



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Jahresbericht 23. November 2010

Realisierung eines thermoelektrischen Generators für die Stromerzeugung aus Niedertemperaturenergie

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien & -anwendungen
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)
Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik
FG Hochspannungstechnologie
Physikstrasse 3
CH-8092 Zürich
www.eeh.ee.ethz.ch/de/power/hochspannungstechnik.html

Autoren:

Andreas Bitschi, ETHZ, abitschi@ethz.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Michael Moser

BFE-Programmleiter: Roland Brüniger

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 154309/103346

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Einleitung/Projektziele

Die effiziente Nutzung der Energie entlang der gesamten Umwandlungskette und der Einsatz von erneuerbaren Energien sind wichtige Bestandteile eines zukünftigen, nachhaltigen Energieversorgungssystems. Bei vielen Prozessen und Umwandlungsvorgängen von Wirtschaft, Industrie, Energieerzeugung und Mobilität fallen grosse Mengen an sogenannter „Abfallwärme“ an. Diese Energie kann aufgrund ihrer niedrigen Temperatur und geringen Energiedichte meist nur schwer weiter genutzt bzw. in elektrische Energie umgewandelt werden [1]. Die Erzeugung von elektrischer Energie auf Basis Thermoelektrik hat in diesem Zusammenhang breites Interesse bei der akademischen Forschung und den Entwicklungsabteilungen der Industrie geweckt.

Ziel des hier beschriebenen Projektes ist die Entwicklung und der Aufbau eines thermoelektrischen Energiekonversionssystems für die Nutzung von Niedertemperaturquellen. Das System umfasst alle notwendigen Komponenten zwischen den thermischen Quellen bis zur Einspeisung ins elektrische Netz. Mit diesem Demonstrator soll die grundsätzliche Machbarkeit der thermoelektrischen Energiegewinnung gezeigt und durch experimentelle Untersuchungen Leistungscharakteristika und Effizienzbetrachtungen bei verschiedenen Betriebsweisen beurteilt werden.

Teilziele:

- Entwicklung und Aufbau eines thermoelektrischen Energiekonversionssystems im Bereich von mehreren hundert Watt bis einzelnen kW
- Validierung der entwickelten theoretischen Modelle (Projekt „Das thermoelektrische Kraftwerk“) anhand experimenteller Untersuchungen
- Messungen und Untersuchungen von verschiedenen Einsatzarten und Betriebsweisen

Es soll die technische Realisierung der Stromerzeugung aus Niedertemperaturenergie nachgewiesen werden. Die Flexibilität des TEG für verschiedene Wärmequellen soll gezeigt und optimierte Betriebsweisen für den Einzelbetrieb, Co-Generation und KWK-Betrieb gefunden werden. Weiter soll das System auch als Demonstrationsobjekt für etwaige Veranstaltungen genutzt werden können.

Zusammenfassung

Die Stromerzeugung aus Wärmequellen mittels Thermoelektrizität wurde in mehreren theoretischen Arbeiten untersucht und diskutiert (z.B. BFE-Projekt: „Das thermoelektrische Kraftwerk“). Prototypen und Demonstratoren von thermoelektrischen Energiewandlungssystemen wurden hauptsächlich auf Materialebene für die Validierung von Modellen entwickelt und aufgebaut. Aktuell werden international neben anderem primär Systeme für die Abgasnutzung von Kraftfahrzeugen untersucht. Im vorliegenden Projekt soll ein thermoelektrisches Energieerzeugungssystem entwickelt und realisiert werden, mit dem die Vorteile der Thermoelektrizität hervorgehoben und die grundsätzliche Realisierung der Stromerzeugung aus Niedertemperatur aufgezeigt werden, das auf zukünftige effizientere und billigere Materialien und Module vorbereitet ist und somit auch als Demonstrationsobjekt eingesetzt werden kann. Die Zielsetzung besteht dabei darin, einen ersten Demonstrator zu bauen, um zu zeigen, dass z.B. die Abwärme-Nutzung von Rechenzentren und/oder die Nutzung der Wärme aus geothermischen Quellen möglich sind.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Als Grundlage für dieses Projekt dienen detaillierte theoretische Arbeiten im Bereich Modellierung und Simulation, die im Rahmen einer abgeschlossenen Dissertation [2] durchgeführt wurden.

Gesamtsystem:

Die im Vorfeld entwickelte Gesamtsystemkonfiguration für das detaillierte Design des thermoelektrischen Generators (TEG) ist in Fig. 1 (oben) dargestellt. Der „eigentliche“ TEG soll als sogenannter „Stack“ aufgebaut werden, was bedeutet, dass mehrere Lagen von thermoelektrischen Modulen zwischen Strömungskanälen eingebettet werden. Die Strömungskanäle werden abwechselnd von einem warmen bzw. einem kalten Fluid im Gegenstrom durchströmt. Die Wärmezufuhr bzw. Wärmeabfuhr erfolgt über Pumpen in geschlossenen Kreisläufen. Die Temperatur des Arbeitsmediums wird in den jeweiligen thermischen Speichern (warm und kalt) geregelt bzw. können die Speicher mit thermischen Quellen oder Senken verbunden werden. Die erzeugte elektrische Energie wird mit Leistungselektronik für die Speicherung in einer Batterie konditioniert. Für die Versorgung von Wechselstromlasten bzw. die Einspeisung ins elektrische Netz ist zusätzlich ein DC/AC Wandler vorgesehen. Für die Überwachung und Steuerung der Betriebsparameter werden verschiedene Sensoren in den Aufbau integriert und über ein Interface an einen Mess- und Steuercomputer angeschlossen.

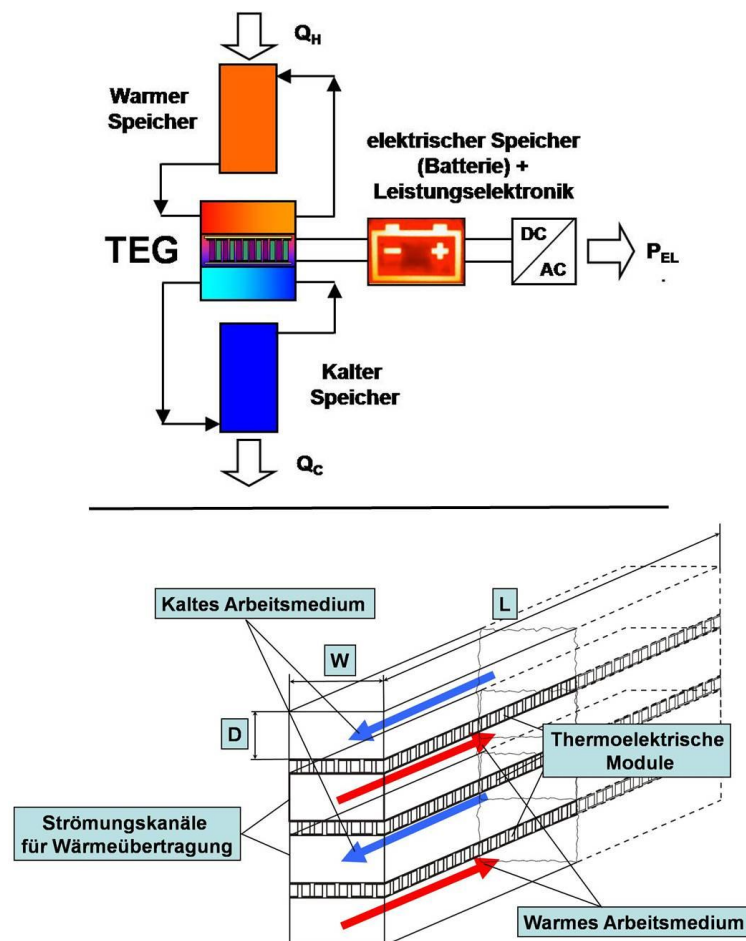


Fig.1 Gesamtsystemkonfiguration (oben), Prinzip der „Stack“ Struktur des TEG (unten); (Quelle: ETH Zürich)

Die Durchführung dieses Projektes wurde in zwei Stufen angedacht. In einem ersten Schritt wurde eine einzelne thermoelektrische Generator(Stack)einheit aufgebaut. Diese Einheit wurde mit der notwendigen Peripherie zu einem Experimentier- und Teststand erweitert. Die durchgeführten Messungen ergaben weitere Validierungsergebnisse für die theoretischen Modelle und dienten mit weiteren Simulationen als Grundlage für den Aufbau des Gesamtsystems (2. Schritt).

Aufbau einer thermoelektrischen Generatoreinheit (Thermoelectric Generator Unit, TEGU, 1. Schritt):

Die in Figur 2 (B und C) dargestellte TEGU besteht aus fünf elektrisch in Serie und thermisch parallel geschalteten, thermoelektrischen Modulen, die mit zwei Einbaurahmen verklemt wurden. Zwischen den Modulen wurden sogenannte „Spacer“ eingebaut, die die NTC-Sensoren für die Temperaturmessung beinhalten. In die Einbaurahmen wurden auch die Anschlüsse für die Fluidzuführung integriert. Die Besonderheit dieser Anordnung ist der direkte Kontakt der Fluide mit den (keramischen) Oberflächen der Module, was einen verbesserten Wärmeübergang ermöglicht.

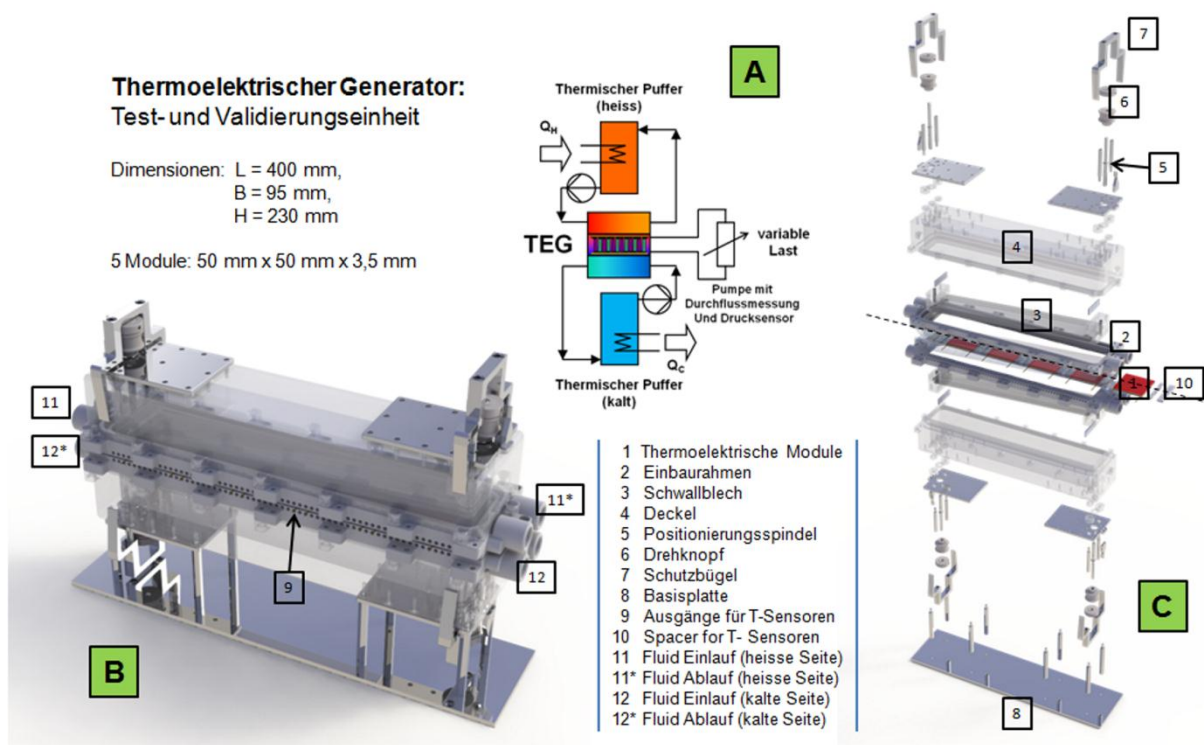


Fig.2 A) Systemkonfiguration thermoelektrischer Teststand, B)Thermoelektrische Generatoreinheit (Rendering), C) Thermoelektrische Generatoreinheit (Explosionsansicht) (Quelle: ETH Zürich)

Die Einbaurahmen wurden jeweils mit einem Deckel verschlossen. Innerhalb des so entstandenen Volumens befinden sich Schwallbleche, mit denen jeweils unabhängig die Höhe der Strömungskanäle für die kalte und warme Seite eingestellt werden können. Die TEGU wurde, wie in den Figuren 2A (systematisch) und 3 ersichtlich, mit den notwendigen Komponenten wie Pumpen, Durchflussmessung, Drucksensoren, variabler Last, Messelektronik und Steuer-PC zu einem Testaufbau vervollständigt. Die Zufuhr des warmen Fluides (Wasser) erfolgte aus einem elektronisch regelbaren Temperierbad. Das kalte Fluid (Wasser) wurde über den hausinternen Kühlkreislauf temperiert.

Die durchgeführten Tests und Messungen bestätigten die erwarteten Ergebnisse aus den theoretischen Untersuchungen. Sowohl der thermoelektrische Teil bezüglich Leistungscharakteristik als auch die hydraulische Komponente können als Entwicklungs- und Designgrundlage für thermoelektrische Energieerzeugungssysteme verwendet werden.

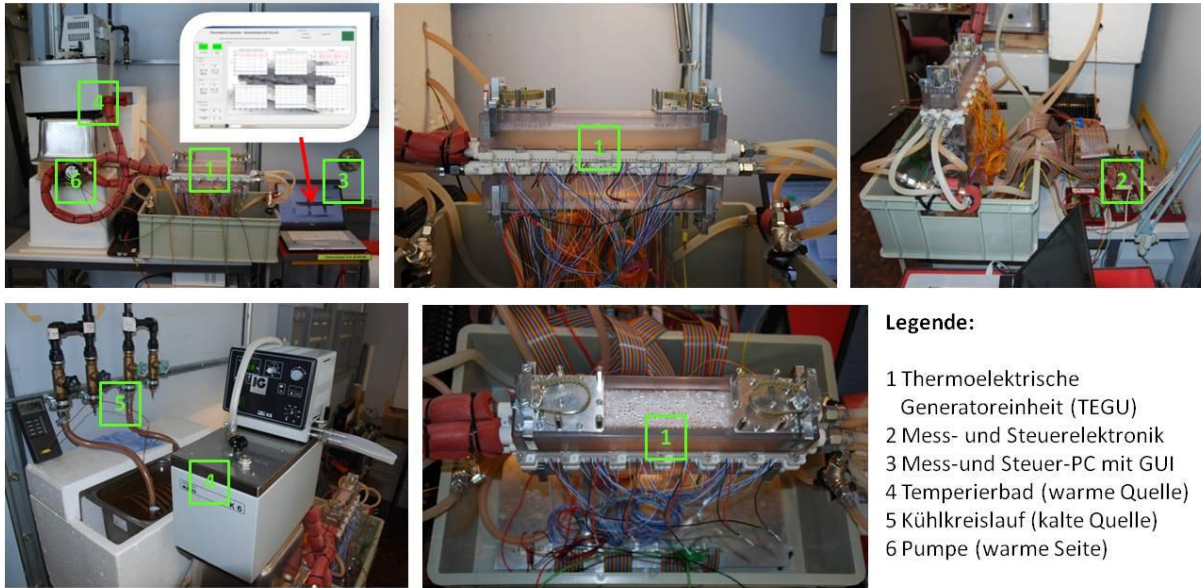


Fig.3 Überblick und Detailansichten des thermoelektrischer Teststands (Quelle: ETH Zürich)

Auf Basis der mittels Teststand erlangten Erkenntnisse in Kombination mit weiteren Simulationen wurde der TEG für das Gesamtsystem entwickelt. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes stand das Gesamtsystem kurz vor seiner Fertigstellung. Inbetriebnahme und erste Tests sind noch für dieses Jahr geplant.

Nationale Zusammenarbeit

EMPA Dübendorf: Dr. Anke Weidenkaff, Festkörperchemie und Analytik (Projekte GeoTEP und SolarTEP)

Bewertung 2010 und Ausblick 2011

In einem ersten Schritt wurde ein thermoelektrisches Energieerzeugungssystem (TES) in Form eines Teststands realisiert. Durchgeführte Tests und Messungen bestätigten die erwarteten Ergebnisse aus theoretischen Vorarbeiten. Darauf aufbauend wurde ein Generatorstack für ein TES im Leistungsbereich 1 kW bei $\Delta T = 100$ K entwickelt und konstruiert. Die Inbetriebnahme dieses Gesamtsystems ist noch für 2010 geplant. Optimierung, Tests und Messungen sollen zu Beginn des Jahres 2011 durchgeführt werden. Das Projekt endet 04/2011 mit der Abfassung des Schlussberichts.

Referenzen

[1] A. Bitschi, K. Fröhlich, Thermoelektrische Systeme in der Stromerzeugung, Electrosuisse VSE, Bulletin 7/2010.

[2] A. Bitschi, Dissertation „Modelling and Simulation of thermoelectric devices for electric power generation“, doi:10.3929/ethz-a-005936533