

# Thermoelektrische Wärmepumpe – Messmethoden zur Bestimmung der thermoelektrischen Gütezahl anhand von marktreifen Modulen

L. ZECHNER, T. SCHOBERER

*Forschung Burgenland GmbH, Pinkafeld, Österreich*

W. STUTTERECKER, H. PLANK

*Fachhochschule Burgenland GmbH, Pinkafeld, Österreich*

J. ASCHAUER, R. ASCHAUER

*GAP Solution GmbH, Dimbach, Österreich*

**ABSTRACT:** Compared to conventional heat pumps, peltier heat pumps offer several benefits such as working without moving parts and without climate-relevant refrigerants. This leads to an operation without noise emissions and minimal maintenance with easy regulation. This benefits, in combination with increasing efficiency and low production costs through continuous research, opened new applications for this technology.

Therefore the implementation of thermoelectric devices in buildings is investigated in the research project “Peltier Heat Pump” which is funded by the Austrians “Klima- und Energiefond”.

To analyse the potential of thermoelectric heat pumps a test rig that allows to measure the relevant material properties with two different methods was developed. The first approach is a steady state Method and the second approach based on the Harman Method.

Furthermore, several thermoelectric modules from different companies with different sizes are tested to detect the actual characteristics of the marketable modules. On one hand this measurements show the different ZT values of the available modules on the market and on the other hand the ZT values depending on the costs.

These results will be used in the future for investigations of different thermoelectric applications for heating and cooling in buildings.

## 1. EINLEITUNG

Durch die steigende Qualität der Gebäudehülle in den letzten Jahren sinkt der Heizwärmebedarf, dadurch erhöht sich der prozentuelle Anteil an Endenergie für die Warmwasserbereitung. Jedoch sind geringe Leistungen für die dezentrale Warmwasserbereitung kaum verfügbar. Dies führt dazu, dass Anlagen mit hohen Leistungen nur kurze Betriebszeiten aufweisen und somit eine geringe Auslastung gegeben ist. Daher wird ein System zum Heizen und Kühlen im kleinen Leistungsbereich ( $<2 \text{ kW}_{\text{thermisch}}$ ) benötigt, welches ohne bewegliche Teile funktioniert um die Wartung gering zu halten, keine Schallemissionen aufweist um die dezentrale Anwendung zu ermöglichen und ohne klimarelevantes Kältemittel arbeitet.

All diese Aufgaben werden von thermoelektrischen Elementen erfüllt. Aus diesem Grund wird im Forschungsprojekt „Peltier Heat Pump“ die Anwendung von thermoelektrischen Wärmepumpen in der Gebäudetechnik untersucht.

Zur Ermittlung der Machbarkeit dieses Projektes wurden vorab Untersuchungen durchgeführt (Stutterecker et al., 2016).

Zuerst die Effizienz und die Leistungsdaten von thermoelektrischen Modulen erfasst und analysiert werden. Um dies zu bewerkstelligen wurde ein Teststand für thermoelektrische Module aufgebaut, an dem die Eigenschaften mit zwei unterschiedlichen Methoden erfasst werden können.

## 2. TESTMETHODEN

Die Güte von thermoelektrischen Materialien wird durch die Gütezahl (ZT-Wert) beschrieben. Dieser Wert setzt sich aus dem Seebeck-Koeffizienten  $\alpha$  [V/K], der Temperatur  $T$  [K], dem elektrischer Widerstand  $R$  [ $\Omega$ ] und dem thermischen Leitwert  $K$  [W/K] zusammen.

Je größer dieser Wert ist, desto besser ist das Material für thermoelektrische Anwendungen geeignet.

$$ZT = \frac{\alpha T}{RK} \quad (1)$$

Durch die Gleichung 1 sind die erforderlichen, zu messenden Materialparameter gegeben um den ZT-Wert von Modulen zu bestimmen. Diese Materialeigenschaften können durch den Aufbau eines modularen Teststandes auf zwei unterschiedliche Methoden gemessen.

In der Arbeit von Zechner (2016) wurden erste Messungen am Prüfstand durchgeführt und optimierungsmaßnahmen beschrieben.

### 2.1 STEADY STATE METHODE

Die erste Möglichkeit nennt sich Steady State Methode, hierbei wird das thermoelektrische Modul in den Generatorbetrieb versetzt indem eine Seite erwärmt wird und die andere Seite gekühlt wird. Der dazu nötige Aufbau des Teststandes sowie ein Anschauungsbild sind in der Abb. 1 dargestellt.

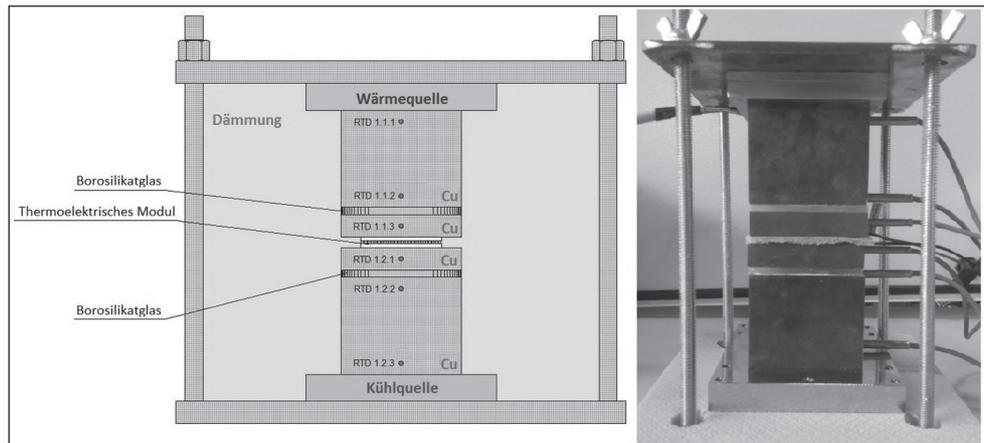


Abb. 1: Aufbau des Teststandes Steady State Methode (links) und Anschauungsfoto des Teststandes ohne Dämmung Steady State Methode (rechts)

Zwischen der Heiz und Kühlquelle des Teststandes befinden sich Kupferkörper welche mit Pt100 Temperatursensoren bestückt sind. Zusätzlich sind Platten aus Borosilikatglas mit einer Stärke von 5 mm angeordnet. Diese Borosilikatglasplatten weisen bekannte Wärmeleitwerte auf und dadurch ist es möglich die jeweiligen Wärmeleistungen zu berechnen. Durch den Querschnitt der Kupferblöcke und des Borosilikatglases ergibt sich eine maximale messbare Modulfläche von 80 mm x 80 mm. Zur Umgebung ist der Prüfstand gedämmt, um möglichst adiabte Bedingungen darzustellen.

Beim Messvorgang werden unterschiedliche Temperaturunterschiede aufgebracht. Somit entstehen unterschiedliche Modulspannungen, welche man zur Berechnung des Seebeck-Koeffizienten heranzieht und unterschiedliche Wärmeströme mit denen man Rückschlüsse auf die Wärmeleitfähigkeit des Moduls ziehen kann.

Der elektrische Widerstand des Moduls wird mit Hilfe des Spannungsverlaufs eines Spannungsteilers mit bekanntem Lastwiderstand berechnet (Min, 2010).

### 2.2 HARMAN METHODE

Die zweite Methode zur Erfassung der relevanten Modulparameter ist die Harman Methode. Sie wurde von T. C. Harman für die Messung von thermoelektrischen Materialien entwickelt (Harman, 1958).

Diese Methode wurde von R. J. Buist weiterentwickelt und für die Messungen in dieser Arbeit herangezogen (Buist, 1995).

Hierbei herrschen auf einer Seite eine konstante Temperatur und auf der anderen Seite adiabate Bedingungen. Dies wird bewerkstelligt durch die Modifikationen am Prüfstand, welche einen neuen Aufbau bedeuten, wie in Abb. 2 ersichtlich. Durch die Wärme- und Kühlquelle kann die obere Seite des Moduls auf eine beliebige konstante Temperatur geregelt werden, wobei sich die untere Seite durch die Dämmung annähernd adiabat verhält.

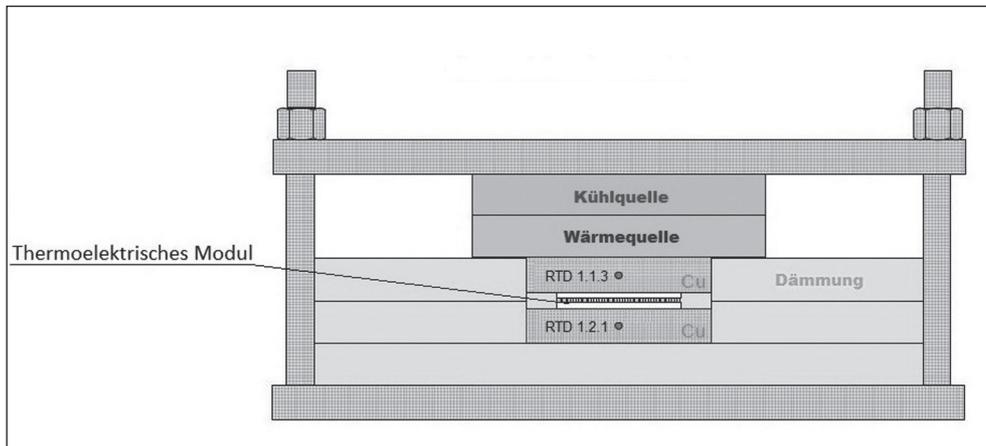


Abb. 2: Aufbau des Teststandes Harman Methode

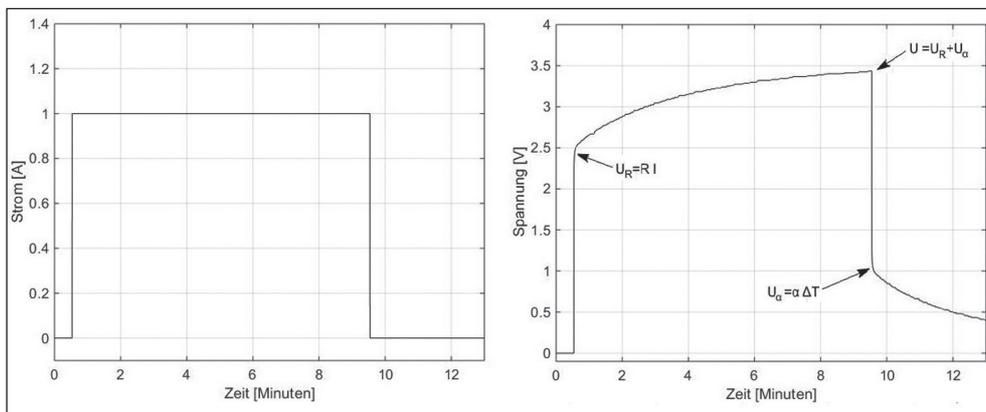


Abb. 3: Beispielhafter Stromverlauf (links) und Spannungsverlauf (rechts) bei der Harman Methode

Unter diesen Voraussetzungen wird ein Rechteck Stromsignal aufgebracht und der Spannungsverlauf des Moduls gemessen. Ein beispielhafter Strom- und Spannungsverlauf ist in der Abb. 3 dargestellt. Die Stromzufuhr des Rechtecksignals bleibt, bis sich konstante Temperaturen am Modul einstellen, aufrecht.

Aus dem Strom- und Spannungsverlauf kann der elektrische Widerstand ermittelt werden. Der Seebeck-Koeffizient kann anhand des Spannungsverlaufes und durch heranziehen der vorherrschenden Temperaturdifferenz ermittelt werden. Um die Einflussfaktoren zu minimieren und die Gesamtgenauigkeit zu erhöhen, wird der Test bipolar durchgeführt. Das bedeutet, die Stromrichtung wird umgekehrt und der Test wiederholt.

Bei Vernachlässigung des geringen Einflusses der Wärmestrahlung und der Konvektion, kann der Wärmeleitwert des Moduls durch die Leistungsbilanz berechnet werden.

### 3. ERHEBUNG MARKTREIFER MODULE

Um die Anwendung von Thermoelektrik in der Gebäudetechnik zu untersuchen, wurde eine Erhebung der am Markt erhältlichen Module durchgeführt. Hierzu wurden sieben unterschiedliche Module von fünf verschiedenen Vertreibern herangezogen. In der nachstehenden Tab. 1 sind die verwendeten Module aufgelistet.

Tab. 1: Auflistung der geprüften Module.

Module	Abkürzung	Symbol	Abmessungen [mm]
Prüfkörper 1	PK1	◇	54 x 54 x 3,4
Prüfkörper 2	PK2	x	50 x 50 x 3,8
Prüfkörper 3	PK3	Δ	62 x 62 x 4,6
Prüfkörper 4	PK4	o	52 x 52 x 3,3
Prüfkörper 5	PK5	*	55 x 55 x 3,5
Prüfkörper 6	PK6	+	40 x 40 x 5,6
Prüfkörper 7	PK7	□	40 x 40 x 3,8

Da bei der Harman Methode die Messungen im Wärmeerzeugerbetrieb stattfinden und im Forschungsprojekt primär der Wärmeerzeugerbetrieb untersucht wird und der Elektrizitätserzeugerbetrieb nur peripher berücksichtigt wird, wurde zur Vermessung der Module aus Tab. 1 diese Methode herangezogen.

Ein Vergleich zwischen der Steady State Methode und der Harman Methode ist in der Arbeit von Mahajan (2013) durchgeführt worden.

Die Messvorgänge der Harman Methode wurden je Modul mit vier verschiedenen Temperaturen durchgeführt, deren Ergebnisse in der Abb. 5 dargestellt sind.

Es ergeben sich Unterschiede in der Güte der Module. Die Abweichung des Prüfkörpers 7, welcher den geringsten ZT-Wert der getesteten Module aufweist, zum Prüfkörper 3, welcher den höchsten ZT-Wert aufweist, beträgt -21 % bei 50 °C mittlere Modultemperatur.

Des Weiteren ist in der Abb. 5 zu erkennen, dass die Steigungen des ZT-Wertes über die Temperatur prinzipiell ähnliche Tendenzen aufweisen. Jedoch unterscheiden sich die Steigungen teilweise in einem Ausmaß, bei dem die Module sich unterschiedlich gut für den jeweiligen Temperaturbereich eignen.

Die Recherche der Module zeigte deutliche preisliche Unterschiede der Modulvertreiber. Daher wurde der Zusammenhang von Preis und ZT-Wert untersucht.

In der Abb. 6 ist eine steigende Tendenz des ZT-Wertes, bei steigenden Kosten zu erkennen. Das bedeutet, dass bei den untersuchten Modulen die Preisgestaltung durchaus gerechtfertigt ist. Jedoch wurden bei dieser Betrachtung die Degradation und Robustheit der Ausführung nicht berücksichtigt.

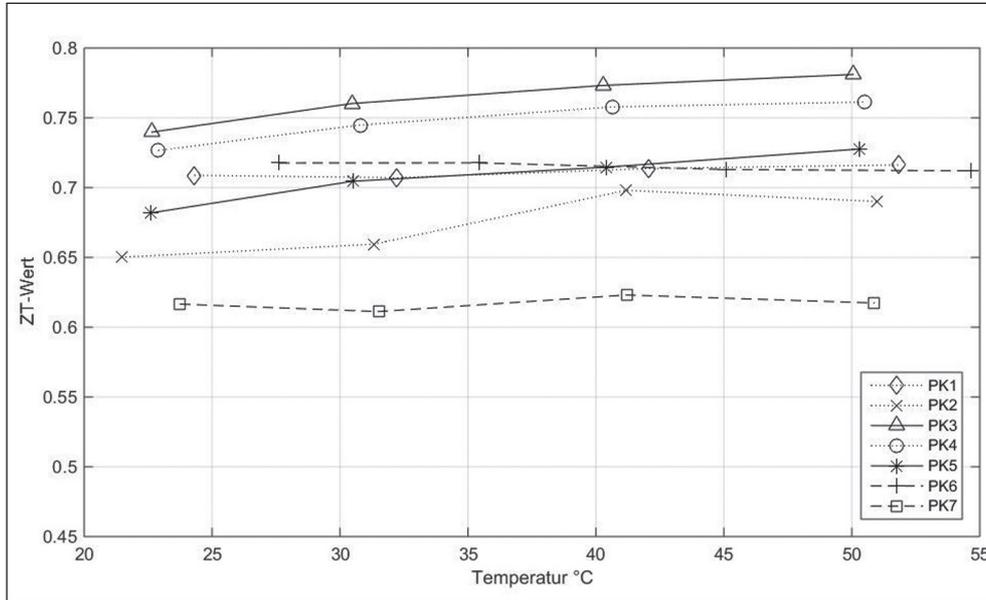


Abb. 4: ZT-Werte der getesteten Prüfkörper in Abhängigkeit der Temperatur

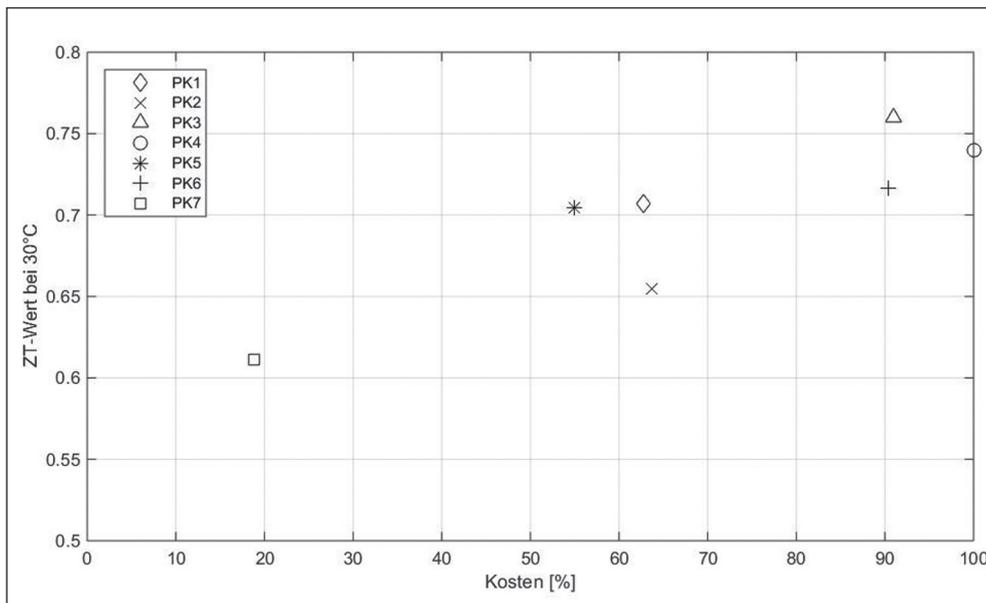


Abb. 5: ZT-Werte der getesteten Prüfkörper bei 30 °C in Abhängigkeit der Kosten

#### 4. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG

Es werden zwei Möglichkeiten zur Vermessung der relevanten Modulparameter anhand eines modularen Teststandes, dargestellt.

Für die Untersuchung der am Markt erhältlichen Module wurde die Harman Methode herangezogen, da bei dieser Methode das Modul in der „Wärmepumpen-Anwendung“ vermessen wird und somit relevanter für das Forschungsprojekt ist. Der Vergleich der sieben unterschiedlichen Module ergab ZT-Werte im Bereich von 0,61 bis 0,78 im betrachteten Temperaturbereich von 27,6 °C bis 50 °C. Eine Kostenanalyse der Module ergab, dass bei steigendem Preis mit höheren ZT-Wert zu rechnen ist.

Die Erkenntnisse dieser Untersuchungen zeigen die Unterschiede der am Markt erhältlichen Module auf und sind somit maßgebend für weitere Untersuchungen für die Anwendung von thermoelektrischen Wärmepumpen in der Gebäudetechnik.

#### ANERKENNUNG

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2014 durchgeführt.

#### LITERATUR

- Buist R. J. (1995) Methodology for Testing Thermoelectric Materials and Devices, CRC Hand-book of Thermoelectrics. Boca Raton, United States of America: CRC Press
- Harman T. C. (1958) Special Techniques for Measurement of Thermoelectric Properties, *Journal of Applied Physics*, 29(9), pp. 1373–1374.
- Mahajan, S.B., (2013) A test setup for characterizing high-temperature thermoelectric modules, Master's thesis, Rochester Institute of Technology
- Min, G. (2010) ZT Measurements Under Large Temperature Differences. *Journal of Electronic Materials*, 39:1782–1785.
- Stutterecker, W., Krottil, R., Aschauer, R. & Aschauer, J. (2016) Decentralized Hot and Cold Water Production with Peltier Elements, international congress CLIMA 2016, Aalborg
- Zechner, L.J. (2016) Modellierung von thermoelektrischen Elementen für den Einsatz in der Gebäudetechnik, Masterarbeit, Fachhochschule Burgenland

Kontakt Daten Autor:

Lukas J. Zechner

E-Mail: lukas.zechner@forschung-burgenland.at