

⑤1

Int. Cl. 2:

G 21 C 3/32

①9 **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**



10
2

①1

Auslegeschrift 19 42 433

②1

Aktenzeichen: P 19 42 433.0-33

②2

Anmeldetag: 20. 8. 69

④3

Offenlegungstag: 26. 2. 70

④4

Bekanntmachungstag: 29. 12. 77

③0

Unionspriorität:

③2 ③3 ③1

20. 8. 68 Italien 39198 A-68

⑤4

Bezeichnung: Brennelement für Kernreaktoren

⑦1

Anmelder: Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare - CNEN, Rom

⑦4

Vertreter: Sturm, E., Dipl.-Chem. Dr.phil., Pat.-Anw., 8000 München

⑦2

Erfinder: Gerosa, Augusto, Dr.-Ing.; Martini, Marco, Dr.-Ing.; Rom

⑤6

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

BE 6 68 870

LATT 1

2

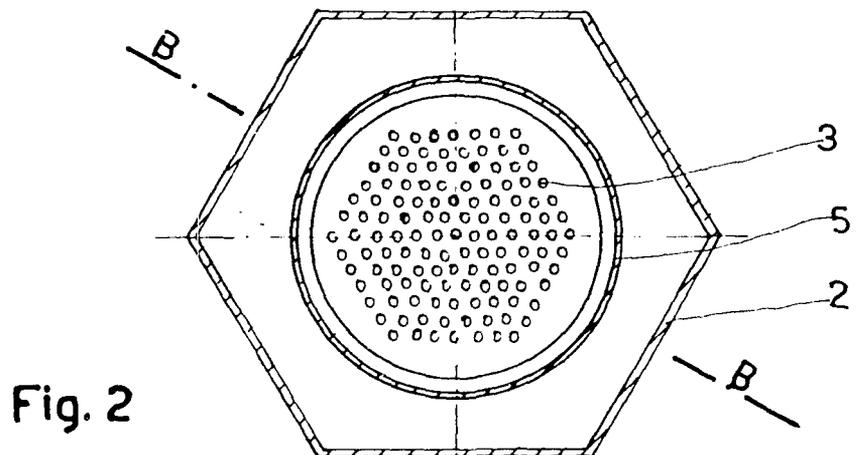
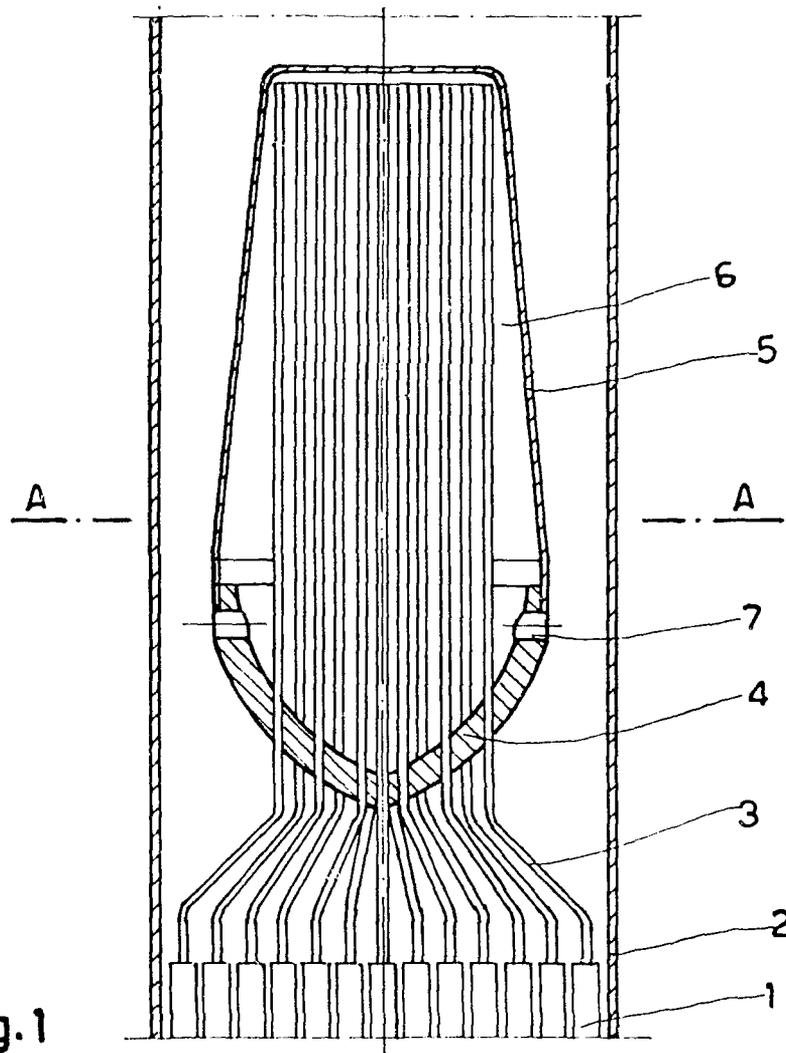
Nummer:

19 42 433

Int. Cl. 2:

G 21 C 3/

Bekanntmachungstag: 29. Dezem



Patentsprüche:

1. Brennelemente für Kernreaktoren, welches ein Bündel von Brennstoffstäben aufweist, welches von einem dünnwandigen Kanal mit offenen Enden umgeben ist, wobei das Brennelement in einen aufsteigenden Kühlstrom aus flüssigem Material getaucht ist, wobei jeder Brennstoffstab aus übereinanderliegenden Abschnitten von Spaltstoffen und porösen Medien in einer Metallröhre besteht, deren Enden durch eine untere und eine obere gasdichte Hülse abgeschlossen sind, wobei das Brennelement eine vertikale, längliche Kammer aufweist, die über dem Stab Bündel angeordnet ist und sich annähernd bis zum oberen Ende des Kanals erstreckt, wobei das Element Gas-Leitmittel mit unteren und oberen offenen Enden aufweist, durch welche das Innere eines jeden Brennstoffstabs mit dem oberen Abschnitt der Kammer verbunden ist und wobei Verbindungsmittel zur Verbindung des Inneren der Kammer an ihrem unteren Abschnitt mit der Außenseite der Kammer vorgesehen sind, wobei die gasförmigen Spaltprodukte aus dem Spaltmaterial innerhalb eines jeden Stabes während des Betriebs des Reaktors durch diese Gasleitmittel in die Kammer und von dort durch die Verbindungsmittel in die Kühlflüssigkeit ausgetragen werden, wobei die Kammer derart dimensioniert ist, daß der Kühlflüssigkeitsstand in der Kammer während des Betriebs des Reaktors keinesfalls das Niveau der oberen offenen Enden der gasführenden Mittel erreicht und wobei die porösen Medien im Element alle festen Partikeln zurückhalten, um zu gewährleisten, daß die gasführenden Mittel nicht verstopft werden, dadurch gekennzeichnet, daß jeder einzelne Brennstoffstab (1) an seinem oberen Hülsende mit einer eigenen gasführenden Röhre (3) dicht verbunden ist, welche durch eines von entsprechend vielen Löchern in der Bodenwandung (4, 19, 24, 29) der Kammer (6, 16, 26, 32) hindurchgeführt ist.

2. Brennelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer (6) eine vertikal gestreckte Form aufweist und Metallwandungen (5) besitzt, welche untereinander durch gasdichte Verbindungsstellen, insbesondere Schweißstellen, verbunden sind, daß die Breite der Kammer (6) kleiner als die des Stab Bündels ist, wobei ein ringförmiger Raum zwischen der Kammer (6) und den Wandungen des Kanals (2) gebildet ist, daß der obere Abschnitt der Kammer (6) die Form eines dünnwandigen abgestumpften Konus aufweist, dessen obere schmalere Basis geschlossen und dessen untere größere Basis vollkommen offen und entlang ihrem Umfang mit der tassenförmigen Bodenwandung (4) der Kammer (6) vereinigt, vorzugsweise verschweißt ist, wobei im Bereich der Vereinigung des oberen und des unteren Teils der Kammer (6) eine zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit des Kühlmittels führende Verengung des ringförmigen Raums vorhanden ist, und daß die Verbindungsmittel eine rund um den Vereinigungsbereich gebildete Reihe von Öffnungen (7) sind, an denen durch den aufsteigenden Kühlflüssigkeitsstrom ein Sog gebildet ist (F i g. 1, 2).

3. Brennelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer (16) peripher durch den dünnwandigen Kanal (2) und innen durch die

Wandungen (17, 19) durch zwei hohle, abgestumpfte Konusse begrenzt ist, wobei letztere koaxial zum Stab Bündel angeordnet und mit ihren schmalen Basen vereinigt sind, und daß die Verbindungsmittel eine rund um den Vereinigungsbereich der beiden Konusse gebildete Vielzahl von Öffnungen (21) sind, wobei der Kühlflüssigkeitsstrom im Vereinigungsbereich der beiden Konusse beschleunigt ist und so an den Öffnungen (21) einen Sog bildet (F i g. 4, 5).

4. Brennelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer (26) peripher durch den dünnwandigen Kanal (2) und innen durch einen dünnwandigen Kreiszyylinder (22) begrenzt ist, mit dessen Enden zwei hohle, abgestumpfte Konusse (24, 24') jeweils mit ihren schmalen Basen vereinigt sind, wobei die breiten Basen der Konusse an ihrer Peripherie mit den Wänden des Kanals (2) vereinigt sind und daß das Verbindungsmittel eine durch die Wandungen des Kanals (2) in Höhe des unteren Bereichs der Kammer (26) gebildete Reihe von Öffnungen (25) ist (F i g. 6, 7).

5. Brennelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer (32) eine ringförmige, durch Rotation einer ebenen Figur um die vertikale Achse des Kanals (2) gebildete Form aufweist, wobei die Figur eine äußere vertikale gerade Seite (31) auf Abstand von der Kanalwandung und eine innere gerade Seite (27), die nach oben und außen geneigt ist, aufweist, daß die Seiten (31, 27) an ihren oberen Enden durch eine gerade horizontale Linie und an ihren unteren Enden durch eine spitzbogenförmige, mit ihrem Scheitel nach unten weisende Linie (29) verbunden sind, daß zwei Durchlässe für den Kühlflüssigkeitsstrom vorgesehen sind, wobei der eine Durchlaß zwischen der Wandung des Kanals (2) und der äußeren Wandung der Kammer (32) und der andere Durchlaß (33) zwischen der inneren Wand der Kammer (32) liegt, und daß zur Verbindung des Durchlasses (33) mit dem Inneren der Kammer (32) eine Reihe von Öffnungen (28) im engsten Bereich des Durchlasses (33) vorgesehen sind (F i g. 8, 9).

Die Erfindung bezieht sich auf ein Brennelement für Kernreaktoren der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art.

Bei dem aus der BE-PS 6 68 870 bekannten Brennelement für Kernreaktoren der genannten Art sind lange Stäbe vorgesehen, die an ihrem unteren Ende mit einer Durchgangsöffnung des Gas-Leitmittels in Verbindung steht, welche ihrerseits mit einer Sammelkammer des Gas-Leitmittels verbunden ist. Diese Kammer steht über ein Entlüftungsrohr mit der oberen flüssigkeitsdichten Gas-Auffangkammer in Verbindung die ihrerseits über verschiedene Verbindungsöffnungen mit dem Außenbereich des Brennelements verbunden ist. Nachteilig hieran ist, daß die obere Kammer, die als Sperre wirken sollte, nicht verhindern kann, daß die Kühlflüssigkeit in das Rohr des Gas-Leitmittels und vor dort in die untere Kammer des Gas-Leitmittels strömt.

Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß ein Brecher oder Reißen eines der Brennstoffstäbe das Eindringen von Kühlflüssigkeit in alle Stäbe zur Folge hat, da nach dem Überfluten des gebrochenen Stabes die Kühlflüssigkeit in die gemeinsame Durchgangsöffnung de:

Gas-Leitmittels und von dort in die anderen Stäbe strömen kann. Da bei dem bekannten Brennelement das Gas-Leitmittel, durch das die gasförmigen Produkte aus den Brennstoffstäben die obere Auffangkammer erreichen, zuerst einen nach unten führenden Weg, der die hohlen Anschlußbereiche der Stäbe, die Eintrittsbohrung in die untere Kammer und die obere Kammer enthält, und dann einen nach oben führenden Weg mit dem Entlüftungsrohr aufweist, kann im Falle eines Stabbruches die Kühlflüssigkeit nicht nur in die anderen Stäbe eindringen, die mit der Durchgangsöffnung des Gas-Leitmittels verbunden sind, sondern auch durch die Zugangsbohrung in die untere Kammer eindringen, wodurch ein Austragen des Gases längs dieses genannten Weges verhindert oder zumindest behindert wird. Diese Nachteile werden dadurch noch verstärkt, daß die Entlüftungsöffnungen der Brennstoffstäbe an ihren unteren Enden angeordnet sind. Somit wird im Falle eines Stabbruches der Strom der Kühlflüssigkeit von der Ausgangsöffnung des gebrochenen Stabes durch den hydrostatischen Druck begünstigt, der entsprechend dem Niveauunterschied zwischen dem gebrochenen Bereich des Stabes und seinem unteren Endes besteht.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Brennelement für Kernreaktoren der eingangs genannten Art zu schaffen, bei dem in jedem Fall ein Eindringen von Kühlflüssigkeit in die obere Kammer und bei einem Stabbruch oder -riß ein Eindringen von Kühlflüssigkeit in die unbeschädigten Brennstoffstäbe vermieden ist.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß jeder einzelne Brennstoffstab an seinem oberen Hülsenende mit einer eigenen gasführenden Röhre dicht verbunden ist, welche durch eines von entsprechend vielen Löchern in der Bodenwandung der Kammer hindurchgeführt ist.

Bei dem erfindungsgemäßen Brennelement ist jeder Brennstoffstab nach oben durch ein Kapillarrohr getrennt belüftet, das sich unter der Decke der oberhalb der Brennstoffstäbe angeordneten Auffangkammer öffnet. Kühlflüssigkeit kann deshalb niemals durch diese Sperre hindurchgelangen. Ergibt sich ein Brechen, Reißen od. dgl. eines Brennstoffstabes und wird dieser mit Kühlflüssigkeit überflutet, so wird diese längs des betreffenden Stabes geleitet und nach außerhalb abgeleitet, ohne daß sie in andere Brennstoffstäbe eindringen kann. Da beim erfindungsgemäßen Brennelement der Gasaustritt jedes Brennstoffstabes an dessen oberem Ende angeordnet ist, ist er stets über einer möglichen Bruch- bzw. Rißstelle angeordnet. Da beim erfindungsgemäßen Brennelement im Gegensatz zum bekannten Brennelement, bei dem eine flüssigkeitsdichte Verbindung zur Durchgangsöffnung vorgesehen ist, jeder Brennstoffstab in die Gasauffangkammer durch eine nicht flüssigkeitsdichte Bohrung eintritt, ergibt sich der weitere Vorteil, daß ein Verschieben und ein Ausdehnen der Brennstoffstäbe aufgrund von Temperaturschwankungen möglich sind.

Weitere Merkmale und Vorteile des erfindungsgemäßen Brennelements sind für den Fachmann aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen zu ersehen. In den Zeichnungen zeigt

Fig. 1 ein Brennelement mit den erfindungsgemäßen Gasleitmitteln,

Fig. 2 einen Querschnitt durch das Brennelement nach Fig. 1,

Fig. 3 einen Längsschnitt durch einen erfindungsge-

mäßen Brennstoffstab,

Fig. 4, 6 und 8 drei verschiedene Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Brennelements,

Fig. 5, 7 und 9 Querschnitte durch die entsprechenden Brennelemente nach den Fig. 4, 6 und 8.

Der in Fig. 3 dargestellte erfindungsgemäße Brennstoffstab 1 besteht aus einer Metallröhre 9, in welcher der Brennstoff 8 enthalten ist. Über dem Brennstoff 8 befindet sich ein Raum 10, der eine Expansion des Brennstoffs erlaubt und die kondensierten Spaltprodukte aufnimmt. Über dem Brennstoffbereich 8 ist ein Bereich mit Brutmaterial 11 und eine Zwischenwand 12 aus porösem Medium placiert. Das obere Ende der Metallröhre 9 ist mit einer Kapillarröhre 3 mittels einer Stekhülse 13 verbunden. Unter dem Brennstoffbereich befindet sich ein weiterer Abschnitt von Brutmaterial 14 und eine Hülse 15, welche an die Metallröhre 9 dicht angeschweißt ist. Die Stekhülse 13 kann ebenfalls an die Metallröhre 9 und die Kapillarröhre 3 angeschweißt werden.

Wie Fig. 1 zeigt, sind die Brennstoffstäbe 1 in einem hexagonalen Kanal 2 eingeschlossen und stehen mit ihren oberen Enden mit ebenso vielen Kapillarröhren 3 in Verbindung, die sich durch einen tassenförmigen Boden in Form eines perforierten Gitters 4 in eine Gassammelkammer 6 erstrecken, in der sie annähernd bis zu deren Decke reichen.

Die Kapillarröhren 3 verbinden die Brennstoffmasse in den Brennstoffstäben 1 mit dem oberen Abschnitt der Kammer 6, welche mit einer Vielzahl von Öffnungen 7 in dem Bereich versehen sind, in welchem das Gitter 4 mit den Wänden 5 der Kammer 6 verbunden ist.

Die äußeren Oberflächen der Kammer 6 und des Gitters 4 und die innere Oberfläche des Kanals 2 bilden einen Raum, durch welchen das Kühlmittel fließt. Da die Querschnitte dieses Raums bei verschiedenen Höhen verschiedene Ausmaße haben, ist die Geschwindigkeit des nach oben fließenden Kühlmittelstroms bei verschiedenen Querschnitten verschieden. Insbesondere erreicht die Geschwindigkeit des nach oben fließenden Kühlmittelstroms beim größten Querschnitt der Kammer 6, d. h. in dem Gebiet, in welchem das Gitter 4 mit den peripheren Wandungen der Kammer 6 verbunden ist, ein Maximum.

Der Kühlmittelstrom durch den Raum, der durch die äußere Wandung der Kammer 6 und die innere Oberfläche des Kanals 2 gebildet ist, ist während des Reaktorbetriebs Schwankungen unterworfen. Wenn sich die Fließgeschwindigkeit erhöht, erhöhen sich auch die Reibungsverluste entlang der Kammer 6; als Folge tritt eine Erhöhung des Drucks an den Öffnungen 7 ein.

Eine derartige Erhöhung des Drucks an den Öffnungen 7 kann partiell durch den Venturi-Effekt kompensiert werden, der durch eine geeignete Form der äußeren Profile der Kammer 6 erhalten wird. Eine derartige Kompensation wird tatsächlich automatisch durch dieselbe Erhöhung der Flußgeschwindigkeit erzeugt, welche die Erniedrigung der Reibungsverluste verursacht.

Im folgenden wird die Arbeitsweise des erfindungsgemäßen Brennelements im stationären Zustand anhand der Fig. 1, 2 und 3 erläutert. Die aus dem Brennstoff aufgrund der Bestrahlung austretenden Gase werden nachdem sie die Abschnitte 10, 11 und 12 passiert haben und demgemäß partiell gereinigt sind, zum oberen Abschnitt der Kammer 6 mittels der Kapillaren 3, in welchen jeder Stab versehen ist, geleitet. Das Kühlmittel, das sich evtl. in der Kammer 6 befindet, wird zuerst



durch die Öffnungen 7 durch das einströmende Gas nach außen gedrückt. Anschließend strömen die Gase selbst aus der Kammer 6 durch die Öffnungen 7 aus und werden durch das Kühlmittel in einen geeigneten Bereich des Kühlsystems transportiert, in welchem

Vorrichtungen zur Abtrennung der Gase von der Kühllüssigkeit vorgesehen sind. Unter dynamischen Bedingungen verursacht jede Erhöhung des Druckes des flüssigen Metalls an den Öffnungen 7 und/oder jede gleichzeitige Erniedrigung der Temperatur der gasförmigen Spaltprodukte in der Kammer 6 und in den inneren Räumen des Stabs 1 das Wiedereintreten des Kühlmittels in die Kammer 6 durch die Öffnungen 7 bis sich an den Öffnungen 7 zwischen dem inneren und dem äußeren Druck ein Gleichgewicht eingestellt hat. Die Kammer 6 ist so geformt, daß — auch nicht bei maximalem vorhersagbarem dynamischen Druck der gasförmigen Produkte — der Kühllüssigkeitsstand in der Kammer während des Betriebs des Reaktors keinesfalls das Niveau der oberen offenen Enden der gasführenden Mittel 3 erreicht. Das flüssige Kühlmittel kann daher unter keinen Bedingungen in die Stäbe eindringen.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Brennelements ist in den Fig. 4 und 5 dargestellt, wobei der Hauptunterschied zu der ersten Ausführungsform gemäß den Fig. 1 und 2 darin liegt, daß die Kammer 16, in der die gasförmigen Spaltprodukte gesammelt werden, an ihren Seiten durch die Wandungen des Kanals 2 (der, obwohl er im allgemeinen mit hexagonalem Querschnitt ausgebildet ist, auch einen anderen Querschnitt entlang seiner Länge entsprechend der Kammer 16 aufweisen kann), an ihrer Oberseite durch einen keilförmigen Verschluss 18, an ihrem Boden durch eine Wand 19, welche kegelstumpfförmig ausgebildet ist und mit einer Vielzahl von Löchern versehen ist, durch welche die Kapillarröhren nach unten geführt werden, begrenzt ist. Eine zweite kegelstumpfförmige Wand 17 ist mit ihrer größeren Basis nach oben weisend mit dem kegelstumpfförmigen Bodenteil vereinigt; eine Reihe von Öffnungen 21 ist rund um den Bereich der Vereinigung der beiden kegelstumpfförmigen Teile vorgesehen. Die kegelstumpfförmigen Wände 17, 19 bilden mit ihrer Innenseite eine Venturi-Düse, durch welche das Kühlmittel, welches vom Stabbündel kommt, fließt. Aufgrund des Fließens wird an den Öffnungen 21 ein Sog gebildet; im stationären Zustand des Reaktors werden die gasförmigen Spaltprodukte aus der Kammer 16 gezogen und dem durch die Verengung 20 fließenden Kühlmittelstrom zugemischt.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Brennelements ist in Fig. 6 und 7 dargestellt, wobei der Hauptunterschied gegenüber den anderen Ausführungsformen darin besteht, daß die Kammer 26, in der die gasförmigen Spaltprodukte gesammelt werden, im Inneren durch eine gerade Wand 22, die zylindrisch oder prismatisch sein kann, durch eine erste kegelstumpfförmige Wand 24, die mit dem unteren Ende der geraden Wand 22 vereinigt ist und sich nach außen und abwärts von der geraden Wand 22 erstreckt und durch eine zweite kegelstumpfförmige Wand 24'

die sich vom oberen Ende der geraden Wand 22 nach oben und auswärts erstreckt, begrenzt ist; die erste kegelstumpfförmige Wand 24 ist mit Löchern versehen, durch welche die Vielzahl der Kapillarröhren 3 durchgeführt ist. Beide kegelstumpfförmigen Wände 24, 24' sind peripher mit der inneren Oberfläche des Kanals 2 verschweißt, wodurch eine dichte Vereinigung erreicht ist. Ein Strukturelement in Form eines Rings 23 mit einem keilförmigen Querschnitt ist zur Verstärkung und Sicherung der Verbindung zwischen Kanal 2 und der inneren Wand 24' am oberen Ende der inneren Wand 24' vorgesehen. Eine Vielzahl von äquidistanten Öffnungen 25 ist um den Kanal 2 herum in Höhe des unteren Bereichs der Kammer 26 angebracht.

Die Arbeitsweise der oben beschriebenen dritten erfindungsgemäßen Ausführungsform ähnelt denjenigen der anderen Ausführungsformen mit dem Unterschied, daß die gasförmigen Spaltprodukte, die durch die Öffnungen 25 aus der Kammer 26 ausströmen von dem Kühlmittel entfernt werden, das nicht innerhalb, sondern außerhalb des Kanals 2 fließt.

Eine vierte vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Brennelements ist in den Fig. 8 und 9 dargestellt. Nach dieser Ausführungsform hat die Kammer 32, in der die gasförmigen Spaltprodukte gesammelt werden, eine ringförmige Form, die durch Rotation einer ebenen Figur um die vertikale Achse des Kanals 2 gebildet wird. Diese Figur besitzt eine äußere gerade vertikale Linie 31, an der Unterseite eine spitzbogenförmige Linie 29 und eine geneigte gerade Linie 27, die nach oben und außen geneigt ist und die innere Seite der Figur bildet und eine horizontale gerade Linie, die die oberen Enden der beiden geraden Linien 31 und 27 verbindet. Durch diese Bauweise werden zwei Durchlässe für den Kühlmittelstrom gebildet: Der eine Durchlaß befindet sich zwischen der Wandung des Kanals 2 und der äußeren Wandung der Kammer 32, der andere Durchgang 33, der die Umrisse einer Venturi-Düse besitzt, wird durch die innere Wandung der Kammer 32 begrenzt. Zur Verbindung des Durchlasses 33 mit dem Inneren der Kammer 32 ist eine Reihe von Öffnungen 28 im engsten Bereich des Durchlasses 33 vorgesehen. Im untersten Teil des unteren Bereichs der Kammer 32 ist eine Vielzahl von Löchern vorgesehen, durch welche die Kapillarröhren in die Kammer geführt sind.

Die Arbeitsweise dieser Ausführungsform ähnelt wieder denjenigen der bereits beschriebenen Ausführungsformen mit dem Unterschied, daß die gasförmigen Spaltprodukte von der Kammer 32 durch die Öffnungen 28 ausströmen und nur durch den kleinen Teil des Kühlmittels, der durch den inneren Durchlaß 33 strömt entfernt werden. Der Durchlaß 33 steht über den Kubus 30 mit einem Bereich des Kühlsystems in Verbindung, in welchem die Gase von dem Kühlmittel abgetrennt werden. Durch diesen Kunstgriff des Austragens der gasförmigen Spaltprodukte nur mittels eines Teils des Kühlsystems wird die Abtrennung der Gase von dem Kühlmittel in dem Abtrennungsbereich des Kühlsystems weitgehend vereinfacht, da nur ein begrenzter Teil der Flüssigkeit-Gas-Mischung verarbeitet werden muß.

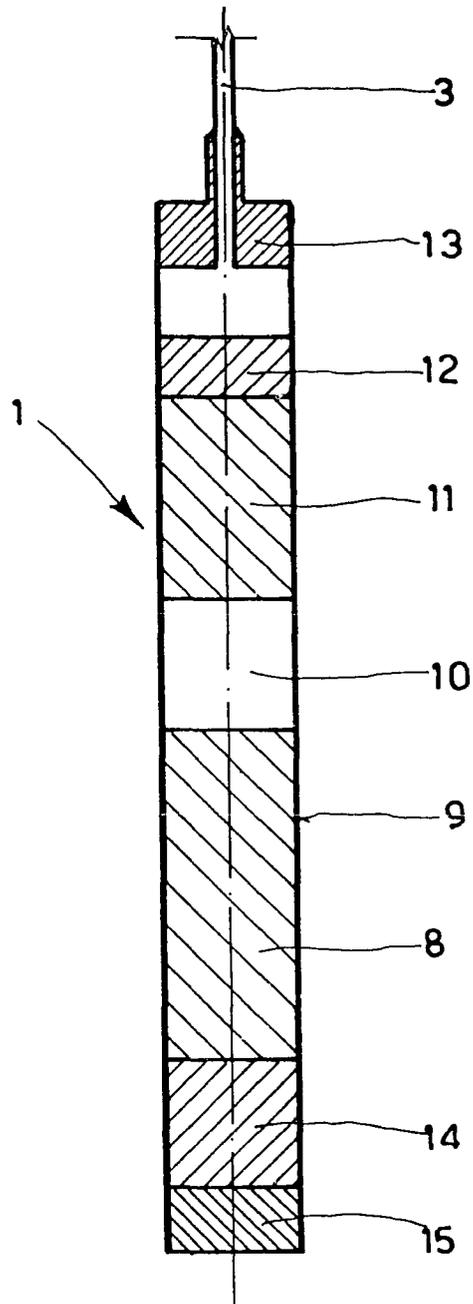
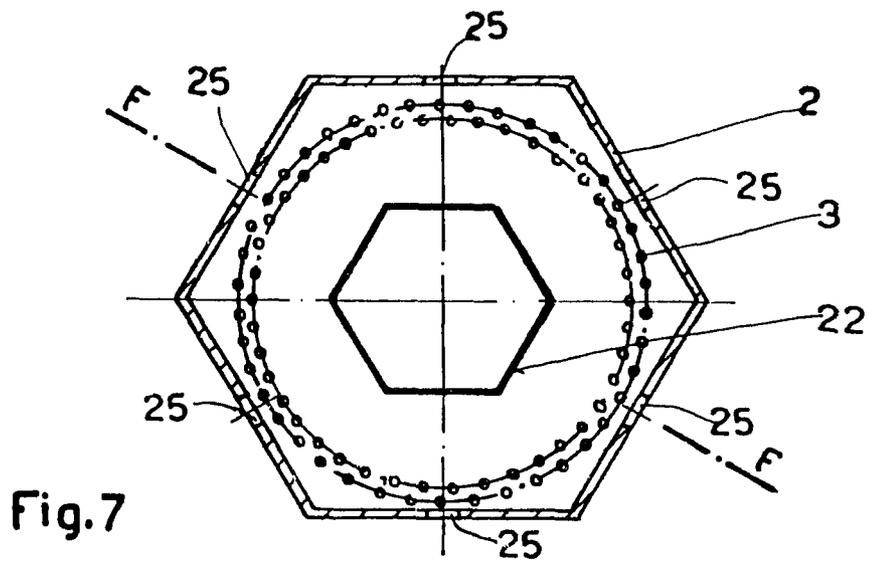
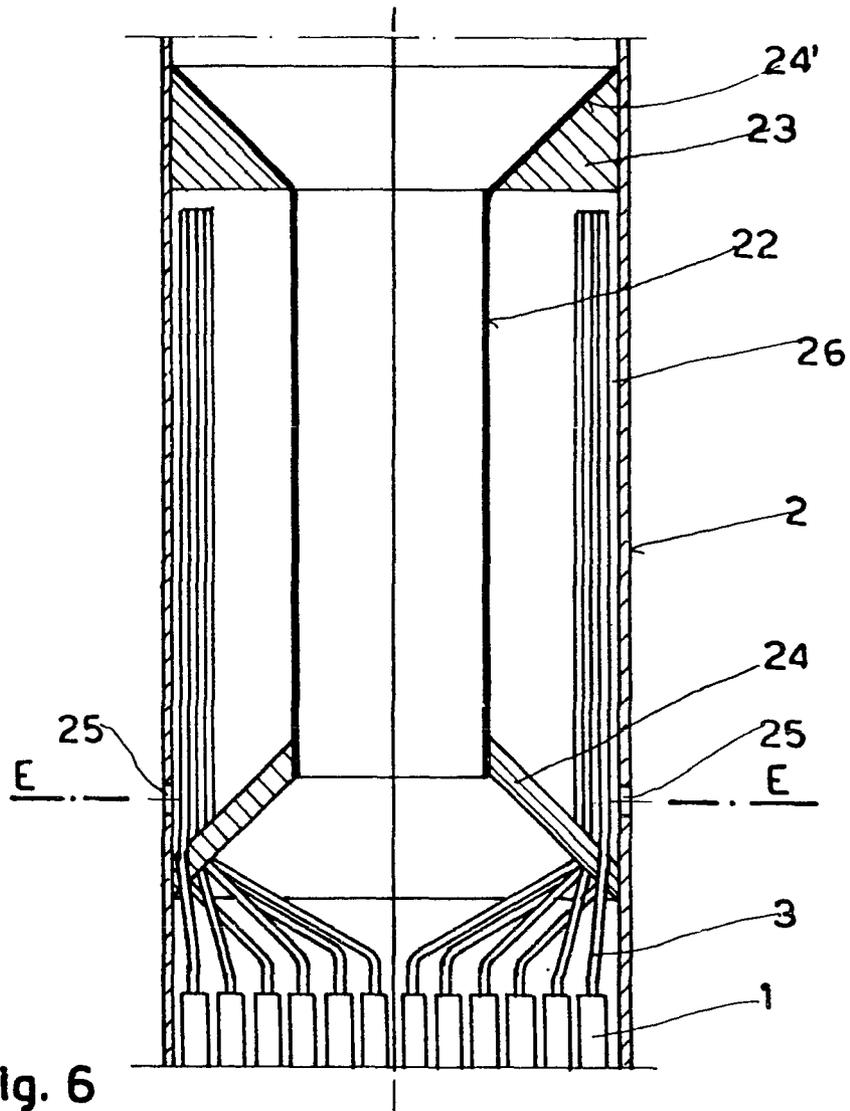


Fig. 3



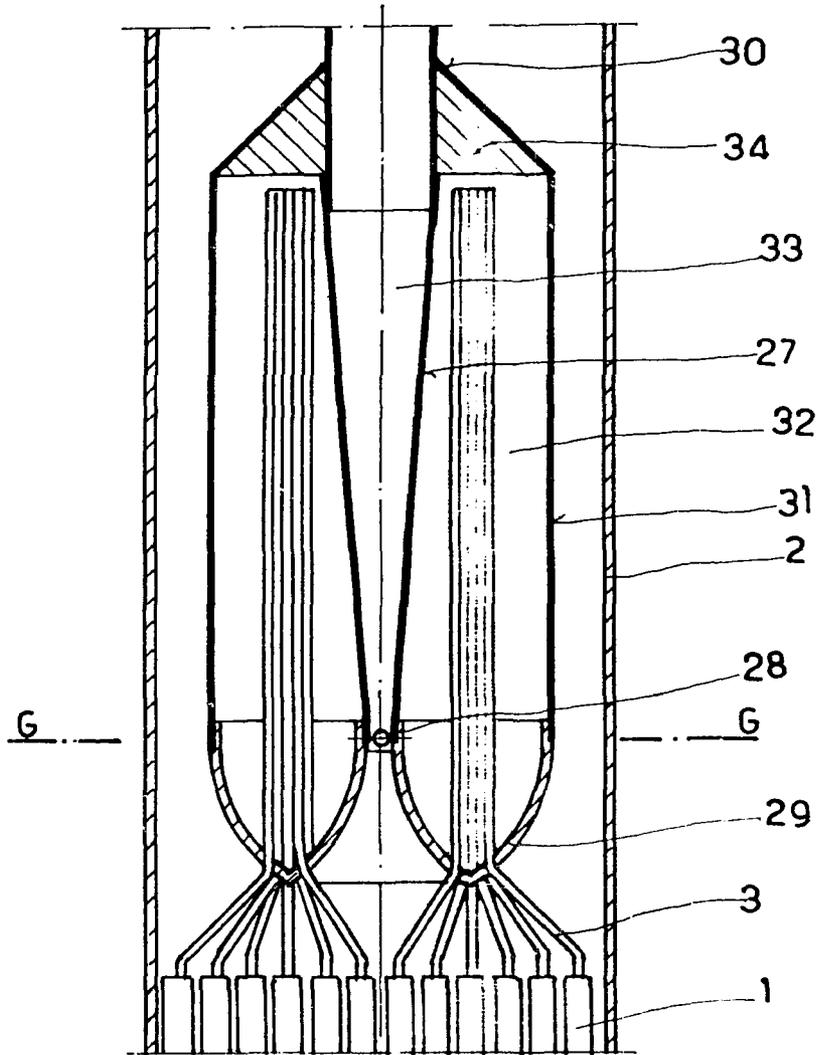


Fig. 8

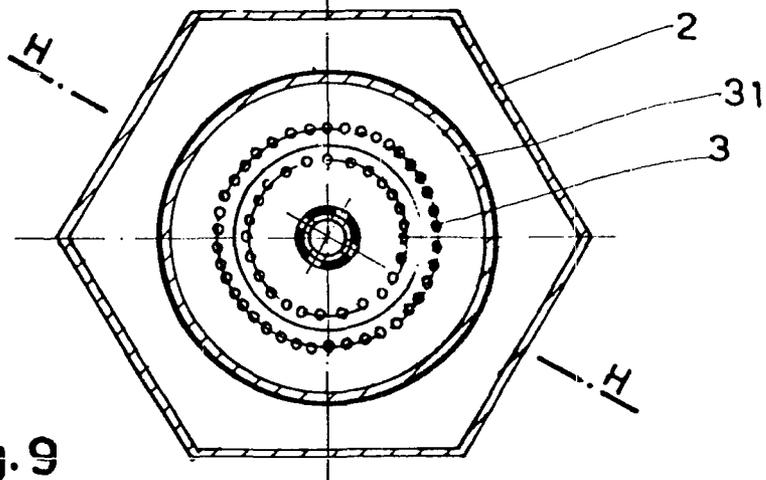


Fig. 9