



Doctoral Thesis

Modelling of thermoelectric devices for electric power generation

Author(s):

Bitschi, Andreas

Publication Date:

2009

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005936533> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 18441

Modelling of thermoelectric devices for electric power generation

Dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
(ETH ZURICH)

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
ANDREAS BITSCHI
Dipl.Ing., Technical University of Vienna
born January 27, 1973
citizen of Austria

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. K. Fröhlich, examiner
Prof. Dr. A. Weidenkaff, co-examiner

2009

Abstract

The efficient usage of energy at all stages along the energy supply chain and the utilization of renewable energies are very important elements of a sustainable energy supply system. Especially at the conversion from thermal to electrical power a large amount of unused energy (“waste heat”) remains. This energy, because of its relatively low temperature and low energy density can generally not be used for the generation of electrical power by the conventional thermodynamic cycles (Clausius Rankine, ORC, Kalina). Direct thermal to electrical energy conversion, without the intermediate step of kinetic energy, that is with no moving parts, therefore gives an alternative of high potential. The improvements in material sciences and the progress of nanotechnology bring thermoelectric materials and therefore thermoelectric converters to renewed significance. The efficiency of thermoelectric converters in general depends on material parameters summarized in the figure of merit ZT . Furthermore design aspects, especially the leg length, and heat transfer conditions have a significant influence on power output and efficiency. The main goal of the project “The thermoelectric power plant”, a cooperation of EMPA Dübendorf and ETH Zurich, Power systems and High voltage laboratories, is to show the feasibility of a thermoelectric power generation unit. Therefore theoretical calculations and selected experiments have been carried out. The goal of this work was the development of tools for the evaluation of thermoelectric power generation units and devices. The modelling has been done on two size levels. On the large scale level a high number of thermoelectric modules have been integrated in a heat transfer unit, respectively a cross-flow heat exchanger. On the lower size level the modules were modelled in 3D including all non-linearities and irreversibilities and simulated with the method of the finite elements (FE). For the validation of the FE-simulation prototypes of thermoelectric oxide modules (TOM) were created at EMPA Dübendorf, the power output characteristics measured and compared with the results of the simulation. The conformity of the results was quite satisfying and could be multiple reproduced. The simulation gives new access to the interior of thermoelectric modules, which will be very important for future development steps. Different optimization strategies can be operated with little expenditure of time

and resources. As an example electric power generation based on a thermoelectric generator utilizing geothermal energy is presented and discussed. The next step would be the integration into several energy systems and the simulation of their dynamic behaviour.

Kurzfassung

Eine effiziente Nutzung der Energie entlang der gesamten Umwandlungskette und die Nutzung erneuerbarer Energien sind wichtige Bestandteile eines zukünftigen, nachhaltigen Energieversorgungssystems. Speziell bei der Wandlung von thermischer Energie in elektrische Energie fallen meist grosse Mengen an ungenützter Energie („Abfallwärme“) an. Diese Energie kann aufgrund ihrer niedrigen Temperatur und geringen Energiedichte nur selten mit den bekannten thermodynamischen Prozessen (Clausius-Rankine, ORC, Kalina) für die elektrische Energieerzeugung genutzt werden. Die direkte Wandlung von thermischer Energie in elektrische Energie ohne den Zwischenschritt der kinetischen Energie, sprich ohne bewegte Teile, bietet dafür eine Alternative mit grossem Potential. Durch die Entwicklungen der Materialwissenschaft in Kombination mit den Errungenschaften der Nanotechnologie erleben speziell die thermoelektrischen Materialien bzw. die thermoelektrischen Wandler eine Renaissance. Die Effizienz von thermoelektrischen Wandlern wird grundsätzlich durch Materialgrössen bestimmt, die in der Gütezahl ZT zusammengefasst sind. Aber auch Design-Aspekte des Moduls, speziell die Länge der Schenkel, und die Bedingungen für die Wärmeübertragung haben einen grossen Einfluss auf Ausgangsleistung und Wirkungsgrad. Das Ziel des Projektes „Das thermoelektrische Kraftwerk“, eine Kooperation der EMPA Dübendorf und der ETH Zürich, Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik, ist es, die Machbarkeit eines solchen thermoelektrischen Kraftwerkes zu zeigen. Dazu wurden theoretische Berechnungen sowie ausgewählte Experimente durchgeführt. Das Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung von Werkzeugen für die Beurteilung von thermoelektrischen Energieerzeugungseinheiten. Die Modellierung erfolgte auf zwei Dimensionsebenen. Einmal wurde eine Vielzahl von thermoelektrischen Modulen in eine Energieübertragungseinheit sprich einen Gegenstromwärmetauscher integriert. In kleineren Dimensionen wurden einzelne Module in 3D modelliert, alle Nichtlinearitäten und Irreversibilitäten berücksichtigend, und mit der Methode der finiten Elemente (FE) simuliert. Für die Validierung der FE-Simulation wurden erste Prototypen von Thermoelektrischen Oxid Modulen (TOM)

aufgebaut, deren Leistungscharakteristiken messtechnisch bestimmt und mit den simulierten Daten verglichen. Die Übereinstimmung der Ergebnisse war gut und konnte auch mehrfach reproduziert werden. Mit der Simulation können neue Einblicke in das Innenleben eines thermoelektrischen Moduls gewonnen werden, welche für den Aufbau der nächsten Entwicklungsstufen sehr hilfreich sein werden. Verschiedene Optimierungsstrategien können sehr Zeit - und Ressourcen - schonend durchgeführt werden. Als Beispiel wird die elektrische Energieerzeugung aus geothermischen Quellen mit einem thermoelektrischen Generator dargestellt und diskutiert. Der nächste Schritt wäre die Integration der Simulation in verschiedene Energiesysteme und die Simulation des dynamischen Verhaltens in jenen.