





TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft einen thermoelektrischen Generator zur Umwandlung thermischer Energie in elektrische Energie, mit mehreren zu einem Modul (10) zusammengeschalteten Peltierelementen (E1, E2, E3...), welche zwischen einer Wärmequelle (Q) und einer Wärmesenke (S) angeordnet sind, wobei jedes Peltierelement (E1, E2, E3...) aus einem p-dotierten Schenkel (Sp) und einem n-dotierten Schenkel (Sn) besteht, die an deren Enden durch Elektroden (11, 12) elektrisch leitend verbunden sind. Erfindungsgemäss weisen sowohl die p-dotierten Schenkel (Sp1, Sp2, Sp3...) als auch die n-dotierten Schenkel (Sn1, Sn2, Sn3...) der einzelnen Peltierelemente (E1, E2, E3...) unterschiedliche Materialien (P1, P2, P3..., N1, N2, N3...) auf, deren Wirkungsgrad im Hinblick auf unterschiedliche Temperaturwerte ( $T_1, T_2, T_3...$ ) an den Kontaktstellen der einzelnen Peltierelemente (E1, E2, E3...) zur Wärmequelle (Q) optimiert ist.

## **Thermoelektrischer Generator zur Umwandlung thermischer Energie in elektrische Energie**

Die Erfindung betrifft einen thermoelektrischen Generator zur Umwandlung thermischer Energie in elektrische Energie, mit mehreren zu einem Modul zusammengeschalteten Peltierelementen, welche zwischen einer Wärmequelle und einer Wärmesenke angeordnet sind, wobei jedes Peltierelement aus einem p-dotierten Schenkel und einem n-dotierten Schenkel besteht, die an deren Enden durch Elektroden elektrisch leitend verbunden sind.

Die Abwärmenutzung mittels thermoelektrischer Generatoren TEG bzw. mittels Peltierelementen ist bereits in mehreren Anwendungen bekannt. Das Peltierelement dient dabei zur direkten Umwandlung von Wärme in elektrische Energie. Es wird ein n- und ein p-Halbleiter gepaart und die Ladungsträger durch einen äußeren Temperaturgradienten verschoben, wodurch im äußeren Kreis Strom fließen kann.

So ist beispielsweise aus der DE 199 46 806 A1 ein Verfahren und eine Einrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie aus thermischer Energie nach dem Seebeck-Effekt bekannt, wobei ein aus einer Vielzahl von Peltierelementen bestehendes Peltiermodul zwischen einem Wärme aufnehmenden und einem Wärme abgebenden Modulleitkörper in wärmeleitendem Kontakt angeordnet und einem Temperaturgradienten über die Elementschenkel der Peltierelemente ausgesetzt ist. Die sich ergebende Spannung wird durch Hintereinanderschaltung der Peltiermodule entsprechend vergrößert und zur Stromerzeugung verwendet. Als beispielsweise Anwendung wird die Ausnutzung der Abwärme bei einem Motorblock oder der Auspuffanlage eines Verbrennungsmotors beschrieben.

Weiters ist es aus der US 4,095.998 A bekannt, mehrere Reihen aus p- und n-Elementen bestehenden thermoelektrischer Generatoren sternförmig entlang eines von einem Abgasstrom durchflossenen Abgasstranges anzuordnen und so thermoelektrische Energie rückzugewinnen. Die einzelnen p- und n-Elemente sind gleichartig aufgebaut.

In der DE 10 2004 005 151 A1 wird eine Sensoreinrichtung und ein System zur Messung des Zustandes eines Mediums beschrieben, wobei als Energiequelle beispielsweise eines Ölzustandssensors ein thermoelektrischer Generator verwendet wird, der seine Energie mit Hilfe eines Peltierelementes aus dem Temperaturunterschied zwischen dem zu vermessenden Medium (beispielsweise Öl) und der Umgebung bezieht.

Bei vielen der genannten Anwendungen haben die eingesetzten thermoelektrischen Generatoren nur einen sehr geringen Wirkungsgrad von ca. 5%. Aufgabe der Erfindung ist es daher diesen Wirkungsgrad signifikant zu steigern, insbesondere auch dann, wenn die Wärmequelle eine örtlich inhomogene Temperaturverteilung zeigt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass sowohl die p-dotierten Schenkel ( $Sp_1, Sp_2, Sp_3...$ ) als auch die n-dotierten Schenkel ( $Sn_1, Sn_2, Sn_3...$ ) der einzelnen Peltierelemente ( $E_1, E_2, E_3...$ ) in Abhängigkeit der unterschiedlichen Temperaturwerte ( $T_1, T_2, T_3...$ ) an den Kontaktstellen der einzelnen Peltierelemente ( $E_1, E_2, E_3...$ ) zur Wärmequelle ( $Q$ ) aus unterschiedliche Materialien ( $P_1, P_2, P_3..., N_1, N_2, N_3...$ ) bestehen. Die p-dotierten und n-dotierten Schenkel der einzelnen modulartig zusammengeschalteten Peltierelemente des erfindungsgemäßen Generators sind also nicht gleichartig aufgebaut, sondern im Sinne einer Optimierung des Wirkungsgrades der Umsetzung der thermischen Energie in elektrische Energie aus unterschiedlichen Materialien hergestellt.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von schematischen Darstellungen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 ein Peltierelement gemäß Stand der Technik;
- Fig. 2 eine vorteilhafte Variante eines Peltierelementes gemäß Stand der Technik;
- Fig. 3 einen erfindungsgemäßen thermoelektrischen Generator zur Umwandlung thermischer Energie in elektrische Energie;
- Fig. 4 eine bevorzugte Variante eines erfindungsgemäßen thermoelektrischen Generators;
- Fig. 5 ein Diagramm über den thermoelektrische Wirkungsgrad eines segmentierten Peltierelementes in einem Temperaturbereich zwischen  $0^{\circ}\text{C}$  und  $600^{\circ}\text{C}$ ; sowie
- Fig. 6 einen Vergleich der Wirkungsgrade unterschiedlich aufgebauter Peltierelemente in einem Temperaturbereich zwischen  $0^{\circ}\text{C}$  und  $600^{\circ}\text{C}$ .

Zum besseren Verständnis der Erfindung wird auf die Figuren 1 und 2 verwiesen, welche Ausführungen gemäß Stand der Technik zeigen. In Fig. 1 ist ein Peltierelement  $E_1$  dargestellt, welches aus einem p-dotierten Schenkel  $Sp$  und einem n-dotierten Schenkel  $Sn$  besteht, die mit Hilfe von Elektroden 11 und 12 leitfähig miteinander verbunden sind. Zwischen der Wärmequelle  $Q$  mit der Temperatur  $T_1$

und der Wärmesenke S mit der Temperatur  $T_0$  bildet sich der im rechten Bildteil dargestellte Wärmegradient  $g$  aus. Weiters ist mit einem Pfeil der Wärmefluss  $dQ/dt$  von der Wärmequelle Q zur Wärmesenke S eingezeichnet. Im einfachsten Fall werden für den Schenkel  $Sp$  und den Schenkel  $Sn$  Materialien P und N verwendet, die einen möglichst guten Wirkungsgrad für den erwarteten Temperaturbereich  $T_0$  bis  $T_1$  aufweisen.

Fig. 2 stellt eine Verbesserung eines Peltierelementes gemäß Fig. 1 dar, bei welchem sowohl der p-dotierte Schenkel  $Sp$  als auch der n-dotierte Schenkel  $Sn$  in mehrere Abschnitte mit unterschiedlichen Materialien P1 bis P3 bzw. N1 bis N3 unterteilt ist, sodass hier jeweils optimal an den jeweiligen Gradientenverlauf  $g$  angepasste Materialien verwendet werden können.

Die Erfindung geht nun gemäß Fig. 3 über diesen bekannten Stand der Technik hinaus und berücksichtigt die Tatsache, dass die Wärmequelle Q an den Kontaktstellen zu den einzelnen Peltierelemente E1, E2, E3... unterschiedliche Temperaturwerte  $T_1, T_2, T_3...$  aufweisen kann, sodass sowohl die p-dotierten Schenkel  $Sp1, Sp2, Sp3...$  als auch die n-dotierten Schenkel  $Sn1, Sn2, Sn3...$  der einzelnen Peltierelemente E1, E2, E3... unterschiedliche Materialien P1, P2, P3..., N1, N2, N3... aufweisen, deren Wirkungsgrad im Hinblick auf die unterschiedlichen Temperaturwerte ( $T_1, T_2, T_3...$ ) an den Kontaktstellen optimiert ist. Es kann somit jedes Peltierelemente des Moduls 10 unterschiedlich aufgebaut sein und optimal an die vor Ort herrschende Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle Q und Wärmesenke S angepasst sein. Beispielsweise sind flächige Module 10 denkbar, die beispielsweise die Abwärme eines Motorblocks oder einer Ölwanne optimal nutzen, da an Kontaktstellen unterschiedlicher Temperatur der Wärmequelle unterschiedliche Halbleitermaterialien in den Peltierelementen E1, E2, E3... eingesetzt werden können. Diese können anhand von Wirkungsgraddiagrammen der einzelnen Halbleitermaterialien gezielt ausgewählt werden.

Die einzelnen Peltierelemente E1, E2, E3... können auch entlang einer sich im Wesentlichen linear erstreckenden Wärmequelle Q angeordnet sein, die einen Temperaturgradienten  $G$  aufweist, der beispielsweise stetig von einer Ausgangstemperatur  $T1$  zu einer Endtemperatur  $T3$  abfällt. Es müssen somit die unterschiedlichen Temperaturgradienten  $g1, g2, g3...$  innerhalb der einzelnen Peltierelemente E1, E2, E3... und der Temperaturgradient  $G$  entlang der Wärmequelle Q berücksichtigt werden.

In einem konkreten Beispiel können die einzelnen Peltierelemente E1, E2, E3... entlang eines von einem heißen Abgas durchströmten Abgasstranges einer Brennkraftmaschine angeordnet sein, wobei die Wärmequelle Q durch die Oberfläche des Abgasstranges gebildet wird und die Wärmesenke S die Temperatur  $T_0$

der Umgebungstemperatur aufweist. Die Ausgangstemperatur  $T_1$  liegt dabei bei etwa 600°C, die Endtemperatur  $T_3$  bei etwa 70°C.

In der Ausführungsvariante gemäß Fig. 4 weisen sowohl die p-dotierten Schenkel Sp1, Sp2, Sp3... als auch die n-dotierten Schenkel Sn1, Sn2, Sn3... einzelne Abschnitte a, b, c... auf, und bestehen im Hinblick auf den sich zwischen den Temperaturwerten  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ... der Kontaktstellen zur Wärmequelle Q und dem Temperaturwert  $T_0$  der Wärmesenke S jeweils einstellenden, unterschiedlichen Temperaturgradienten ( $g_1$ ,  $g_2$ ,  $g_3$ ...) aus unterschiedlichen Materialien P1, P2, P3..., N1, N2, N3...

Eine weitere Optimierung kann erfindungsgemäß dadurch erfolgen, dass die einzelnen Abschnitte a, b, c... der p-dotierten Schenkel Sp1, Sp2, Sp3... und der n-dotierten Schenkel Sn1, Sn2, Sn3... unterschiedliche Längen in Abhängigkeit der jeweils vorliegenden Temperaturgradienten  $g_1$ ,  $g_2$ ,  $g_3$ ... aufweisen.

In Fig. 5 ist als Beispiel der thermoelektrische Wirkungsgrad eines segmentierten Peltierelementes in einem Temperaturbereich zwischen 0°C und 600°C dargestellt. Der p-dotierte Schenkel besteht wie der n-dotierte Schenkel aus drei Abschnitten unterschiedlicher Länge, sodass sich durch Überlappungen einzelner Abschnitte wie in Fig. 5 eingezeichnet fünf Materialkombinationen in den Temperaturbereichen A bis E ergeben, in welchen beispielsweise folgende Halbleitermaterialien in den beiden Schenkeln vorliegen (Die Bezeichnung TAGS steht dabei für  $(\text{GeTe})_{1-x}(\text{AgSbTe})_x$  wobei  $x = 0,1$  bis  $0,15$  gilt):

Kombination	T-Bereich (°C)	p-dotierter Schenkel	n-dotierter Schenkel
A	0-100	$(\text{Bi, Sb})_2\text{Te}_3$	$\text{Bi}_2\text{Te}_3$
B	100-200	$(\text{Bi, Sb})_2\text{Te}_3$	$\text{PbTe}$
C	200-450	TAGS	$\text{PbTe}$
D	450-550	TAGS	$\text{Ba}_{0,3}\text{Co}_{3,95}\text{Ni}_{0,05}\text{Sb}_{12}$
E	>550	$\text{Ce}_{0,9}\text{Fe}_3\text{CoSb}_{12}$	$\text{Ba}_{0,3}\text{Co}_{3,95}\text{Ni}_{0,05}\text{Sb}_{12}$

Tab. 1

Anstelle von  $\text{Ce}_{0,9}\text{Fe}_3\text{CoSb}_{12}$  bzw.  $\text{Ba}_{0,3}\text{Co}_{3,95}\text{Ni}_{0,05}\text{Sb}_{12}$  in Tab. 1 können auch andere geeignete p-dotierte bzw. n-dotierte Skutterudite eingesetzt werden.

In Fig. 6 wird der Wirkungsgrad unterschiedlich aufgebauter Peltierelemente TEG1 bis TEG4 im Temperaturbereich zwischen 0°C und 600°C miteinander verglichen, wobei für TEG1 bis TEG4 folgende Materialkombinationen aus Tab. 1 eingesetzt werden:

	Kombination	Wirkungsgrad (%)	El. Leistung (W)
TEG1	ABCDE	10	927
TEG2	CD	9,2	860e
TEG3	D	8,2	767
TEG4	E	6,6	613

Tab. 2

Anhand derartiger Tabellen können geeignete Materialkombinationen für definierte Temperaturbereiche ausgewählt werden.

Gemäß einer vorteilhaften Variante der Erfindung weist zumindest der Hochtemperaturbereich der p-dotierten Schenkel Fe-basierte Skutterudite (SK), beispielsweise  $\text{Ce}_{0,9}\text{Fe}_3\text{CoSb}_{12}$ ,  $\text{Yb}_{0,75}\text{Fe}_{3,5}\text{Ni}_{0,5}\text{Sb}_{12}$ ,  $\text{MM}_y\text{Fe}_{4-x}\text{Co}_x\text{Sb}_{12}$  und/oder  $\text{MM}_y\text{Fe}_{4-x}\text{Ni}_x\text{Sb}_{12}$  auf, wobei MM ein Mischmetall aus La, Ce, Pr, Nd und Sm ist. Weiters weist zumindest der Hochtemperaturbereich der n-dotierten Schenkel Co-basierte Skutterudite (SK), beispielsweise  $\text{Yb}_y\text{Co}_{4-x}\text{Pt}_x\text{Sb}_{12}$ ,  $\text{Ba}_{0,3}\text{Co}_{3,95}\text{Ni}_{0,05}\text{Sb}_{12}$  und/oder  $\text{A}_y\text{Co}_{4-x}\text{T}_x\text{Sb}_{12}$  auf, wobei A für Ba, Ca, Sr und einer Mischung daraus und T für Ni und Pd steht.

Im Sinne einer Kostenreduzierung kann beispielsweise ausgehend von  $\text{Ce}_{0,9}\text{Fe}_3\text{CoSb}_{12}$  das relativ teure Co ganz oder teilweise durch Ni, bzw. Ce durch ein Mischmetall aus La, Ce, Pr, Nd und Sm ersetzt werden. Weiters ist es möglich das Yb in  $\text{Yb}_{0,75}\text{Fe}_{3,5}\text{Ni}_{0,5}\text{Sb}_{12}$  ganz oder teilweise durch Ce zu ersetzen, bzw. gewisse Anteile von Co oder Pt in  $\text{Yb}_y\text{Co}_{4-x}\text{Pt}_x\text{Sb}_{12}$  oder  $\text{Ba}_{0,3}\text{Co}_{3,95}\text{Ni}_{0,05}\text{Sb}_{12}$  durch das wesentlich günstigere Ni zu substituieren.

Um den Wirkungsgrad der thermoelektrischen Elemente zu erhöhen, kann bei den vorhin genannten Ausgangsmaterialien Ce durch ein Mischmetall (La, Ce, Pr, Nd und Sm), oder das reine Ba durch eine Mischung aus Ba, Ca, Sr ersetzt werden.

Es ergeben sich dadurch für die p-dotierten Schenkel (Sp1, Sp2, Sp3...) und die n-dotierten Schenkel (Sn1, Sn2, Sn3...) der Peltierelemente beispielsweise folgende Materialkombinationen (P3, N3) für den Hochtemperaturbereich, wobei die Wärmequelle im Bereich von 600°C liegt:

p-dotierter Schenkel	n-dotierter Schenkel
$MM_{0.75}Fe_{3.5}Ni_{0.5}Sb_{12}$	$Ba_{0.3}Co_4Sb_{12}$
$MM_{0.75}Fe_{3.0}Co_{1.0}Sb_{12}$	$Ba_{0.3}Co_{3.95}Ni_{0.05}Sb_{12}$
$Pr_{0.75}Fe_{3.5}Ni_{0.5}Sb_{12}$	$Ca_{0.1}Ba_{0.1}Sr_{0.1}Co_4Sb_{12}$
$Pr_{0.75}Fe_{3.0}Co_{1.0}Sb_{12}$	$Ca_{0.1}Ba_{0.1}Sr_{0.1}Co_{3.95}Ni_{0.05}Sb_{12}$
$Ce_{0.75}Fe_3CoSb_{12}$	
$Ce_{0.90}Fe_3CoSb_{12}$	

Tab. 3

## PATENTANSPRÜCHE

1. Thermoelektrischer Generator zur Umwandlung thermischer Energie in elektrische Energie, mit mehreren zu einem Modul (10) zusammengeschalteten Peltierelementen (E1, E2, E3...), welche zwischen einer Wärmequelle (Q) und einer Wärmesenke (S) angeordnet sind, wobei jedes Peltierelement (E1, E2, E3...) aus einem p-dotierten Schenkel (Sp) und einem n-dotierten Schenkel (Sn) besteht, die an deren Enden durch Elektroden (11, 12) elektrisch leitend verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass sowohl die p-dotierten Schenkel (Sp1, Sp2, Sp3...) als auch die n-dotierten Schenkel (Sn1, Sn2, Sn3...) der einzelnen Peltierelemente (E1, E2, E3...) in Abhängigkeit der unterschiedlichen Temperaturwerte ( $T_1, T_2, T_3...$ ) an den Kontaktstellen der einzelnen Peltierelemente (E1, E2, E3...) zur Wärmequelle (Q) aus unterschiedliche Materialien (P1, P2, P3..., N1, N2, N3...) bestehen.
2. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass sowohl die p-dotierten Schenkel (Sp1, Sp2, Sp3...) als auch die n-dotierten Schenkel (Sn1, Sn2, Sn3...) einzelne Abschnitte (a, b, c...) aufweisen und im Hinblick auf den sich zwischen den Temperaturwerten ( $T_1, T_2, T_3...$ ) der Kontaktstellen zur Wärmequelle (Q) und dem Temperaturwert ( $T_0$ ) der Wärmesenke (S) jeweils einstellenden, unterschiedlichen Temperaturgradienten ( $g_1, g_2, g_3...$ ) aus unterschiedlichen Materialien (P1, P2, P3..., N1, N2, N3...) bestehen.
3. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelnen Abschnitte (a, b, c...) der p-dotierten Schenkel (Sp1, Sp2, Sp3...) und der n-dotierten Schenkel (Sn1, Sn2, Sn3...) unterschiedliche Längen in Abhängigkeit der jeweils vorliegenden Temperaturgradienten ( $g_1, g_2, g_3...$ ) aufweisen.
4. Thermoelektrischer Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelnen Peltierelemente (E1, E2, E3...) entlang einer sich im Wesentlichen linear erstreckenden Wärmequelle (Q) angeordnet sind, die einen Temperaturgradienten (G) aufweist.
5. Thermoelektrischer Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelnen Peltierelemente (E1, E2, E3...) entlang eines von einem Abgas durchströmten Abgasstranges angeordnet sind, sodass die Wärmequelle (Q) durch die Oberfläche des Abgasstranges gebildet wird und die Wärmesenke (S) die Temperatur  $T_0$  der Umgebungstemperatur aufweist.

6. Thermoelektrischer Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die p-dotierten Schenkel (Sp1, Sp2, Sp3...) und die n-dotierten Schenkel (Sn1, Sn2, Sn3...) in den angeführten Temperaturbereichen folgende Materialkombinationen aufweisen:

T-Bereich (°C)	p-dotierter Schenkel	n-dotierter Schenkel
0-100	(Bi, Sb) <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>
100-200	(Bi, Sb) <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	PbTe
200-450	TAGS	PbTe
450-550	TAGS	Ba <sub>0,3</sub> Co <sub>3,95</sub> Ni <sub>0,05</sub> Sb <sub>12</sub>
>550	Ce <sub>0,9</sub> Fe <sub>3</sub> CoSb <sub>12</sub>	Ba <sub>0,3</sub> Co <sub>3,95</sub> Ni <sub>0,05</sub> Sb <sub>12</sub>

7. Thermoelektrischer Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest der Hochtemperaturbereich der p-dotierten Schenkel (Sp1, Sp2, Sp3...) Fe-basierte Skutterudite, beispielsweise Ce<sub>0,9</sub>Fe<sub>3</sub>CoSb<sub>12</sub>, Yb<sub>0,75</sub>Fe<sub>3,5</sub>Ni<sub>0,5</sub>Sb<sub>12</sub>, MM<sub>y</sub>Fe<sub>4-x</sub>Co<sub>x</sub>Sb<sub>12</sub> und/oder MM<sub>y</sub>Fe<sub>4-x</sub>Ni<sub>x</sub>Sb<sub>12</sub> aufweist, wobei MM ein Mischmetall aus La, Ce, Pr, Nd und Sm ist, sowie dass zumindest der Hochtemperaturbereich der n-dotierten Schenkel (Sn1, Sn2, Sn3...) Co-basierte Skutterudite, beispielsweise Yb<sub>y</sub>Co<sub>4-x</sub>Pt<sub>x</sub>Sb<sub>12</sub>, Ba<sub>0,3</sub>Co<sub>3,95</sub>Ni<sub>0,05</sub>Sb<sub>12</sub> und/oder A<sub>y</sub>Co<sub>4-x</sub>T<sub>x</sub>Sb<sub>12</sub> aufweist, wobei A für Ba, Ca, Sr und einer Mischung daraus und T für Ni und Pd steht.
8. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die p-dotierten Schenkel (Sp1, Sp2, Sp3...) und die n-dotierten Schenkel (Sn1, Sn2, Sn3...) zumindest im Hochtemperaturbereich folgende Materialkombinationen aufweisen:

p-dotierter Schenkel	n-dotierter Schenkel
MM <sub>0,75</sub> Fe <sub>3,5</sub> Ni <sub>0,5</sub> Sb <sub>12</sub>	Ba <sub>0,3</sub> Co <sub>4</sub> Sb <sub>12</sub>
MM <sub>0,75</sub> Fe <sub>3,0</sub> Co <sub>1,0</sub> Sb <sub>12</sub>	Ba <sub>0,3</sub> Co <sub>3,95</sub> Ni <sub>0,05</sub> Sb <sub>12</sub>
Pr <sub>0,75</sub> Fe <sub>3,5</sub> Ni <sub>0,5</sub> Sb <sub>12</sub>	Ca <sub>0,1</sub> Ba <sub>0,1</sub> Sr <sub>0,1</sub> Co <sub>4</sub> Sb <sub>12</sub>
Pr <sub>0,75</sub> Fe <sub>3,0</sub> Co <sub>1,0</sub> Sb <sub>12</sub>	Ca <sub>0,1</sub> Ba <sub>0,1</sub> Sr <sub>0,1</sub> Co <sub>3,95</sub> Ni <sub>0,05</sub> Sb <sub>12</sub>
Ce <sub>0,75</sub> Fe <sub>3</sub> CoSb <sub>12</sub>	
Ce <sub>0,90</sub> Fe <sub>3</sub> CoSb <sub>12</sub>	

9. Thermoelektrischer Generator zur Umwandlung thermischer Energie in elektrische Energie, mit zumindest einem Peltierelemente (E1, E2, E3...), welches zwischen einer Wärmequelle (Q) im Bereich von 600°C und einer Wärmesenke (S) angeordnet ist, wobei das Peltierelement (E1, E2, E3...) aus einem p-dotierten Schenkel (Sp) und einem n-dotierten Schenkel (Sn) besteht, die an deren Enden durch Elektroden (11, 12) elektrisch leitend verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest der Hochtemperaturbereich der p-dotierten Schenkel (Sp1, Sp2, Sp3...) Fe-basierte Skutterudite, beispielsweise  $\text{Ce}_{0.9}\text{Fe}_3\text{CoSb}_{12}$ ,  $\text{Yb}_{0.75}\text{Fe}_{3.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Sb}_{12}$ ,  $\text{MM}_y\text{Fe}_{4-x}\text{Co}_x\text{Sb}_{12}$  und/oder  $\text{MM}_y\text{Fe}_{4-x}\text{Ni}_x\text{Sb}_{12}$  aufweist, wobei MM ein Mischmetall aus La, Ce, Pr, Nd und Sm ist, sowie dass zumindest der Hochtemperaturbereich der n-dotierten Schenkel (Sn1, Sn2, Sn3...) Co-basierte Skutterudite, beispielsweise  $\text{Yb}_y\text{Co}_{4-x}\text{Pt}_x\text{Sb}_{12}$ ,  $\text{Ba}_{0.3}\text{Co}_{3.95}\text{Ni}_{0.05}\text{Sb}_{12}$  und/oder  $\text{A}_y\text{Co}_{4-x}\text{T}_x\text{Sb}_{12}$  aufweist, wobei A für Ba, Ca, Sr und einer Mischung daraus und T für Ni und Pd steht.
10. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die p-dotierten Schenkel (Sp1, Sp2, Sp3...) und die n-dotierten Schenkel (Sn1, Sn2, Sn3...) zumindest im Hochtemperaturbereich folgende Materialkombinationen aufweisen:

p-dotierter Schenkel	n-dotierter Schenkel
$\text{MM}_{0.75}\text{Fe}_{3.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Sb}_{12}$	$\text{Ba}_{0.3}\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$
$\text{MM}_{0.75}\text{Fe}_{3.0}\text{Co}_{1.0}\text{Sb}_{12}$	$\text{Ba}_{0.3}\text{Co}_{3.95}\text{Ni}_{0.05}\text{Sb}_{12}$
$\text{Pr}_{0.75}\text{Fe}_{3.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Sb}_{12}$	$\text{Ca}_{0.1}\text{Ba}_{0.1}\text{Sr}_{0.1}\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$
$\text{Pr}_{0.75}\text{Fe}_{3.0}\text{Co}_{1.0}\text{Sb}_{12}$	$\text{Ca}_{0.1}\text{Ba}_{0.1}\text{Sr}_{0.1}\text{Co}_{3.95}\text{Ni}_{0.05}\text{Sb}_{12}$
$\text{Ce}_{0.75}\text{Fe}_3\text{CoSb}_{12}$	
$\text{Ce}_{0.90}\text{Fe}_3\text{CoSb}_{12}$	

2008 06 20

Lu/Ka

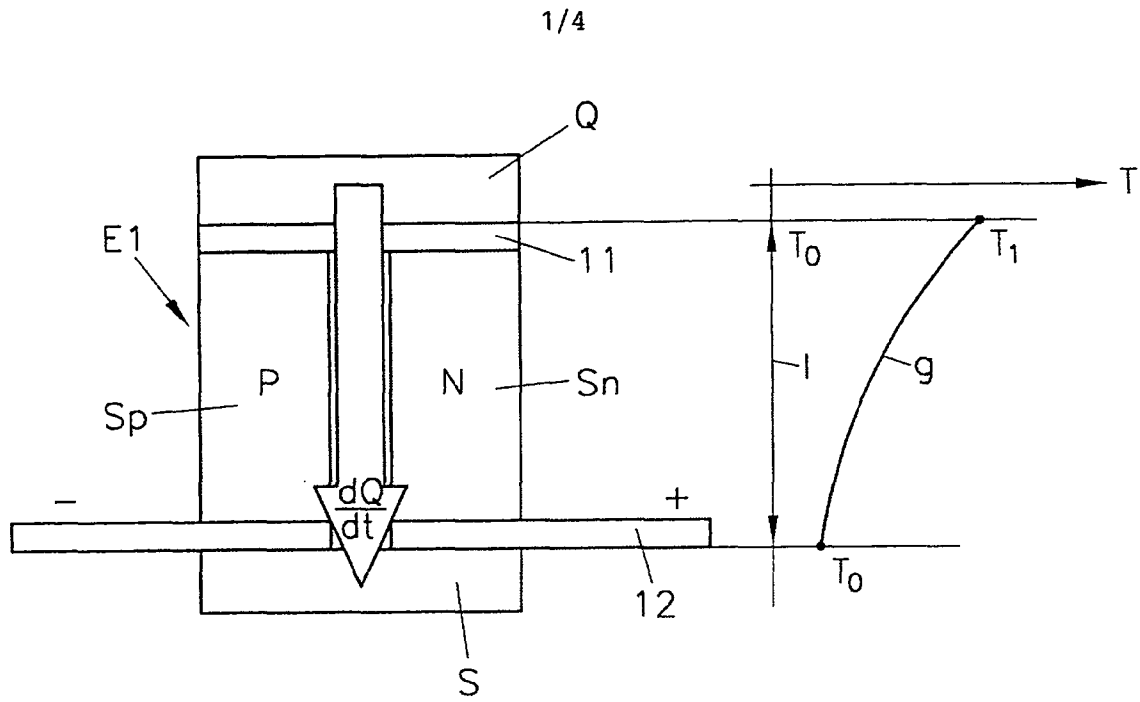


Fig. 1

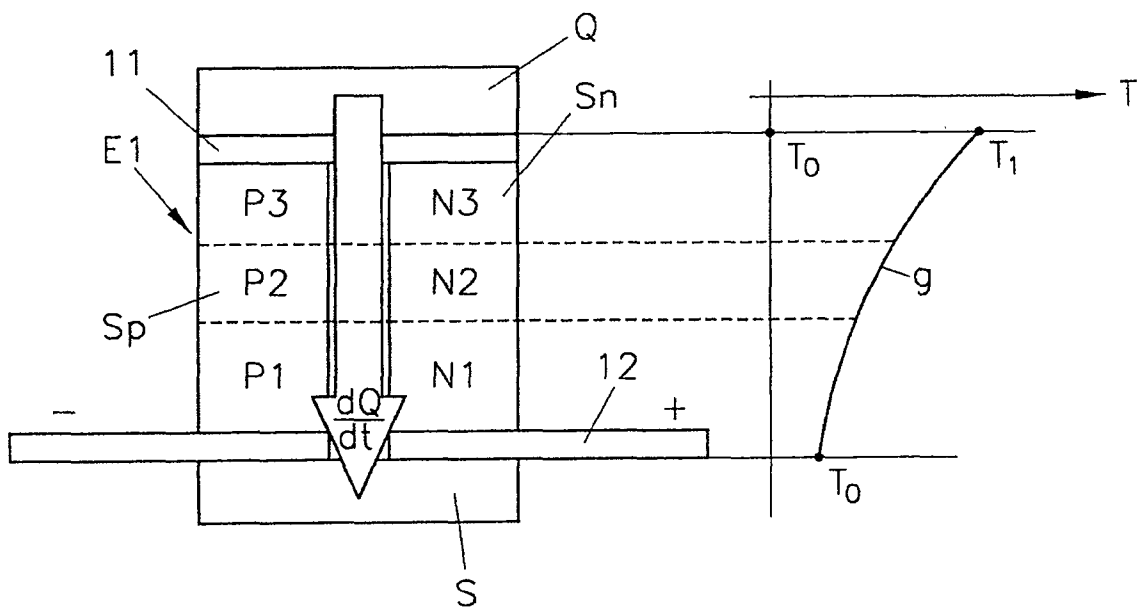


Fig. 2

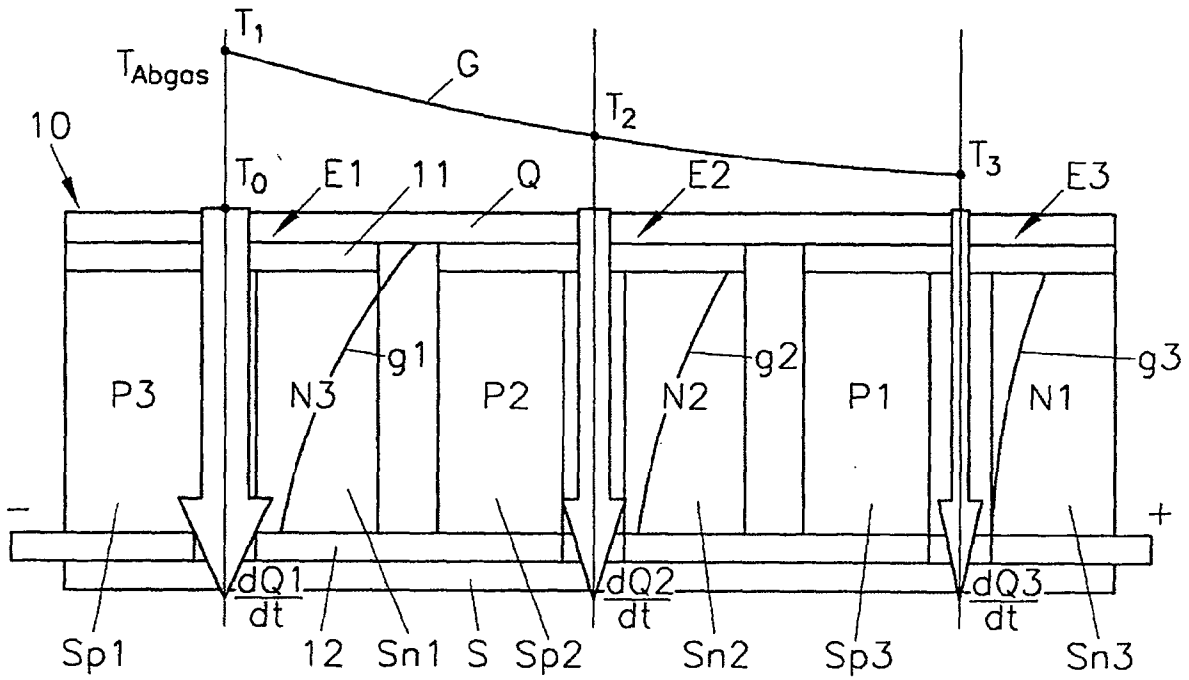


Fig. 3

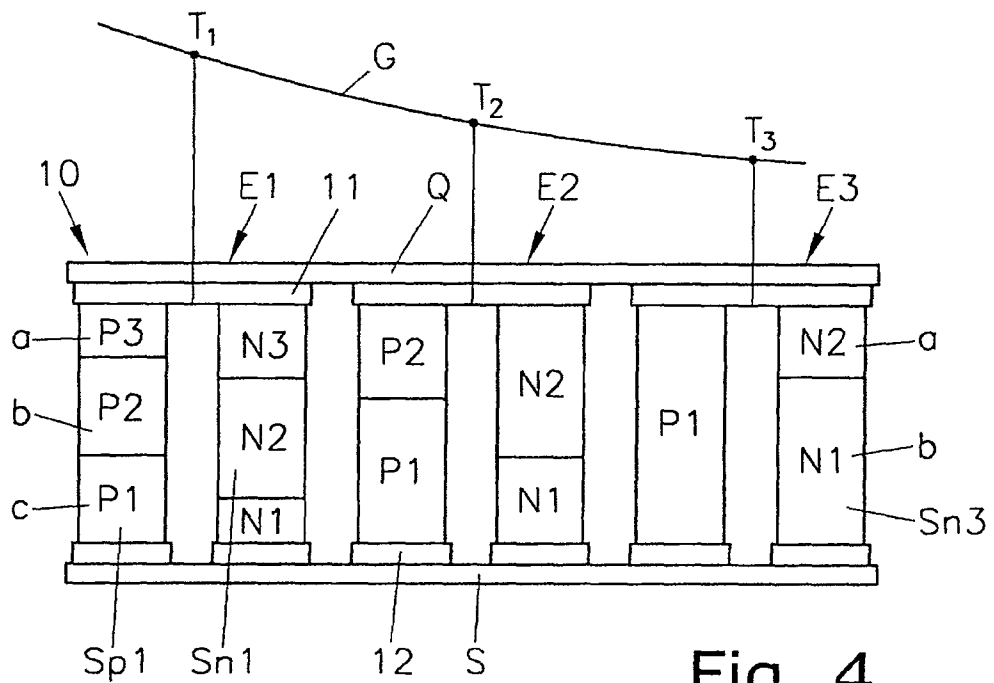


Fig. 4

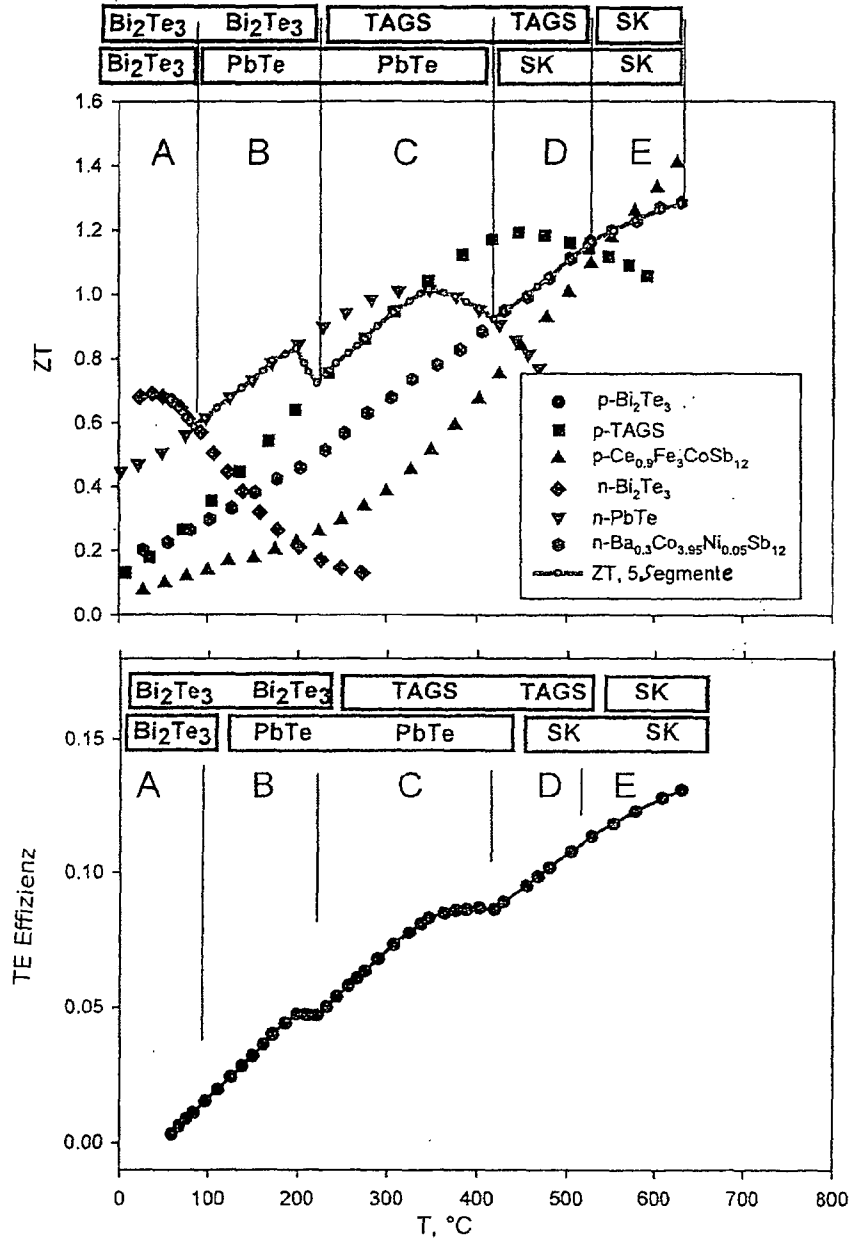


Fig. 5

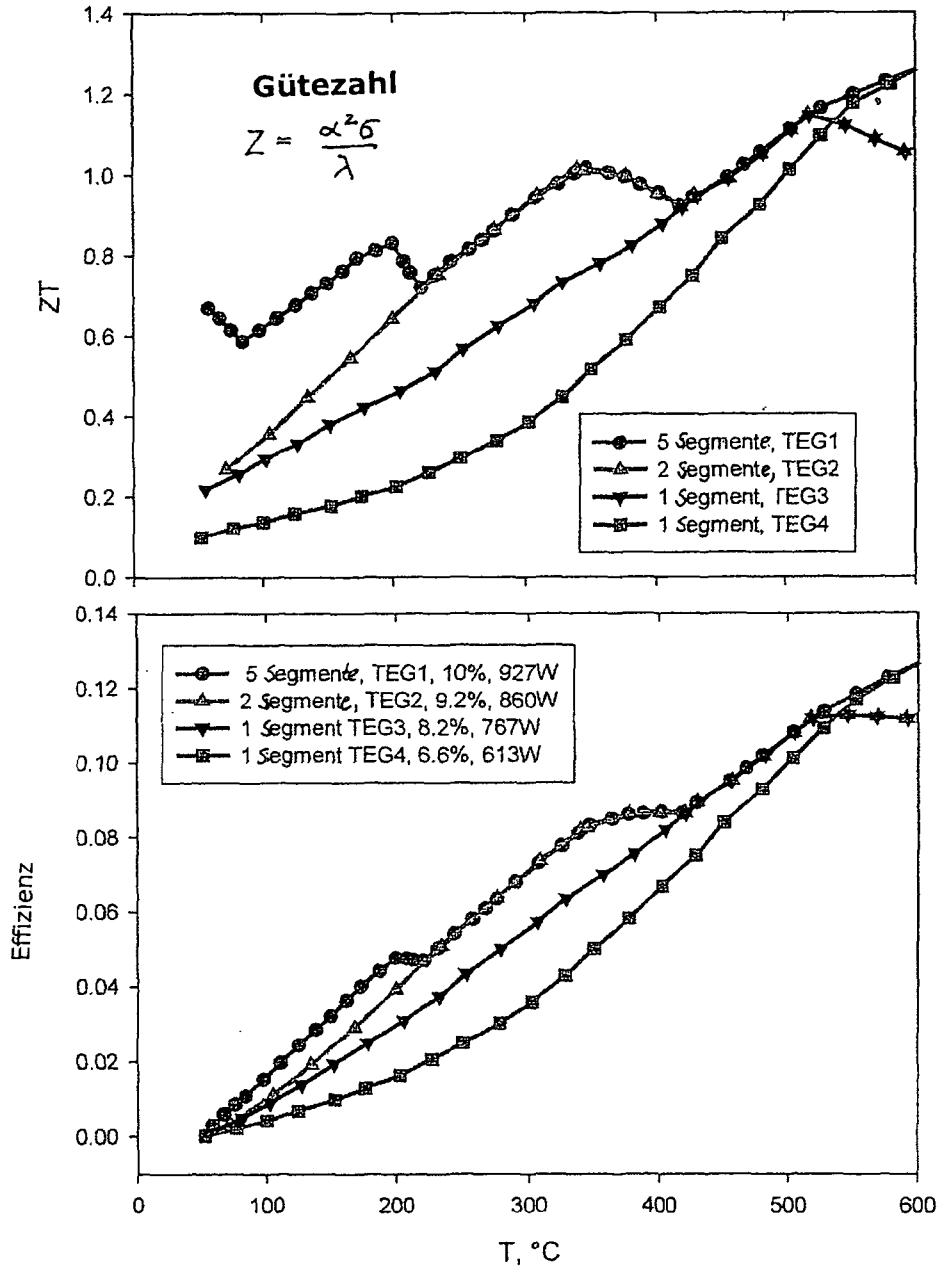


Fig. 6