

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

(51) Internationale Patentklassifikation 4 :		(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 87/ 03733
G21D 7/04	A1	(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 18. Juni 1987 (18.06.87)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE86/00496	(81) Bestimmungsstaaten: BE (europäisches Patent), FR (europäisches Patent), GB (europäisches Patent), IT (europäisches Patent), US.
(22) Internationales Anmeldedatum: 4. Dezember 1986 (04.12.86)	
(31) Prioritätsaktenzeichen: P 35 42 839.2	Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>
(32) Prioritätsdatum: 4. Dezember 1985 (04.12.85)	
(33) Prioritätsland: DE	
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): BROWN, BOVERI & CIE AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Kallstädter 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).	

(54) Title: THERMOELECTRIC GENERATOR WITH NUCLEAR HEAT SOURCE

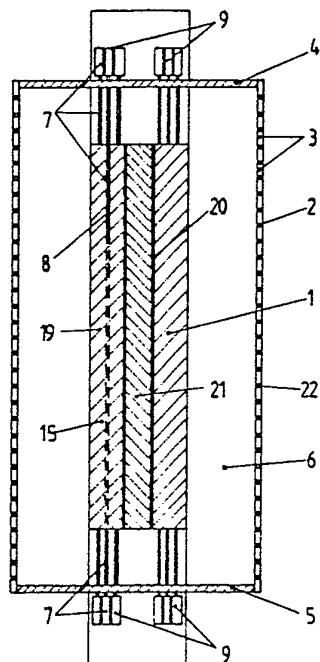
(54) Bezeichnung: THERMOELEKTRISCHER GENERATOR MIT EINER NUKLEAREN WÄRMEQUELLE

(57) Abstract

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.

(57) Zusammenfassung

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 kohlenstofffaserverstärktem 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 erfundungsgemässen thermoelektrischen Generator lässt sich eine elektrische Leistung von mindestens 200kW_{el} erzielen.



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	Mauritanien
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

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

25 **Aus der Informationsschrift "Nucleonics", 22, Dec. 1964**
ist eine Generator mit dem Namen "Romashka" bekannt, bei
dem die nukleare Wärmequelle von einem Reaktor in Zylin-
derform gebildet wird, Der Kern des Reaktors enthält
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.

35 **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.

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 thermoelektrischen Einheiten nimmt die von dem Hochtemperaturreaktor abgestrahlte Wärme auf, wandelt sie teilweise in elektrischen Strom um und strahlt die Verlustwärme nach außen ab.
- 10
- 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 zugrunde zu legen. Für diese Innentemperatur 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 Reaktors aus keramischen Materialien hergestellt sind.
- 20
- 25
- 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 kohlenstofffaserverstärkter 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 200kWel auf ca. 1000kWel 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 schematischen Zeichnungen zu entnehmen. 20

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 Brenn- element,
- 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 kohlenstofffaserverstärktem 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 kohlenstofffaserverstärktem 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 kohlenstofffaserverstärktem 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 Stirnoberflächen sowie die Flächen, die von den Absorberstäben 8
5 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
10 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.
15

Außen den beiden Einrichtungen 7 zur Regelung und Abschaltung sind bei dem Hochtemperaturreaktor 1 keinerlei bewegbare Teile vorhanden, so daß das gesamte Aggregat langzeitig 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.
20

25 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
30 100% 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-
35

teilung dagegen kann damit auf eine Genauigkeit von ca. +- 30% Abweichung vom Mittelwert eingestellt werden.

Der Kern des Hochtemperaturreaktors 1 besteht aus einer 5 Anzahl von stabförmigen Brennelementen 10, von denen eins in den Fig. 3,4 und 5 dargestellt ist. Als Material für die Brennelemente 10 wird kohlenstofffaserverstärkter 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 10 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 15 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 20 einem Teil ihres Mantels eine Verspiegelung 13 aus Sili- ziumkarbid auf, wie die Fig. 5 erkennen läßt. Die Ver- 25 spiegelung 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 30 Einfahren zweier Absorberstäbe 8. In der Bohrung 14 ist ein Trägerstab 16 angeordnet, der aus einem Material mit einer sehr geringen Wärmedehnung, vorzugsweise aus kohlenstofffaserverstärktem Graphit, besteht. In dem oberen 35

Endstück 12 jedes Brennelements 10 ist eine ebenfalls aus kohlenstofffaserverstärktem 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 Dehnungsspale 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 5 der quadratischen Gittermaschen 22 der Gerüstkonstruktion, die von Stegen 23 umrahmt ist. Die Stege 23 bestehen aus kohlenstofffaserverstärktem Graphit. In jede Masche 22 ist eine der thermoelektrischen Einheiten 3 eingesetzt. In den thermoelektrischen Einheiten 3 werden 10 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 Wärmeaus- tauscher der betreffenden thermoelektrischen Einheit 15 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 20 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 25 Formkörper bestehen vorzugsweise aus Magnesium- oder Aluminiumoxid.

Wie die Fig. 7 zeigt, sind am unteren Ende der Halbleiter 28 Metallplatten 29 angelötet, die zur Spannungs- 30 abnahme der thermoelektrischen Einheit 3 dienen. Die Spannungsabnahme ermöglicht eine elektrische Serien- schaltung und eine thermische Parallelschaltung, so daß sich nach einem Optimierungsprozeß eine hohe Zuver- lässigkeit erreichen läßt. Für die metallischen Bauteile 35

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 3MWth 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 15 des Reaktors und der relativen Unempfindlichkeit des 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 25 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 Ladung mit Spaltstoff ist beim temporären Einsatz kleiner und liegt in der Größenordnung von 80kg. Die Aktivierung des Gesamtsystems ist in diesem Fall praktisch 30 zu vernachlässigen. Von Vorteil ist auch noch, daß nur wenig abbrennbares Neutronengift benötigt wird.

35 Für einen Hochtemperaturreaktor mit einer thermischen Leistung von 3MWth ergibt sich - unter Zugrundelegung

10 eines elektrischen Wirkungsgrades von 0.06 - eine elektrische Leistung von 200kWe. Das Volumen des Kerns beträgt ca. 25m^3 bei einem Radius des Reaktors von 1m und einer Höhe von 8m. Für den Radius des Schirms 2 werden 5 1,8m und für seine Höhe 10m zugrundegelegt. Der thermische Neutronenfluß im Kern des Reaktors 1 beträgt $10^{13}\text{n/cm}^2\text{s}$, derjenige im Schirm $4 \times 10^{11}\text{n/cm s}$.

10

15

20

25

30

35

Patentansprüche

1. Thermoelektrischer Generator mit einem zylindrischen 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 kohlenstofffaserverstärktem 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 Abschalteinrichtung (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 (25) an der Gerüstkonstruktion (2) befestigt ist.
- 20 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 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, vorzugsweise aus kohlenstofffaserverstärktem Graphit angeordnet ist, daß jedes Brennelement (10) durch Klemmschrauben (17), vorzugsweise aus kohlenstofffaserverstärktem Graphit, die in dem oberen Endstück (12) vorgesehen sind, an dem Trägerstab (16) fixiert ist, und daß
- 25
- 30
- 35

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

8. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 1,
5 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, 10 deren Abweichung vom Mittelwert nicht mehr als ca + - 30 % 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 Stirnflächen des Hochtemperatur-Reaktors (1) auch den Ringraum (6) zwischen Hochtemperatur-Reaktor (1) und Schirm (2) abdecken, und daß die beiden Platten (4,5) aus kohlenstofffaserverstärktem Graphit als Trägermaterial und aus Magnesiumoxid bestehen.

25

10. Thermoelektrischer Generator nach den Ansprüchen 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebs- einrichtungen (9) für die Absorberstäbe (8) außerhalb der Platten (4,5) aus thermisch isolierendem Material angeordnet sind, daß die Absorberstäbe (8) aus kohlenstofffaserverstärktem Graphit mit einem definierten Bor- 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.

30

35

1 / 4

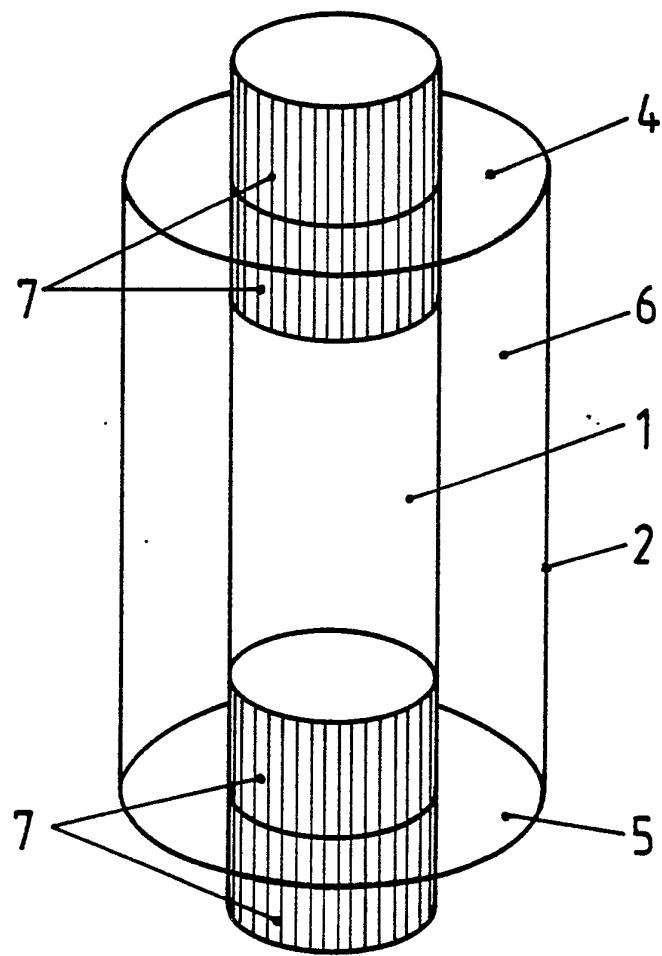


Fig. 1

2 / 4

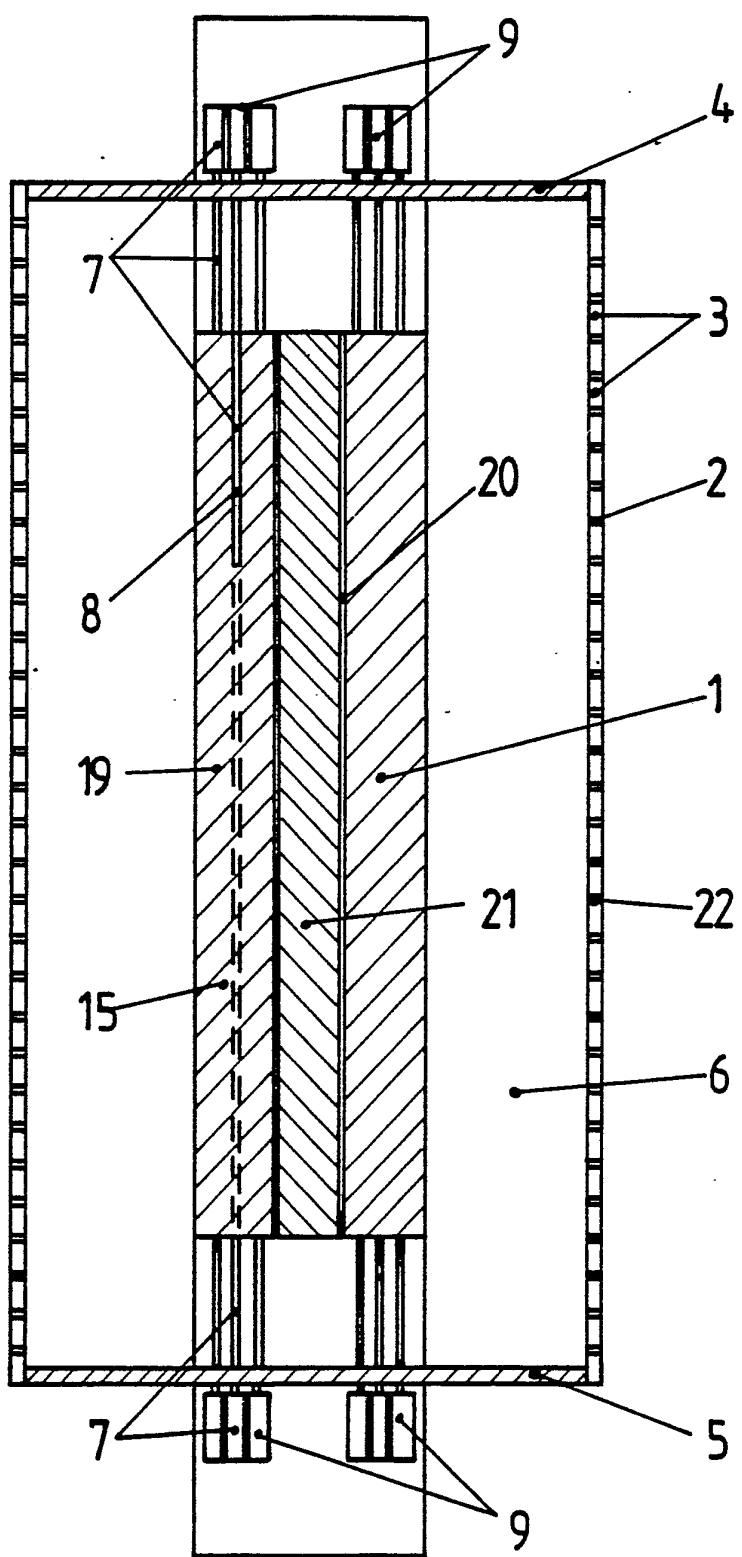
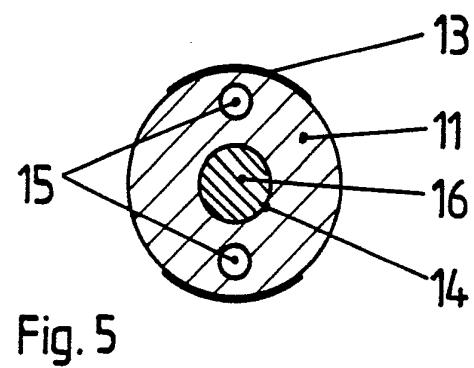
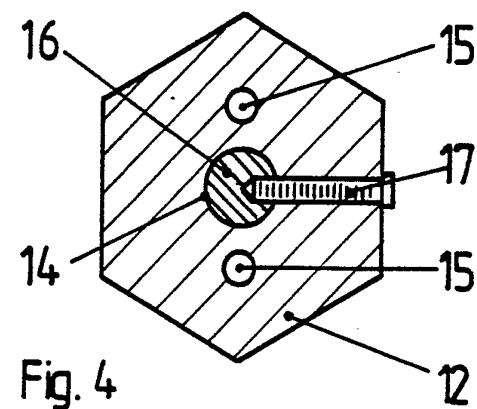
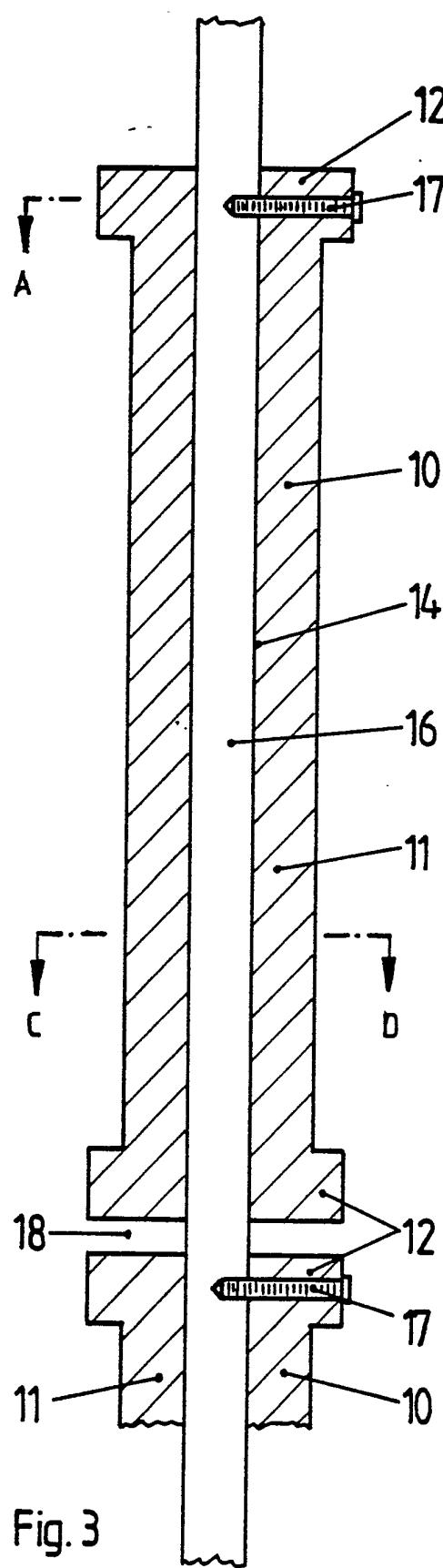


Fig. 2

3 / 4



4 / 4

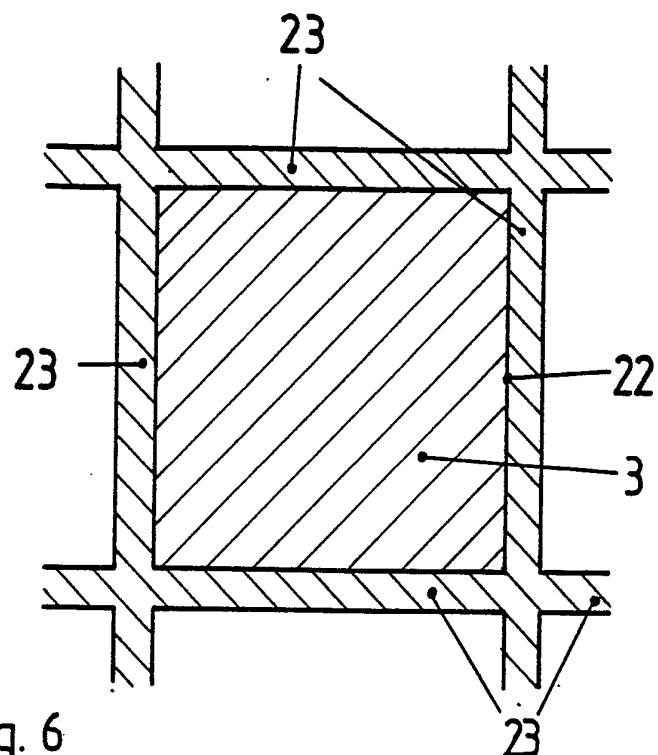


Fig. 6

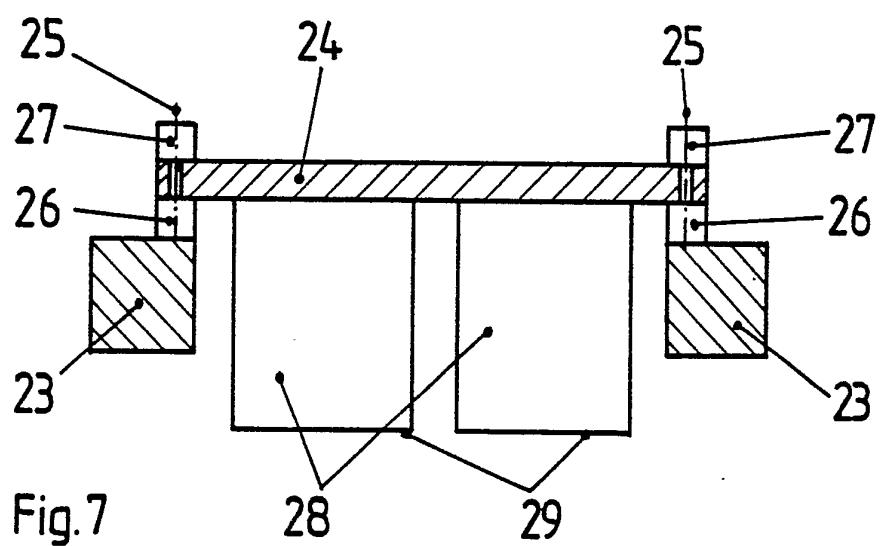


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE86/00496

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.

G 21 D 7/04

II. FIELDS SEARCHED

Minimum Documentation Searched ⁷

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

Documentation Searched other than Minimum Documentation
to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched ⁸

III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT ⁹

Category ¹⁰	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

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 European Patent Office	Signature of Authorized Officer

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 GB-A- 1279471 US-A- 3830664	24/07/70 28/06/72 20/08/74
US-A- 3989546	02/11/76	US-A- 3822151 US-A- 3989547	02/07/74 02/11/76

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/DE 86/00496

I. KLASSEKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben) ⁶		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
Int. Cl.	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 VERÖFFENTLICHUNGEN⁹		
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: "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "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) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "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 "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher 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 "&" 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 bevoormächtigten 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 Patentdokumente 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 Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE-A- 1804859	27/05/70	FR-A- 2021464 GB-A- 1279471 US-A- 3830664	24/07/70 28/06/72 20/08/74
US-A- 3989546	02/11/76	US-A- 3822151 US-A- 3989547	02/07/74 02/11/76