

## **7 Zusammenfassung und Ausblick**

In dieser Arbeit wurde mit dem Programm Ansys ein Modell eines thermoelektrischen Generators erstellt. Dazu wurde ein Programmcode entwickelt, dessen Befehle vom Programm ausgeführt werden. Durch Vorgabe von Parameterwerten für Geometrie, Materialkennwerte, Materialkontakte und Randbedingungen wird das gewünschte Modell erstellt und die elektrischen Ausgangsparameter berechnet. Um eine hohe Genauigkeit der Ergebnisse bei kurzer Rechenzeit zu erreichen, wurden die Vernetzung des Modells sowie die Konvergenzkriterien angepasst. Das Netz wird dabei an Stellen mit hohen Temperaturgradienten, also vor allem in den Halbleitern in Richtung des Wärmestroms, verfeinert.

Anschließend erfolgte die Verifizierung des Modells. Dazu wurden Simulationsergebnisse von Modellen von Peltierelementen mit Messwerten verglichen. Es wurden Literaturwerte von zwei Peltierelementen verwendet und eigene Messungen mit zwei Peltierelementen durchgeführt. Bei diesen wurden die durch eine Gehäuseheizung und Kühlwasser erzeugten Temperaturdifferenzen zwischen den zwei TEG-Seiten sowie die dadurch an einem Lastwiderstand auftretenden Strom- und Spannungswerte gemessen. Die Simulationsergebnisse stimmen gut mit den gemessenen Werten überein. Auftretende Unterschiede können durch Messfehler sowie Abweichungen zwischen den Modellen und den realen Modulen erklärt werden.

Es wurden verschiedene Untersuchungen am Modell durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass eine Modellierung der Luft im TEG gewöhnlich nicht notwendig ist, wenn lediglich das Leistungsverhalten infolge einer festen Temperaturdifferenz ermittelt werden soll. Auch eine Hochrechnung der Ausgangsparameter eines Thermopaars auf mehrere Thermopaare liefert dabei relativ genaue Ergebnisse. Werden jedoch Wärmeströme als Randbedingung aufgebracht oder ausgelesen, so ist eine Modellierung des gesamten TEG mit der Luft sinnvoll. Des Weiteren wurde gezeigt, dass die maximale Leistung des TEG bei einer bestimmten Temperaturdifferenz stark von der aufsummierten Fläche aller Halbleiter sowie von der Halbleiterhöhe abhängt.

Es wurden verschiedene Optimierungsmöglichkeiten des TEG betrachtet und bewertet. Die Simulationen zeigen, dass bei konvektiver Kühlung mit Luft der Einsatz eines Kühlkörpers die Leistung des TEG deutlich steigern kann. Bei hohen Temperaturdifferenzen können Halbleiterschenkel, die aus verschiedenen Materialien aufgebaut sind, die Leistung und den Wirkungsgrad verbessern. Ein flexibler TEG, dessen Thermopaare kettenartig miteinander verbunden sind, kann bei bestimmten Anwendungen wie beim Einsatz auf gekrümmten Oberflächen sinnvoll sein. Eine Möglichkeit, die Größe von TEGs zu verringern,

ist ein gestapelter TEG, bei dem die Metallkontakte zwischen den Halbleitern angeordnet sind. Durch vergleichsweise große Kontaktflächen kann der Einfluss der Kontaktwiderstände und der dadurch auftretende Leistungsabfall verringert werden.

Ausblickend könnte das Modell um die Simulation von Thermospannungen erweitert werden. Dabei werden die mechanischen Spannungen im TEG, die aus unterschiedlicher Wärmeausdehnung resultieren, betrachtet. Diese können zu Defekten im TEG führen und beschränken dadurch dessen Lebensdauer. Hierfür würden zusätzlich die Wärmeausdehnungskoeffizienten der Materialien benötigt werden und die Kopplung von thermischer und elektrischer Analyse müsste mit der strukturellen Analyse erweitert werden.

Außerdem könnte die Geometrie des Modells verändert werden, um es bestimmten Anwendungen anzupassen. Beispielsweise könnten ringförmige Halbleiter um ein warmwasserführendes Rohr angeordnet werden. Auch die Verwendung von Gradientenwerkstoffen, bei denen die Materialeigenschaften nicht nur temperatur-, sondern auch ortsabhängig sind, ist denkbar.