



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 26 709 T2** 2007.10.25

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 168 370 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G21C 7/113** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 26 709.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 305 294.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **18.06.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.01.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **21.02.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **25.10.2007**

(30) Unionspriorität:

597113 20.06.2000 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

CH, DE, LI, SE

(73) Patentinhaber:

General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(72) Erfinder:

**Challberg, Roy Clifford, Livermore, California
94550, US; Fennern, Larry Edgar, San Jose,
California 95119, US; Fawcett, Russell Morgan,
Atkinson, North Carolina 28421, US**

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(54) Bezeichnung: **Kernkonfiguration für einen Kernreaktor**

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 eingelegt, 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] Diese Erfindung betrifft allgemein Kernreaktoren und insbesondere Brennstabbündel- und Steuerstabanordnungen für Kernreaktoren.

[0002] Ein Reaktordruckbehälter (RPV) eines Siedewasserreaktors (BWR) hat typischerweise eine allgemein zylindrische Form und ist an beiden Enden geschlossen, d. h. durch einen unteren Behälterboden und einen entfernbaren obere Abdeckung. Eine obere Führung ist typischerweise oberhalb einer Kernplatte innerhalb des RPV beabstandet. Eine Kernummantelung oder Abdeckung umgibt typischerweise die Kernplatte und wird gestützt durch eine Konstruktion zur Abstützung der Ummantelung. Insbesondere hat die Ummantelung eine allgemein zylindrische Form und umgibt sowohl die Kernplatte als auch die obere Führung. Die obere Führung weist verschiedene Öffnungen auf und die Brennstabbündel werden durch die Öffnungen eingeführt und durch die Kern-Platte gestützt.

[0003] Eine Vielzahl von Öffnungen wird im Dom des Behälterbodens gebildet, so dass sich Komponenten, wie die Anordnung zum Antrieb der Steuerstäbe, in den RPV hinein erstrecken können. Als ein Beispiel für eine Anordnung eines Steuerstab-Antriebs, wird ein Steuerstab-Antriebsgehäuse, z. B. ein Rohr, durch die Öffnung des Doms im unteren Behälterboden eingeführt, und ein Steuerstab-Antrieb wird durch das Gehäuse des Steuerstab-Antriebs eingeführt. Der Steuerstab-Antrieb ist an einen Steuerstab gekoppelt, um den Steuerstab innerhalb des Kerns zu positionieren.

[0004] Ein Reaktorkern beinhaltet einzelne Brennstabanordnungen, die unterschiedliche Charakteristiken haben, welche die Strategie zum Betrieb des Kerns beeinflussen. Zum Beispiel hat der Reaktorkern eines Kernreaktors viele, d. h. mehrere hundert einzelne Brennstabbündel, die unterschiedliche Charakteristika aufweisen. Solche Bündel werden vorzugsweise innerhalb des Reaktorkerns so angeordnet, dass die Wechselwirkung zwischen den Brennstabbündeln allen behördlichen Vorgaben und die Bedingungen des Reaktorbaus, einschließlich der durch die Regierung und die Kunden spezifizierten Vorgaben, erfüllt. Weil die Anordnung zur Beschickung des Reaktors den Energiekreislauf bestimmt, d. h. die Energiemenge, die der Reaktorkern erzeugt, bevor der Reaktorkern mit neuen Brennstäben aufgefrischt werden muss, wird neben der Erfüllung der an den Aufbau gestellten Bedingungen vorzugsweise auch der Energiekreislauf des Reaktors optimiert.

[0005] Um die erforderliche Ausgangs-Energie bereitzustellen, wird der Reaktorkern regelmäßig neu mit frischen Brennstabbündeln befüllt. Um den Energiezyklus des Reaktorkerns zu optimieren, können

die Brennstabbündel mit der höheren Reaktivität an einer inneren Reaktorkern-Position positioniert werden. Um manche Aufbaubedingungen zu erfüllen, werden jedoch die Brennstabbündel mit der höheren Reaktivität im Allgemeinen an einer äußeren Position des Reaktorkerns positioniert. Die am weitesten verbrauchten Brennstabbündel, d. h. die Bündel mit dem geringsten verbleibenden Energiegehalt, werden aus dem Reaktor entfernt. Das Intervall zwischen den Neubeschickungen wird als ein Betriebszyklus bezeichnet.

[0006] Während des Verlaufs eines Betriebszyklus wird die überschüssige Reaktivität, welche das energetische Leistungsvermögen des Reaktorkerns festlegt, auf zweierlei Weise kontrolliert. Speziell wird ein abbrennbares Reaktorgift, d. h. Gadolinium, in den frischen Brennstoff eingearbeitet. Die Menge des anfänglichen abbrennbaren Reaktorgiftes wird durch die Bedingungen des Aufbaus, die typischerweise durch das Versorgungsunternehmen und durch die NRC festgelegt werden. Das abbrennbare Reaktorgift kontrolliert die meiste, aber nicht die gesamte, überschüssige Reaktivität.

[0007] Auch Steuerstäbe kontrollieren die überschüssige Reaktivität. Speziell der Reaktorkern enthält Steuerstäbe, die das sichere Abschalten sicherstellen und den Primär-Mechanismus für die Steuerung des maximalen Spitzenleistungsfaktors bereitstellen. Die Gesamtzahl der verfügbaren Steuerstäbe variiert mit der Größe und Geometrie des Reaktorkerns und beträgt typischerweise zwischen 50 und 269. Die Position der Steuerstäbe, d. h. komplett eingebracht, komplett entnommen oder irgendwo dazwischen, basiert auf der Notwendigkeit, die überschüssige Reaktivität zu steuern, und die anderen Betriebsbedingungen, so wie den maximalen Spitzenleistungsfaktor, zu erfüllen.

[0008] Ein bekannter Steuerstab beinhaltet einen zentralen Bereich mit vier sich radial ausdehnenden Schenkeln. Die Schenkel legen vier Brennstabkanäle fest, und beim Einführen des Steuerstab in den Reaktorkern, wird der Steuerstab so positioniert, dass in jedem Kanal ein Brennstabbündel positioniert ist. Deshalb beinhaltet z. B. ein Reaktorkern mit 400 Brennstäben in etwa 100 Steuerstäbe.

[0009] Um die für einen effizienten Betrieb erforderliche Zahl von Steuerstäben zu reduzieren, beinhaltet ein bekannter Reaktor Brennstabbündel, die in einer K-Gitter-Konfiguration angeordnet sind. Jedes Brennstabbündel in solch einem Reaktor ist wesentlich größer als ein Brennstabbündel von herkömmlicher Größe, und zeigt den zweifachen Abstand, verglichen mit einer herkömmlichen BWR-Brennstab-Anordnung. Die größeren Brennstabbündel erleichtern es, den Spitzenfaktor des BWR-Reaktorkerns zu erhöhen. Insbesondere die integrierte maxi-

male Kanalleistung, d. h. der höchste radiale Spitzenfaktor, ist größer für derartig große K-Gitter-Brennstab-Reaktorkerne mit dem zweifach so großen Abstand wie bei einem mit Brennstabbündeln herkömmlicher Größe beladenen Reaktorkern. Der maximale Spitzenleistungsfaktor für große Reaktorkerne mit Bündeln mit zweifachem Abstand ist z. B. in etwa 1,7, wohingegen der maximale Spitzenleistungsfaktor für einen herkömmlichen Reaktorkern typischerweise schätzungsweise in etwa 1,4 oder 1,5 beträgt.

[0010] Solche größeren Brennstabbündel erleichtern es auch, die Zahl der Steuerstab-Antriebe zu reduzieren, und reduzieren so die Kapitalkosten des Kernreaktors. Insbesondere sind Brennstab-Anordnungen, die solche Bündel mit zweifachem Abstand aufweisen, schätzungsweise von der vierfachen Größe herkömmlicher Brennstab-Anordnungen. Dementsprechend werden im Vergleich zu den Brennstabbündeln der Standardgröße weniger Brennstabbündel mit zweifachem Bündelabstand in Kernreaktoren installiert. Deshalb werden im Vergleich zu den Brennstabbündeln der Standardgröße weniger Steuerstäbe benötigt, um die Reaktivität zwischen der geringeren Zahl der zweifach beabstandeten Bündel zu steuern. Im Vergleich zu den Brennstabbündeln der Standardgröße wird die Energie bei zweifachem Abstand mit weniger Brennstabbündeln erzeugt. Zusätzlich wird die Wiederbefüllungszeit aufgrund der reduzierten Zahl der Brennstabbündel gesenkt.

[0011] Die Bündel mit dem zweifachen Abstand stellen einen Kernreaktor bereit, der eine verringerte Anzahl von Steuerstab-Antrieben hat, und der im Vergleich mit einem herkömmlichen Reaktor, der die herkömmlichen Brennstabbündel nutzt, eine wesentliche Verringerung der Kapitalkosten aufweist. Jedoch erfordern solche größeren Bündel typischerweise auch einen veränderten Aufbau der Brennstab-Anordnung (d. h. bei einem zweifach beabstandeten Bündel-Aufbau, hat die Brennstab-Anordnung schätzungsweise die vierfache Größe der herkömmlichen Brennstab-Anordnung). Ähnlich belasten die größeren Bündel den Reaktorkern typischerweise mit mehr Störmaterial und sind stärker anfällig gegenüber dem Verbiegen und Auswölben. Zusätzlich wird die Eignung zur Einbringung von Unterbündeln, d. h. die Möglichkeit der Umpositionierung einzelner Brennstabbündel innerhalb des Reaktorkerns oder die Entfernung einzelner Brennstabbündel aus dem Reaktorkern, bei größeren Brennstabbündeln wesentlich beeinträchtigt.

[0012] JP 10-274687 beschreibt einen Siedewasserreaktor und dessen Betriebsverfahren.

[0013] JP 04-301596 beschreibt einen Steuerstab für einen Kernreaktor, eine Brennstab-Anordnung und den Reaktorkern eines Kernreaktors.

[0014] Es wäre wünschenswert, die Zahl der Steuerstab-Antriebe zu verringern, ohne dass ein im Wesentlichen veränderter Aufbau der Brennstab-Anordnung erforderlich ist. Es wäre auch wünschenswert, die Zahl der Steuerstäbe, ohne wesentliche Einschränkung der Möglichkeit zur Durchführung des Austauschs von Teilbündeln, zu reduzieren.

[0015] Verschiedene Aspekte und Ausführungsformen der Erfindung werden in den beiliegenden Ansprüchen definiert.

[0016] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beinhaltet der Kernreaktor eine Vielzahl von Brennstabbündeln und eine Vielzahl von großen Steuerstäben. Jeder große Steuerstab hat in etwa die zweifache Breite eines herkömmlichen Steuerstabes und beinhaltet vier Steuerstabschenkel, die sich ausgehend von einem mittleren Bereich radial ausdehnen und mit rechten Winkeln zueinander angeordnet sind. Die Schenkel legen vier Aufnahmekanäle für die Brennstäbe fest. Der Kern ist so aufgebaut, dass die Steuerstäbe in einer Vielzahl von zueinander versetzten Reihen mit jeweils vier Bündeln in jedem Aufnahmekanal angeordnet sind. Dieser Aufbau wird als eine F-Gitter-Konfiguration bezeichnet.

[0017] In dieser F-Gitter-Konfiguration wird die Brennstoffzelle durch einen großen Steuerstab und 16 Brennstabbündel gebildet. Die vier Schenkel des Steuerstabs unterteilen die Brennstabzellen in vier gleiche Quadranten. Die Brennstabbündel sind um den Steuerstab herum angeordnet, so dass in jedem Quadranten der Brennstoffzelle vier Brennstabbündel sind. Der Kern wird aus einer Vielzahl von Brennstabzellen gebildet. In der F-Gitter-Anordnung mit den in versetzten Reihen angeordneten großen Steuerstäben, grenzt jede Kante einer Brennstabzelle an einen Schenkel eines Steuerstabes an und ist im Wesentlichen parallel zu diesem.

[0018] Die F-Gitter-Anordnung resultiert in der Reduktion der zur Kontrolle eines Reaktorkerns erforderlichen Zahl der Steuerstäbe. Wenn z. B. im Aufbau des Reaktorkerns eines Kernreaktors 269 Steuerstäbe verwendet werden, kann die Zahl der Steuerstäbe bei der F-Gitter-Konfiguration auf 137 reduziert werden. Wegen der Reduktion der für den Reaktor erforderlichen Steuerstab-Antriebe resultiert dies in einer Kostenreduktion.

[0019] Die F-Gitter-Konfiguration erlaubt auch die Verwendung von Brennstabbündeln der Standardgröße, ohne die Notwendigkeit zur Neukonstruktion der Brennstabbündel-Anordnungen. Zusätzlich vergrößert die Anordnung der großen Steuerstäbe in zueinander versetzt angeordneten Reihen den relativen Absorptionswert der großen Steuerstäbe.

[0020] Die Ausführungsformen der Erfindung wer-

den nun mit Hilfe von Beispielen und unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschreiben, wobei:

[0021] [Fig. 1](#) ist eine Querschnittsansicht, mit herausgeschnittenen Teilen eines Reaktordruckbehälters eines Siedewasserkernreaktors.

[0022] [Fig. 2](#) ist eine schematische Aufsicht vom Aufbau des Reaktorkerns für den in [Fig. 1](#) gezeigten Kernreaktor.

[0023] [Fig. 3](#) ist eine schematische Aufsicht für einen anderen Aufbau des Kerns für den in [Fig. 1](#) gezeigten Kernreaktor.

[0024] [Fig. 4](#) ist eine schematische Aufsicht auf den Aufbau des Kerns für den in [Fig. 1](#) gezeigten Kernreaktor entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0025] [Fig. 5](#) ist eine vergrößerte schematische Aufsicht der Brennstabzelle aus [Fig. 4](#).

[0026] [Fig. 1](#) ist eine Querschnittsansicht mit herausgeschnittenen Teilen eines Reaktordruckbehälters (RPV) 10 eines Siedewasserkernreaktors. Der RPV 10 hat im Allgemeinen eine zylindrische Form und ist an einem Ende durch einen unteren Behälterboden 12 und an seinem anderen Ende durch einen entfernbaren oberen Abdeckung 14 geschlossen. Eine Seitenwand 16 erstreckt sich vom unteren Boden 12 zur oberen Abdeckung 14. Eine zylindrisch geformte Kernummantelung 20 umgibt den Reaktorkern 22. Die Ummantelung 20 wird an einem Ende durch eine Ummantelungs-Abstützung 24 getragen und beinhaltet einen entfernbaren Ummantelungsdeckel am anderen Ende. Zwischen der Ummantelung 20 und der Seitenwand 16 wird ein Hohlraum 28 gebildet.

[0027] Die Hitze wird innerhalb des Reaktorkerns 22 gebildet, der die Brennstabbündel 36 des spaltbaren Materials beinhaltet. Das durch den Kern 22 nach oben zirkulierte Wasser wird zumindest teilweise in Dampf umgewandelt. Die Dampfabscheider 38 trennen den Dampf vom Wasser, das rezirkuliert wird. Restwasser wird von dem Dampf durch Dampftrockner 40 entfernt. Der Dampf verlässt den RPV 10 durch den Dampfauslass 42 in der Nähe der oberen Behälterabdeckung 14.

[0028] Die im Reaktorkern 22 erzeugte Wärmemenge wird durch die Einführung und das Herausziehen der Steuerstäbe 44 aus Neutronen absorbierendem Material, wie z. B. Hafnium, reguliert. In dem Maße, in dem der Steuerstab 44 in das Brennstabbündel 36 eingeführt wird, absorbiert er Neutronen, die ansonsten verfügbar wären, um die Kettenreaktion zu beschleunigen, die in dem Reaktorkern 22 die Wärme erzeugt. Die Röhren der Steuerstabführung 46 stel-

len die vertikale Bewegung der Steuerstäbe 44 während der Einführung und des Herausziehens sicher. Die Steuerstab-Antriebe 48 bewirken die Einführung und das Herausziehen der Steuerstäbe 44. Die Steuerstab-Antriebe 48 erstrecken sich durch den unteren Behälterboden 12 hindurch.

[0029] Die Brennstabbündel 36 werden durch eine am Grund des Reaktorkerns 22 angeordnete Kern-Platte 50 ausgerichtet. Eine obere Führung 52 richtet die Brennstabbündel 36 aus, während diese in den Reaktorkern 22 hineingesenkt werden. Die Kernplatte 50 und die obere Führung 52 werden durch die Kernummantelung 20 abgestützt. Die Brennstabbündel 36 haben einen im Wesentlichen quadratischen Querschnitt. In alternativen Ausführungsformen können die Brennstabbündel einen rechteckigen oder anderen polygonalen Querschnitt aufweisen.

[0030] [Fig. 2](#) ist eine schematische Aufsicht einer herkömmlichen Anordnung 54 von Steuerstäben 44 und Brennstabbündeln 36 des Reaktorkerns 22 in einem Kernreaktor 10. Die Steuerstäbe 44 weisen vier Steuerstabschenkel 56 auf, die sich vom mittleren Bereich 58 aus radial ausdehnen und jeweils mit rechtem Winkel zueinander angeordnet sind. Die Schenkel 56 legen vier Brennstabbündel-Aufnahmekanäle 60 um den Steuerstab 44 herum fest. Jeder Aufnahmekanal 60 ist so bemessen, dass er ein Brennstabbündel 36 aufnimmt. Herkömmliche Anordnungen 54 weisen in geraden Reihen 62, zwischen den Brennstabbündeln 36, angeordnete Steuerstäbe 44 auf. Diese Anordnung ist als eine Quadrat-Teilung bekannt. Die Anordnung 54 beinhaltet vier Brennstabbündel, die jeden Steuerstab 44 umgeben, wobei jedes Brennstabbündel 36 in einem Brennstabbündel-Aufnahmekanal 60 positioniert ist.

[0031] Ein Steuerstab 44 und vier umgebende Brennstabbündel 36 definieren eine Brennstabzelle 64. Die Steuerstabschenkel 56 sind so positioniert, dass sie die Zelle 64 in vier Quadranten 66, 68, 70 und 72 unterteilen. Jeder Quadrant 66, 68, 70 und 72 der Zelle 64 enthält ein Brennstabbündel 36.

[0032] [Fig. 3](#) ist eine schematische Aufsicht einer K-Gitter-Anordnung 74 des Reaktorkerns 22 in dem Kernreaktor 10. Die K-Gitter-Anordnung 74 hat große Steuerstäbe 76 in den zueinander versetzten Reihen 78 mit vier große, jeden großen Steuerstab 76 umgebenden, Brennstabbündeln 80. Die großen Steuerstäbe 76 beinhalten vier Steuerstabschenkel 82, die sich vom mittleren Bereich 84 aus radial ausdehnen und jeweils mit rechtem Winkel zueinander angeordnet sind. Die Schenkel 82 legen um den Steuerstab 76 herum vier Brennstabbündel-Aufnahmekanäle 86 fest. Jedes große Brennstabbündel 80 ist in einem Brennstabbündel-Aufnahmekanal 86 so positioniert, dass jeder Aufnahmekanal 86 ein großes Brennstabbündel 80 beinhaltet.

[0033] Ein großer Steuerstab weist etwa die 1,5- bis 2,0-fache Breite eines in [Fig. 2](#) gezeigten herkömmlichen Steuerstabs **44** auf. Ein großes Brennstabbündel **80** weist die 1,5- bis 2,0 fache Breite eines herkömmlichen, in [Fig. 2](#) gezeigten Brennstabbündels **36** auf. Große Steuerstäbe **76** und große Brennstabbündel **80** erlauben die Verwendung von weniger Steuerstäben im Reaktorkern **22**.

[0034] In der K-Gitter-Anordnung **74** definieren ein großer Steuerstab **76** und vier umgebende große Brennstabbündel **80** eine Brennstabzelle **88**. Die Brennstabzellen **88** sind den oben beschriebenen Brennstabzellen **64** ähnlich. Weil jedoch die Anordnung der großen Steuerstäbe in versetzten Reihen **78** erfolgt, grenzt ein großer Steuerstabschenkel **82** an jede Seite **90** der Zelle **88** an und verläuft parallel zu dieser. Insbesondere grenzt in der K-Gitter-Anordnung **74** ein großer Steuerstabschenkel **82** an jede Seite **92** eines jeden großen Brennstabbündels **80** in der Zelle **88** an und verläuft parallel zu diesen. So wie in [Fig. 2](#) gezeigt, hat nicht jede Brennstabzelle **64** einen Steuerstabschenkel, der an die Seiten der Brennstabzelle **64** angrenzt und parallel zu diesen verläuft.

[0035] So wie oben beschrieben, ist die maximale Kanalgesamtleistung (d. h. der höchste radiale Spitzenfaktor) bei Verwendung großer Brennstabbündel **80** größer als bei einem mit Brennstabbündeln **36** herkömmlicher Größe beladenen Reaktorkern. Während dieser vergrößerte Abstand wünschenswert ist, verhindern große Brennstabbündel **80** im Wesentlichen die Durchführung der Einbringung von Unterbündeln, was oft wünschenswert ist. Weiterhin erfordern große Brennstabbündel **80** größere Bündelkanäle als Brennstabbündel **36** der Standardgröße, und solche größeren Bündelkanäle sind teuer, bringen mehr Störmateriel in den Kernbereich ein und können, wenn sie bestrahlt werden, Probleme durch Verbiegen und Aufwölbung verursachen.

[0036] Mit Bezugnahme auf [Fig. 4](#), in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und um die Vorteile reduzierter Steuerstäbe und Steuerstab-Antriebe zu erlangen, ohne die mit großen Brennstabbündeln **36** verbundenen, oben identifizierten, Probleme zu erleiden, werden im Reaktorkern **22** im Wesentlichen Brennstabbündel **36** der Standardgröße und große Steuerstäbe **76** verwendet. Insbesondere der Reaktorkern **22** des Kernreaktors beinhaltet große Steuerstäbe **76** und Brennstabbündel **36** herkömmlicher Größe. Jeder große Steuerstab **76** ist dazu eingerichtet, um die Vergiftungssteuerung für 16 Brennstabbündel **36** mit herkömmlicher Größe zu bewirken. Brennstabanordnungen **36** von herkömmlicher Größe und große Steuerstäbe **76** werden in einer F-Gitter-Anordnung **94** angeordnet, um die Minimierung der Zahl der Steuerstab-Antriebe und Steuerstäbe zu erleichtern. Die

F-Gitter-Anordnung **94** weist große Steuerstäbe **76** in versetzten Reihen **96** mit 16 herkömmlichen Brennstabbündeln **36** auf, welche jeden großen Steuerstab **76** umgeben.

[0037] Mit Bezugnahme auch auf [Fig. 5](#) definieren in der F-Gitter-Anordnung **94** ein großer Steuerstab **76** und sechzehn umgebende herkömmliche Brennstabbündel **36** eine Brennstabzelle **98**. Die Steuerstabschenkel **82** werden positioniert, um die Zelle **98** in vier Quadranten **100**, **102**, **104** und **106** zu unterteilen. Jeder Quadrant **100**, **102**, **104** und **106** enthält vier herkömmliche Brennstabbündel **36**. Die Brennstabzelle **98** hat einen im Wesentlichen quadratischen Querschnitt. Jedoch kann die Brennstabzelle **98** in anderen Ausführungsformen einen rechteckigen oder anderen polygonal geformten Querschnitt haben, worin das Vieleck **4** bis **12** Seiten hat. So wie oben beschrieben, definieren die großen Steuerstabschenkel **82** vier Brennstabbündel-Aufnahmekanäle **86**, um den großen Steuerstab **76** herum. Jeder aufnehmende Kanal enthält vier Brennstabbündel **36**. In alternativen Ausführungsformen kann die F-Gitter-Anordnung weniger oder mehr als vier Brennstabbündel **36** in jedem Brennstabbündel-Aufnahmekanal **86** aufweisen.

[0038] [Fig. 5](#) ist eine schematische, detailliertere Aufsicht von einer Brennstabzelle **98** mit sechzehn Brennstabbündeln **36** der Standardgröße, welche einen großen Steuerstab **76** umgeben. Jedes Brennstabbündel **36** beinhaltet einen Bügel **108**, der sich von seinen oberen Enden **110** aus erstreckt. Die Brennstabbündel **36** sind in vier Gruppen **112**, **114**, **116** und **118** angeordnet, und jede Gruppe **112**, **114**, **116** und **118** beinhaltet eine 2 × 2-Matrix von Brennstoffbündeln **36**. Jede Gruppe **112**, **114**, **116** und **118** ist auch innerhalb des entsprechenden Brennstabbündel-Aufnahmekanals **86** positioniert. Die Steuerstabschenkel **82** von den angrenzenden großen Steuerstäben **76** werden angrenzend und im Wesentlichen parallel zu den Außenseiten der Zelle **98** angeordnet. In dieser F-Gitter-Anordnung **94** wird jeder Aufnahmekanal **86** durch zwei Schenkel **82** des in der Zelle **98** lokalisierten Steuerstabs **76** und zwei Schenkeln **82** eines angrenzenden großen Steuerstabs **76** definiert.

[0039] Im Hinblick auf jede Gruppe **112**, **114**, **116** und **118** sind die Kanal-Abstandshalter **120** mit jedem Brennstabbündel **36** gekoppelt, um jedes Brennstabbündel **36** wesentlich vom angrenzenden Brennstabbündel **36** zu beabstanden. Zusätzlich werden Federungs- und Sicherungsvorrichtungen **122** an die Brennstabbündel **36** gekoppelt, um die Abstützung der Brennstabbündel **36** in den Bündel-Aufnahmekanälen **86** zu erleichtern. Unter Bezugnahme allein auf die Gruppe **112** der Brennstabbündel **36** werden z. B. vier Feder- und Sicherungsvorrichtungen **122** im Wesentlichen innerhalb der Gruppe **112** zentriert und mit

den angrenzenden Ecken **124** der entsprechenden Brennstabbündel **36** gekoppelt.

[0040] Die F-Gitter-Anordnung **94** resultiert in einer Reduktion der Zahl der für die Steuerung des Reaktorkerns **22** erforderlichen Steuerstäbe. Wenn z. B. 269 Steuerstäbe beim Aufbau des Reaktorkerns eines Kernreaktors verwendet werden, kann die F-Gitter-Anordnung **76** die Zahl der Steuerstäbe auf 137 verringern. Dies resultiert wegen der Verringerung der erforderlichen Anzahl an Steuerstab-Antrieben im Reaktor in einer Kostenreduktion.

[0041] Die F-Gitter-Anordnung **94** erlaubt auch die Verwendung von Brennstabbündeln **36** der Standardgröße, ohne die Notwendigkeit zur Umgestaltung der Brennstabbündel-Vorrichtungen. Zusätzlich vergrößert die Anordnung **78** der großen Steuerstäbe **76** in zueinander versetzten Reihen den relativen Absorptionswert der großen Steuerstäbe **76**.

Patentansprüche

1. Reaktorkern eines Kernreaktors, wobei der Reaktorkern aufweist:
eine Vielzahl von einzelnen unabhängigen Brennstabbündeln (**36**), wobei jedes der einzelnen unabhängigen Brennstabbündel einen Bügel (**108**) aufweist, um das Absenken der Brennstabanordnung in den Reaktorkern hinein zu erleichtern; und
eine Vielzahl von großen Steuerstäben (**76**), wobei jeder Steuerstab vier Steuerstabschenkel (**82**) aufweist, die sich von einem mittleren Bereich (**84**) aus radial ausdehnen und mit rechtem Winkel zueinander angeordnet sind, die Schenkel vier Aufnahmekanäle (**86**) für die Brennstabbündel bilden, die großen Steuerstäbe in einer Vielzahl von Reihen versetzt zueinander angeordnet sind mit mehr als einem Brennstabbündel in jedem Aufnahmekanal, und wobei zwei Seiten eines jeden der vier einzelnen, voneinander unabhängigen, Brennstabbündel an einen Steuerstabschenkel angrenzen.

2. Reaktorkern (**22**) gemäß Anspruch 1, wobei die großen Steuerstäbe (**76**) und die Vielzahl der Brennstabbündel (**36**) eine Vielzahl von Brennstabzellen (**86**) festlegen, jede der Brennstabzellen einen großen Steuerstab und vier Brennstabbündel in jedem der Aufnahmekanäle (**86**) des großen Steuerstabs aufweist, eine Vielzahl von Brennstabzellen, so angeordnet, dass die Steuerstäbe ein Muster zueinander versetzter Reihen (**96**) bilden, wobei jede Seite (**92**) eines jeden Brennstabbündels an einen Steuerstabschenkel (**82**) angrenzt und im Wesentlichen parallel dazu ist.

3. Reaktorkern (**22**) gemäß Anspruch 1, wobei jeder Aufnahmekanal (**60**) vier Brennstabbündel (**36**) enthält.

4. Reaktorkern (**22**) gemäß Anspruch 1, wobei die vier Schenkel vier Quadranten (**100, 102, 104, 106**) festlegen.

5. Reaktorkern (**22**) gemäß Anspruch 4, wobei jeder der Brennstabzellen-Quadranten (**100, 102, 104, 106**) vier Brennstabbündel (**36**) aufweist.

6. Reaktorkern (**22**) gemäß Anspruch 1 oder 4, weiterhin aufweisend eine obere Führung (**52**) mit einer Vielzahl von oberen Führungsstreben, angeordnet, um eine Vielzahl von Öffnungen festzulegen.

7. Kern (**22**) gemäß Anspruch 6, weiterhin aufweisend eine von der oberen Führung (**52**) beabstandete Reaktorkern-Platte (**50**), wobei sich die Brennstabbündel zwischen der oberen Führung und der Kern-Platte erstrecken.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG.1

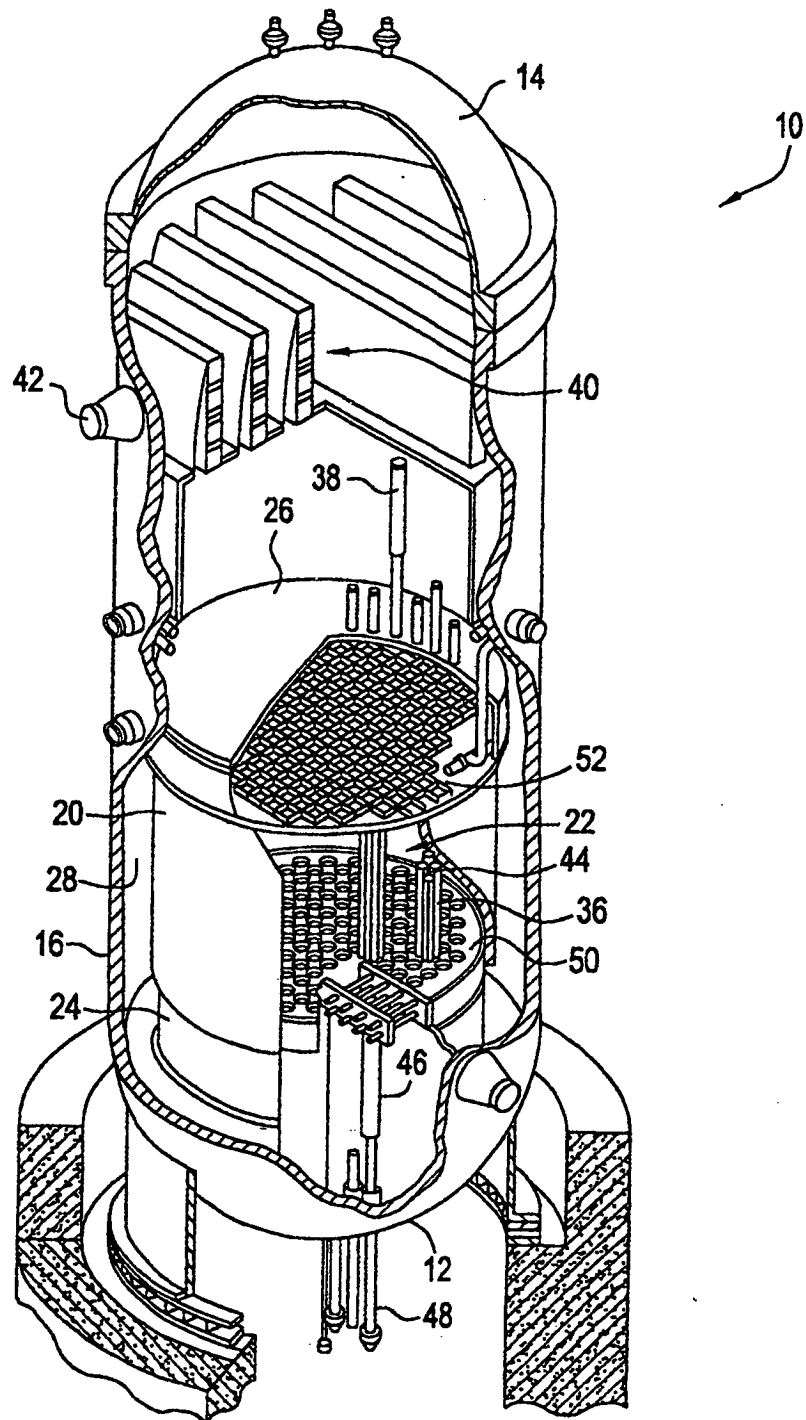


FIG.4

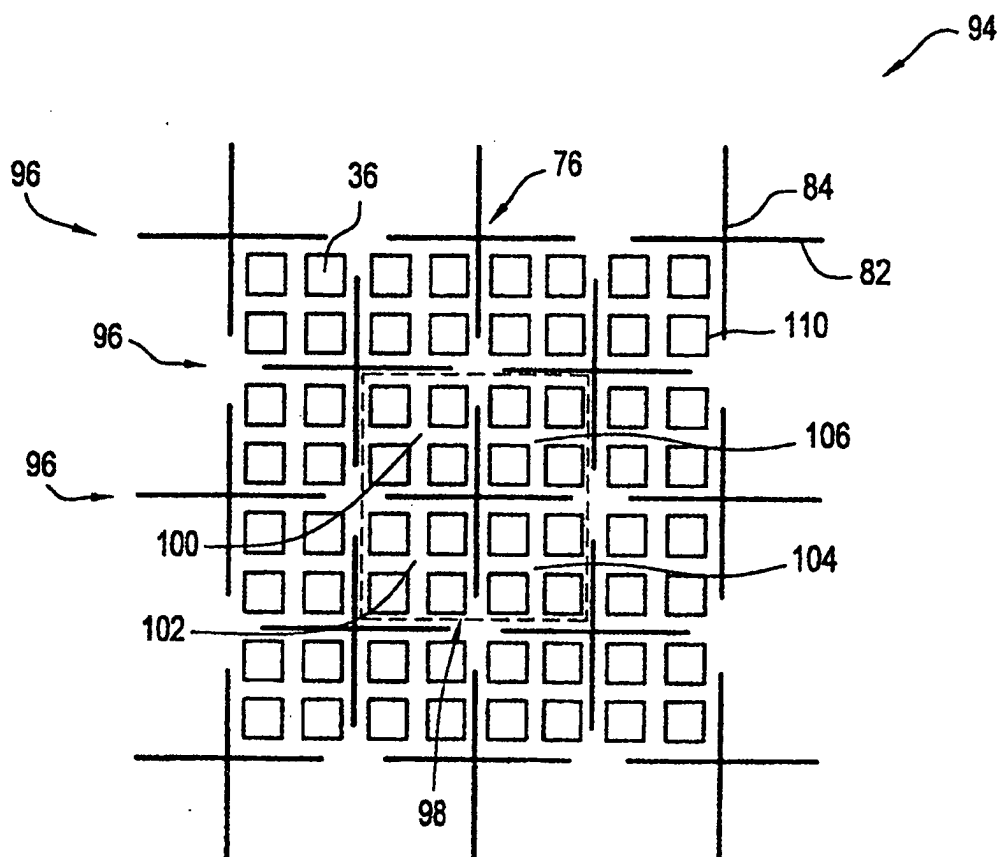


FIG.5

