

# Der Thermostat wird energieautark

**Thermoelektrische Generatoren sind winzige Geräte, die aus Temperaturunterschieden elektrische Ströme erzeugen. Die Zürcher Firma GreenTEG stellt die Minigeneratoren mit einem neuen Produktionsverfahrens kostengünstig her und nutzt sie für verschiedene technische Anwendungen. Aktuell entwickelt das ETH-Spin-off mit Industriepartnern ein Heizungsventil, das die Raumtemperatur intelligent und energieautark steuert.**



Mit kostengünstig hergestellten thermoelektrischen Generatoren will Dr. Wulf Glatz eine neue Generation von energieautarken Heizungsventilen auf den Markt bringen. Foto: Balz Murer

Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)

Thermostaten zur Regelung der Heiztemperatur in Wohn- und Geschäftsgebäuden sind heute weit verbreitet. Die Temperaturregler funktionieren nach einem einfachen Prinzip: Sobald der Bewohner die gewünschte Temperatur eingestellt hat, sorgt ein kleiner, mit einer dehnbaren Flüssigkeit gefüllter Behälter im Heizungsventil dafür, dass immer genau soviel Warmwasser in den Radiator nachströmt, wie für die Erreichung der gewünschten Raumtemperatur benötigt wird.

Die heutigen Thermostaten arbeiten zuverlässig, regeln die Raumtemperatur unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz aber oft nicht optimal. So werden Wohnungen gewöhnlich über den ganzen Tag voll beheizt, obwohl die Bewohner bei der Arbeit sind. Auch bei Ferienabwesenheit behalten die Heizkörper die Temperatur bei, sofern sich niemand die Mühe macht, die Thermostaten von Hand herunterzudrehen.

Solche Effizienzverluste liessen sich vermeiden, wenn die Regelung der Raumtemperatur einem automatischen Steuerungssystem

## 2 Der Thermostat wird energieautark

(Building-Management-System) übertragen würde. Solche Systeme regeln die Heizung 'intelligent': Sind die Bewohner in der Wohnung, liefert die Heizung die gewünschte Wärme, bei Abwesenheit hingegen wird die Temperatur in sinnvollem Umfang abgesenkt. Building-Management-Systeme übertragen ihre Steuerungsbefehle von zentraler Stelle per Funk an die in der Wohnung verteilten Heizungsventile. Diese setzen den Steuerungsbefehl dann automatisch um: indem sie den Warmwassereinlauf des zugehörigen Radiators vergrössern oder verringern. Building-Management-Systeme in Verbindung mit automatischen Heizventilen können gemäss Studien rund 25 % Heizenergie einsparen – und das ohne Komforteinbussen für die Bewohner. Ein riesiges Einsparpotenzial, wenn man bedenkt, dass in der Schweiz die Hälfte des Energieverbrauchs auf den Gebäudebereich entfällt.

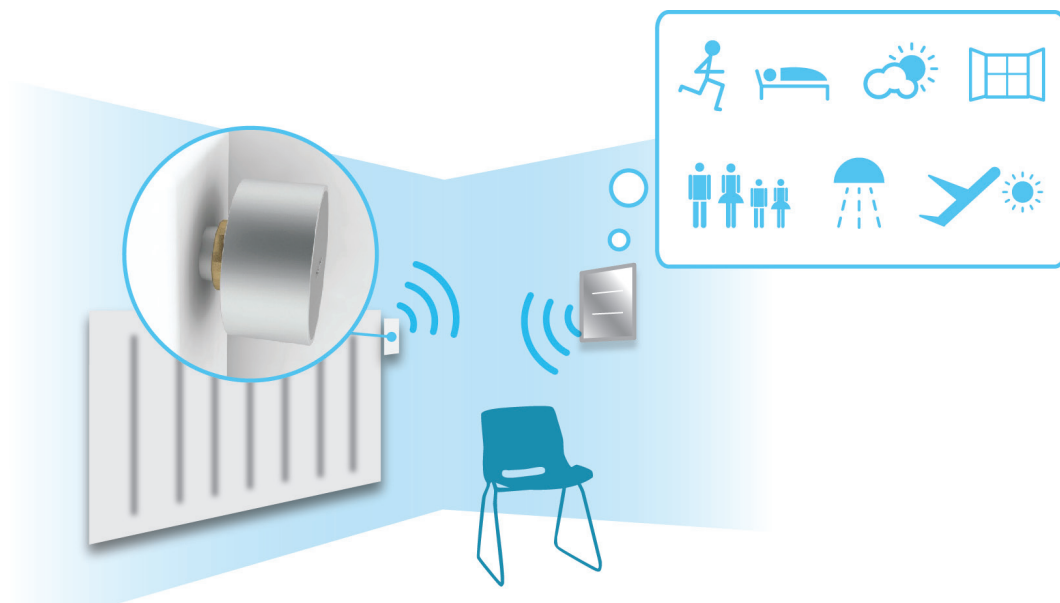
### **Autarke Stromversorgung für Heizventil**

Ein automatisches Heizventil enthält im Vergleich zu einem herkömmlichen Thermostatventil zwei zusätzliche Elemente: Erstens einen Funkempfänger, der das Steuerungssignal aus dem Building-Management-System empfängt. Zweitens einen Motor, der den



GreenTEG-Labor im Technopark Zürich: Das elektrochemische Abscheidungsverfahren ist die Kerninnovation bei der Herstellung thermo-elektrischer Generatoren. Foto: Balz Murer

Radiatorzulauf öffnet und schliesst. Funkempfänger und Motor brauchen Strom, zum Beispiel aus einer Batterie oder durch Anschluss ans häusliche Stromnetz. Ein neuar-



Ein Building-Management-System (graue Box) errechnet aus diversen Daten (An-/Abwesenheit der Bewohner, Wetter usw.), wann die Wohnung wie stark geheizt werden muss. Die Funkbefehle gehen an das Heizungsventil, das den Radiator regelt. Illustration: GreenTEG

### 3 Der Thermostat wird energieautark

tiger dritter Weg: ein Minigenerator, der den benötigten Strom direkt im Heizungsventil produziert. Genau dies leistet der thermoelektrische Generator (TEG). TEG haben die Fähigkeit, aus Temperaturdifferenzen direkt elektrischen Strom zu erzeugen.



Mit 'intelligenten' Heizungsventilen lassen sich nach Auskunft von Studien Heizkosten in der Grössenordnung von 25 % sparen. Foto: Balz Murer

Als Energiequelle nutzt der TEG die Temperaturdifferenz zwischen Vorlauftemperatur der Heizung (35-60 °C) und Raumtemperatur (20-25 °C), also eine Differenz von 10 bis 40 Grad. Mit dem erzeugten Strom stellt der TEG die Energieversorgung des Heizungsventils (Funkempfang, Motor) sicher.

#### Minimale Leistung

Ein dank TEG energieautarkes Heizungsventil könnte bereits Ende des nächsten Jahres zur Verfügung stehen. Die Zürcher Firma Green-TEG arbeitet daran zur Zeit im Rahmen eines vom Bundesamt für Energie geförderten Forschungsprojekts. „Unser Ziel ist ein voll funktionsfähiger Prototyp, der anschliessend

in die Serienproduktion kann“, sagt Green-TEG-Gründer und CEO Dr. Wulf Glatz. Seine Zwischenbilanz des dreijährigen Projekts: „Auf dem Papier haben wir unterdessen die Machbarkeit des Systems gezeigt. Unser TEG liefert genug Strom für die Versorgung des automatischen Heizungsventils. Jetzt müssen wir die Komponenten noch zusammenbauen und testen.“

Der Minigenerator muss hinreichend Strom liefern für das Heizungsventil. Diese Anforderung hat dem achtköpfigen Team von Green-TEG viel Kopfzerbrechen gekostet. Erstens mussten die Forscher den fingernagelgrossen TEG so weit bringen, dass er eine Leistung von 100 bis 200 Mikrowatt hat. Das ist für einen TEG eine respektable Leistung, immerhin soviel, wie ein Hörgerät modernster Art braucht. Doch für die direkte Versorgung eines automatischen Heizventils ist es immer noch zu wenig, denn um Funkempfänger und Motor anzutreiben, ist nach Optimierung aller Komponenten immer noch eine 10 mal höhere Leistung erforderlich. „Wir müssen daher den Strom aus dem TEG in einem Supercap oder einem Akku zwischenspeichern. Ist dort genug Strom vorhanden, können Funkempfänger und Motor bei Bedarf die benötigte Leistung abrufen“, erläutert Glatz den Lösungsansatz.

#### Drei Prozessschritte

Wulf Glatz führt den Besucher durch die Firmenräume im Zürcher Technopark. Hier wird die TEG-Technologie weiter erforscht. Zugleich werden die Minigeneratoren auch schon in geringer Stückzahl hergestellt. Es sind drei Produktionsräume, in denen die TEG Schritt für Schritt entstehen. Stark vereinfacht dargestellt geschieht das wie folgt: Im ersten Raum werden in eine Trägerfolie aus Kunststoff Löcher von 0,1 – 0,5 mm Durchmesser gestanzt. Im zweiten Raum wird Halbleitermaterial in einem Elektrolyten gelöst und in den ausgestanzten Löchern elektrochemisch abgeschieden – dabei entstehen winzige Zellenpaare ('Thermopaare'), mit denen der TEG Wärmeunterschiede in Strom umwandelt. Im

dritten Raum werden die Thermopaare – 30 bis 300 je nach Grösse des TEG – mit einem photolithographischen Verfahren mit Leiterbahnen verbunden.

Die eigentliche Innovation von GreenTEG steckt im zweiten Prozessschritt, der elektrochemischen Abscheidung des Halbleitermaterials. Die Grundlagen dieses Verfahrens hatte Glatz einst in seiner Dissertation an der ETH Zürich erarbeitet. „Das ist ein sehr komplexer Vorgang mit 60 Parametern. Im Vergleich zu früheren Verfahren sparen wir einen Prozessschritt ein und haben weniger Materialverluste. Daher können wir die TEG billiger herstellen, und der Produktionsprozess ist besser für grosse Produktionsmengen skalierbar“, sagt der ausgebildete Maschineningenieur.

### Chancen auf dem Markt

Das neue Produktionsverfahren soll der TEG-Technologie, die bisher praktisch nur in der Raumfahrt zur Anwendung kam, in einem kommerziellen Produkt zum Durchbruch verhelfen. Dazu kooperiert GreenTEG mit dem deutschen Thermostatventil-Hersteller TA Heimeier und weiteren Industriepartnern. Sie steuern die verschiedenen Komponenten des energieautarken Heizungsventils bei. GreenTEG liefert das für die Stromversorgung notwendige Modul. Wulf Glatz räumt dem innovativen Heizungsventil grosse Chancen auf dem Heizungsmarkt ein, und dies, obwohl es bei der Markteinführung voraussichtlich rund dreimal teurer sein wird als ein herkömmliches Thermostatventil.

„Unsere Ventile schaffen die Voraussetzung, einen Viertel der Heizkosten einzusparen; das ist mehr, als man selbst durch teure Sanierungsmaßnahmen einsparen könnte“, meint Glatz. Für ihn ist es nur noch ein kleiner Schritt in eine Zukunft mit wirklich effizienten Heizungssystemen: Idealerweise würde dann das Building-Management-System über Geofencing mit Smartphone erkennen, ob die Bewohner zuhause sind oder nicht – und abhängig davon über die automatischen Heizungsventile die Radiatortemperatur regeln.

- » Auskünfte erteilt Roland Brüniger, Leiter des BFE-Forschungsprogramms 'Elektrizitätstechnologien und -anwendungen': [roland.brueeniger\[at\]r-brueniger-ag.ch](mailto:roland.brueeniger[at]r-brueniger-ag.ch)
- » Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Elektrizität finden Sie unter: [www.bfe.admin.ch/CT/strom](http://www.bfe.admin.ch/CT/strom)

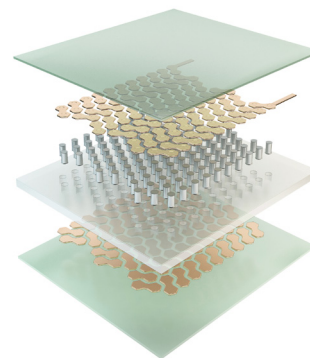
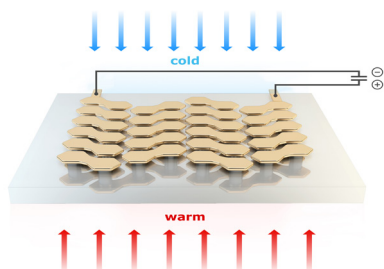
### Energy harvesting mit thermoelektrischen Generatoren

Energy harvesting heisst das Schlagwort. Gemeint ist damit die Möglichkeit, Energie zu 'ernten' unter Ausnutzung von Sonne, Wärme oder Bewegung, dies mit mobilen, netzunabhängigen Minigeneratoren. Ein Weg des Energy harvestings führt über thermoelektrische Generatoren (TEG). Sie sind in der Lage, aus Wärmedifferenzen einen elektrischen Strom zu erzeugen.

Physikalische Grundlage der TEG ist der Seebeck-Effekt, benannt nach dem deutsch-baltischen Physiker Thomas Seebeck (1770-1831). Der Seebeck-Effekt (auch: thermoelektrischer Effekt) stellt sich ein, wenn man zwei z.B. zylinderförmige Elemente aus Halbleitern mit unterschiedlichen Seebeck-Koeffizienten ('Thermopaare') nebeneinander stellt und diese zu einem Stromkreis verbindet, während an der Unterseite der Zylinder eine warme, am oberen Ende aber eine kalte Temperatur herrscht (siehe Illustration unten links; ein Wabenpaar entspricht einem Thermopaar). Bei dieser Anordnung entsteht eine Spannung und damit ein Strom, dessen Grösse abhängig ist von der Temperaturdifferenz, von den verwendeten Materialien und dem Temperaturbereich.

Damit der erwünschte Effekt eintritt, müssen die beiden Halbleiter in geeigneter Weise mit Fremdatomen versetzt ('dotiert') sein, der eine n-dotiert, der andere p-dotiert. Dieses System funktioniert mit unterschiedlichen Materialkombinationen. Die genaue Zusammensetzung der von GreenTEG verwendeten Halbleitermaterialien ist vertraulich. Um einen massgeblichen Strom zu erzeugen, werden mehrere Thermopaare – Dutzende oder sogar Tausende – in Serie geschaltet. Die Illustration unten rechts zeigt das Konstruktionsschema eines TEG der Firma GreenTEG: In der mittleren Folie sind die ausgestanzten Löcher erkennbar; diese werden durch elektrochemische Abscheidung mit Thermopaaren gefüllt, die anschliessend oben und unten mit Kontakten versehen und damit in Serie geschaltet werden. Die ganze Anordnung wird oben und unten mit einer Schutzfolie (grün) geschützt.

GreenTEG nutzt die zugrundeliegende Technologie auch zur Herstellung von Sensoren für thermische Messungen (Überwachung von Laserleistung, Messung von Wärmeverlusten in Gebäuden, Prozessüberwachung etc). BV



### Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH- 3063 Ittigen, Postadresse: CH-3003 Bern  
Telefon +41 (0)31 322 56 11, Fax +41 (0)31 323 25 00  
cleantech[at]bfe.admin.ch, www.bfe.admin.ch