

# Wirtschaftlichkeit von Thermogeneratoren

## Thermoelektrischer Generator

Neue Technik und die klassischen Fragen

Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau zu verstromen, ist in der Technik ein lange gehegter Wunsch. Bisherige, kommerziell nutzbare Lösungen wie der Stirlingmotor oder ORC-Dampfturbinen sind sehr speziell und konnten keine wirkliche Marktbedeutung erlangen. Dabei wäre das Potential riesig; das Umweltbundesamt spricht von zehn bis fünfzehn Terawattstunden Strom, was einer möglichen Einsparung von drei bis sechs Milliarden Euro entspricht.



Auf den ersten Blick erinnert die direkte Umwandlung von Wärme in Strom an die sinnlosen Versuche der Alchemisten des Mittelalters, aus unedlem Material wertvolles Gold zu gewinnen. Doch im Gegensatz zur Chemie, die derartige Veredlungsversuche gnadenlos scheitern lässt, hat die Physik zumindest für Energieumwandlungen

diverse Hintertürchen offen gelassen. Die Technik nutzt hierzu den, nach seinem Entdecker Thomas Johann Seebeck (1770-1831) benannten Seebeck-Effekt.

Die Umsetzung erfolgt mittels elektrothermischer Wandler, nach Jean Peltier (1785 –1845) als Peltier-Element benannt. Diese Elemente bestehen heute im wesentlichen aus Materialkompositionen, wobei durch spezielle Dotierungen den Halbleitereigenschaften eine gewünschte Diskrepanz in der Strom- und Wärmeleitfähigkeit verliehen wird. Ein wichtiges Charakteristikum hierzu ist der thermoelektrische Gütefaktor eines Materials, auch ZT-Wert genannt. Ein hoher ZT-Wert bedeutet bessere thermodynamische Leistung. Am häufigsten werden für thermoelektrische Generatoren bisher Wismut-Tellurid-Legierungen (Bi-Te) verwendet, die für einen Einsatz bis zu 250 Grad Celsius geeignet sind.

Für die Nutzung der Thermogeneratorentechnik kommt als Energiequelle in sinnvoller Weise Abwärme, also ohnehin anfallende, anderweitig nicht nutzbare Wärme in Betracht.



Relativ niedrige Wandlungsgrade können dabei durchaus in Kauf genommen werden, da die bisher ungenutzte Abwärme als Energieträger keine zusätzlichen variablen Kosten verursacht.

Geothermische oder solare Quellen sind verwendbar, jedoch kein primäres Ziel der Entwicklung.

Bisher war die Verwendung von Thermogeneratoren zur Nutzung von Abwärme in anlagentechnischem Maßstab nur ein theoretisches Modell. Ein Unternehmen in Bayern, die „smartE5 GmbH“ hat nun ein, zum Patent angemeldetes System zur Marktreife gebracht, welches leistungsadaptierbar in bestehende Querschnittstechnologien eingebunden werden kann.

# Leistungsvergleich mit Photovoltaik

Ein direkter Nutzwertvergleich mit einer Photovoltaikanlage bringt erstaunliche Erkenntnisse. Eine, aus Silizium-Hochleistungszellen bestehende PV-Anlage mit 12 Quadratmeter Fläche erbringt mit einem Wirkungsgrad von 17 Prozent unter Idealbedingungen in Süddeutschland eine Jahresleistung von 2000 kWh. Dieselbe Leistung erzielt ein Thermoelektrischer Generator, welcher permanent von einer Abwärmequelle mit 5 kW versorgt wird. Dabei liegt sein Wirkungsgrad mit 5 Prozent deutlich tiefer. Die in beiden Fällen flächenwirksame Elektromagnetische Strahlung, als zu wandelnde Energieform, wirkt hierbei auf eine Fläche welche nur 4 Prozent der Photovoltaikfläche beträgt.

## Nutzwert-Vergleich PV vs TEG

Vergleichsbasis: Gleicher Jahresertrag von 2000 kWh

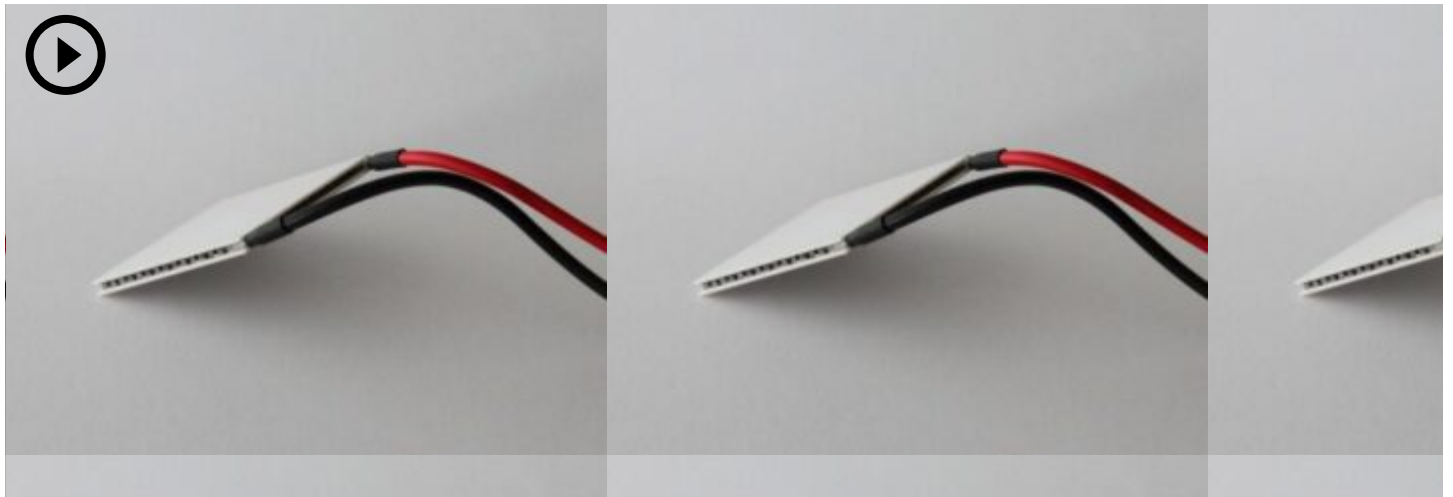
	PV	TEG
Energiequelle	Sonneneinstrahlung Standort Süddeutschland	Industrielle Abwärme aus der Druckluftzeugung Kompressor mit 7 kW Leistungsaufnahme
wirksame Fläche	120'000 cm <sup>2</sup>	4'600 cm <sup>2</sup>
Quellenverfügbarkeit	volatil	permanent
Leistung	2 kWp	0,23 kW
Systemwirkungsgrad	17,00%	5,00%
effektiver Jahreswirkungsgrad (Nutzungsgrad)	< 2%	5,00%
Bedarfs konform	nein	ja
Wartungsaufwand (Wandlungstechnik)	ja	nein

Entwicklungsstand TEG iA „ThermoElementGenerator in Anwendung“ Doku: consilium energia 2017-06

Die mangelnde Quellenverfügbarkeit führt bei der PV-Anlage zu einem effektiven Jahreswirkungsgrad von unter 2 Prozent. Bei dem, durch die Abwärmequelle permanent versorgten Thermogenerator ist der Systemwirkungsgrad gleich dem Jahreswirkungsgrad. Für eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung ist der Nutzungsgrad (Nutzwert) der eingesetzten Technik in Abhängigkeit der Quellenverfügbarkeit mit entscheidend.

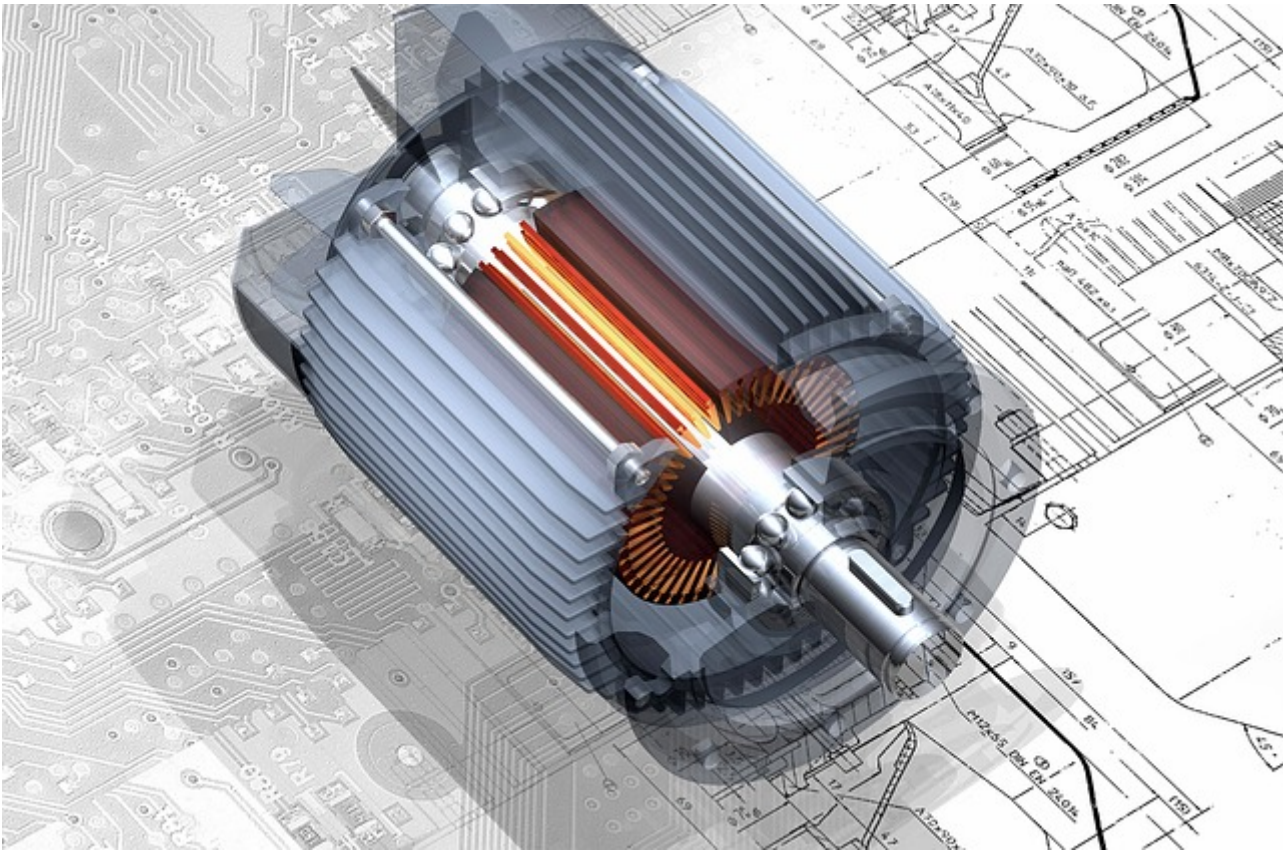
## **VIDEO – Der Wirkungsgrad von Seebeck Elementen**

Ist nicht der entscheidende Faktor



**Einsatz in Verbindung mit BHKW**





Nun soll die Thermogeneratorentechnik ja keine andere Technik ersetzen, sondern die Bandbreite verfügbarer Technik für interessante Einsatzgebiete erweitern; deshalb eine weitere Betrachtung in Verbindung mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Dezentrale Stromerzeuger wie BHKW (Blockheizkraftwerke) verfügen über elektrische Wirkungsgrade um die 40 Prozent, der höhere Anteil der eingesetzten Primärenergie wird aber dabei in Wärme umgesetzt. Kann nun mit 5 Prozent Wirkungsgrad diese Abwärme ebenfalls verstromt werden, würde dies den elektrischen Wirkungsgrad des BHKW's um nominell 7,5 Prozent auf 43 Prozent erhöhen. Anders ausgedrückt erspart diese Leistungssteigerung 7,5 Prozent Primärenergieeinsatz, welcher ansonsten aufzuwenden wäre. Um eine solche Leistungssteigerung auf der Kraftmaschinenseite zu erreichen, wäre ein erheblicher konstruktiver Aufwand erforderlich.

# Lebenszyklusorientierung



Thermoelektrische Generatoren sind langlebig und funktionieren wartungsfrei. Seit mehr als fünf Jahrzehnten nutzt die Raumfahrttechnik sie zur Stromversorgung von Raumsonden. Die Voyager-Sonden funktionieren seit dem Start im Jahr 1977 fehlerfrei. Derart lange Zeiträume ununterbrochenen und wartungsfreien Betriebs sind allgemein für technische Anwendungen äußerst selten und somit eine herausstechende Eigenschaft der Thermoelektrik.

Der Thermogenerator ist also verschleißfrei, da er keine beweglichen Teile beinhaltet. Die elektrothermischen Wandlerelemente setzen die Wärmeenergie direkt in elektrischen Gleichstrom um. Deren Lebensdauer wird Herstellerseitig mit >200'000 Stunden angegeben, damit kann man einen Permanentbetrieb



von gut 25 Jahren in Ansatz bringen. Als kalkulatorisch für diesen Zeitraum anzusetzende System-Austauschteile sind lediglich zwei Umwälzpumpen für den Wärmeträgertransport und der Wechselrichter für die Umsetzung des Gleichstroms in Wechselstrom zu benennen.

Der derzeitige Nachteil des eingeschränkten energetischen Wandlungsgrades, wird durch die wesentlich längere Betriebszeit und bessere Ausnutzung der TE-Generatorleistung mehr als ausgeglichen.

## Investitionskosten



Die Geräteinvestition bewegt sich in etwa auf dem Niveau der bereits marktbekannten ORC-Anlagentechnik. Der Aufwand für die Systemeinbindung ist ebenfalls vergleichbar. Das Potential welches in der Abwärmenutzung gegeben ist, wurde wie im Artikel eingangs dargestellt, von verantwortlichen Stellen erkannt und resultiert in umfangreichen Förderprogrammen; sowohl für die erforderlichen



Beratungs- und Planungsleistungen, wie auch in Investitionszuschüssen und zinsgünstigen Krediten. Diese Förderungen können in einzelnen Bundesländern kumuliert bis zu 80 Prozent erreichen. Beispielhaft sei hier die KfW mit dem Förderprogramm 295 genannt.

*Fazit: Wer clever ist, holt sich flugs einen gut informierten Energiemanager für einen Energiecheck ins Unternehmen und nutzt auf jeden Fall die umfangreiche Förderung die schon mal einen Großteil von dessen Beratungshonorar übernimmt.*

## **Noch mehr Info ...**

... Zur Produktentwicklung des ThermoElektrischenGenerators

Strom aus Abwärme