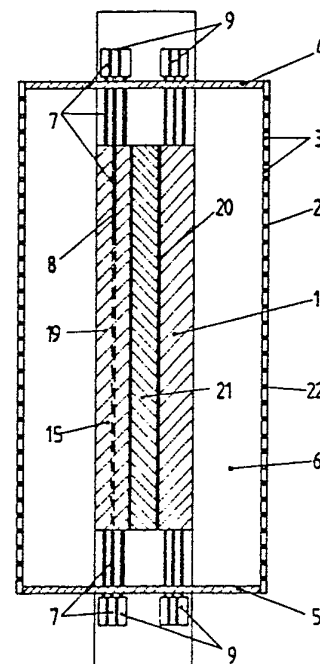


INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁴ : G21D 7/04	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 87/ 03733 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 18. Juni 1987 (18.06.87)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE86/00496 (22) Internationales Anmeldedatum: 4. Dezember 1986 (04.12.86) (31) Prioritätsaktenzeichen: P 35 42 839.2 (32) Prioritätsdatum: 4. Dezember 1985 (04.12.85) (33) Prioritätsland: DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): BROWN, BOVERI & CIE AKTIENGESSELLSCHAFT [DE/DE]; Kallstadter Str. 1, D-6800 Mannheim-Käfertal (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US) : SCHULTEN, Rudolf [DE/DE]; Postfach 1913, D-517 Jülich (DE). (74) Anwalt: DAHLMANN, Gerhard; Brown, Boveri & Cie Aktiengesellschaft, Abteilung: ZPT, Postfach 351, D-6800 Mannheim 1 (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: BE (europäisches Patent), FR (europäisches Patent), GB (europäisches Patent), IT (europäisches Patent), US. Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>
(54) Title: THERMOELECTRIC GENERATOR WITH NUCLEAR HEAT SOURCE (54) Bezeichnung: THERMOELEKTRISCHER GENERATOR MIT EINER NUKLEAREN WÄRMEQUELLE (57) Abstract <p>A thermoelectric generator heated by nuclear energy comprises thermoelectric units (3) arranged on a cylindrical support (2). As nuclear heat source, a high-temperature thermal reactor (1) is used which is also cylindrical and is arranged in the centre of the support. As support, a shield of carbon fibre-reinforced graphite is used, which surrounds at a certain distance the high-temperature thermal reactor. Heat transfer from the high-temperature thermal reactor to the shield carrying the thermoelectric units occurs only through thermal radiation; similarly, heat is lost by the shield only through radiation. The core of the high temperature reactor, which preferably has a ring-shaped cross section, is entirely composed of ceramic material. The active core zone can be composed for example of graphite rod-shaped fuel elements containing coated particles of fuel. With this thermoelectric generator, an electric power of at least 200kW_{el} can be obtained.</p> (57) Zusammenfassung <p>Ein nuklear beheizter thermoelektrischer Generator mit auf einem zylindrischen Träger (2) angeordneten thermoelektrischen Einheiten (3). Als nukleare Wärmequelle ist ein thermischer Hochtemperaturreaktor (1) vorgesehen, der ebenfalls zylindrisch und im Zentrum des Trägers angeordnet ist. Als Träger dient ein Schirm aus kohlenstoffaserverstärktem Graphit, der den Hochtemperaturreaktor mit Abstand umgibt. Die Wärmeübertragung von dem Hochtemperaturreaktor zu dem Schirm mit den thermoelektrischen Einheiten erfolgt allein durch Wärmestrahlung; ebenfalls wird die Verlustwärme von dem Schirm nur durch Strahlung abgegeben. Der Kern des Hochtemperaturreaktors, der vorzugsweise im Querschnitt ringförmig ist, besteht vollständig aus keramischen Material. Die aktive Kernzone kann beispielsweise von stabförmigen Brennelementen gebildet sein, die aus Graphit mit eingelagerten beschichteten Brennstoffpartikeln bestehen. Mit dem erfindungsgemässen thermoelektrischen Generator lässt sich eine elektrische Leistung von mindestens 200kW_{el} erzielen.</p>		



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT Österreich	FR Frankreich	MR Mauritien
AU Australien	GA Gabun	MW Malawi
BB Barbados	GB Vereinigtes Königreich	NL Niederlande
BE Belgien	HU Ungarn	NO Norwegen
BG Bulgarien	IT Italien	RO Rumänien
BJ Benin	JP Japan	SD Sudan
BR Brasilien	KP Demokratische Volksrepublik Korea	SE Schweden
CF Zentrale Afrikanische Republik	KR Republik Korea	SN Senegal
CG Kongo	LI Liechtenstein	SU Soviet Union
CH Schweiz	LK Sri Lanka	TD Tschad
CM Kamerun	LU Luxemburg	TG Togo
DE Deutschland, Bundesrepublik	MC Monaco	US Vereinigte Staaten von Amerika
DK Dänemark	MG Madagaskar	
FI Finnland	ML Mali	

- 1 -

5

10

15 Thermoelektrischer Generator mit einer nuklearen
Wärmequelle

Die Erfindung betrifft einen thermoelektrischen Genera-
tor mit einer nuklearen Wärmequelle gemäß dem Oberbe-
griff des Patentanspruches 1.

20 Aus der Informationsschrift "Nucleonics", 22, Dec. 1964
ist eine Generator mit dem Namen "Romashka" bekannt, bei
dem die nukleare Wärmequelle von einem Reaktor in Zylind-
derform gebildet wird, Der Kern des Reaktors enthält
25 keramisches Material. Weiterhin weist der Generator ei-
nen zylindrischen Träger für thermoelektrische Einheiten
auf, der den Reaktor in einem definierten Abstand um-
gibt. Die Wärmeübertragung von dem Reaktor zu dem Träger
sowie die Abfuhr der Verlustwärme von dem Träger erfolgt
30 durch radial nach außen gerichtete Wärmestrahlung.

Aufgabe der Erfindung ist es, diese bekannte Vorrichtung
so zu verbessern, daß eine exakte Regelung des Reaktors
möglich ist, und das Gewicht des Träger leichter wird.

35

Die Lösung dieser Aufgabe ist in Patentanspruch 1 offenbart.

- 5 Der ganz aus keramischen Materialien bestehende Hochtemperaturreaktor hat an seiner Oberfläche eine sehr hohe Temperatur und kann infolgedessen eine ausreichende Leistung in Form von Wärmestrahlung nach außen hin abgeben. Der zylinderförmige Schirm mit den thermoelek-
- 10 trischen Einheiten nimmt die von dem Hochtemperaturreaktor abgestrahlte Wärme auf, wandelt sie teilweise in elektrischen Strom um und strahlt die Verlustwärme nach außen ab.
- 15 Für eine hinreichende Stromerzeugung ist es erforderlich, daß die Außentemperatur des Schirms etwa in der Größenordnung von $700-900^{\circ}\text{K}$ liegt. Die Temperaturdifferenz von der Innenseite zur Außenseite des Schirms muß etwa $400-600^{\circ}\text{K}$ betragen. Ein ausreichend hoher Wärmetransport von der Oberfläche des Hochtemperaturreaktors zur Innenseite des Schirms erfordert Temperaturen in der Größenordnung von $1400-1600^{\circ}\text{K}$. Nach heutigen Kenntnissen sind als höchste Materialtemperatur im Schirm 1400°K zugrundezulegen. Für diese Innentemperatur
- 20 des Schirms ergibt sich für die Oberfläche des Reaktors eine Temperatur von 1730°K . Im Inneren des Reaktors sind, berechnet mit bekannten Wärmetransportdaten, Temperaturen von ca. 2400°K anzunehmen. Derart hohe Temperaturen machen es erforderlich, daß alle Komponenten des
- 25 Reaktors aus keramischen Materialien hergestellt sind.
- 30

Eine Strahlenschädigung der thermoelektrischen Einheiten sowie der thermischen Isolierungen durch schnelle Neutronen tritt nur in sehr geringem Maße ein, da es sich

bei der nuklearen Wärmequelle um einen thermischen Kern reaktor handelt. Wie eine überschlägige Rechnung zeigt, ist die schnelle Neutronendosis in dem Schirm so gering, 5 daß ohne Bedenken kohlenstoffaserverstärkter Graphit als Schirmmaterial verwendet werden kann.

Eine höhere Leistung des thermoelektrischen Generators als die angestrebte läßt sich auch eine Vergrößerung der 10 Schirmoberfläche erreichen. Unter Berücksichtigung aller Parameter der Höhe der Temperatur und der Entwicklungsmöglichkeiten der thermoelektrischen Generatoren scheint sogar eine Leistungssteigerung von 200kW_{el} auf ca. $1000\text{kW}_{\text{el}}$ möglich, ohne daß die Größe des Aggregats we- 15 sentlich erhöht werden muß.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen sowie der folgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den schema- 20 tischen Zeichnungen zu entnehmen.

Die Figuren zeigen im einzelnen:

- Fig. 1 eine perspektivische Darstellung des erfindungsgemäßen thermoelektrischen Generators,
- 25 Fig. 2 einen Längsschnitt durch diesen Generator,
- Fig. 3 einen Längsschnitt durch ein einzelnes Brennelement,
- Fig. 4 einen Schnitt nach der Linie A-B der Fig. 3,
- Fig. 5 einen Schnitt nach der Linie C-D der Fig. 3,
- 30 Fig. 6 einen Ausschnitt aus dem Schirm mit den thermoelektrischen Einheiten, stark vergrößert,
- Fig. 7 die Befestigung einer thermoelektrischen Einheit an dem Schirm.

Die Figuren 1 und 2 lassen einen thermoelektrischen Generator erkennen, der im wesentlichen einen zylinderförmigen thermischen Hochtemperaturreaktor 1, einen aus kohlenstoffaserverstärktem Graphit bestehenden, ebenfalls zylinderförmigen Schirm 2 als Träger für eine Vielzahl von thermoelektrischen Einheiten 3 sowie zwei Platten 4 und 5 aus thermisch isolierendem Material aufweist. Der Hochtemperaturreaktor, der eine Leistung von 3MW_{th} hat, ist im Zentrum des Schirmes 2 angeordnet, der ihn mit Abstand umgibt. Der Schirm 2 ist als gitterartige Gerüstkonstruktion ausgeführt, wie später noch erläutert wird. Die beiden Platten 4 und 5, die an den Stirnflächen des Hochtemperaturreaktors 1 vorgesehen sind, bestehen aus Magnesiumoxid und kohlenstoffaserverstärktem Graphit, der als Trägermaterial dient. Sie decken auch den Ringraum 6 zwischen Hochtemperaturreaktor 1 und Schirm 2 ab.

Für die Regelung und Abschaltung des Hochtemperaturreaktors 1 sind zwei Regel- und Abschalteinrichtungen 7 vorgesehen, die ebenfalls an den Stirnflächen des Hochtemperaturreaktors 1 angeordnet sind. Jede Regel- und Abschalteinrichtung 7 umfaßt eine Anzahl von Absorberstäben 8 und die dazugehörigen Antriebe 9. Die Absorberstäbe 8 lassen sich von den Stirnflächen des Hochtemperaturreaktors 1 aus in den Kern einfahren und wieder ausfahren. Sie bestehen aus kohlenstoffaserverstärktem Graphit, dem Bor als Neutronenabsorber beigegeben ist. Bei dem hier angegebenen Beispiel sind etwa 20 Absorberstäbe erforderlich, um den Hochtemperaturreaktor 1 ein- und auszuschalten, in der Fig. 2 ist nur einer der Absorberstäbe gezeigt.

Um die Reibung zwischen den Absorberstäben 8 und dem Kern möglichst niedrig zu halten, sind die Stirnflächen sowie die Flächen, die von den Absorberstäben 8 kontaktiert werden, mit einer aus Titankarbid bestehenden Oberflächenvergütung versehen. Die Antriebe 9 der Absorberstäbe 8 befinden sich oberhalb und unterhalb des Hochtemperaturreaktors 1, und zwar außerhalb der Platten 4 und 5, so daß sie gegen die hohen Temperaturen des Hochtemperaturreaktors 1 geschützt sind. Als Antriebskraft für das Ein- und Ausfahren der Absorberstäbe 8 dient jeweils ein Elektromotor, der über eine Zahnstange und ein Ritzel eine Hin- und Herbewegung der Absorberstäbe 8 von ca. 4m ermöglicht.

Außen den beiden Einrichtungen 7 zur Regelung und Abschaltung sind bei dem Hochtemperaturreaktor 1 keinerlei bewegbare Teile vorhanden, so daß das gesamte Aggregat langfristig eine hohe Zuverlässigkeit besitzt. Von Vorteil ist auch, daß die Einrichtungen 7 sich an den Stirnflächen des Hochtemperaturreaktors 1 befinden, da durch diese Anordnung die gesamte Mantelfläche des Schirmes 2 zur Wärmeübertragung ausgenutzt werden kann.

Der Hochtemperaturreaktor 1 weist über seinen Querschnitt wie auch in axialer Richtung unterschiedliche Brennstoffkonzentrationen auf, und zwar liegt die Brennstoffkonzentration an der seitlichen wie auch an der oberen und unteren Oberfläche des Kerns um etwa 50 bis 100% höher, als es der durchschnittlichen Brennstoffkonzentration entspricht. Dies hat zur Folge, daß die sonst vorhandene Abflächung der Leistung ausgeglichen wird. Durch diese Konzentrationswahl wird der Neutronenfluß relativ wenig beeinflusst; die Leistungsver-

teilung dagegen kann damit auf eine Genauigkeit von ca. $\pm 30\%$ Abweichung vom Mittelwert eingestellt werden.

Der Kern des Hochtemperaturreaktors 1 besteht aus einer Anzahl von stabförmigen Brennelementen 10, von denen eins in den Fig. 3, 4 und 5 dargestellt ist. Als Material für die Brennelemente 10 wird kohlenstoffaserverstärkter Graphit verwendet, in dem mit Zirkonkarbid beschichtete Brennstoffpartikeln aus Uranoxid eingelagert sind. Zirkonkarbid hat einen ausreichend hohen Schmelzpunkt von ca. 3500°C . Bei der hier geforderten geringen Neutronendosis und einer angenommenen Betriebszeit von etwa 10 Jahren ist mit einer ausreichenden Stabilität der umhüllten Brennstoffpartikel zu rechnen. Die Brennelemente 10 weisen auf dem größten Teil 11 ihrer Länge einen zylindrischen Querschnitt auf; an diesen Teil 11 ist oben und unten ein Endstück 12 mit hexagonalem Querschnitt angesetzt. Die Endstücke 12 sind größer als das zylindrische Teilstück 11, so daß zwischen den dicht aneinandergelagerten Brennelementen 10 freie Zwischenräume für die Ausbreitung der Wärmestrahlung vorhanden sind. Zur Verbesserung des Wärmetransports vom Inneren des Kerns nach außen weisen die Brennelemente 10 auf einem Teil ihres Mantels eine Verspiegelung 13 aus Siliziumkarbid auf, wie die Fig. 5 erkennen läßt. Die Verspiegelung 13 bewirkt, daß ein größerer Teil der Wärmestrahlung durch die freien Zwischenräume nach außen gelangt.

Jedes Brennelement 10 besitzt eine zentrale axiale Bohrung 14 sowie zwei weitere axiale Öffnungen 15 für das Einfahren zweier Absorberstäbe 8. In der Bohrung 14 ist ein Trägerstab 16 angeordnet, der aus einem Material mit einer sehr geringen Wärmedehnung, vorzugsweise aus kohlenstoffaserverstärktem Graphit, besteht. In dem oberen

Endstück 12 jedes Brennelements 10 ist eine ebenfalls aus kohlenstoffaserverstärktem Graphit bestehende Klemmschraube 17 vorgesehen, die zur Fixierung des Brennelements auf dem Trägerstab 16 dient. Auf einem Trägerstab 16 sind jeweils mehrere Brennelemente 10 untereinander angeordnet, wie aus der Fig. 3 zu ersehen ist. Dabei ist zwischen zwei Brennelementen 10 je ein Dehnungsspalt 18 freigelassen. Weitere Dehnungsspalte sind auch zwischen nebeneinander angeordneten Brennelementen 10 vorhanden. Zwischen den Trägerstäben 16 und den Bohrungen 14 in den Brennelementen 10 können enge Toleranzen eingehalten werden, die lediglich die Dehnung der Brennelemente 10 und ihre geringfügigen Schrumpfungen während der Betriebsdauer berücksichtigen. Dasselbe gilt für die Klemmschrauben 17. Die Trägerstäbe 16 können so hergestellt werden, daß ihre Ausdehnung bei Temperaturerhöhung praktisch zu vernachlässigen ist.

Wie Fig. 2 erkennen läßt, ist der Kern des Hochtemperaturreaktors 1 so aufgebaut, daß die aktive Kernzone 19 einen ringförmigen Querschnitt besitzt, d.h. die zentrale Zone des Kerns bleibt frei von Brennelementen 10 und damit leistungsfrei, um einen allzu großen Temperaturanstieg innerhalb des Hochtemperaturreaktors 1 zu vermeiden. Bei einem derartigen Reaktor mit ringförmigem Kern beträgt die Maximaltemperatur im Inneren des Kerns 2300°K. In dem zentralen Hohlraum 20 sind Reflektorelemente 21 angeordnet, die die gleiche Gestalt haben wie die Brennelemente 10. In den Reflektorelementen 21 und zusätzlich auch in den Brennelementen 10 sind abbrennbare Neutronengifte vorgesehen.

Wie bereits erwähnt, ist der Schirm 2, der als Träger der thermoelektrischen Einheiten 3 dient, als gitterartige Gerüstkonstruktion ausgeführt. In den Figuren 6 und 7 wird dies näher erläutert. Die Fig. 6 zeigt eine der quadratischen Gittermaschen 22 der Gerüstkonstruktion, die von Stegen 23 umrahmt ist. Die Stege 23 bestehen aus kohlenstoffaserverstärktem Graphit. In jede Masche 22 ist eine der thermoelektrischen Einheiten 3 eingesetzt. In den thermoelektrischen Einheiten 3 werden Halbleiter 28 aus Silizium-Germanium-Kristallen mit hoher p- und n-Dotierung verwendet, die auf einer Metallplatte 24 angebracht sind. Die Metallplatten 24 stellen jeweils den auf der heißen Seite befindlichen Wärmeaustauscher der betreffenden thermoelektrischen Einheit dar. Die Metallplatten 24 müssen gegen die Gerüstkonstruktion des Schirmes 2 elektrisch isoliert sein. Zu diesem Zweck ist für die Fixierung der Metallplatten 24 in den Gittermaschen 22 die in der Fig. 7 gezeigte Befestigungsart vorgesehen. Als Befestigungsmittel dienen Schrauben 25, die so angeordnet sind, daß sich zwischen den Metallplatten 24 und den Gitterstegen 23 keramische Formkörper 26 befinden. Die Schrauben 25, die ohne Kontakt durch die Metallplatten 24 geführt sind, werden gegen weitere keramische Formkörper 27 verspannt. Die Formkörper bestehen vorzugsweise aus Magnesium- oder Aluminiumoxid.

Wie die Fig. 7 zeigt, sind am unteren Ende der Halbleiter 28 Metallplatten 29 angelötet, die zur Spannungsabnahme der thermoelektrischen Einheit 3 dienen. Die Spannungsabnahme ermöglicht eine elektrische Serienschaltung und eine thermische Parallelschaltung, so daß sich nach einem Optimierungsprozeß eine hohe Zuverlässigkeit erreichen läßt. Für die metallischen Bauteile

der thermoelektrischen Einheiten 3 werden hochwarmfeste Werkstoffe wie z.B. Wolfram oder Niob verwendet.

Der beschriebene Hochtemperaturreaktor 1 kann nach zwei Konzeptionen betrieben werden: im Dauerbetrieb oder für
5 einen temporären Einsatz mit kurzer Einlaufphase. Für einen Dauerbetrieb, der eine sorgfältige Auslegung mit abbrennbaren Neutronengiften erfordert, erhöht sich die Menge des Spaltstoffs und liegt bei einem Reaktor mit
10 einer Leistung von 3MW_{th} in der Größenordnung von 100kg Spaltstoff. Die Absorberstäbe 8 dienen in diesem Falle nur dazu, den Reaktor durch Ausfahren einzuschalten und ihn nach Beendigung des Betriebes durch Einfahren wieder auszuschalten. Wegen des hohen Temperaturkoeffizienten des Reaktors und der relativen Unempfindlichkeit des
15 Gesamtsystems gegen Temperaturschwankungen kann bei dieser Betriebsweise durch die abbrennbaren Neutronengifte eine annähernd gleiche Leistung für einen längeren Zeitraum erreicht werden, so daß eine Regelung mit den Absorberstäben 8 nicht erforderlich ist.

20 Beim temporären Einsatz des Hochtemperaturreaktors 1 ist dagegen das Ausfahren der Absorberstäbe 8 in einem Zeitbereich von jeweils 10-100 Sekunden erforderlich. Die dabei auftretende Temperaturerhöhung wird von dem Kern des Hochtemperaturreaktors 1 gut vertragen, da die Dehnungen im wesentlichen von den Trägerstäben 16 aus kohlenstofffaserverstärktem Graphit aufgenommen werden müssen und dieses Material praktisch keine Dehnung hat. Die
25 Ladung mit Spaltstoff ist beim temporären Einsatz kleiner und liegt in der Größenordnung von 80kg. Die Aktivierung des Gesamtsystems ist in diesem Fall praktisch zu vernachlässigen. Von Vorteil ist auch noch, daß nur wenig abbrennbares Neutronengift benötigt wird.

30 Für einen Hochtemperaturreaktor mit einer thermischen Leistung von 3MW_{th} ergibt sich - unter Zugrundelegung
35

eines elektrischen Wirkungsgrades von 0.06 - eine elektrische Leistung von 200kW_e. Das Volumen des Kerns beträgt ca. 25m³ bei einem Radius des Reaktors von 1m und einer Höhe von 8m. Für den Radius des Schirms 2 werden 1,8m und für seine Höhe 10m zugrundegelegt. Der thermische Neutronenfluß im Kern des Reaktors 1 beträgt 10¹³n/cm²s, derjenige im Schirm 4x10¹¹n/cm s.

10

15

20

25

30

35



Patentansprüche

1. Thermoelektrischer Generator mit einem zylinderförmigen Hochtemperatur-Reaktor (1) als Wärmequelle, dessen Kern aus keramischem Material besteht, wobei die Wärmequelle oberhalb und unterhalb durch Platten (4,5) begrenzt und im Abstand von einem zylindrischen Träger (2) umgeben ist, auf dem eine Vielzahl von thermoelektrischen Einheiten angeordnet sind, und die Wärmeübertragung von dem Hochtemperaturreaktor (1) zu dem Träger (2) sowie die Abfuhr der Verlustwärme von dem Träger (2) durch radial nach außen gerichtete Wärmestrahlung erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß der zylindrische Träger (2) als Schirm in Form einer Gerüstkonstruktion aus kohlenstoffaserverstärktem Graphit ausgebildet ist, die quadratische Gittermaschen zur Aufnahme der thermoelektrischen Einheiten aufweist, daß der Kern des Hochtemperatur-Reaktors (1) von stabförmigen Brennelementen (10) aus Graphit gebildet ist, in dem beschichtete Brennstoffpartikel eingelagert sind, daß durch die besondere Formgebung und Anordnung der Brennelemente (10) in dem Kern ein zentraler Hohlraum (20) zur Aufnahme von Reflektorelementen (21) ausgebildet ist, und daß an den beiden Stirnflächen des Hochtemperatur-Reaktors (1) je eine Regel- und Abschalteneinrichtung (7) vorgesehen ist, die in den Kern einfahrbare und in Öffnungen (15) der Brennelemente (10) bewegbare Absorberstäbe aufweist.

2. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der Brennelemente (10) teilweise eine Verspiegelung (13) aus Siliziumkarbid aufweist.

3. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die aktive Kernzone (19) einen ringförmigen Querschnitt aufweist.

5 4. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Reflektorelemente (21) die gleiche Gestalt aufweisen wie die Brennelemente (10).

10 5. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 1 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern des Hochtemperatur-Reaktors (1) abbrennbare Neutronengifte aufweist, die in den Brennelementen (10) und/oder in den Reflektorelementen (21) angeordnet sind.

15 6. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der von einer Metallplatte gebildete Wärmeaustauscher auf der heißen Seite jeder thermoelektrischen Einheit (3) mit Hilfe von Schrauben
20 (25) an der Gerüstkonstruktion (2) befestigt ist.

7. Thermoelektrischer Generator nach einem der Ansprüche 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, daß die stabförmigen Brennelemente (10) im wesentlichen einen kreisförmigen Querschnitt haben und ein oberes und unteres
25 Endstück (12) mit hexagonalem Querschnitt aufweisen, daß jedes Brennelement (10) eine durchgehende zentrale axiale Bohrung (14) besitzt, in der ein Trägerstab (16) aus einem Material mit einer sehr geringen Wärmedehnung,
30 vorzugsweise aus kohlenstoffaserverstärktem Graphit angeordnet ist, daß jedes Brennelement (10) durch Klemmschrauben (17), vorzugsweise aus kohlenstoffaserverstärktem Graphit, die in dem oberen Endstück (12) vorgesehen sind, an dem Trägerstab (16) fixiert ist, und daß
35

auf einem Trägerstab (16) mehrere Brennelemente (10) mit Abstand untereinander angeordnet sind.

5 8. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstoffkonzentration
in den Brennelementen (10) derart festgelegt ist, daß
sich über den Kern des Hochtemperatur-Reaktors (1) axial
und radial eine relativ gleichmäßige Leistung einstellt,
deren Abweichung vom Mittelwert nicht mehr als ca + - 30
10 % beträgt, daß an der seitlichen wie auch an der oberen
und unteren Oberfläche des Kerns die Brennstoffkonzentration
um etwa 50 bis 100 % höher gewählt ist als es
der durchschnittlichen Brennstoffkonzentration entspricht.

15 9. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Platten (4,5) aus
thermisch isolierendem Material an den beiden Stirn-
flächen des Hochtemperatur-Reaktors (1) auch den Ring-
20 raum (6) zwischen Hochtemperatur-Reaktor (1) und Schirm
(2) abdecken, und daß die beiden Platten (4,5) aus kohlenstoffaserverstärktem Graphit als Trägermaterial und
aus Magnesiumoxid bestehen.

25 10. Thermoelektrischer Generator nach den Ansprüchen 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebseinrichtungen (9) für die Absorberstäbe (8) außerhalb
der Platten (4,5) aus thermisch isolierendem Material
angeordnet sind, daß die Absorberstäbe (8) aus kohlenstoffaserverstärktem Graphit mit einem definierten Bor-
30 gehalt bestehen, und daß die Absorberstäbe (8) sowie
alle Teile, deren Oberflächen von den Absorberstäben (8)
kontaktiert werden, eine keramische Oberflächenvergütung
aufweisen, die aus einer Titankarbidbeschichtung besteht.

1 / 4

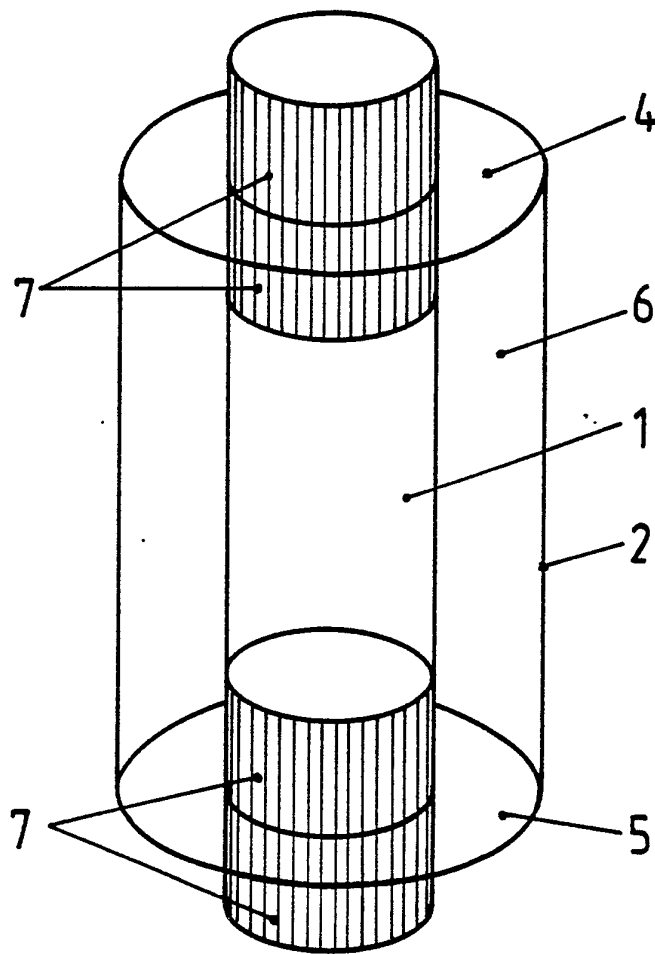


Fig. 1

2 / 4

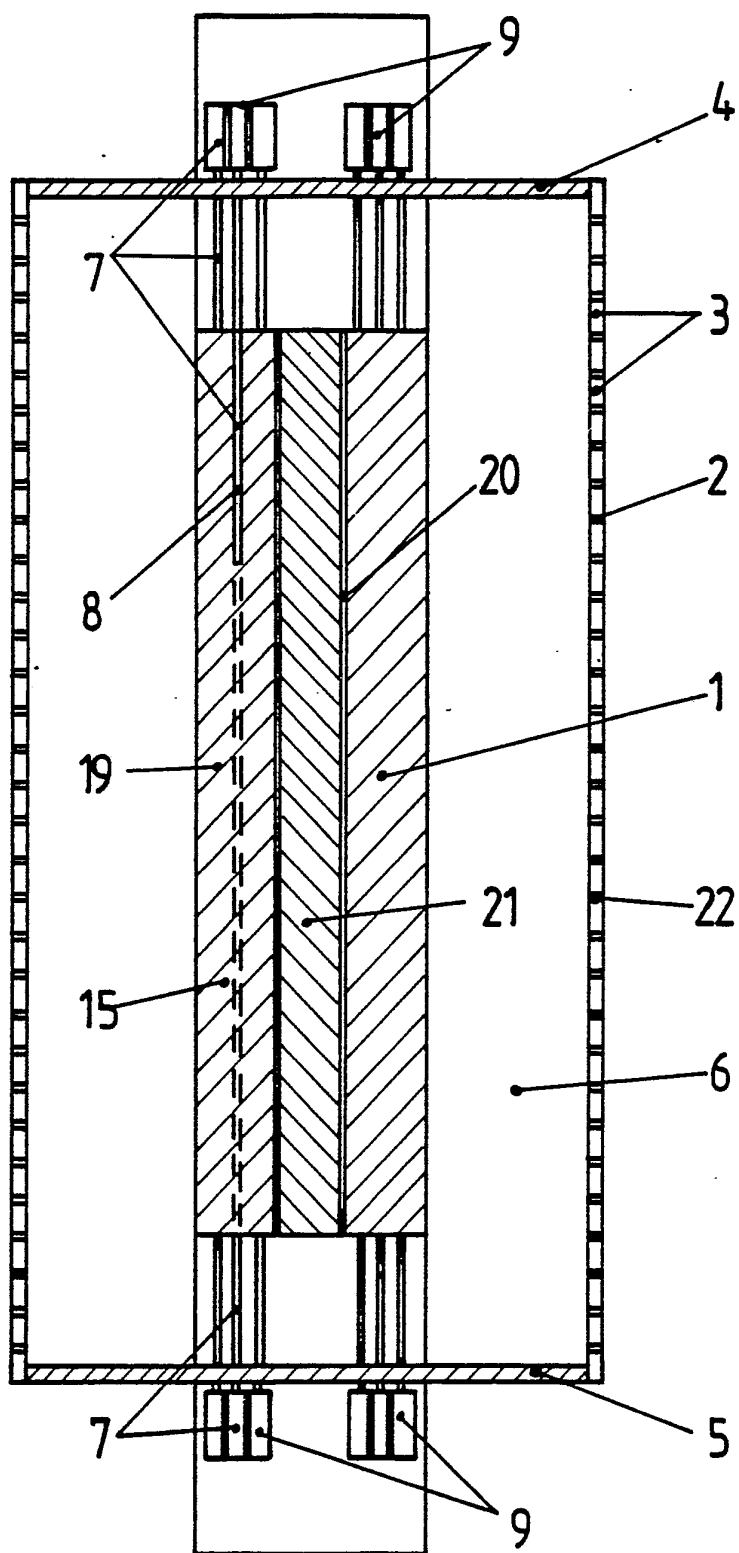
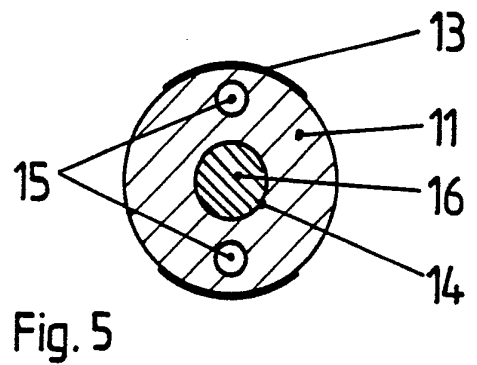
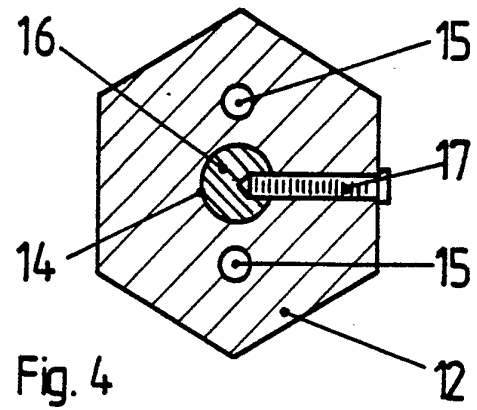
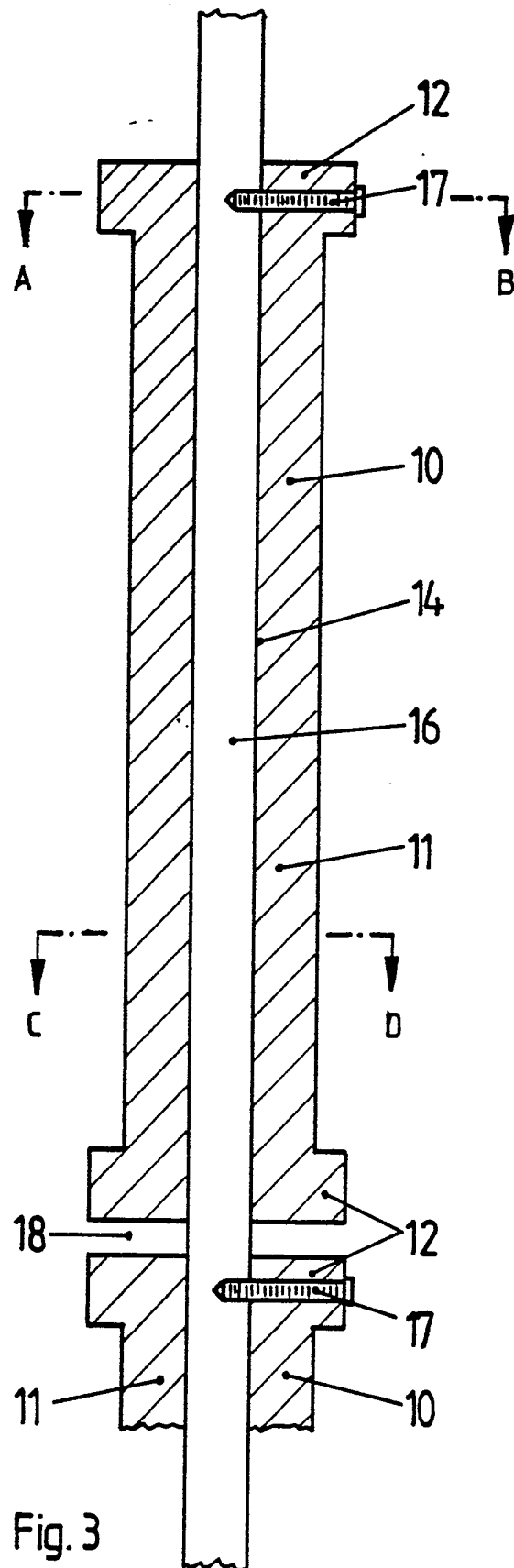
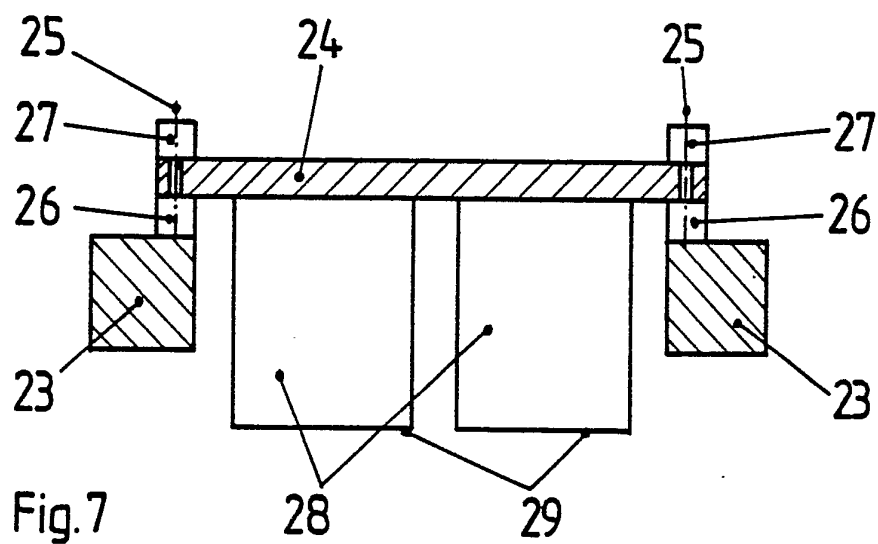
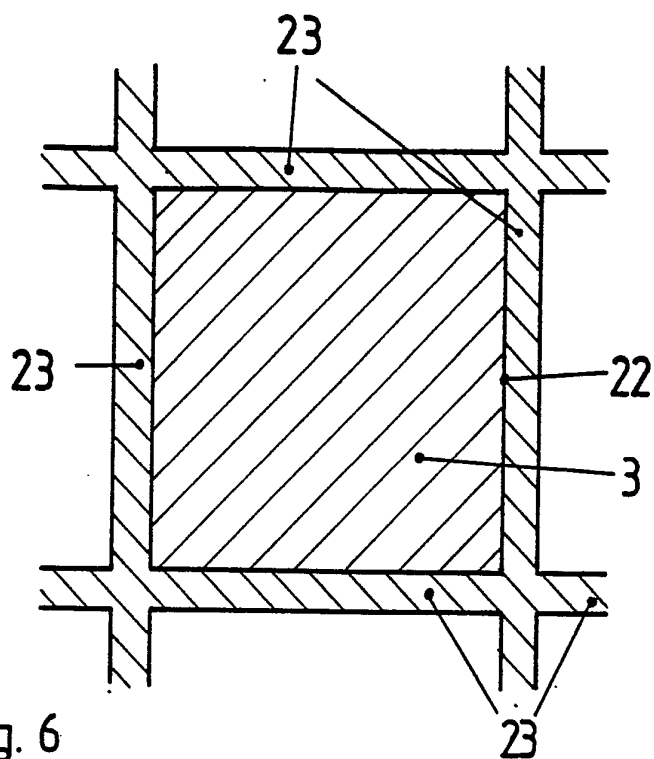


Fig. 2

3 / 4





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/DE86/00496

International Application No

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (if several classification symbols apply, indicate all) ⁶ According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC Int.Cl. ¹ <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">G 21 D 7/04</div>														
II. FIELDS SEARCHED <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">Minimum Documentation Searched ⁷</div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; padding: 5px;">Classification System</td> <td style="padding: 5px;">Classification Symbols</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Int.Cl.⁴</td> <td style="padding: 5px;">G 21 D 7/00; G 21 H 1/00; H 02 N 11/00; G 21 C 7/00</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">Documentation Searched other than Minimum Documentation to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched ⁸</div>			Classification System	Classification Symbols	Int.Cl. ⁴	G 21 D 7/00; G 21 H 1/00; H 02 N 11/00; G 21 C 7/00								
Classification System	Classification Symbols													
Int.Cl. ⁴	G 21 D 7/00; G 21 H 1/00; H 02 N 11/00; G 21 C 7/00													
III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT ⁹ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%; padding: 5px;">Category *</th> <th style="width: 60%; padding: 5px;">Citation of Document, ¹¹ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²</th> <th style="width: 30%; padding: 5px;">Relevant to Claim No. ¹³</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="padding: 5px;">Schweizerische Technische Zeitschrift, vol. 62, no. 12, 25 March 1965 (Wabern, CH) A. Robert: "L'état actuel des recherches dans le domaine de la conversion directe de la chaleur en énergie électrique", pages 213-227, see page 221; figure 8 -----</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">1,9,10</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="padding: 5px;">DE, A, 1804859 (SIEMENS A.G) 27 May 1970, see page 3, line 23 - page 4, paragraph 1; figure -----</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">1,9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="padding: 5px;">US, A, 3989546 (DAVID L. PURDY) 2 November 1976, see column 3, line 29 - column 4, line 3; figure 1 -----</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">1</td> </tr> </table>			Category *	Citation of Document, ¹¹ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²	Relevant to Claim No. ¹³	A	Schweizerische Technische Zeitschrift, vol. 62, no. 12, 25 March 1965 (Wabern, CH) A. Robert: "L'état actuel des recherches dans le domaine de la conversion directe de la chaleur en énergie électrique", pages 213-227, see page 221; figure 8 -----	1,9,10	A	DE, A, 1804859 (SIEMENS A.G) 27 May 1970, see page 3, line 23 - page 4, paragraph 1; figure -----	1,9	A	US, A, 3989546 (DAVID L. PURDY) 2 November 1976, see column 3, line 29 - column 4, line 3; figure 1 -----	1
Category *	Citation of Document, ¹¹ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²	Relevant to Claim No. ¹³												
A	Schweizerische Technische Zeitschrift, vol. 62, no. 12, 25 March 1965 (Wabern, CH) A. Robert: "L'état actuel des recherches dans le domaine de la conversion directe de la chaleur en énergie électrique", pages 213-227, see page 221; figure 8 -----	1,9,10												
A	DE, A, 1804859 (SIEMENS A.G) 27 May 1970, see page 3, line 23 - page 4, paragraph 1; figure -----	1,9												
A	US, A, 3989546 (DAVID L. PURDY) 2 November 1976, see column 3, line 29 - column 4, line 3; figure 1 -----	1												
* Special categories of cited documents: ¹⁰ "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family												
IV. CERTIFICATION <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Date of the Actual Completion of the International Search</td> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Date of Mailing of this International Search Report</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">27 March 1987 (27.03.87)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">13 May 1987 (13.05.87)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">International Searching Authority</td> <td style="padding: 5px;">Signature of Authorized Officer</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">European Patent Office</td> <td></td> </tr> </table>			Date of the Actual Completion of the International Search	Date of Mailing of this International Search Report	27 March 1987 (27.03.87)	13 May 1987 (13.05.87)	International Searching Authority	Signature of Authorized Officer	European Patent Office					
Date of the Actual Completion of the International Search	Date of Mailing of this International Search Report													
27 March 1987 (27.03.87)	13 May 1987 (13.05.87)													
International Searching Authority	Signature of Authorized Officer													
European Patent Office														

ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT ON

INTERNATIONAL APPLICATION NO.

PCT/DE 86/00496 (SA 15615)

This Annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The members are as contained in the European Patent Office EDP file on 10/04/87

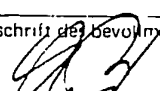
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE-A- 1804859	27/05/70	FR-A- 2021464	24/07/70
		GB-A- 1279471	28/06/72
		US-A- 3830664	20/08/74
US-A- 3989546	02/11/76	US-A- 3822151	02/07/74
		US-A- 3989547	02/11/76

For more details about this annex :
see Official Journal of the European Patent Office, No. 12/82

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/DE 86/00496

I. KLASSIFIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben) ⁶		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
Int. Cl. ⁴ G 21 D 7/04		
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff ⁷		
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole	
Int. Cl. ⁴	G 21 D 7/00; G 21 H 1/00; H 02 N 11/00; G 21 C 7/00	
Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen ⁸		
III. EINSCHLÄGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN ⁹		
Art*	Kennzeichnung der Veröffentlichung ¹¹ , soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile ¹²	Betr. Anspruch Nr. ¹³
A	Schweizerische Technische Zeitschrift, Band 62, Nr. 12, 25. März 1965 (Wabern, CH), A. Robert: "L'état actuel des recherches dans le domaine de la conversion directe de la chaleur en énergie électrique", Seiten 213-227, siehe Seite 221; Abbildung 8 --	1,9,10
A	DE, A, 1804859 (SIEMENS A.G.) 27. Mai 1970, siehe Seite 3, Zeile 23 - Seite 4, Absatz 1; Abbildung --	1,9
A	US, A, 3989546 (DAVID L. PURDY) 2. November 1976, siehe Spalte 3, Zeile 29 - Spalte 4, Zeile 3; Abbildung 1 -----	1
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen¹⁰:</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
IV. BESCHEINIGUNG		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
27. März 1987		13 MAY 1987
Internationale Recherchenbehörde		Unterschrift des Bevollmächtigten Bediensteten
Europäisches Patentamt		 L. ROSSI

ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE

INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR. PCT/DE 86/00496 (SA 15615)

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben. Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am 10/04/87

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE-A- 1804859	27/05/70	FR-A- 2021464	24/07/70
		GB-A- 1279471	28/06/72
		US-A- 3830664	20/08/74
US-A- 3989546	02/11/76	US-A- 3822151	02/07/74
		US-A- 3989547	02/11/76

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang :
siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr. 12/82