer Hexis AG
Adresse	Überlandstr. 129, 8600 Dübendorf
E-mail, Internetadresse	viktor.dorer@empa.ch
BFE Vertrags-Nummer	151 043
Dauer des Projekts (von – bis)	1. Mai 2004 bis 30. Sept. 2007

ZUSAMMENFASSUNG

Im Subtask A des IEA Projektes wurde der State-of-the-art als Annex Report publiziert. Es wurden Absprachen für die nun laufenden Messungen an Mikro-Wärmekraftgeräten am Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. in München (FfE) gemacht. Eine P+D Anlage mit einem Brennstoffzellengerät der Firma Sulzer Hexis war geplant an der Empa, konnte aber wegen der Schliessung von Hexis nicht realisiert werden.

Im Subtask B wurden die Spezifikationen für System-Modelle verbessert und die Modelle in ESP-r und TRNSYS und teilweise *Matlab* implementiert. Der Schweizer Beitrag befasst sich vor allem mit den Modellen für SOFC und PEFC. Das Schweizer Projekt behandelt zudem vertieft Regelungsaspekte und Optimierungsmethoden.

Im Subtask C, einem Schwerpunkt des Schweizer Projektes, sollen verschiedene Systemkonfigurationen techno-energetisch evaluiert werden und daraus Hinweise und Planungshilfsmittel für den optimalen Einsatzbereich von solchen Geräten abgeleitet werden. Dazu wurde die ganze Methodik erstellt und dokumentiert, sowie die Vorgaben für die Erstellung der einzelnen Studien aufgestellt. Beispielhaft sollen auch Multikriterienoptimierung und stochastische Evaluation demonstriert werden.

Projektziele

Im Gebäudebereich sinkt der Wärmebedarf (insbesondere der Heizwärmebedarf), der Strombedarf steigt jedoch weiterhin. Auf der Versorgungsseite sollen hochwertige, nicht erneuerbare Energieträger in Zukunft nicht ohne Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) genutzt werden. Je nach Art der Stromerzeugung kann es von Vorteil sein, den Restwärmebedarf in Niedrigenergiegebäuden durch Mikro-Blockheizkraftwerke (Mikro-BHKW- oder Mikro-Wärmekraft-Geräte) zu decken. Brennstoffzellengeräte für die Hausenergieversorgung stehen dabei im Vordergrund. Bei Einsatz von erneuerbaren gasförmigen Energieträgern (Gas aus Biomasse, Wasserstoff) stellen sie auch eine Möglichkeit der nachhaltigen Gebäudetechnik dar.

Brennstoffzellensysteme stehen dabei in einem kompetitiven Umfeld zu anderen Mikro-WKK-Geräten, und zu den bestehenden, traditionellen Heizsystemen wie Brennwertkessel oder Wärmepumpen. Sie stehen auch in Konkurrenz zu erneuerbaren Energiesystemen, insbesondere zu Solarsystemen (Solarkollektor- und Photovoltaik-Anlagen), sie können diese aber auch sinnvoll ergänzen.

Das **generelle Ziel** des IEA Annex 42 ist es, Simulationsmodelle und -tools zu entwickeln, um damit sinnvolle Einsatzbereiche für diese Systeme für Wohngebäude und Gebäude mit ähnlicher Nutzung definieren zu können und dadurch die Entwicklung von Brennstoffzellengeräten und anderen Mikro-BHKW-Geräte vorantreiben zu können.

Im **Subtask A** werden Leistungsdaten von Systemen und Messdaten aus dem Betrieb von bestehenden Anlagen sowie Bedarfsprofile für Strom und Brauchwarmwasser zusammengetragen. Im **Subtask B** werden Modelle entwickelt, in bestehende Rechenprogramme integriert und validiert. Im **Subtask C** werden mittels Simulation verschiedene Systemkonfigurationen evaluiert, und daraus Hinweise und Planungshilfsmittel für den optimalen Einsatzbereich von solchen Geräten abgeleitet [1].

Das vorliegende Projekt beinhaltet die Schweizer Teilnahme am IEA ECBCS Annex 42.

Ziele des Schweizer Projektes für das Jahr 2005 waren:

- Subtask A: Definition von Bedarfsprofilen. Definition einer P+D Anlage mit SOFC Brennstoffzellengerät an der Empa.
- Subtask B: Erstellen von Modellen für PEFC und weitere Systemkomponenten sowie Mitarbeit bei der Entwicklung weiterer Modelle. Implementierung von Modellen in *TRNSYS* und teilweise *Matlab*.
- Subtask C: Definition einer Methodik für die durchzuführenden Systemevaluationen, sowie für die Multikriterien-Optimierung.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

SUBTASK A

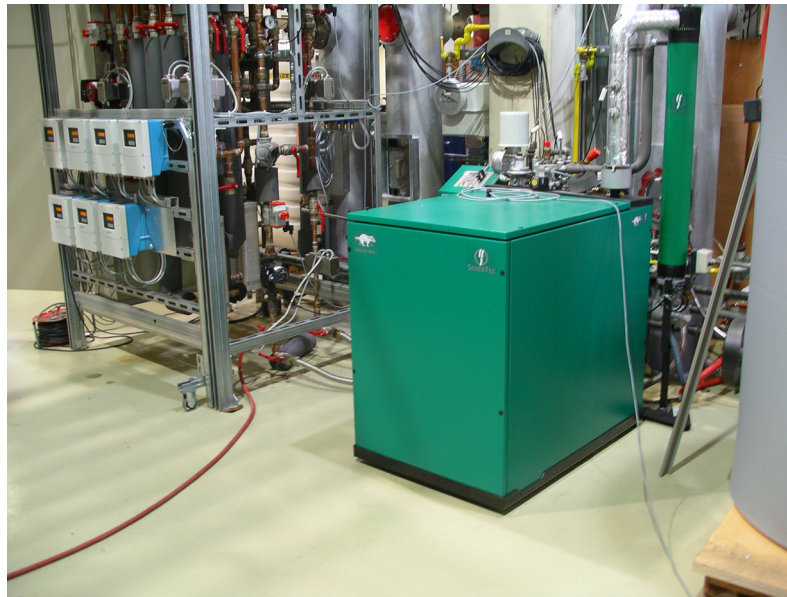
Die im Subtask A geplanten Messungen an Mikro-BHKW-Systemen sind in Tab. 1 aufgelistet. Für die dynamischen Labormessungen der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. in München (FfE/IfE) (Fig. 1) wurden Daten aufbereitet.

Uni Cardiff stellte die zusammengetragenen Daten für elektrischen Bedarf aus 80 Gebäuden in UK vor. Daraus stehen 5-min. Daten mit Mittelwerten, min/max. Werten und Standardabweichungen geliefert. Profile für andere Länder werden soweit möglich aus vorhandenen Daten synthetisiert. Das gleiche Verfahren soll dann für Warmwasserbedarfsprofile angewendet werden, allerdings ist die Datenbasis sehr klein.

Ebenso wurden bestehende Tools für eine vereinfachte Analyse und Dimensionierung von Mikro-BHKW-Anlagen evaluiert und es wurden weitere Konzepte für ein Tool ausgearbeitet, das eventuell im Rahmen des Annex 42 entwickelt werden soll. Ein diesbezüglicher Entscheid ist aber immer noch nicht gefallen.

Institution / Land	Gerätetyp / Hersteller siehe Abkürzungen	Mess-Umgebung / Status
ECN, Holland	ev. SE / <i>EnaTech</i>	Messgebäude
ENEL, Italien	PEMFC / <i>HPower</i> SE / <i>SOLO</i> MGT / <i>Capstone</i> ICE / <i>Aisin</i>	Tests abgeschlossen, Gerät defekt Testgebäude, Labor dito Messungen im Gange
FEE, Deutschland	ICE / <i>PowerPlus</i> ICE / <i>SenerTec</i> SE / <i>SOLO</i> PEMFC / <i>Vaillant</i> ev. MDT / <i>Hoval</i> ev. PEMFC / <i>IdaTech</i>	Stationäre und dynamische Messungen nach Bedarfsprofilen, im Labor Messungen im Gange
NIST, USA	PEMFC, <i>Plug Power</i>	Labor, Messungen abgeschlossen
NRC/NRCan-IES / Kanada	SOFC / <i>FCT</i> SE / <i>WhisperGen</i>	Messgebäude mit simulierter Nutzung, im Gange, Stirling abgeschlossen
NREL, USA	PEMFC / <i>Plug Power</i>	Labor, Messungen angeschlossen
Penn State University, USA	SOFC / <i>FCT</i>	Reelle Objekte mit Internet- Datenübertragung, Messg. Ab Okt. 2005
Uni Liège / Belgien Uni Leuven	SOFC / <i>FCT</i> ICE / <i>Senertec</i> SE / <i>WhisperGen</i>	EFH, bewohnt. Messungen ab So 2005 Messungen abgeschlossen
Indirekt:		
US Army Corps, USA	PEMFC und SOFC	Verschiedene FC demo projects Daten ev. nicht hoher zeitl. Auflösung
Noch offen:		
P+D Schweiz (Empa)	SOFC / Sulzer Hexis	Kann nicht wie geplant realisiert werden
Daten EDF / EIFER	Offen	Labor

Tabelle 1: Liste der im IEA Annex 42 vorgesehenen und durchgeführten Messungen



Figur 1: Messung am Senertec-Gerät auf dem dynamischen Prüfstand am IfE in München (Foto V. Dorer)

SUBTASK B

Bezüglich Modellierung wurde etwas von der detaillierten Modellierung abgerückt, weil doch festgestellt werden musste, dass die dazu nötigen Daten der systeminternen Komponenten oft nicht zur Verfügung stehen werden. Man kehrt also zurück zu einer Modellierung auf der Basis von Charakteristiken und Kennwerten, die dann für die einzelnen Produkte aufgrund von spezifischen Messungen am Gerät oder aufgrund von Herstellerangaben festgelegt werden müssen (Kalibrierung des Modells resp. der Modellteile). Probleme bieten u.a. die Modellierung der Abgas-Kondensation. Für viele Geräte ist zudem unbekannt, wie viel Wärme über die Abschaltung und Ablüftung abtransportiert wird.

Für die SOFC hat Sulzer Hexis viele wichtige Daten aus Messungen und Betrieb den Modellentwicklern, insbesondere dem NRCan, zur Verfügung gestellt, auf vertraulicher Basis. Dasselbe gilt für Daten von Fuel Cell Technology (FCT).

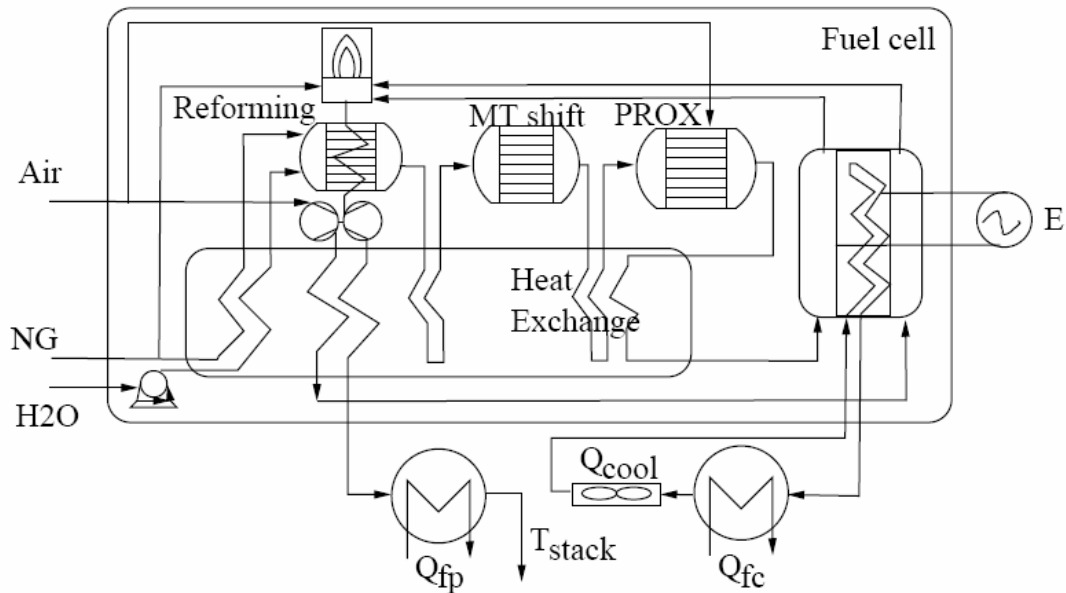
Für die PEMFC (und ev. auch für die SOFC) wird die EPFL mittels detaillierten chemisch-physikalischen Modellen und Simulationen die Leistungsdaten bereitstellen. Allerdings sind dazu auch Angaben über die internen Systemkomponenten nötig, die in Regel schwierig erhältlich sind. Wichtig ist nach wie vor auch die Erstellung und Dokumentation der gewählten Regelstrategien und Algorithmen.

Durch die EPFL wurde die Spezifikation für die PEMFC erstellt [2] (Fig. 2) und durch Empa eine erste Implementation auf Basis *EES* (Engineering Equation Solver) in *TRNSYS* implementiert. Für die Spezifikation des SOFC Modells hat Sulzer wesentliche Inputs geliefert. Das schon in *ESP-r* implementierte Modell soll gekapselt werden und dann so einfach auch in *TRNSYS* implementiert werden.

SUBTASK C

Im Subtask C wurde für die geplanten nationalen „Performance assessment“ Studien und Evaluationen eine Methodik erarbeitet (Empa) [3], auch unter Berücksichtigung bestehender Arbeiten wie z.B. [4] und das Raster und die Detailbeschreibung für geplante Arbeiten ergänzt. Der Entwurf des State-of-the-art Reports über bestehenden Evaluationen und Feldtests wird weiter ergänzt. Die Resultate der novatlantis Studie [5] sind nun in einem wissenschaftlichen Paper publiziert [6].

Für die Behandlung eines standardisierten Datensets ist bei den Teilnehmern im IEA A42 keine Kapazität vorhanden. Die Erstellung von allgemein gültigen Richtlinien erscheint deshalb schwierig. Zudem ist das Raster der behandelten Fälle recht klein. Kritisch für alle Subtask C Studien ist natürlich auch, dass die Modelle zeitgerecht implementiert und validiert zur Verfügung stehen werden!



Figur 2: Modell einer PEMFC [2]

Nationale Zusammenarbeit

Für den Themenbereich der Modellierung und der Evaluation besteht eine Zusammenarbeit mit der **ETHZ** (Diplomarbeit D. Sigrist, Prof. A. Steinfeld). Wertvoll ist auch der Kontakt zur EMPA Abt, Hochleistungskeramik, die in verschiedene EU Projekte im Bereich SOFC involviert ist, siehe unten.

EPFL-LENI ist in verschiedene Projekte im Zusammenhang mit der Entwicklung und der Anwendung von Brennstoffzellen involviert, so u.a. in das **BFE** Projekt *Energy Integration and Fuel Cell Systems*, und auch in regionale oder kommunale Projekte der dezentralen Energieversorgung [7].

Internationale Zusammenarbeit

Wichtig sind auch die Kontakte aus EU Projekten, wie SOFCnet (EU FP5 Energy Thematic Network) und RealSOFC (*Realising Reliable, Durable, Energy Efficient and Cost Effective SOFC*, EU FP6 Energy IP). Aus dem SOFCnet Projekt bestehen auch direkte Kontakte zum IEA Advanced fuel cell implementing agreement (European Institute for Energy Research).

Im Rahmen des nun gestarteten EU Projektes Generic Fuel Cell Modelling Environment (GenFC) besteht eine enge Zusammenarbeit zwischen Empa und dem Forschungszentrum Jülich sowie mit den Industriepartnern.

EPFL-LENI betreut direkt die IEA Arbeiten im Zusammenhang mit der Testinstallation der Uni Liège [8] und ist auch im internationalen Rahmen in Projekte der dezentralen Energieversorgung sowie Polygeneration involviert.

Bewertung 2005 und Ausblick 2006

IEA Annex:

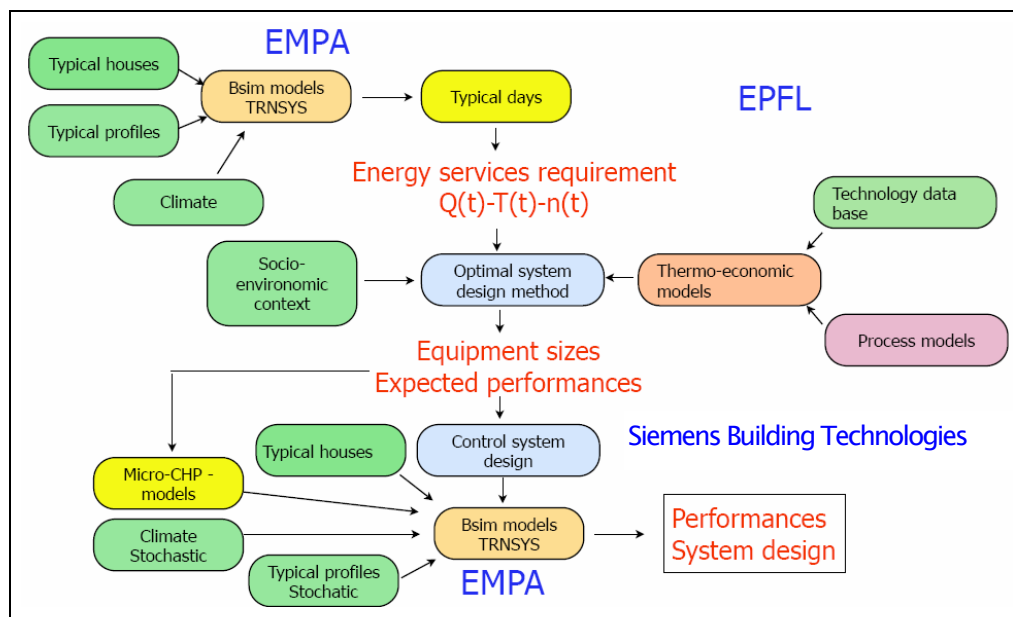
Beteiligungen: Leider wird mit Sulzer Hexis nun auch der einzige direkt im Annex 42 beteiligte Hersteller verschwinden, was nicht der ursprünglichen Zielsetzung des Annex entspricht. Die zusätzlichen Teilnehmer aus Italien, England und Belgien werden alle zu Subtask C beitragen.

Messungen: Erfreulicherweise ist im Annex nun eine ganze Reihe von Messungen (Tab. 1) vorgesehen. Kritisch bleibt die Frage der Zugänglichkeit zu den Daten von gewissen Brennstoffzellen-Geräten (FCT, Vaillant). Ebenso kritisch ist der zeitliche Aspekt, viele Messresultate sind kaum rechtzeitig vorhanden für die Evaluation der Modelle.

Evaluation: Die einzelnen Teilnehmer haben fast keine Kapazität für eine länderübergreifende Evaluation von Anwendungsbereichen für Mikro-WKK Anlagen. Das Resultat des Subtask C werden vorwiegend einzelne Studien sein, mit Bezug auf lokale Randbedingungen. Trotzdem ist ein zusammenfassender Subtask C Annex Bericht geplant (Empa, Uni Neapel).

Erreichung Ziele 2005 Projekt CH: Der Stand der Arbeiten in Subtask B ist in etwa 3 Monate hinter dem ursprünglich geplanten Fortschrittsgrad, er ist aber kohärent mit der Planung innerhalb des IEA Annex. Damit sind auch gewisse Arbeiten für Subtask C verzögert. Kritisch ist auch, dass nur wenige Teilnehmer auf der Basis *TRNSYS* und *Matlab* arbeiten. Der Mehraufwand der Schweizer Teilnehmer, um entsprechende Modelle auch für *TRNSYS* und ggf. *Matlab* bereitzustellen, kann ggf. durch Kapselung der in *ESP-r* implementierten Modelle und die Einbindung in *TRNSYS* mit entsprechendem Interface in Grenzen gehalten werden. Die EPFL hat dazu auch mit sehr vielen Eigenleistungen beigetragen. Das nationale wie auch das internationale Projekt, und auch die Installation eines Brennstoffzellengerätes an der Empa, erleiden durch die Geschäftsaufgabe von Sulzer Hexis natürlich einen herben Rückschlag.

Ziele 2006: In 2006 muss die Entwicklung Modellen bald abgeschlossen werden können und die Validierungen mit möglichst vielen Messdaten müssen rasch vorangetrieben werden. Nur so können die geplanten rechnerischen Systemuntersuchungen im Subtask C zeitgerecht begonnen werden. Nebst der Entwicklung von Modellen wird auch die Definition von Regelstrategien und -methoden ein Schwerpunkt sein. Dazu wird das Schweizer Team die Integration der von der EPFL entwickelten und angewandten Optimierungsmethoden und -tools an ausgewählten Fällen demonstrieren (Fig. 3). Die EPFL wird zudem auch zeigen, wie probabilistische und stochastische Methoden eingesetzt werden könnten. Bis Ende 2006 sollen wesentliche Teile der Systemuntersuchungen in Subtask C gemacht sein. Kritisch für alle Subtask C Studien ist natürlich, dass die Modelle eben zeitgerecht implementiert und validiert zur Verfügung stehen werden!



Figur 3: Lösungsstrategie für die Auslegung eines Brennstoffzellensystems mit MOO (multi-objective optimization) [9]

Referenzen

- [1] **IEA Annex 42 FC+COGEN-SIM**. Beschreibungen und Dokumente des IEA Annex 42 sind einsehbar auf der home page des Annex: <http://www.cogen-sim.net/>
- [2] D. Larrain, F. Marechal. **Specifications of the PEMFC system model for the micro-cogeneration simulation**. IEA A42 Working report.
- [3] V. Dorer, A. Weber. **Performance Assessment of Residential Cogeneration Systems: Part A: Methodology: Purpose, methods, criteria, and parameters**. IEA A42 Subtask C WR-2-V5.
- [4] F. Marechal, F. Palazzi, J. Godat, and D. Favrat. **Thermo-economic modelling and optimisation of fuel cell systems**. Fuel cells, 5(1):5–24, 2005.
- [5] V. Dorer, R. Weber: **Nachhaltige Hausenergieversorgung mit Brennstoffzellen und erneuerbaren Energien**. Schlussbericht novatlantis Vorprojekt. EMPA Dübendorf, Feb. 2004. Download: <http://www.novatlantis.ch/pdf/Brennstoffzellen.pdf>
- [6] V. Dorer, R. Weber, A. Weber: **Fuel cell micro cogeneration systems for residential homes and combination with thermal solar systems**. Energy and Buildings 37/11 (2005) 1132-1146
- [7] C. Weber, G. Chérix : **Le chauffage à distance de Martigny: un laboratoire de recherche et développement pour l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne**, Présentation : Journée de lancement d'urbistique 2005, Martigny, October 2005.
- [8] J.-L. Lilien, F. Marechal, S. Lerson, N. Pochet : **A heat piloted 5 kW fuel cell**. Proceedings of the 7th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (PRES2004), August 2004.
- [9] F. Marechal: **Optimal design of micro-cogeneration systems in building applications**. Präsentation am IEA Annex 42 meeting, Munich, Sep. 2005, siehe [1].

Abkürzungen

MBHKW	Mikro-Blockheizkraftwerk	SOFC	Solid oxide fuel cell
BHKW	Blockheizkraftwerk	SE	Stirling engine
MDT	Mikro Dampfturbine	ST	Sub Task
MGT	Mikro Gasturbine	WKK	Wärme-Kraft-Kopplung
PEMFC	Proton exchange membrane fuel cell		