



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 18 863 T2 2005.08.11

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 149 386 B1

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: G21C 3/18

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 18 863.6

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/SE99/02310

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 965 633.3

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 00/39807

(86) PCT-Anmeldetag: 10.12.1999

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 06.07.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 31.10.2001

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 21.07.2004

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 11.08.2005

(30) Unionspriorität:

9804545 23.12.1998 SE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, FR, SE

(73) Patentinhaber:

Westinghouse Electric Sweden AB, Västeras, SE

(72) Erfinder:

NYLUND, Olov, S-723 55 Väster s, SE

(74) Vertreter:

Boecker, J., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.- u. Rechtsanw.,  
60313 Frankfurt

(54) Bezeichnung: Brennelement

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Brennelement für einen Leichtwasser-Kernreaktor gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1. Ein solches Brennelement wird in der WO97/49092 beschrieben.

### Stand der Technik

**[0002]** In einem durch leichtes Wasser moderierten Kernreaktor liegt der Brennstoff in der Form von Brennstäben vor. Jeder Brennstab enthält einen Stapel von Tabletten (Pellets) aus Kernbrennstoffmaterial, welcher in einem Hüllrohr angeordnet ist, eine Säule mit extrudierten Brennstoffzylindern oder eine ununterbrochene Säule aus vibrations-kompaktierten Brennstoffpulver. Das Hüllrohr besteht normalerweise aus einer Zirkoniumlegierung. Ein Brennstoffbündel enthält eine Vielzahl von Brennstäben, die parallel zueinander in einem bestimmten definierten normalerweise symmetrischen Muster, einem sogenannten Gitter, angeordnet sind. Die Brennstäbe werden oben von einer oberen Verbundplatte und unten von einer unteren Verbundplatte zusammengehalten. Um die Brennstäbe auf Abstand voneinander zu halten und um zu verhindern, daß sie sich biegen oder schwingen, wenn der Reaktor in Betrieb ist, ist eine Anzahl von Abstandshaltern in Längsrichtung des Brennstoffbündels verteilt angeordnet. Ein Brennelement enthält ein oder mehrere Brennstoffbündel, von denen sich jedes über den Hauptteil der Länge des Brennelements erstreckt.

**[0003]** Das Brennelement ist zusammen mit einer Vielzahl weiterer Brennelemente in einem Kern angeordnet. Der Kern ist in Wasser getaucht, welches sowohl als Kühlmittel als auch als Neutronenmoderator dient.

**[0004]** Während des Betriebes strömt Wasser von unten nach oben durch das Brennelement, wobei in einem Siedewasser-Leichtwasserreaktor ein Teil des Wassers in Dampf übergeht. Der Prozentsatz des Dampfes nimmt in Richtung zum oberen Ende des Brennelements zu. Folglich besteht das Kühlmittel im unteren Teil des Brennelements aus Wasser, während das Kühlmittel im oberen Teil des Brennelements aus Wasser und Dampf besteht.

**[0005]** Während der Kernspaltung des Kernbrennstoffmaterials werden Spaltgase gebildet. Außerdem dehnt sich die Säule aus Brennstoffmaterial, bedingt durch die im Brennstoffmaterial erzeugte Hitze, aus. Um diesen Spaltgasen und der Wärmeausdehnung der Säule aus Brennstofftabletten Rechnung zu tragen, ist bei bekannten Brennstäben voller Länge, das heißt bei Brennstäben in der Größenordnung von vier Metern Länge, normalerweise ein relativ großer Raum, achsialer Spalt, über der obersten Brennstoff-

tablette in dem Hüllrohr vorhanden. Der achsiale Spalt hat eine Größenordnung von 200-300 mm Länge. Die Spaltgase können so in diesen achsialen Spalt diffundieren, und die Säule aus Brennstofftabletten kann sich in diesen hinein ausdehnen.

**[0006]** Die US 3.671.393 beschreibt ein Brennelement, welches Brennstäbe enthält, von denen jeder ein Hüllrohr enthält, welches eine Säule aus Brennstoffmaterial enthält. In der Säule aus Brennstoffmaterial ist ein von dem Brennstoffmaterial getrenntes Abstandsstück angeordnet, um die Säule aus Brennstoffmaterial in langgestreckte Segmente zu unterteilen. Mindestens ein Ende des Abstandsstückes ist so ausgebildet, daß es eine geringe Bruchfestigkeit hat, wodurch es den langgestreckten Segmenten ermöglicht wird, sich in Längsrichtung des Hüllrohres durch Verformung des Abstandsstückes auszudehnen.

**[0007]** Der oben beschriebene Unterschied zwischen dem oberen und dem unteren Teil eines Brennelementes hinsichtlich des Kühlmittels in Gestalt von Wasser im unteren Teil des Brennelements und in Gestalt von Dampf und Wasser im oberen Teil des Brennelements führt zu unterschiedlichen Bedingungen, die beim Bau des Brennelements berücksichtigt werden müssen.

**[0008]** Der Unterschied zwischen dem oberen und dem unteren Teil des Brennelements kann beispielsweise durch ein flexibles Brennelement berücksichtigt werden, dem in einfacher Weise eine Ausführung verliehen wird, bei der der obere Teil des Brennelements sich vom unteren Teil in der Weise unterscheidet, daß man optimale Bedingungen erhalten kann. Ein Brennelement für einen Siedewasserreaktor mit diesen Eigenschaften wird in der PCT/SE95/01478 (Int. Publ. Mr. WO 96/20483) beschrieben. Dieses Brennelement enthält eine Vielzahl von Brennstoffeinheiten, die aufeinander gestapelt sind, wobei jedes eine Vielzahl von Brennstäben enthält, die sich zwischen einer oberen Verbundplatte und einer unteren Verbundplatte erstrecken. Jede Brennstoffeinheit ist in der Größenordnung von 300-1500 mm lang. Auch in diesem Fall muß ein achsialer Spalt in dem Brennstoffmaterial vorgesehen werden, um den Spaltgasen und der Wärmeausdehnung des Brennstoffmaterials Rechnung zu tragen. Die Brennstoffeinheiten sind von einem gemeinsamen Brennstoffkasten umgeben, der einen im wesentlichen quadratischen Querschnitt hat. Einem Brennelement dieser Art können in einfacher Weise im oberen und unteren Teil verschiedene Ausbildungen verliehen werden.

**[0009]** Auch bei einem Leichtwasserreaktor des Druckwassertyps kann es zweckmäßig sein, die Brennelemente so auszubilden, daß jedes Brennelement eine Vielzahl von Brennstoffeinheiten enthält, die übereinander gestapelt sind. Wie oben beschrieben, enthält dann jede Brennstoffeinheit eine Vielzahl

von Brennstäben, die sich zwischen einer oberen Verbundplatte und einer unteren Verbundplatte erstrecken. Ein Brennelement eines Druckwasserreaktors enthält jedoch keinen Brennelementkasten.

**[0010]** Ein Faktor, der jedoch berücksichtigt werden muß, wenn man achsiale Spalte in Brennstäben voller Länge wie auch in verkürzten Brennstäben vor sieht, besteht darin, daß die Temperatur des Hüllrohres in dem Bereich um den axialen Spalt herum niedriger ist als in dem Rest des Hüllrohres, da kein spaltbares Material im axialen Spalt vorhanden ist. Ein Problem, welches sich daraus ergeben kann, besteht darin, daß sich Wasserstoff bildet, unter anderem bei Korrosion des Hüllrohres, welches normalerweise aus einer Zirkoniumlegierung besteht, von welcher der Wasserstoff aufgenommen wird, welcher Wasserstoff in diesen kälteren Bereich ausweicht. Falls die Konzentration des Wasserstoffs in diesem Bereich zu hoch wird, bildet er in dem Hüllrohrmaterial Hydride und verursacht eine Versprödung des Hüllrohrmaterials. In einem ernsthaften Fall können sich Löcher in dem Hüllrohr bilden, und spaltbares Material kann in das Kühlwasser eindringen. Die gleiche Art von Problemen kann auch in den Bereichen zwischen längsgerichteten Segmenten des Brennstoffmaterials auftreten, welches in der US 3.671.393 Abstandsstücke enthält, sowie in dem Bereich zwischen übereinander gestapelten Brennstoffeinheiten, wie in PCT/SE95/01478. Die Gefahr einer Versprödung infolge einer zu hohen Konzentration an Wasserstoff steigt innerhalb gewisser Grenzen mit der Größe des axialen Spalts.

**[0011]** Freigesetztes Spaltgas trägt dazu bei, daß die Temperatur in dem axialen Spalt weiter fällt. Dies liegt daran, daß das Spaltgas die thermische Leitfähigkeit des Gases, welches sich in dem axialen Spalt befindet, verschlechtert. Dasselbe gilt für das Gas, welches sich in dem Spalt zwischen dem Brennstoffmaterial und dem Hüllrohr befindet, wobei sich die Temperaturdifferenz zwischen der äußeren Oberfläche des Brennstoffmaterials und der inneren Oberfläche des Hüllrohres vergrößert.

**[0012]** Es sind verschiedene Wege bekannt, um den Austritt von Spaltgasen zu reduzieren. Einer dieser Wege besteht darin, eine der Brennstofftabletten in einer Säule aus Brennstoffmaterial, die in Brennstofftabletten unterteilt ist, mit durchgehenden Löchern in Längsrichtung der Brennstofftabletten zu versehen. Auf diese Weise wird die Temperatur in jeder Brennstofftablette reduziert, wodurch die Freisetzung von Spaltgas reduziert wird und der axiale Spalt in der Tablettensäule reduziert werden kann. Auf diese Weise kann der axiale Spalt auf die Größenordnung von wenigen Millimetern in einem Stab mit einer Länge in der Größenordnung von 300 mm begrenzt werden, und zwar bis auf etwas 20 oder 30 mm bei längeren Stäben, um die thermische Ausdeh-

nung der Säule aus Brennstofftabletten zu ermöglichen. Ein Nachteil von Tabletten mit durchgehenden Löchern besteht darin, daß sie schwierig herzustellen sind. Aus diesem Grunde ist es wünschenswert, achsiale Spalte in dem spaltbaren Material anzubringen.

**[0013]** Ein anderer Faktor, der beim Entwurf achsialer Spalte in einem Brennstab berücksichtigt werden muß, besteht darin, daß dort lokale Leistungsspitzen auftreten können. Die lokalen Spitzen entstehen dadurch, daß die Moderation in diesem Bereich, in welchem kein spaltbares und Neutronen absorzierendes Material vorhanden ist, sehr gut ist. Dies führt dazu, daß die Leistung in dem Brennstoffmaterial, welches an den axialen Spalt angrenzt, sehr hoch wird, das heißt, daß dort eine Leistungsspitze auftritt. Die Leistungsspitze steigt mit der Größe des axialen Spaltes.

**[0014]** Die WO97/49092 beschreibt ein Brennelement für einen Leichtwasserreaktor. Das Brennelement enthält eine Vielzahl von Brennstäben, die sich zwischen einer oberen Verbundplatte und einer unteren Verbundplatte erstrecken. Jeder Brennstab enthält ein Hüllrohr mit einem ersten und einem zweiten Ende. Das Hüllrohr umgibt somit eine Säule aus spaltbarem Material, die in eine Vielzahl von Brennstofftabletten unterteilt ist. Zwischen zwei benachbarten Brennstofftabletten ist ein axialer Spalt vorhanden. Der axiale Spalt wird mittels verformbarer und getrennter Abstandselemente aufrecht erhalten.

**[0015]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Brennelement zu entwickeln mit einer Vielzahl von Brennstäben voller Länge und eventuell verkürzten Brennstäben beziehungsweise ein Brennelement zu entwickeln mit einer Vielzahl von Brennstäben voller Länge, welches eine Vielzahl von kurzen Brennstoffeinheiten aufweist, von denen jede Brennstäbe enthält, von denen ein oder mehrere Brennstäbe mit axialen Spalten in dem spaltbaren Brennstoffmaterial versehen sind, mit dem Zweck einer Minimierung von Leistungsspitzen.

#### Zusammenfassung der Erfindung, Vorteile

**[0016]** Die Aufgabe wird gelöst durch das Brennelement der eingangs definierten Art, welches die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Anspruches 1 enthält.

**[0017]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Brennelement mit einer Vielzahl von Brennstäben. Jeder Brennstab enthält eine Säule aus spaltbarem Brennstoffmaterial, welche von einem Hüllrohr umgeben ist. Eine Mehrzahl von axial verteilen Spalten ist in der Säule aus Brennstoffmaterial angeordnet zur Aufnahme von Spaltgasen, die sich während des Betriebes bilden, und zur Ermöglichung einer Wärmedehnung des Brennstoffmaterials in

Längsrichtung des Hüllrohres.

**[0018]** Bei dieser Ausführung der Erfindung ist das Kernbrennstoffmaterial in eine Vielzahl von im wesentlichen kreiszylindrischen Tabletten unterteilt, die in dem Hüllrohr übereinander gestapelt sind. Das Hüllrohr ist an jedem Ende durch einen Stopfen abgedichtet, genauer durch einen oberen Stopfen und einen unteren Stopfen.

**[0019]** Die Mehrzahl der Tabletten in der Säule aus Brennstoffmaterial ist an jedem Ende mit mindestens zwei Vorsprüngen aus Brennstoffmaterial, Graphit, Metall oder einem sich von dem Brennstoffmaterial unterscheidenden Oxyd versehen. Die Vorsprünge erstrecken sich vom Ende der Tablette in Längsrichtung der Tablette. Die Vorsprünge sind vorzugsweise peripher am Tablettenden angeordnet, das heißt an einem radial äußeren Teil des Tablettenden. Die Vorsprünge sind auffallend spitz ausgebildet mit einem Querschnitt, der mit seiner Entfernung vom Tablettenden kleiner wird. Die auffallend zugespitzte Gestalt der Vorsprünge zielt darauf ab zu verhindern, daß sich die Vorsprünge gegenseitig beeinflussen. In dem Falle, daß zwei Vorsprünge eines ersten Tablettenden gegen ein zweites Tablettenden gerichtet sind, welches seinerseits mit zwei Vorsprüngen versehen ist, die gegen das erste Tablettenden gerichtet sind, entstehen vier getrennte Kontaktpunkte zwischen den beiden Tabletten. Die Länge der Vorsprünge in Längsrichtung bestimmt den Abstand zwischen den beiden Tablettenden, das heißt den achsialen Spalt zwischen zwei Tabletten. Ein in dieser Weise aufgebauter achsialer Spalt ist zumindest teilweise verformbar. Bei thermischer Ausdehnung des Brennstoffmaterials in Längsrichtung der Tabletten, wird das Material der Vorsprünge und/oder das der entsprechenden Tablettenden zusammengedrückt, wobei der achsiale Spalt verformt und zwar verkleinert wird. Dadurch, daß eine totale Verformung der Vorsprünge nicht zugelassen wird, verbleibt ein Teil des achsialen Spaltes für die Aufnahme von Spaltgasen.

**[0020]** Bei einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel der Erfindung sind die beschriebenen Vorsprünge an jedem Ende aller Tabletten der Tablettensäule vorhanden. Auf diese Weise wird erreicht, daß jeder achsiale Spalt bedeutend kleiner gemacht werden kann, als wenn nur eine kleine Anzahl von Spalten in dem Brennstab angeordnet sind, wodurch Leistungsspitzen infolge achsialer Spalte in dem Kernbrennstoffmaterial minimiert werden.

**[0021]** Um die Leistungsspitzen am oberen beziehungsweise unteren Ende der Brennstäbe, das heißt zwischen zwei aufeinander gestapelten Brennstoffeinheiten, weiter zu reduzieren, können die Brennstofftabletten in diesen Bereichen einen kleineren Durchmesser als die anderen Brennstofftabletten haben.

Um ringförmige Spalte zwischen der Brennstofftablette und dem Hüllrohr zu vermeiden, wird der Teil des Brennstabes, welcher die Brennstofftablette und das Hüllrohr umgibt, und das Hüllrohr mit einem entsprechenden kleineren Durchmesser ausgebildet, der in achsialer Richtung die gleiche Länge wie die Brennstofftablette hat. Alternativ können die Brennstofftabletten in diesem Bereich mit einer geringeren Anreicherung versehen werden.

**[0022]** Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel der Erfindung enthält der Brennstab zwischen dem Hauptteil der Brennstofftabletten in der Säule aus Brennstoffmaterial ein von den Tabletten separates Abstandsglied. Das Abstandsglied besteht beispielsweise aus Graphit, Metall oder aus poröser Keramik. Das Abstandsglied ist entweder so ausgebildet, daß es zentral zwischen zwei Tabletten oder peripher zwischen zwei Tabletten angeordnet werden kann, das heißt zwischen den radial äußeren Bereichen des entsprechenden Tablettenden. Vorzugsweise wird das Abstandsglied zwischen allen Tabletten der Tablettensäule angeordnet. Vorzugsweise wird zwischen der oberen Tablette der Tablettensäule und dem oberen Stopfen beziehungsweise zwischen der unteren Tablette der Tablettensäule und dem unteren Stopfen kein Abstandsglied angeordnet.

**[0023]** Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, daß achsiale Spalte im oberen beziehungsweise unteren Teil der Brennstäbe vermieden werden. In dem Fall, bei welchem die Brennstäbe in Gestalt einer Vielzahl kurzer übereinander gestapelter Brennstoffeinheiten angeordnet sind, wird der Bereich ohne spaltbares Material, der zwischen zwei übereinander gestapelten Brennstoffeinheiten gebildet wird, und damit auch die lokale Leistungsspitze, die in diesem Bereich infolge der zu guten Moderation auftreten kann, reduziert.

**[0024]** Ein anderer Vorteil besteht darin, daß der notwendige achsiale Spalt in der Weise längs der Tablettensäule verteilt werden kann, daß man eine große Anzahl von achsialen Spalten erhält, beispielsweise einen achsialen Spalt zwischen allen Tabletten, wodurch die Leistungsspitzen in den achsialen Spalten verkleinert werden. Gleichzeitig wird die Gefahr einer zu hohen Konzentration an Wasserstoff in den achsialen Spalten reduziert.

**[0025]** Ein Vorteil der Anordnung der Abstandsglieder peripher zwischen den Tabletten besteht darin, daß die Abstandsglieder zumindest in einem gewissen Umfange dazu beitragen, daß die Temperatur in dem den achsialen Spalt umgebenden Material etwas größer wird verglichen mit der Temperatur des achsialen Spaltes ohne ein Abstandsglied. Die erhöhte Temperatur ist darauf zurückzuführen, daß das Abstandsglied einen Teil der Wärme, die in den an den achsialen Spalt grenzenden Tabletten erzeugt

wird, zu dem Hüllrohr leitet. Infolge dieser erhöhten Temperatur wird die Gefahr einer zu hohen Wasserstoffkonzentration in den axialen Spalten weiter reduziert.

**[0026]** Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß das Abstandsglied beziehungsweise die Vorsprünge selbst bei der Herstellung des Brennstabes eine gewisse Längentoleranz der Tablettensäule bewirkt. Dies wird dadurch erreicht, daß die Tablettensäule mit Hilfe der verformbaren Abstandsglieder beziehungsweise der verformbaren Vorsprünge in einem gewissen Ausmaße zusammengepreßt wird, wenn der oberen Stopfen in das Hüllrohr eingeführt wird. Dies hat zur Folge, daß die Ansprüche an die Längentoleranz der einzelnen Brennstofftabletten verkleinert wird.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0027]** [Fig. 1](#) zeigt in einem vertikalen Schnitt ein Brennelement des Siedewassertyps mit kurzen Brennstoffeinheiten.

**[0028]** [Fig. 2](#) zeigt einen Schnitt A-A des Brennelements der [Fig. 1](#).

**[0029]** [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) zeigen alternative Ausführungsbeispiele eines Brennelementes des gleichen Typs wie in [Fig. 1](#) in einem Schnitt entsprechend der Linie A-A des Brennelementes in [Fig. 1](#).

**[0030]** [Fig. 3](#) zeigt im vertikalen Schnitt ein Brennelement des Druckwassertyps mit kurzen Brennstoffeinheiten.

**[0031]** [Fig. 4](#) zeigt einen Brennstab für eine Brennstoffeinheit gemäß der [Fig. 1](#) oder [Fig. 2](#) mit einer Vielzahl von axialen Spalten, die in Längsrichtung des Brennstabes verteilt sind.

**[0032]** [Fig. 5a](#) zeigt eine Brennstofftablette in einem Schnitt längs der Linie B-B in [Fig. 5b](#), welche Vorsprünge enthält. [Fig. 5b](#) zeigt die gleiche Brennstofftablette in einer Ansicht von oben.

**[0033]** [Fig. 6a](#) zeigt einen Brennstab in einem Schnitt längs der Linie C-C in [Fig. 6b](#) mit einer Vielzahl von axialen Spalten, in welchen Abstandsglieder peripher zwischen den Brennstofftabletten angeordnet sind.

**[0034]** [Fig. 7](#) zeigt einen Brennstab mit einer Vielzahl axialer Spalte, in denen Abstandsglieder zentral zwischen den Brennstofftabletten angeordnet sind.

**[0035]** [Fig. 8](#) zeigt in einem vertikalen Schnitt ein Brennelement vom Siedewassertyp mit Brennstäben voller Länge und mit kurzen Brennstäben.

**[0036]** [Fig. 9](#) zeigt eine alternative Ausführungsform eines Brennstabes, der eine Vielzahl von Abschnitten mit unterschiedlichen äußeren Durchmessern enthält.

#### Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

**[0037]** [Fig. 1](#) zeigt eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung. Genauer gesagt, zeigt [Fig. 1](#) ein Siedewasserbrennelement mit einem oberen Griff 1, einem unteren Endabschnitt 2 und einer Vielzahl von übereinander gestapften Brennstoffeinheiten 3. Jede Brennstoffeinheit 3 enthält eine Vielzahl von Brennstäben 4, die in einem gegebenen Gitter parallel zueinander und in bestimmten Abständen voneinander angeordnet sind. Jede Brennstoffeinheit 3 enthält ferner eine obere Verbundplatte 5 und eine untere Verbundplatte 6 zur Befestigung der Brennstäbe 4 in ihren entsprechenden Positionen in dem Gitter. Die Brennstoffeinheiten 3 sind in Längsrichtung des Brennelementes übereinander gestapelt, und sie sind in solcher Weise gestapelt, daß die obere Verbundplatte 5 einer Brennstoffeinheit 3 der unteren Verbundplatte 6 der nächsten Brennstoffeinheit 3 in dem Stapel gegenüber liegt, und ferner so, daß die Brennstäbe 4 in sämtlichen Brennstoffeinheiten 3 parallel zueinander verlaufen. Ein Brennstab 4 enthält Brennstoff in Form eines Stapels von Brennstofftabletten 7b aus Uran, angeordnet in einem Hüllrohr 7a. Das Hüllrohr 7a besteht vorzugsweise aus einer Zirkoniumlegierung. Ein Kühlmittel vermag von unten nach oben durch das Brennelement zu fließen.

**[0038]** [Fig. 2a](#) zeigt, daß das Brennelement in einem Brennstoffkasten 8 mit im wesentlichen quadratischem Querschnitt eingeschlossen ist. Der Brennelementkasten 8 ist mit einem hohlen Stützglied 9 mit kreuzförmigem Querschnitt versehen, welches an den vier Wänden des Brennelementkastens 8 befestigt ist. In dem von dem Stützglied 9 gebildeten zentralen Kanal 14 fließt Moderatorwasser. Der Brennstoffkanal mit dem Stützglied umgibt vier vertikale kanalförmige Teile 10, sogenannte Teilkanäle, mit einem zumindest im wesentlichen quadratischen Querschnitt. Jeder der vier Teilkanäle enthält einen Stapel von Brennstoffeinheiten 3. Jede Brennstoffeinheit 3 enthält 24 Brennstäbe 4, die in einem symmetrischen 5 × 5-Gitter angeordnet sind.

**[0039]** Das Brennelement in [Fig. 2](#) enthält 10 × 10 Brennstabpositionen. Unter einer Brennstabposition wird eine Position in dem Gitter verstanden. Es ist nicht erforderlich, daß alle Brennstabpositionen in dem Gitter mit Brennstäben 4 besetzt sind. In bestimmten Brennelementen wird eine Anzahl von Brennstäben 4 durch ein oder mehrere Wasserkanäle ersetzt. Die Einführung eines Wasserkanals ändert die Anzahl der Brennstäbe 4, nicht aber die Anzahl der Brennstabpositionen.

[0040] [Fig. 2a](#) zeigt eine alternative Ausführungsform eines Brennelements gemäß der Erfindung. [Fig. 2a](#) zeigt einen horizontalen Schnitt durch ein Brennelement, welches mit einem innen angeordneten vertikalen Kanal **14a** versehen ist, durch welchen Wasser in vertikaler Richtung von unten nach oben durch das Brennelement geleitet wird. Der Kanal **14a** ist von einem Rohr **9a** mit einem im wesentlichen quadratischen Querschnitt umgeben. Die Brennstoffeinheiten **3** werden in ihrer Position gehalten, indem sie an dem Rohr befestigt sind, welches den vertikalen Kanal umgibt.

[0041] [Fig. 2b](#) zeigt eine weitere Ausführungsform eines Brennelementes gemäß der Erfindung. Die Figur zeigt einen horizontalen Schnitt durch das Brennelement, welches mit zwei zentral angeordneten vertikalen Wasserrohren **14b** versehen ist, durch welche Wasser von unten nach oben durch das Brennelement geleitet wird. Die Wasserrohre **14** haben einen Durchmesser, der etwas größer ist als der Durchmesser der Brennstäbe **4**, und sie haben einen im wesentlichen kreisförmigen Querschnitt. Die Brennstoffeinheiten **3** werden in Position gehalten, indem sie an den Wasserrohren **14b** befestigt sind.

[0042] [Fig. 3](#) zeigt ein Brennelement vom Druckwassertyp, welches einen quadratischen Querschnitt hat. In der gleichen Weise wie das Brennelement in [Fig. 1](#) enthält es eine Vielzahl von übereinander gestapelten Brennstoffeinheiten **3**. Jede Brennstoffeinheit **3** enthält eine Vielzahl von Brennstäben **4**, die in einem vorgegebenen Gitter parallel zueinander und in definierten Abständen voneinander angeordnet sind. Jede Brennstoffeinheit **3** enthält ferner eine obere Verbundplatte **5** und eine untere Verbundplatte **6** zur Befestigung der Brennstäbe **4** in ihren entsprechenden Positionen in dem Gitter. Die Brennstoffeinheiten **3** sind in Längsrichtung des Brennelements übereinander gestapelt, und sie sind so gestapelt, daß die obere Verbundplatte **5** einer Brennstoffeinheit **3** der unteren Verbundplatte **6** der nächsten Brennstoffeinheit **3** in dem Stapel gegenüber liegt, und zwar so, daß die Brennstäbe **4** aller Brennstoffeinheiten **3** parallel zueinander verlaufen. Ein Brennstab **4** enthält spaltbares Material in Gestalt eines Stabes von Brennstofftablette **7b** aus Uran, die in einem Hüllrohr **7a** angeordnet sind. Ein Kühlmittel ist imstande, von unten nach oben durch das Brennelement zu strömen. Eine Anzahl von sogenannten Steuerstab-Führungsrohren **4b** ist so angeordnet, daß sie sich durch das gesamte Brennelement erstrecken. Die Steuerstab-Führungsrohre **4b** sind zur Aufnahme von fingerförmigen Steuerstäben (nicht dargestellt) bestimmt, die zum Zwecke der Steuerung der Leistung des Kernreaktors in die Führungsrohre **4a** eingeschoben beziehungsweise aus ihnen herausgezogen werden. Die Führungsrohre erstrecken sich zwischen einem Kopfteil **15** und einem Fußteil **16**. Das Kopfteil **15** ist über der obersten

Brennstoffeinheit **3** in dem Brennelement angeordnet, und das Fußteil **16** ist unter der untersten Brennstoffeinheit **3** im Brennelement angeordnet. Die Brennstoffeinheiten **3** werden dadurch in Position gehalten, daß sie an den Steuerstab-Führungsrohren **4b** befestigt sind.

[0043] [Fig. 4](#) zeigt einen Teil eines Brennstabes **4** für ein Brennelement gemäß den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) oder [Fig. 3](#). Zu dem Brennstab **4** gehört, wie oben erwähnt, ein Hüllrohr **7a** und ein darin angeordneter Stapel von Brennstofftabletten **7b**. Das Hüllrohr **7a** ist oben durch einen oberen Stopfen **17** und unten durch einen unteren Stopfen **18** abgedichtet. Der Brennstab **4** ist mit einer Vielzahl von inneren Freiräumen, achsialen Spalten **19**, ausgebildet, die dazu dienen, Spaltgase aufzunehmen, und die auch dazu dienen, eine Wärmedehnung der Säule aus Brennstofftabletten **7a** zuzulassen.

[0044] Die [Fig. 5a](#) und [Fig. 5b](#) zeigen eine Brennstofftablette, die an beiden Enden mit Vorsprüngen **7c** versehen ist. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Brennstofftablette an jedem ihrer Enden mit drei Vorsprüngen versehen. Die Vorsprünge **7c** bestehen vorzugsweise aus dem Material der Brennstofftablette. Die Vorsprünge **7c** werden dann beispielsweise während der Herstellung der Tablette **7b** hergestellt, indem das Brennstoffmaterial in eine Form gepreßt wird, welche die Vorsprünge **7c** besitzt, und anschließend gesintert wird. Für den Fall, daß die Vorsprünge **7c** aus einem von dem Brennstoffmaterial verschiedenen Material hergestellt werden, wie zum Beispiel einem Metall, Graphit oder einem Oxyd, welches sich von dem Brennstoffmaterial unterscheidet, werden die Vorsprünge **7c** für die Tablette **7b** angebracht, nachdem die Tablette **7b** gepreßt und gesintert worden ist. Die Vorsprünge **7c** können dann an der Tablette **7b** beispielsweise durch Plamasprühen, durch Niederschlagstechnik oder sogenannte Zerstäubungstechnik angebracht werden.

[0045] Die Vorsprünge **7c** sind an der Peripherie der Brennstofftablette angebracht, und zwar in solcher Weise, daß der Abstand zwischen ihnen im wesentlichen gleich ist. Die achsiale Erstreckung der achsialen Spalte **19** ist zumindest anfänglich definiert durch die Erstreckung der Vorsprünge **7c** in Längsrichtung des Brennstabes. Zwei Brennstofftabletten **7b**, die benachbart zueinander angeordnet sind, sind so plaziert, daß die Vorsprünge **7c** der einen Brennstofftablette **7b** nicht in Kontakt mit den Vorsprüngen **7c** der benachbart angeordneten Brennstofftablette **7b** gelangen. Durch Ausbildung der Vorsprünge **7c** in charakteristischer Weise, das heißt klein sowohl in Längsrichtung als auch in Querrichtung der Tablette **7b**, erreicht man eine Gestalt, die automatisch verhindert, daß die Vorsprünge **7c** zweier benachbarter Tablettens **7b** miteinander in Kontakt kommen. In dem Fall, daß die Spitzen zweier Vorsprünge **7c** gegen-

einander angeordnet sein sollten, beeinflussen sie sich gegenseitig derart, daß die Tabletten **7b** sich im Verhältnis zueinander drehen würden, wobei die Vorsprünge **7c** in der entsprechenden Tablette **7b** derart gegeneinander gleiten, daß der Abstand zwischen den Tabletten im wesentlichen der Erstreckung eines Vorsprunges **7c** in Längsrichtung entspricht. Ferner ergibt sich aus der charakteristischen Gestalt der Vorsprünge **7c** eine kleine Kontaktfläche, wodurch die erforderliche Kraft zur Verformung der Vorsprünge und zur Reduzierung der Größe des achsialen Spaltes **19** in Längsrichtung des Brennstabes nur mäßig zu sein braucht. Für den Fall, daß die Säule aus Brennstofftabletten **7b** sich infolge Wärmeausdehnung ausdehnt, werden die achsialen Spalte **19** dadurch verkleinert, daß die Vorsprünge **7c** und/oder die Tablettenenden, in denen oder gegen die die Vorsprünge **7c** angeordnet sind, deformiert werden.

**[0046]** Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind die Brennstofftabletten **7b** mit becherförmigen oberen und unteren Stirnflächen ausgebildet (siehe Bezugszeichen **19a**). Infolge der Wärmedehnung wachsen die Tabletten **7b** in den zentralen warmen Teilen stärker als in den äußeren kälteren Teilen. Die becherförmige Gestalt **19a** erlaubt somit bis zu einem gewissen Grade eine Wärmedehnung, bevor der achsiale Spalt für diesen Zweck verwendet wird. Ferner wird durch die becherförmige Gestalt ein Raum geschaffen, in welchem sich Spaltgase ansammeln können.

**[0047]** Wegen der becherförmigen Gestalt **19a** der Brennstofftabletten **7b** ist ein kleinerer achsialer Spalt **19**, das heißt der Abstand zwischen den peripheren Teilen der Tablettenenden, ausreichend für die thermische Expansion und für die Sammlung der freigesetzten Spaltgase. Die becherförmige Gestalt **19a** wird beim Pressen des Brennstoffmaterials zu einer Brennstofftablette geformt, woraufhin die gepreßte Tablette gesintert wird.

**[0048]** Die [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) zeigen eine alternative Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Genauer gesagt, zeigt [Fig. 6](#) einen Stapel von Brennstofftabletten **7b**, bei welchem ein Abstandsglied **7d** peripher zwischen allen Brennstofftabletten **7b** angeordnet ist. Wie sich aus [Fig. 6b](#) ergibt, ist das Abstandsglied **7d** als ein ringförmiges Glied mit einer beliebigen Querschnittsfläche ausgebildet. Das Abstandsglied **7d** besteht vorzugsweise aus einem Material, welches im Verhältnis zu dem Brennstoffmaterial der Brennstofftabletten verformbar ist. Vorzugsweise enthält das Material des Abstandsgliedes im wesentlichen Graphit. Alternativ kann das Material der Abstandsglieder beispielsweise aus einem Metall oder poröser Keramik bestehen. Ein Vorteil dieser Ausführungsform besteht darin, daß der Wärmeübergang zwischen dem peripheren Abstandsglied und dem Hüllrohr **7a** im Vergleich mit den Ausführungs-

formen, die die [Fig. 4](#) und [Fig. 7](#) zeigen, verbessert wird.

**[0049]** [Fig. 7](#) zeigt eine Ausführungsform der Erfindung. Genauer gesagt, zeigt [Fig. 7](#) einen Stapel von Brennstofftabletten **7b**, bei dem ein Abstandsglied **7e** zentral zwischen allen Brennstofftabletten **7b** angeordnet ist. Das Abstandsglied **7e** ist im wesentlichen als ein ballförmiges Glied ausgebildet. Wie bei der anhand von [Fig. 6](#) beschriebenen Ausführungsform besteht das ballförmige Glied aus einem Material, welchem im Verhältnis zu dem Brennstoffmaterial der Brennstofftabletten verformbar ist. Vorzugsweise besteht das Material in dem Abstandsglied im wesentlichen aus Graphit. Das Material des Abstandsgliedes kann alternativ beispielsweise aus Metall oder poröser Keramik bestehen.

**[0050]** Durch die Unterteilung des achsialen Spaltes in einem Brennstab in eine Vielzahl von achsialen Spalten **19, 19a**, die zwischen dem größten Teil der Brennstofftabletten **7d** angeordnet sind, wird die Gefahr von Leistungsspitzen und damit verbundenen Hüllrohrsäden minimiert. Außerdem ergibt sich eine Möglichkeit für die Brennstofftabletten **7b**, infolge thermischer Dehnung in achsialer Richtung anzuwachsen. Da die thermische Ausdehnung zwischen dem größten Teil der Anzahl von Brennstofftabletten **7b** aufgenommen wird, kann die Tablettensäule so dimensioniert werden, daß, wenn der obere Stopfen in das Hüllrohr eingeführt wird, die Säule so zusammengedrückt wird, daß ein sehr kleiner achsialer Spalt **19** zwischen dem oberen Stopfen **17** und dem Ende derjenigen Tablette erreicht wird, welches dem oberen Stopfen **17** gegenüber liegt. Auf diese Weise wird die Gefahr der Bildung achsialer Spalte **19** zwischen dem oberen Stopfen **17** und der obersten Brennstofftablette **7b** der Säule minimiert.

**[0051]** [Fig. 4](#) zeigt, daß die oberste beziehungsweise die unterste Tablette **7d** in dem Brennstab **4** mit einem durchgehenden Loch **23** versehen ist. Durch diese Ausführungsform kann die maximale Temperatur in den Brennstofftablette **7b** in dem Bereich reduziert werden, in welchem die Leistungsspitzen auftreten bedingt durch die vorhandene gute Moderation, das heißt in den Spalten **19c** zwischen den Brennstoffeinheiten **3** (siehe [Fig. 1](#) und [Fig. 3](#)). Gleichzeitig kann die Menge an freigesetztem Spaltgas reduziert werden und Raum für die Ansammlung freigesetzter Spaltgase in den Tablettensäulen **7b** geschaffen werden.

**[0052]** Die Erfindung bezieht sich auch auf ein Brennelement, welches mindestens einen Brennstab gemäß der Erfindung enthält. Bei einer anderen Ausführungsform der Erfindung sind die Brennstäbe der in den [Fig. 4](#), [6](#) oder [Fig. 7](#) gezeigten Art in einem Bündel für ein Brennelement angeordnet. In noch einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung sind alle Brennstäbe vom gleichen Typ, das heißt entwe-

der von dem in [Fig. 4](#), [6](#) oder [Fig. 7](#) gezeigten Typ, und bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung enthält das Brennelement Brennstäbe von mindestens zwei verschiedenen Typen, wobei mindestens zwei der Typen aus Brennstäben bestehen wie sie in [Fig. 4](#), [6](#) oder [Fig. 7](#) gezeigt sind.

**[0053]** Eine Brennstoffeinheit **3**, welche eine Länge in der Größenordnung von 400 mm hat, enthält Brennstäbe **4**, die mit achsialen Spalten **19** zwischen mindestens dem größten Teil der Brennstofftabletten versehen sind. In dem Fall daß die Brennstofftablette **7b** in Längsrichtung eine Länge in der Größenordnung von 10 mm haben, hat der verformbare Teil des achsialen Spaltes **19** eine Erstreckung in Längsrichtung des Brennstabes von 0,1-0,2 mm. Dies ergibt eine totale achsiale Länge des verformbaren Teils des achsialen Spaltes, der 1-2% der totalen Länge des Brennstabes **4** entspricht.

**[0054]** [Fig. 8](#) zeigt eine andere alternative Ausführungsform der Erfindung. Genauer gesagt, zeigt [Fig. 8](#) ein Brennelement vom Siedewassertyp, wobei Teile, die Teilen des in [Fig. 1](#) gezeigten Brennelements entsprechen, mit denselben Bezugszeichen versehen sind. Im Querschnitt ist das Brennelement in [Fig. 8](#) beispielsweise in einer Weise ausgebildet, welche den in [Fig. 2](#), [Fig. 2a](#) beziehungsweise **2b** gezeigten Querschnitten entspricht. Das in [Fig. 8](#) gezeigte Brennelement enthält Brennstäbe **4a** voller Länge. Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist mindestens einer der Brennstäbe voller Länge **4a** durch einen verkürzten Brennstab **4b** ersetzt. Der verkürzte Brennstab **4b** ist in der unteren Verbundplatte **6** angeordnet und erstreckt sich in Richtung zur oberen Verbundplatte **5** ohne diese zu erreichen. Die Brennstäbe **4a**, **4b** werden durch konventioneller Abstandshalter **13** auf Abstand voneinander gehalten.

**[0055]** Bei einer weiteren alternativen Ausführungsform der Erfindung ist der verkürzte Brennstab **4b** mit einer Verlängerung versehen, die in der Figur mit gestrichelten Linien angedeutet ist und mit dem Bezugszeichen **4c** versehen ist. Die Verlängerung **4c** erstreckt sich von dem oberen Ende des verkürzten Brennstabes **4b** bis zur oberen Verbundplatte **5**. Die Verlängerung **4c** enthält kein Brennmaterial. In einer Weise, die der anhand der [Fig. 4](#) bis [Fig. 7](#) beschriebenen entspricht, enthält die Säule aus Brennmateriel bei diesen Ausführungsformen der Erfindung achsiale Spalte **19**, **19a**. Die achsialen Spalte **19**, **19a** sind zwischen dem größten Teil der Gesamtzahl von Brennstofftabletten **7b** in den Brennstäben voller Länge **4a** und/oder in den verkürzten Brennstäben **4b** angeordnet.

**[0056]** [Fig. 9](#) zeigt eine alternative Ausführungsform eines Brennstabes von vorzugsweise voller Länge **4d** zur Verwendung in einem Brennelement des in [Fig. 8](#) gezeigten Typs. Diejenigen Teile des

Brennstabes, die den entsprechenden Teilen der oben beschriebenen Ausführungsbeispiele entsprechen, sind mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Bei der gewählten Ausführungsform enthält der Brennstab **4d** drei Abschnitte, die mit **3a**, **3b** beziehungsweise **3c** bezeichnet sind. Der untere Abschnitt **a** in [Fig. 9](#) hat einen äußeren Durchmesser **Da**, der mittlere Abschnitt **b** hat einen äußeren Durchmesser **Db**, und der obere Abschnitt **c** hat einen äußeren Durchmesser **Dc**. Die äußeren Durchmesser **Da**, **Db**, **Dc** stehen in dem gegenseitigen Verhältnis von  $Da > Db > Dc$ . Jeder Abschnitt **a**, **b**, **c** enthält eine Säule aus Brennstoffmaterial, die in Brennstofftabletten **7b** unterteilt ist. In einer Weise, die der unter Bezug auf die [Fig. 4](#) bis [Fig. 7](#) beschriebenen entspricht werden achsiale Spalte **19**, **19a** zwischen mindestens dem größten Teil der Gesamtzahl der Brennstofftablette **7b** gebildet.

**[0057]** Die Abschnitte **a** und **b** sind miteinander über einen Abschnittstopfen **24** verbunden. Die Abschnitte **b** und **c** sind miteinander über einen entsprechenden Abschnittstopfen verbunden mit derselben Bezeichnung **24**. Die Erstreckung der achsialen Spalte zwischen zwei benachbart angeordneten Abschnitten **a**, **b** oder **c** entspricht im wesentlichen der achsialen Erstreckung des Abschnittstopfens **24** und ist mit **19b** bezeichnet. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind die Tabletten **7b**, die einem Abschnittstopfen **24** benachbart liegen, mit durchgehenden Löchern **23** in gleicher Weise versehen, wie dies anhand der [Fig. 4](#) beschrieben wurde. Die Tabletten **7b**, die einem Abschnittstopfen **24** benachbart angeordnet sind, sind mit durchgehenden Löchern **23** in der gleichen Weise versehen, wie dies anhand von [Fig. 4](#) beschrieben wurde. Die Tabletten **7b**, die jeweils benachbart zu einem Abschnittstopfen **24** oder einem oberen Stopfen **17** oder einem unteren Stopfen **18** angeordnet sind, sind im wesentlichen so angeordnet, daß sie in engem Kontakt mit diesen Stopfen gelangen durch Zusammendrücken der Tablettensäule bei der Einführung der Abschnittstopfen **24**, des oberen Stopfens **17** beziehungsweise des unteren Stopfens **18**.

**[0058]** Der Vorteil der Ausführungsform eines Brennstabes **4d** wie er in [Fig. 9](#) gezeigt ist, besteht darin, daß der totale achsiale Spalt **19**, **19a** der für die thermische Ausdehnung des Brennstoffmaterials und für Spaltgase in den entsprechenden Abschnitten **a**, **b**, **c** erforderlich ist, anstelle seiner Anordnung am oberen Ende des entsprechenden Abschnittes in eine Vielzahl kurzer achsialer Abschnitte unterteilt ist, wodurch die Gefahr von Leistungsspitzen an dem jeweiligen Übergang **19d** zwischen den Abschnitten bedeutend reduziert werden kann. In den Fällen, in denen achsiale Spalte **19**, **19a** zwischen allen Brennstofftabletten **7b** der Säule aus Brennstoffmaterial angeordnet sind, wird die Gefahr von Leistungsspitzen am Übergang zwischen den jeweiligen Abschnit-

ten a, b, c minimiert.

### Patentansprüche

1. Brennelement für einen Leichtwasser-Kernreaktor mit einer Vielzahl von Brennstäben (**4, 4b**), die sich zwischen einer oberen Verbundplatte (**5**) und einer unteren Verbundplatte (**6**) erstrecken, wobei zu jedem Brennstab (**4, 4b**) ein Hüllrohr (**7a**) mit einem ersten und einem zweiten Ende gehört, welches Hüllrohr eine Säule aus spaltbarem Material umgibt, die aus aneinander gereihten Brennstofftabletten (**7b**) besteht, wobei mindestens ein Brennstab (**4a, 4b, 4d**) zwischen einer Majorität der Brennstofftabletten (**7b**) achsiale Spalte (**19**) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die an dem achsialen Spalt (**19**) angeordneten Brennstofftabletten (**7b**) an ihren dem axialen Spalt zugewandten entsprechenden Enden mit mindestens zwei Vorsprüngen (**7c**) versehen sind, die sich von dem Ende der entsprechenden Brennstofftablette (**7b**) zu dem Ende der benachbart angeordneten Brennstofftablette (**7b**) erstrecken.

2. Brennelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Brennstab (**4d**), der die axiale Spalte (**19**) zwischen der Majorität der Brennstofftabletten (**7b**) aufweist, eine Mehrzahl von Abschnitten (a, b, c) aufweist, bei denen ein Außen-durchmesser eines Abschnittes sich von einem Außen-durchmesser eines benachbart angeordneten Abschnittes unterscheidet und bei denen Brennstofftabletten in jedem Abschnitt (a, b, c) angeordnet sind.

3. Brennelement nach Anspruch 1 mit einem im wesentlichen quadratischen Querschnitt, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Mehrzahl kurzer Brennstoffeinheiten (**3**) enthält, von denen jede mindestens einen Brennstab (**4**) enthält, der sich zwischen einer oberen Verbundplatte (**5**) und einer unteren Verbundplatte (**6**) erstreckt.

4. Brennelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorsprünge (**7c**) und/oder die entsprechenden Enden der Brennstofftabletten mindestens teilweise verformbar sind.

5. Brennelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der Vorsprünge (**7c**) an dem Ende jeder Brennstofftablette mindestens drei beträgt.

6. Brennelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorsprünge (**7c**) aus dem spaltbaren Material bestehen.

7. Brennelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorsprünge (**7c**) aus einem Metall oder aus Graphit-

material bestehen.

8. Brennelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstofftabletten (**7b**) an jedem Ende eine becherförmige Gestalt (**19a**) haben.

9. Brennelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstofftabletten (**7b**), die dicht an dem ersten oder zweiten Ende des Hüllrohres (**7a**) liegen, mit durchgehenden Löchern (**23**) oder mit einer geringeren Anreicherung als die übrigen Brennstofftabletten (**7b**) versehen sind.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

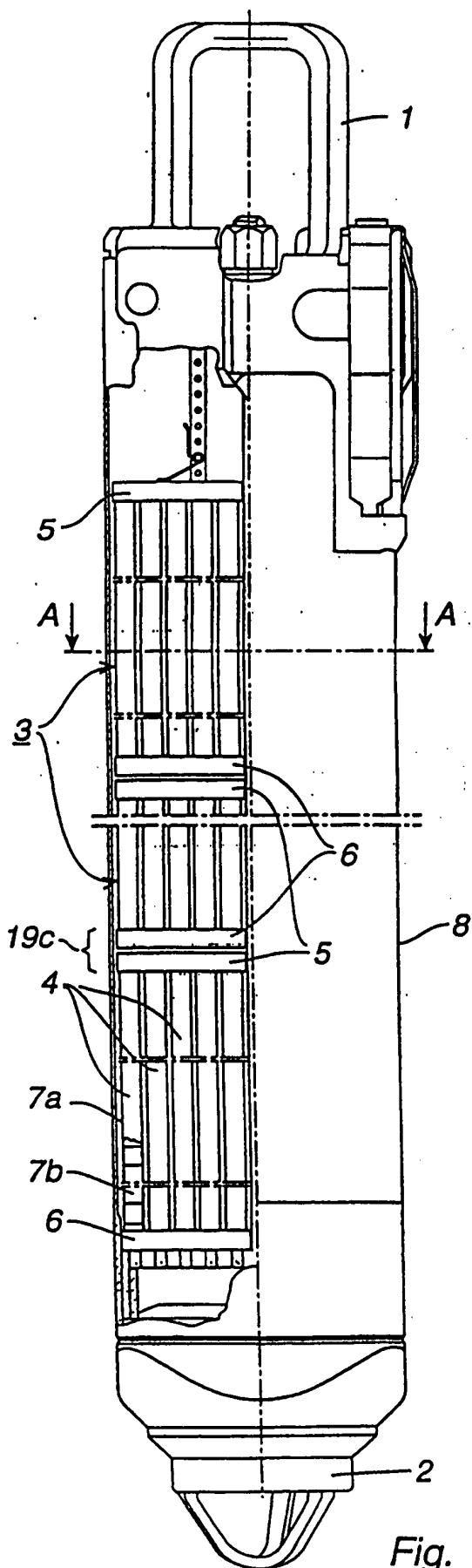


Fig. 1

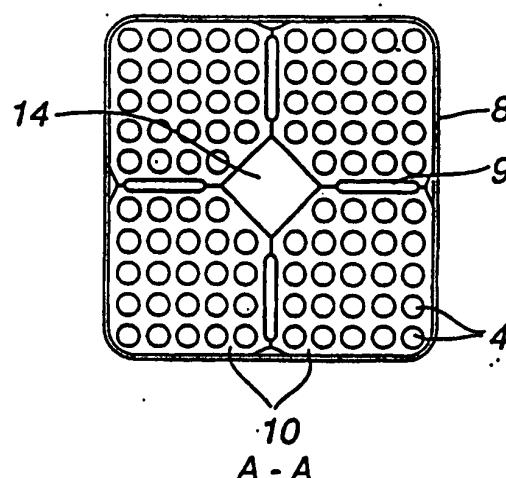


Fig. 2

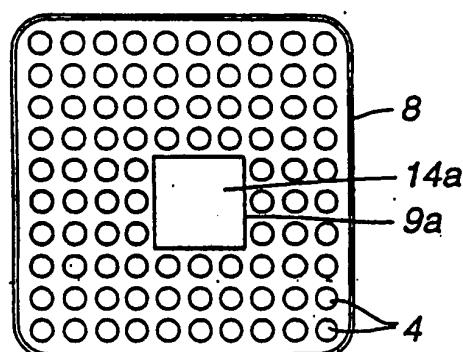


Fig. 2a

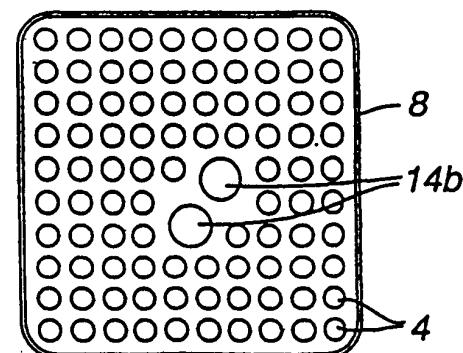


Fig. 2b

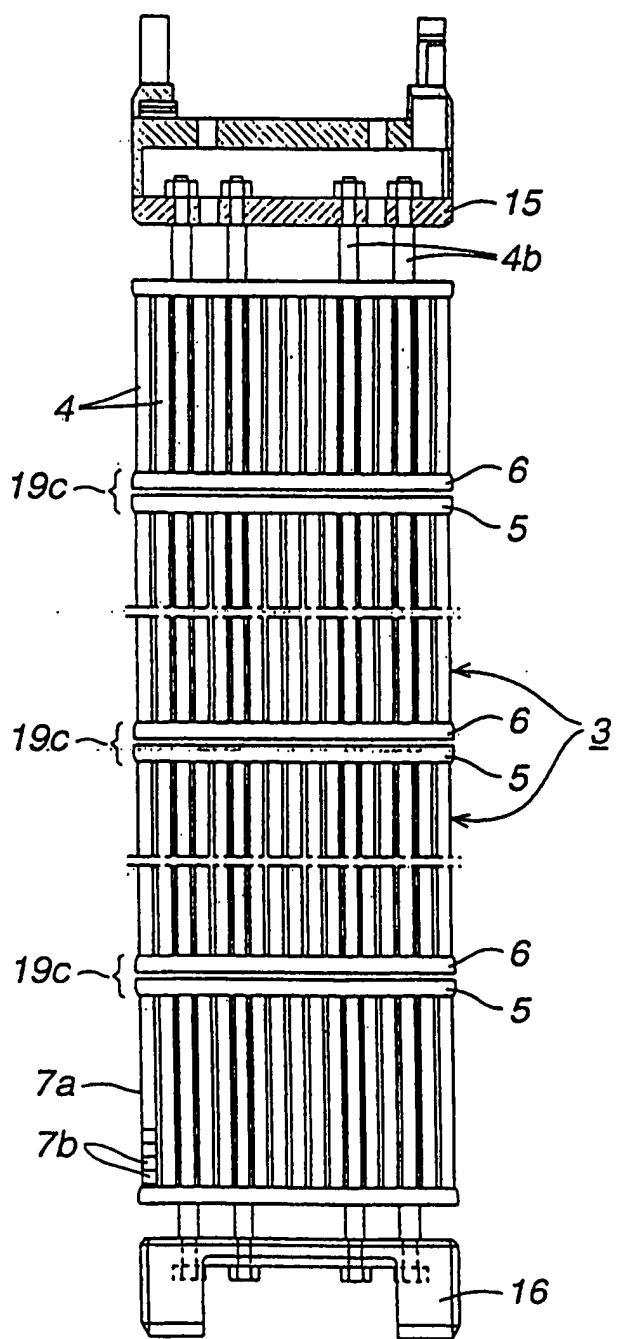


Fig. 3

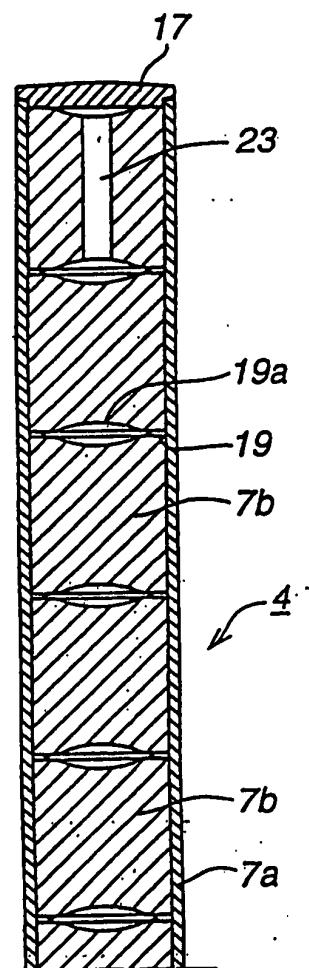


Fig. 4

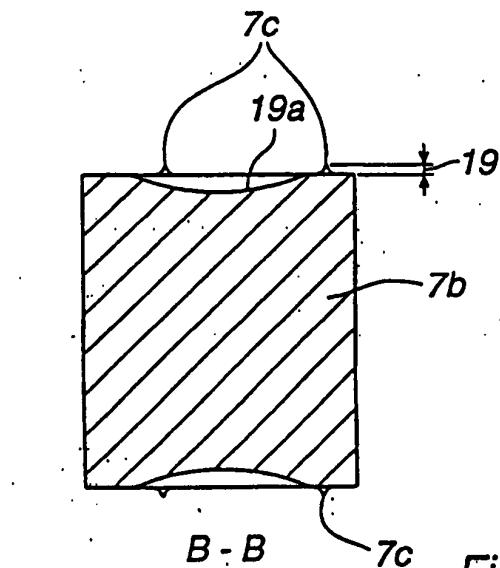
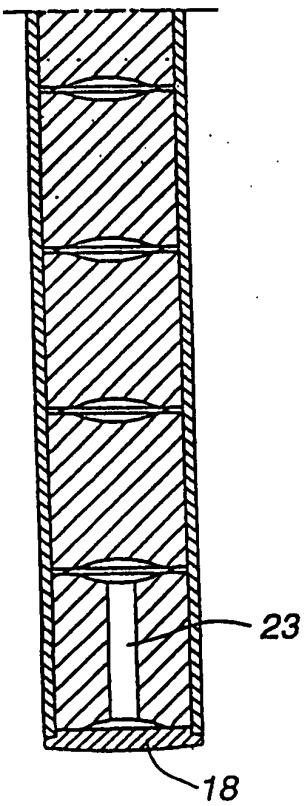


Fig. 5a

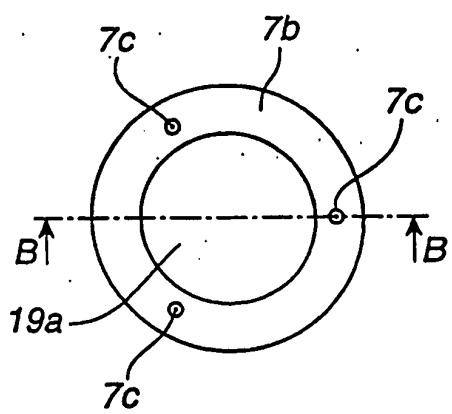


Fig. 5b

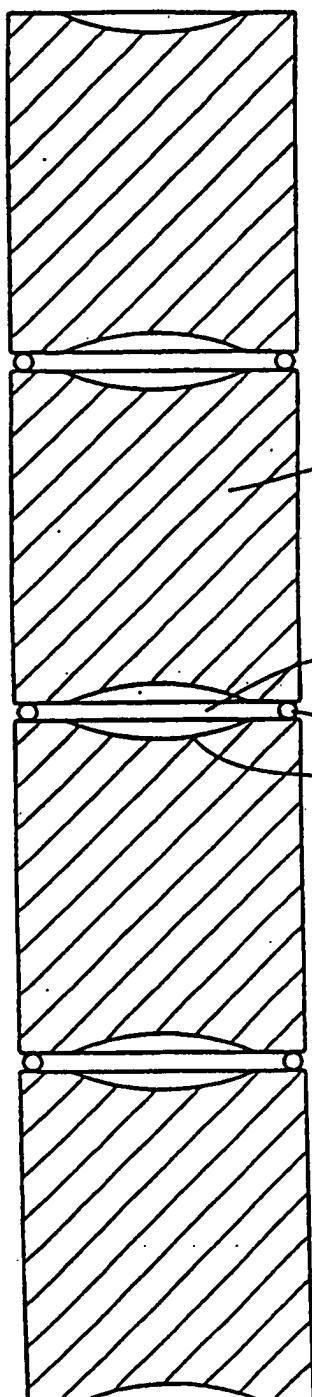


Fig. 6a

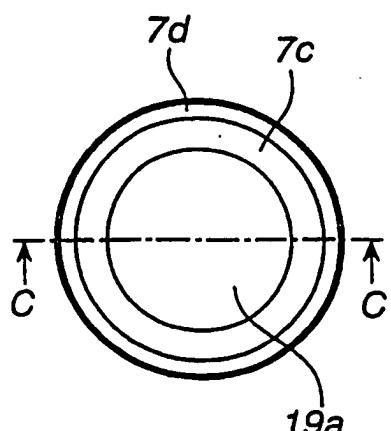


Fig. 6b

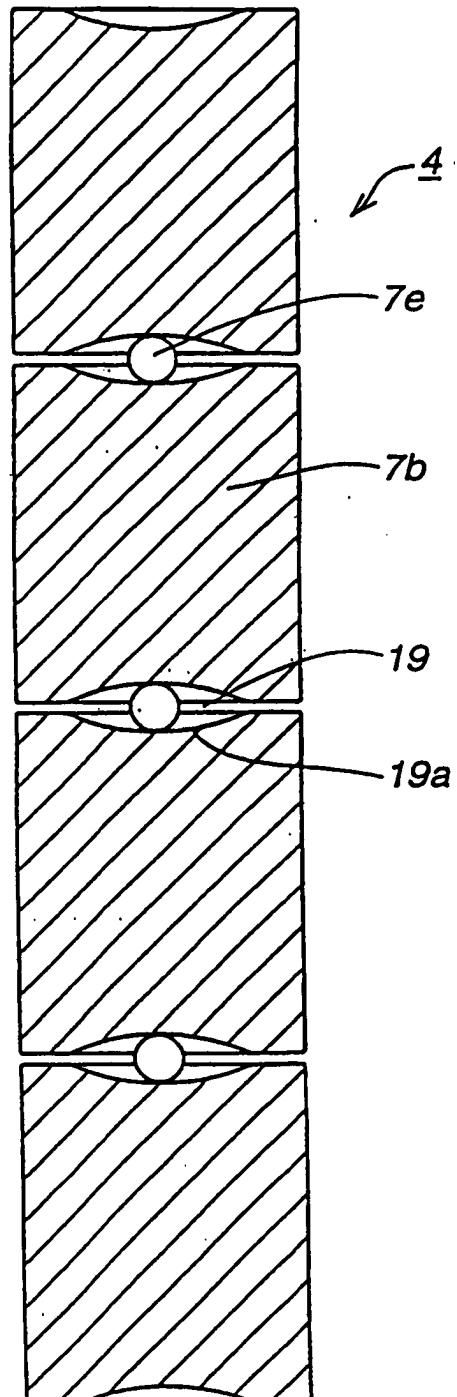


Fig. 7

