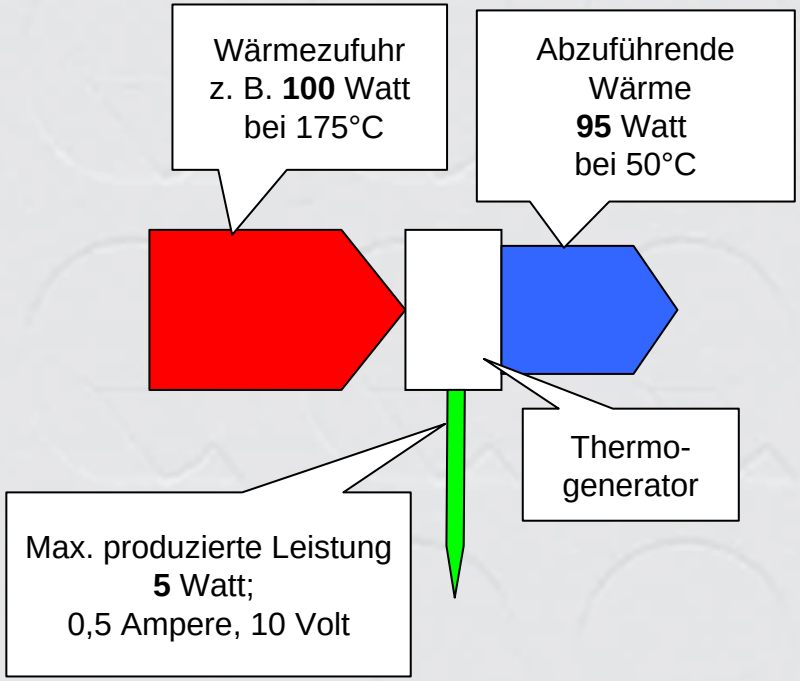
Prinzip der Stromerzeugung mittels thermoelektrischer Generator (kurz Thermogenerator genannt)



Ein Thermogenerator produziert aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften eine elektrische Spannung. Wird die Spannung an einen elektrischen Verbraucher angeschlossen, fließt ein Gleichstrom. Die so produzierte elektrische Leistung ist umso größer, je größer der Temperaturunterschied am Thermogenerator ist.

Jedes Peltierelement kann als Thermogenerator eingesetzt werden

Pro 30 °C Temperaturunterschied kann der Thermogenerator ca. 1% der im Wärmestrom enthaltenen Energie in Strom umformen, eine optimale Abstimmung des elektrischen Widerstandes des nachgeschalteten Stromverbrauchers unterstellt.

Nebenstehende Beispielwerte Werte gelten für einen Thermogenerator (QCG-450-0.8-1.0) mit 450 Thermopaaren.

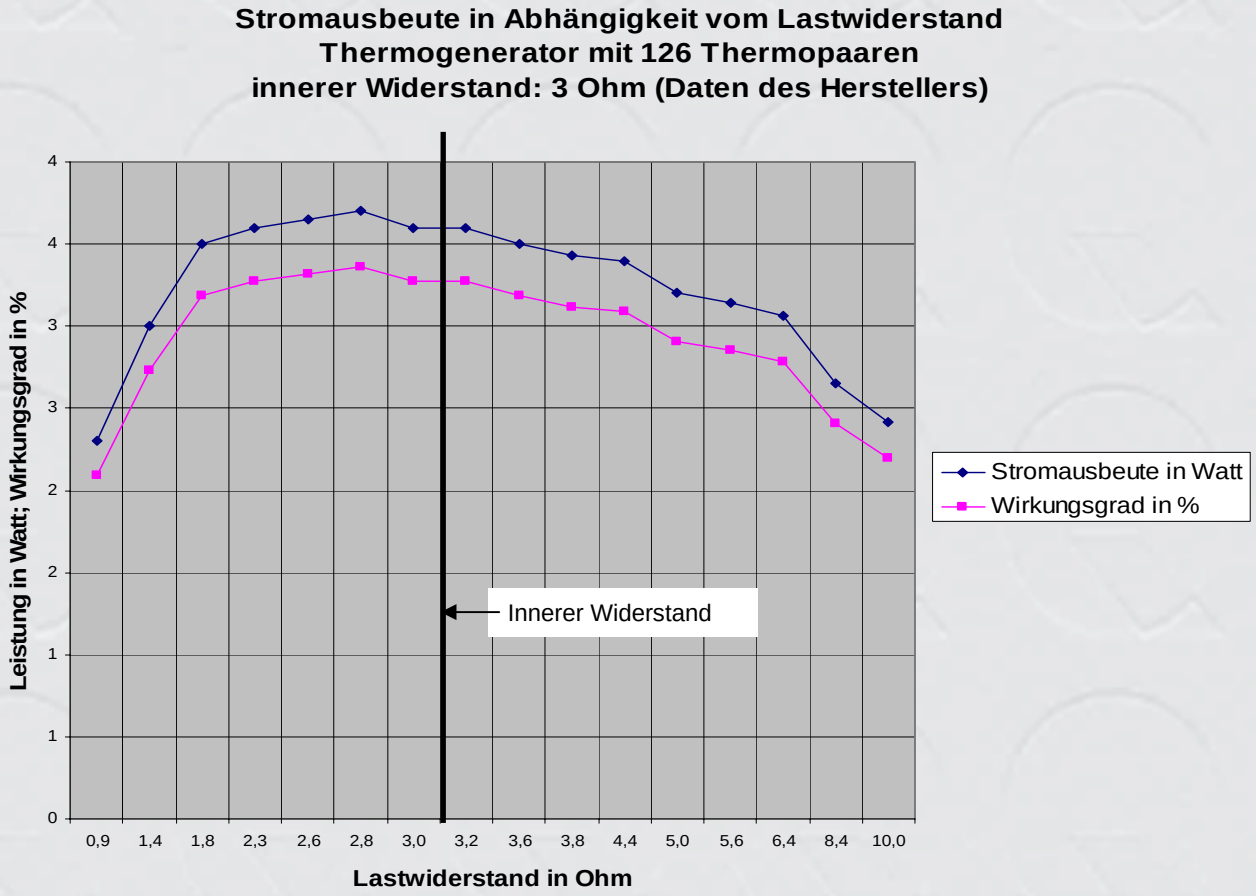
Die obere Prozesstemperatur ist durch die Haltbarkeit des Materials limitiert, die untere ist durch die Temperatur der Wärmesenke definiert.

Zur kontinuierlichen Stromproduktion muß der Temperaturunterschied ständig aufrechterhalten werden. Der Thermogenerator muß deshalb auf der einen Seite ständig geheizt, auf der anderen Seite ständig gekühlt werden.

Dazu ist eine effiziente Heranführung der Wärme an die eine Seite des Generators genauso wichtig wie die gute Kühlung der anderen Seite.

Abhängigkeit der Stromerzeugung vom Lastwiderstand

Der Lastwiderstand sollte in der gleichen Größe liegen wie der innere Widerstand des Generators. Bei stärkeren Abweichungen entstehen hohe Verluste, wie die Grafik zeigt.



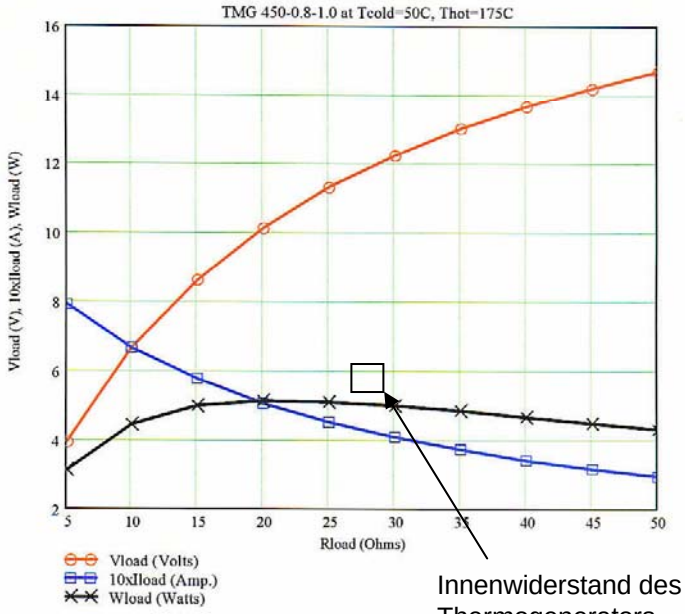
Quick - cool

Performance Graphs

QCG-450-0.8-1.0 power generating module

Thot=175°C is a hot side temperature
Tcold=50°C is a cold side temperature
Voc=21 Volts is an open circuit voltage
Rin=21.8 Ohm is a module internal resistance at 110°C in Ohms
Rload is a load resistance (in Ohms)
Vload is a load voltage (in Volts)
Iload is a load current (in Amp.)
Wload is a generated output power (in Watts), corresponded to the Rload

To get presented efficiency, the module should be mounted between flat and lapped faces and should be uniformly pressed with the force 120-150 N per square cm of the module cold (or hot) side surface.



Innenwiderstand des Thermogenerators

Die tendenziell gleiche Information (verbunden mit einer höheren Aussagekraft) läßt sich aus einem Leistungsdiagramm der Firma Quick-Ohm ableiten. Hierbei wird auch deutlich, daß dieser Thermogenerator hinsichtlich seines elektrischen Widerstandes eine wesentlich höhere Anwendungsbreite besitzt wie das vorgenannte Produkt.

Dies kann im Einzelfall von entscheidendem Vorteil sein, was aber in der jeweiligen Anwendung zu prüfen ist.

Bei Peltierelementen sollte man unabhängig davon ob sie für thermische Anwendungen oder Stromproduktion eingesetzt werden, nicht von guten oder schlechten Bauteilen sprechen, sondern von für die jeweilige Anwendung geeigneten oder nicht geeigneten.

Komponenten für die Anwendung eines Thermogenerators

Folgende Komponenten werden für die Stromgeneration benötigt:

1. Die Heranführung der Wärme

(kann entfallen, wenn der Generator unmittelbar auf ein Wärmereservoir montiert werden kann)

Falls erforderlich, muß die Temperatur des Wärmestroms gezielt abgesenkt werden, um eine Zerstörung des Generators zu verhindern.

2. Der Generator als Kernbestandteil des Systems

3. Die Wärmeabfuhr

(kann entfallen, wenn der Generator unmittelbar auf ein Kältereservoir montiert werden kann)

4. Stromeinspeisung

Der Strom muß je nach Anwendungsfall bedarfsgerecht konditioniert werden (Spannung muß angepaßt werden; evtl. ist eine Reihenschaltung der Generatoren zu realisieren; Strom muß in einen Wechselstrom umgewandelt werden u. a. m.)

5. Stromspeicherung

Falls Stromerzeugung und Stromverbrauch nicht streng synchron auftreten, ist eine Speichermöglichkeit des erzeugten Stroms vorzusehen

Die Qualität und die Preiswürdigkeit des Gesamtsystems hängt maßgeblich von der Abstimmung der Einzelkomponenten aufeinander ab.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung; optimistische Variante (kann in seltenen Fällen vorkommen)

Für eine Berechnung der Kosten für den erzeugten Strom spielen die Investitionskosten die dominierende Rolle. Im folgenden werden beispielhaft zwei Extreme betrachtet.

1. Optimale Rahmenbedingungen:

•Der Thermogenerator kann direkt auf die Wärmequelle montiert werden

•Obere Temperatur = 175°C; untere Temperatur = 50°C

•Der Thermogenerator kann mit geringem Aufwand an eine Wärmesenke angebunden werden

•Der erzeugte Strom kann ohne großen Aufwand in eine vorhandene Infrastruktur eingespeist werden

•Einsatz eines low cost Produktes (30 € für ein 15 Watt-Element; 10,5 $Watt_{eff}$)

Investitionskosten für das Gesamtsystem: ca. 5.000 €/kW

Bei einer Jahresbenutzungsdauer von 5.000 h und einer Lebensdauer von 10 Jahren resultieren daraus **Stromgestehungskosten von ca. 10 Cent/kWh.** (ohne Wartung, Instandhaltung; Versicherung, Kapitalverzinsung; Gemeinkosten)

Dieser Preis ist durchaus interessant im Vergleich zu den Stromgestehungskosten anderer Stromerzeugungsvarianten im kleinen Leistungsbereich.

Auf der anderen Seite setzt die hier unterstellte Jahresbenutzungsdauer von 5.000 h eine Prozessanlage als Wärmequelle voraus. Dabei ist zu prüfen, ob der kalkulierte Strompreis wettbewerbsfähig zum Beschaffungspreis für Strom am jeweiligen Standort ist.

Sofern es sich bei der Wärmequelle um Abwärme handelt, die sonst keiner weiteren Verwendung zugeführt werden kann, ist die Möglichkeit einer Einspeisung in das vorgelagerte Netz zu prüfen. Die dann zusätzlich auftretenden Kosten sind zu berücksichtigen.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung; realistische Variante

1. realistische Rahmenbedingungen:

•Der Thermogenerator kann direkt auf die Wärmequelle montiert werden

•Obere Temperatur = 130°C; untere Temperatur = 50°C

•Der Thermogenerator muß mit beachtlichem Aufwand an eine Wärmesenke angebunden werden (für jede erzeugte kWh Strom müssen ca. 30 kWh Wärme „bewegt“ werden)

•Der erzeugte Strom kann nach Anpassung der Infrastruktur eingespeist werden

•Einsatz eines high quality Produktes (30 € für ein 5 Watt-Element; 5 $Watt_{eff}$)

Investitionskosten: ca. 14.000 €/kW

Bei einer Jahresbenutzungsdauer von 2.000 h und einer Lebensdauer von 10 Jahren resultieren daraus **Stromgestehungskosten von ca. 70 Cent.** (ohne Wartung, Instandhaltung; Versicherung, Kapitalverzinsung; Gemeinkosten)

Dieser Preis ist nur marktfähig, wenn es keine andere Option zur Stromerzeugung gibt. Dies kann zutreffen auf abgelegene Objekte, bei militärischem Einsatz oder bei einem Zwang zur unterbrechungsfreien Hilfstromversorgung. Hier stellt sich die Frage, was eine Stromversorgung kosten darf, wenn eine Alternative fehlt. (In der Wüste ist ein Glas Wasser mitunter von immensem Wert). Auch im Vergleich zur Solarstromerzeugung liegt der Preis im Rahmen der Wettbewerbsfähigkeit, sofern dort keine optimalen Rahmenbedingungen gegeben sind.

Die Sensitivität dieses Preises gegenüber den diversen Einflußparameter muß allerdings nocheinmal betont werden. Z. B. bei einem Temperaturgefälle von ca. 50°C und einer Benutzungsdauer von ca. 1.000 h resultiert bei den genannten Einflußparametern ein Strompreis von 180 Cent/kWh!