

## Drucktechnologien zur Herstellung thermoelektrischer Generatoren

Prof. Dr.-Ing. Marcus Reichenberger und M.Sc. Kristina Grunewald, Fakultät efi, Labor für  
Aufbau- und Verbindungstechnik

Dr. Jens Helbig, Kompetenzzentrum Analytik, Nano- und Materialtechnik,  
Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

### Die Aufgabe

Bei den Herausforderungen, der sich die Gesellschaft in den nächsten Jahren und Jahrzehnten stellen muss, stehen CO<sub>2</sub>-neutrale Methoden und die Einsparung von Ressourcen in der Industrie und im Haushalt an vorderster Stelle.

Mit dem Projekt soll die Umwandlung von thermischer Energie aus der Umgebungswärme in elektrische Energie mit Hilfe drucktechnisch gefertigter thermoelektrischer Generatoren (TEG) prototypisch realisiert werden. Der Zielanwendungsbereich liegt bei Betriebstemperaturen von bis zu 50 °C – 60 °C und bei Temperaturdifferenzen von bis zu 40 Kelvin. Die Anwendungspotentiale derartiger TEG liegen im Bereich der Sensorik sowie der autonomen Mikrosysteme und weiterer Low-Power-Anwendungen.

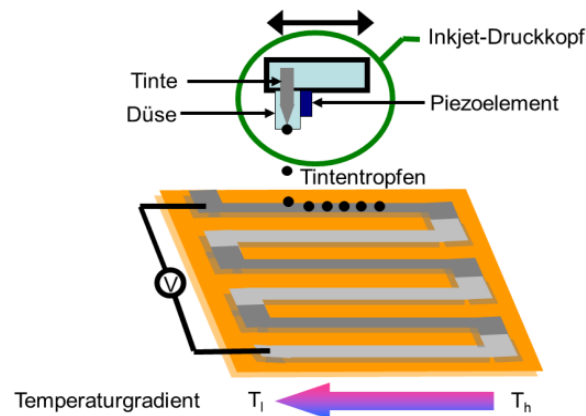


Abbildung: Prinzip der drucktechnischen Herstellung eines TEG mittels Jet-Druck-Verfahren

### Ergebnisse nach dem ersten Projektjahr

Nach Durchführung der geplanten Literaturrecherche und Marktanalyse konnten bereits erfolgreiche Druckversuche mit dem ausgewählten organischen Nanomaterial PEDOT:PSS in pastöser Form (intrinsisch leitfähiges Polymer) in Kombination mit Silberdruckpaste durchgeführt und erste thermoelektrische Generatoren auf den flexiblen Basissubstraten Polyimid (PI) und Polyethylenterephthalat (PET) realisiert werden. Als Druckprozess wurde eine Kombination von Siebdruck- und Jet-Verfahren eingesetzt, wobei schrittweise ein Übergang auf rein digitale, werkzeuglose Druckverfahren angestrebt ist. Beim flexiblen Jet-Verfahren wird das Material über eine Düse mittels Piezoelement oder elektro-pneumatisch angetriebenem Stößel Düse berührungslos auf das Substrat appliziert.

Die Druckmaterialien wurden in Mäanderform auf die Substratmaterialien gemäß nachfolgender Abbildung gedruckt. Dabei entsprechen die grünen Schenkel dem PEDOT:PSS, die schwarzen Schenkel der gedruckten Ag-Paste. Zu Testzwecken wurden

zunächst TEG Layouts mit ein, zwei und drei Thermopaaren realisiert, eine Erweiterung auf mehrere hundert in Reihe geschaltete Paare ist drucktechnisch realisierbar.

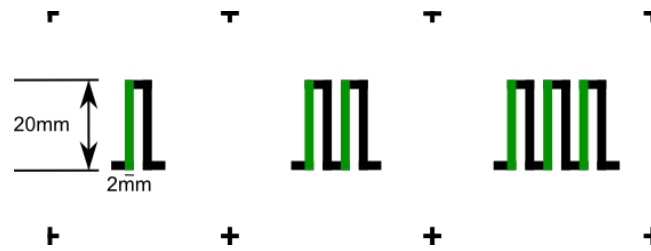


Abbildung: TEG Layouts mit ein, zwei und drei Thermopaaren

Nach dem Trocken der Materialpaarungen wurden diese auf dem im Rahmen des Projektes realisierten Messplatz zwischen Wärmesenke und Wärmequelle platziert und die Leerlaufspannungen der Thermopaare ermittelt. Mit steigender Temperaturdifferenz nimmt die Leerlaufspannung entsprechend zu. Bei einer Temperaturdifferenz von beispielsweise 30 K kann somit für 3 Thermopaare eine Spannung von etwa 1 mV erzeugt werden, bei einer Differenz von etwa 65 K werden etwas mehr als 2 mV gemessen. Zudem zeigen die Ergebnisse, dass mit einer Vervielfachung der in Reihe geschalteten Thermopaare die Leerlaufspannung entsprechend erhöht werden kann.

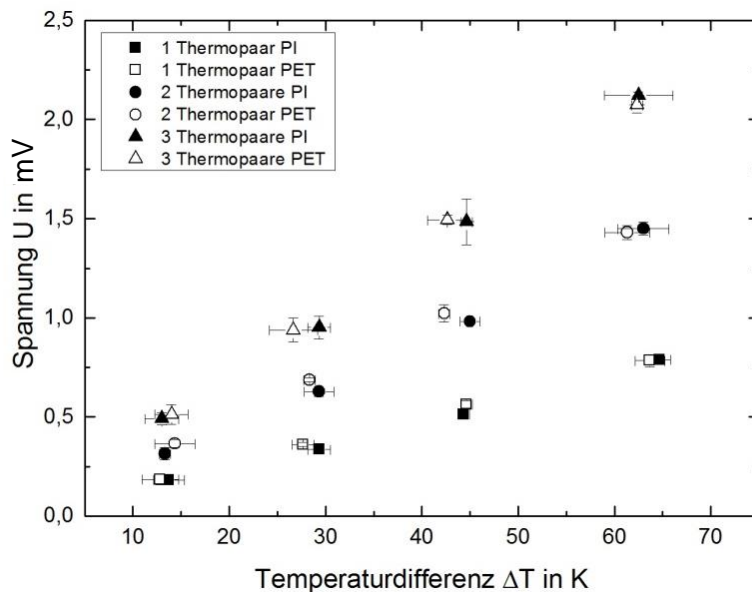


Abbildung: Seebeck-Spannung  $U$  in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  für alle gedruckten Thermopaare und Substrate (mit Standardabweichungen für die Spannungen und Temperaturdifferenzen)

## Zusammenfassung

In der bisherigen Projektlaufzeit konnte nachgewiesen werden, dass der untersuchte Weg vielversprechend ist. Es ist zu erwarten, dass durch die Erhöhung der Anzahl der in Reihe geschalteten Thermopaare bei gleichzeitiger Verbesserung der Materialeigenschaften durch Modifikation mit z.B. CNTs deutlich höhere Spannungen erreicht werden können. Die weitere Bearbeitung gemäß Projektplan soll endgültigen Aufschluss darüber geben, ob die kostengünstige und flexible prototypische Herstellung von TEGs für Mikrosysteme auf diesem Weg realisierbar ist.