

Jahresbericht 2004

Simulation of Building-Integrated Fuel Cells and Other Cogeneration Systems

IEA ECBCS Annex 42 “FC+COGEN-SIM”

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

ZUSAMMENFASSUNG

Das generelle Ziel des IEA Annex 42 ist es, Simulationsmodelle und Hilfsmittel zu entwickeln, um damit sinnvolle Einsatzbereiche für Brennstoffzellen und Mikro-Blockheizkraftwerke in Wohngebäuden und Gebäuden mit ähnlicher Nutzung definieren zu können. Dadurch soll die Entwicklung von geeigneten Brennstoffzellengeräten und anderen Mikro-BHKW-Geräten für die Anwendung in Gebäuden gefördert werden.

Im Subtask A des IEA Projektes wurden Leistungsdaten von Mikro-BHKW-Systemen und Messdaten aus dem Betrieb von bestehenden Anlagen sowie Bedarfsprofile für Strom und Brauchwarmwasser zusammengetragen, und für die dynamischen Labormessungen aufbereitet. Zudem ist eine Reihe von Messungen geplant oder bereits im Gange, auch mit Unterstützung aus dem Schweizer Projekt bezüglich Definition und vergleichende Auswertung mit Simulationen. Eine P+D Anlage mit Brennstoffzellengerät in der Schweiz ist geplant, aber noch nicht definiert.

Im Subtask B wurden Spezifikationen für System-Modelle erarbeitet. Diese Modelle sollen in bestehende Rechenprogramme integriert und anhand von Messdaten validiert werden. Im Schweizer Projekt stehen Modelle für *TRNSYS* und *Matlab* im Vordergrund. Das Schweizer Projekt behandelt zudem vertieft Regelungsaspekte und Optimierungsmethoden.

Im Subtask C, einem Schwerpunkt des Schweizer Projekts, sollen verschiedene Systemkonfigurationen techno-energetisch evaluiert werden und daraus Hinweise und Planungshilfsmittel für den optimalen Einsatzbereich von solchen Geräten abgeleitet werden. Die dazu nötige Strukturierung der Arbeiten ist im Gange.

1. 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-WKK-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 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** (ST A) werden Leistungsdaten von Systemen und Messdaten aus dem Betrieb von bestehenden Anlagen sowie Bedarfsprofile für Strom und Brauchwarmwasser zusammengetragen. Im **Subtask B** (ST B) werden Modelle entwickelt, in bestehende Rechenprogramme integriert und validiert. Im **Subtask C** (ST 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 Projekts für das Jahr 2004 waren:

- Beiträge zu STA Arbeiten (Bedarfsprofile, Übersichtsbericht Technologien und Produkte).
- Review vorhandener Modelle und Modell-Spezifikationen für die verschiedenen Mikro-BHKW-Systeme (ST B).
- Definition eines Rahmens für die durchzuführenden Systemevaluationen (ST C)
- Definition einer P+D Anlage mit Brennstoffzellengerät in der Schweiz

2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Für den **ST A** wurden typische Schweizer Bedarfsprofile aufgearbeitet, sowie eine Übersicht über vorhandene Messdatensätze erstellt. Die im Annex 42 geplanten Messungen an Mikro-BHKW-Systemen sind in Tab. 1 aufgelistet. Die Lastprofil-Daten sollen auch für die dynamischen Labor-messungen bei der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. in München aufbereitet werden.

Daten aus der Markübersicht für Mikro-BHKW Geräte (siehe unten) [2] sind in den IEA-Übersichtsbericht über Mikro-BHKW-Technologien und –Produkte eingeflossen [3].

Ebenso wurden bestehende Tools für eine vereinfachte Analyse und Dimensionierung von Mikro-BHKW-Anlagen evaluiert und es wurden erste Konzepte für ein Tool ausgearbeitet, das eventuell im Rahmen des Annex 42 entwickelt werden wird.

Institution / Land	Gerätetyp / Hersteller siehe Abkürzungen	Mess-Umgebung
ECN, Holland	ev. Stirling / <i>EnaTech</i>	Messgebäude
ENEL, Italien	PEMFC / <i>HPower</i> Stirling / <i>SOLO</i> MGT / <i>Capstone</i>	Tests abgeschlossen, Gerät defekt Testgebäude, Labor dito
FFE, Deutschland	ICE / <i>PowerPlus</i> ICE / <i>SenerTec</i> Stirling / <i>SOLO</i> PEMFC / <i>Vaillant</i> ev. MDT / <i>Hoval</i> ev. PEMFC / <i>IdaTech</i>	Dynamische Messungen nach Bedarfsprofilen, im Labor
NIST, USA	PEMFC, <i>Plug Power</i>	Labor
NRC/NRCan-IES / Kanada	SOFC / <i>FCT</i>	Messgebäude mit simulierter Nutzung
NREL, USA	PEMFC / <i>Plug Power</i>	Labor
Penn State University, USA	SOFC / <i>FCT</i>	Reelle Objekte mit Internet- Datenübertragung
Uni Liège / Belgien	SOFC / <i>FCT</i>	EFH, bewohnt
Indirekt:		
US Army Corps, USA	PEMFC und SOFC	Verschiedene FC demo projects Daten ev. nicht hoher zeitl. Auflösung
Noch offen:		
P+D Schweiz (EAWAG)	Offen	P+D Installation
Daten EDF / EIFER	Offen	Labor

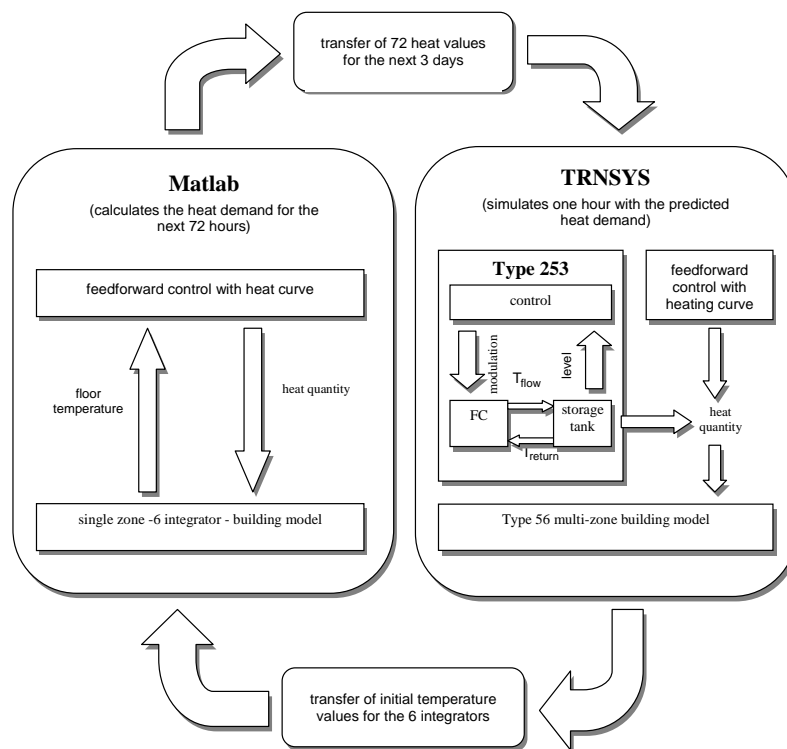
Tab. 1 Liste der im IEA Annex 42 vorgesehenen Messungen

Im **ST B** wurden vorhandene Modelle für *TRNSYS* zusammengetragen und gesichtet, insbesondere die Modelle in der *HYDROGEMS library* [4]. Wesentliche Arbeiten wurden dann von EMPA und Siemens für die Kopplung von *Matlab/Simulink*-Modellen mit *TRNSYS* geleistet. Dies ist von besonderem Interesse für die Schweizer Projektpartner, die vorwiegend mit *TRNSYS* und *Matlab/Simulink* arbeiten. Eine solche Kopplung vereint die Vorteile von *Matlab* für Regelungsmodelle (kurze Zeitschritte, vorhandene Module) mit denjenigen der Gebäude- und Komponentenmodelle in *TRNSYS*. EMPA hat eine solche Kopplung für schon im novatlantis Projekt [5] behandelte Fälle demonstriert [6], mit einer Regelung auf prädiktiver Basis (Fig.1). Auch Siemens arbeitet mit einer gekoppelten *Matlab/Simulink-TRNSYS* Version [7].

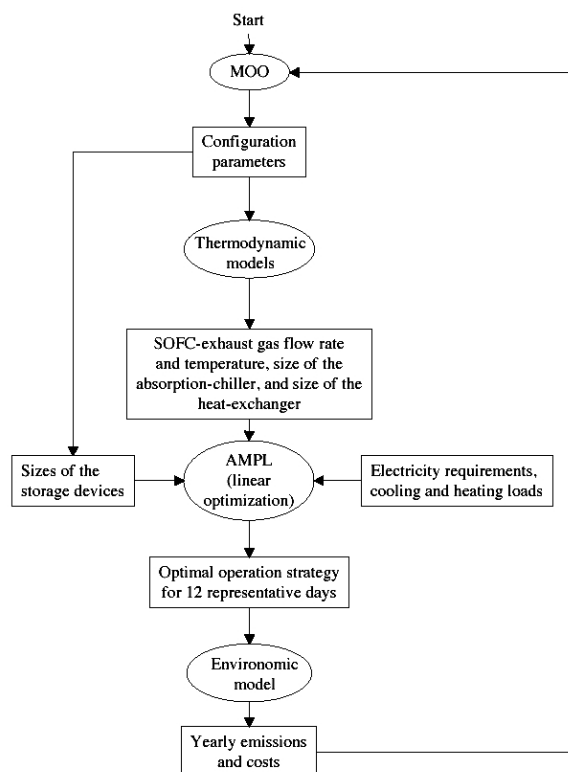
Die im IEA Projekt erarbeiteten Modellspezifikationen für SOFC-, Stirling- und ICE-Geräte wurden von Sulzer, Siemens und EMPA geprüft und ergänzt. EPFL wird eine Spezifikation für PEMFC-Geräte erstellen.

Die EPFL hat am Sept. 2004 IEA Meeting eine Übersichts-Präsentation über Optimierung von Energiesystemen gegeben [8] (siehe auch Fig.2). Die Einbettung dieser Methoden [9,10] in die Annex Arbeiten sind bis zum nächsten Meeting genauer zu spezifizieren.

Im **ST C** wurden für die geplanten Evaluationen ein Raster und eine Detailbeschreibung für geplante Arbeiten erstellt. Ein State-of-the-art Report gibt eine Übersicht über bestehenden Evaluationen und Feldtests. Zudem werden Resultate der novatlantis Studie [5] in einem wissenschaftlichen Paper aufgearbeitet [11].



Figur 1 Kopplung von Matlab/Simulink und TRNSYS für die prädiktive Regelung des Brennstoffzellen-Gerätes und die Speicher-Bewirtschaftung [6]



Figur 2 Lösungsstrategie für die Auslegung eines Brennstoffzellensystems mit MOO (multi-objective optimization)[12]

3. Nationale Zusammenarbeit

Für den Themenbereich der Modellierung und der Evaluation besteht eine Zusammenarbeit mit der **ETHZ** (Prof. A. Steinfeld). Umsetzungsarbeiten werden in Zusammenarbeit und mit teilweiser Unterstützung von **novatlantis** durchgeführt. Es sind dies in der Berichtsperiode die Marktübersicht für Mikro-BHKW Geräte [2] und der Vortrag über dezentrale Energieversorgung am Bauforum in Basel [13]. 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 [14].

4. Internationale Zusammenarbeit (nur sofern vorhanden)

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 (zu P. Stevens European Institute for Energy Research und Operating agent des IEA FC Annex 18, und zum Forschungszentrum Jülich).

EPFL-LENI betreut direkt die IEA Arbeiten im Zusammenhang mit der Testinstallation der Uni Liège [15] und ist auch im internationalen Rahmen in Projekte der dezentralen Energieversorgung sowie Polygeneration involviert.

5. Bewertung 2004 und Ausblick 2005

IEA Annex: Die Working Phase des Annex begann nach dem Mai 2004 Meeting, wichtige Arbeiten wurden aber erst am September 2004 Meeting diskutiert und initiiert.
Beteiligungen: Leider ist Sulzer Hexis [16] bis jetzt der einzige direkt im Annex 42 beteiligte Hersteller verblieben, was nicht der ursprünglichen Zielsetzung des Annex entspricht. Deutschland: Leider kann das Fraunhofer ISE nicht am Annex teilnehmen, was negative Implikationen sowohl für ST B wie auch ST C hat. Andererseits ist mit der FFE (Forschungsstelle für Energiewirtschaft) ein Teilnehmer dazu gestossen, mit dem eine enge Zusammenarbeit im Bereich Labor-Messung/Simulation ermöglicht wird.

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 (Vaillant, FCT), ebenso der zeitliche Aspekt (sind Messresultate rechtzeitig vorhanden für die Evaluation der Modelle?).

Evaluation: Die einzelnen Teilnehmer haben fast keine Kapazität für eine länderübergreifende Evaluation von Anwendungsbereichen für Mikro-BHKW Anlagen. Das Resultat des ST C werden vorwiegend einzelne Studien sein, mit Bezug auf lokale Randbedingungen. Die Frage der Entwicklung eines einfachen Design Tools ist offen. Die EMPA wird einfach realisierbare Ansätze und Lösungen aus anderen Projekten vorstellen.

Erreichung Ziele 2004 Projekt CH: Der Stand der Arbeiten entspricht nicht ganz dem ursprünglich geplanten Fortschrittsgrad, er ist aber kohärent mit der Planung IEA Annex. Kritisch ist, dass nur wenige Teilnehmer auf der Basis *TRNSYS* und *Matlab* arbeiten. Es ist ein Mehraufwand seitens der Schweizer Teilnehmer absehbar, um entsprechende Modelle auch für

TRNSYS und ggf. *Matlab* bereitzustellen. Die Installation eines Brennstoffzellengerätes in der Schweiz hat sich aus verschiedenen Gründen noch nicht weiter konkretisiert.

Ziele 2005: In 2005 werden die Entwicklung und Validierung von Modellen im Vordergrund stehen, wobei möglichst viele Messdaten schon zur Verfügung stehen sollten. Die Messungen an der FFE sollen unterstützt werden bei der Definition und bei der vergleichenden Auswertung mit Simulationen. Nebst der Entwicklung von Modellen wird auch die Definition von Regelstrategien und –methoden ein Schwerpunkt sein. Wichtig ist es auch, die in ST C vor allem im Jahre 2006 durchzuführenden Evaluationsarbeiten zu strukturieren und möglichst weit vorzubereiten. Sehr bald soll auch geklärt sein, wie und in welchem Umfang die von der EPFL entwickelten Optimierungstools eingesetzt werden. Bis im Sep. 2005 soll eine Pilotinstallation einer Brennstoffzellenanlage in der Schweiz definiert und gesichert sein.

6. 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] **Marktübersicht Mikro-BHKW-Geräte.** Siehe: <http://www.novatlantis.ch/>
- [3] I.Knight, V.I. Ugursal (Ed.) **Residential cogeneration systems: a review of the current technologies.** IEA Anex 42 Draft report, Dec. 2004.
- [4] **HYDROGEMS library.** Institute for Energy Technology, Norwegen, <http://www.hydrogems.no/>
- [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] R. Zutter, A. Weber, R. Weber: **Building integrated cogeneration with fuel cell system: Predictive building control with Matlab/Simulink and TRNSYS.** IEA A 42 Technical report, EMPA, 2004.
- [7] C. Gähler, R. Biffiger: **TRNSYS/Simulink co-simulation using TRNSYS Type 155.** Workshop Matlab-Simulink for Building simulation, CSTB, Paris, Oct 14-15. Präsentation siehe <http://ddd.cstb.fr/simbab/workshop2>.
- [8] F. Marechal: **Design methodology for micro cogen systems".** Präsentation am IEA Annex 42 meeting, Rome 07-10 Sept. 2004, September 2004, siehe [1].
- [9] F. Marechal, F. Palazzi, J. Godat, D. Favrat: **Thermo-economic modelling and optimization of fuel cell systems.** BFE Fuel Cell Research Symposium 18. März 2004.
- [10] F. Palazzi, J. Godat, F. Marechal, D. Favrat: **Thermo-economic modelling and optimization of fuel cell systems.** in press Topical Issue *Modelling of Fuel Cell Systems from Fuel Cells – From Fundamentals to Systems*, WILEY-VCH Verlag GmbH, (2004)
- [11] V. Dorer, R. Weber, A. Weber: **Fuel cell micro cogeneration systems for residential homes and combination with thermal solar systems.** Submitted to Energy&Buildings
- [12] C. Weber, D. Favrat, F. Marechal, S. Kraines, M. Koyama: **Optimization of an SOFC-based decentralized polygeneration system for providing energy services in an office-building in Tokyo,** 7th conference PRES 2004, CHISA 2004, Prague, August 2004.
- [13] V. Dorer: **Dezentrale Hausenergieversorgung.** Vortrag novatlantis Bauforum. 18. Nov. 2004, Basel. Präsentation siehe: <http://www.novatlantis.ch/>
- [14] 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.

- [15] 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.
- [16] A. Schuler. ***An intermediate report on the way to a near-series Sulzer Hexis fuel cell system***. Proceedings of the 6th European Solid Oxide Fuel Cell Forum, Luzern, 2004.

Abkürzungen

BHKW	Blockheizkraftwerk
MDT	Mikro Dampfturbine
MGT	Mikro Gasturbine
PEMFC	Proton exchange membran FC
SOFC	Solid oxide fuel cell
ST	Sub Task
WKK	Wärme-Kraft-Kopplung