



(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 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] Diese Erfindung betrifft allgemein Kernreaktoren und insbesondere Brennstabbundles- 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 befestigt. 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 Brennstabbundles 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 Brennstabbundles, die unterschiedliche Charakteristika aufweisen. Solche Bündel werden vorzugsweise innerhalb des Reaktorkerns so angeordnet, dass die Wechselwirkung zwischen den Brennstabbundles 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 Brennstabbundles befüllt. Um den Energiezyklus des Reaktorkerns zu optimieren, können

die Brennstabbundles mit der höheren Reaktivität an einer inneren Reaktorkern-Position positioniert werden. Um manche Aufbaubedingungen zu erfüllen, werden jedoch die Brennstabbundles mit der höheren Reaktivität im Allgemeinen an einer äußeren Position des Reaktorkerns positioniert. Die am weitesten verbrauchten Brennstabbundles, 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 Brennstabbundle 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 Brennstabbundles, die in einer K-Gitter-Konfiguration angeordnet sind. Jedes Brennstabbundle in solch einem Reaktor ist wesentlich größer als ein Brennstabbundle von herkömmlicher Größe, und zeigt den zweifachen Abstand, verglichen mit einer herkömmlichen BWR-Brennstab-Anordnung. Die größeren Brennstabbundles 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 beschrieben, wobei:

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

[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 Siedewasserreaktors. 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 obere 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 Brennstabbundles **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 Brennstabbundle **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 Brennstabbundles **36** werden durch eine am Grund des Reaktorkerns **22** angeordnete Kern-Platte **50** ausgerichtet. Eine obere Führung **52** richtet die Brennstabbundles **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 Brennstabbundles **36** haben einen im Wesentlichen quadratischen Querschnitt. In alternativen Ausführungsformen können die Brennstabbundles einen rechteckigen oder anderen polygonalen Querschnitt aufweisen.

[0030] [Fig. 2](#) ist eine schematische Aufsicht einer herkömmlichen Anordnung **54** von Steuerstäben **44** und Brennstabbundles **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 Brennstabbundle-Aufnahmekanäle **60** um den Steuerstab **44** herum fest. Jeder Aufnahmekanal **60** ist so bemessen, dass er ein Brennstabbundle **36** aufnimmt. Herkömmliche Anordnungen **54** weisen in geraden Reihen **62**, zwischen den Brennstabbundles **36**, angeordnete Steuerstäbe **44** auf. Diese Anordnung ist als eine Quadrat-Teilung bekannt. Die Anordnung **54** beinhaltet vier Brennstabbundles, die jeden Steuerstab **44** umgeben, wobei jedes Brennstabbundle **36** in einem Brennstabbundle-Aufnahmekanal **60** positioniert ist.

[0031] Ein Steuerstab **44** und vier umgebende Brennstabbundles **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 Brennstabbundle **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 großen, jeden großen Steuerstab **76** umgebenden, Brennstabbundles **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 Brennstabbundle-Aufnahmekanäle **86** fest. Jedes große Brennstabbundle **80** ist in einem Brennstabbundle-Aufnahmekanal **86** so positioniert, dass jeder Aufnahmekanal **86** ein großes Brennstabbundle **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 Brennstab**bündel** **80** weist die 1,5- bis 2,0 fache Breite eines herkömmlichen, in [Fig. 2](#) gezeigten Brennstab**bündels** **36** auf. Große Steuerstäbe **76** und große Brennstab**bündel** **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 Brennstab**bündel** **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 Brennstab**bündels** **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 Brennstab**bündel** **80** größer als bei einem mit Brennstab**bündeln** **36** herkömmlicher Größe beladenen Reaktorkern. Während dieser vergrößerte Abstand wünschenswert ist, verhindern große Brennstab**bündel** **80** im Wesentlichen die Durchführung der Einbringung von Unter**bündeln**, was oft wünschenswert ist. Weiterhin erfordern große Brennstab**bündel** **80** größere Bündelkanäle als Brennstab**bündel** **36** der Standardgröße, und solche größeren Bündelkanäle sind teuer, bringen mehr Störmaterial 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 Brennstab**bündeln** **36** verbundenen, oben identifizierten, Probleme zu erleiden, werden im Reaktorkern **22** im Wesentlichen Brennstab**bündel** **36** der Standardgröße und große Steuerstäbe **76** verwendet. Insbesondere der Reaktorkern **22** des Kernreaktors beinhaltet große Steuerstäbe **76** und Brennstab**bündel** **36** herkömmlicher Größe. Jeder große Steuerstab **76** ist dazu eingerichtet, um die Vergiftungssteuerung für 16 Brennstab**bündel** **36** mit herkömmlicher Größe zu bewirken. Brennstab**anordnungen** **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 Brennstab**bündeln** **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 Brennstab**bündel** **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 Brennstab**bündel** **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 Brennstab**bündel**-Aufnahmekanäle **86**, um den großen Steuerstab **76** herum. Jeder aufnehmende Kanal enthält vier Brennstab**bündel** **36**. In alternativen Ausführungsformen kann die F-Gitter-Anordnung weniger oder mehr als vier Brennstab**bündel** **36** in jedem Brennstab**bündel**-Aufnahmekanal **86** aufweisen.

[0038] [Fig. 5](#) ist eine schematische, detailliertere Aufsicht von einer Brennstabzelle **98** mit sechzehn Brennstab**bündeln** **36** der Standardgröße, welche einen großen Steuerstab **76** umgeben. Jedes Brennstab**bündel** **36** beinhaltet einen Bügel **108**, der sich von seinen oberen Enden **110** aus erstreckt. Die Brennstab**bündel** **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 Brennstab**bündeln** **36**. Jede Gruppe **112**, **114**, **116** und **118** ist auch innerhalb des entsprechenden Brennstab**bündel**-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 **89** lokalisierten Steuerstabs **76** und zwei Schenkel **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 Brennstab**bündel** **36** gekoppelt, um jedes Brennstab**bündel** **36** wesentlich vom angrenzenden Brennstab**bündel** **36** zu beabstand. Zusätzlich werden Federn- und Sicherungsvorrichtungen **122** an die Brennstab**bündel** **36** gekoppelt, um die Abstützung der Brennstab**bündel** **36** in den Bündel-Aufnahmekanälen **86** zu erleichtern. Unter Bezugnahme allein auf die Gruppe **112** der Brennstab**bündel** **36** werden z. B. vier Feder- und Sicherungsvorrichtungen **122** im Wesentlichen innerhalb der Gruppe **112** zentriert und mit

den angrenzenden Ecken **124** der entsprechenden Brennstab**bündel** **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 Brennstab**bündeln** **36** der Standardgröße, ohne die Notwendigkeit zur Umgestaltung der Brennstab**bündel**-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 Brennstab**bündeln** (**36**), wobei jedes der einzelnen unabhängigen Brennstab**bündel** einen Bügel (**108**) aufweist, um das Absenken der Brennstab**anordnung** 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 Brennstab**bündel** bilden, die großen Steuerstäbe in einer Vielzahl von Reihen versetzt zueinander angeordnet sind mit mehr als einem Brennstab**bündel** in jedem Aufnahmekanal, und wobei zwei Seiten eines jeden der vier einzelnen, voneinander unabhängigen, Brennstab**bündel** an einen Steuerstabschenkel angrenzen.

2. Reaktorkern (**22**) gemäß Anspruch 1, wobei die großen Steuerstäbe (**76**) und die Vielzahl der Brennstab**bündel** (**36**) eine Vielzahl von Brennstabzellen (**86**) festlegen, jede der Brennstabzellen einen großen Steuerstab und vier Brennstab**bündel** 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 Brennstab**bündels** an einen Steuerstabschenkel (**82**) angrenzt und im Wesentlichen parallel dazu ist.

3. Reaktorkern (**22**) gemäß Anspruch 1, wobei jeder Aufnahmekanal (**60**) vier Brennstab**bündel** (**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 Brennstab**bündel** (**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 Brennstab**bündel** zwischen der oberen Führung und der Kern-Platte erstrecken.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG.1

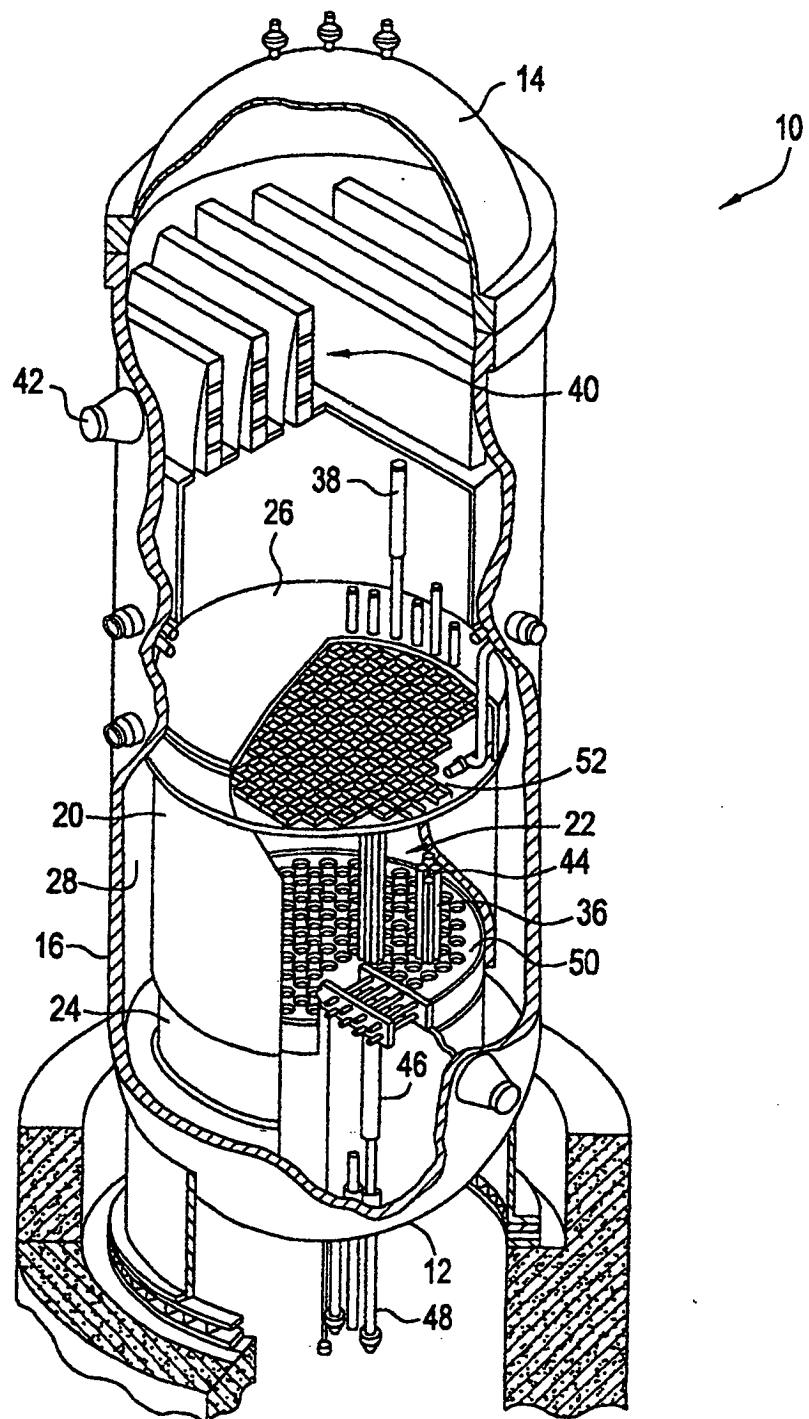


FIG.2

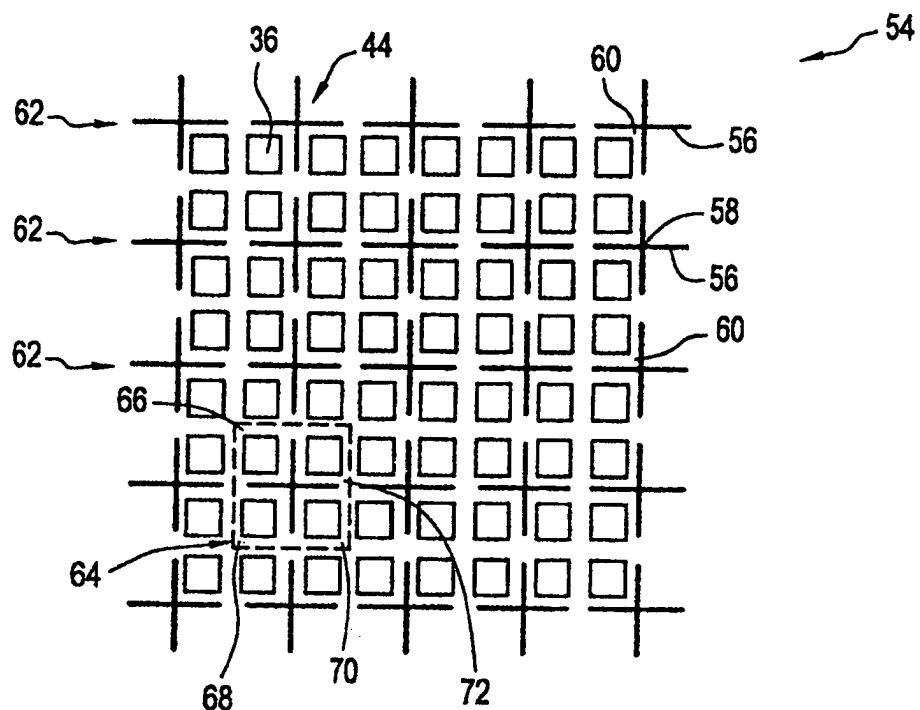


FIG.3

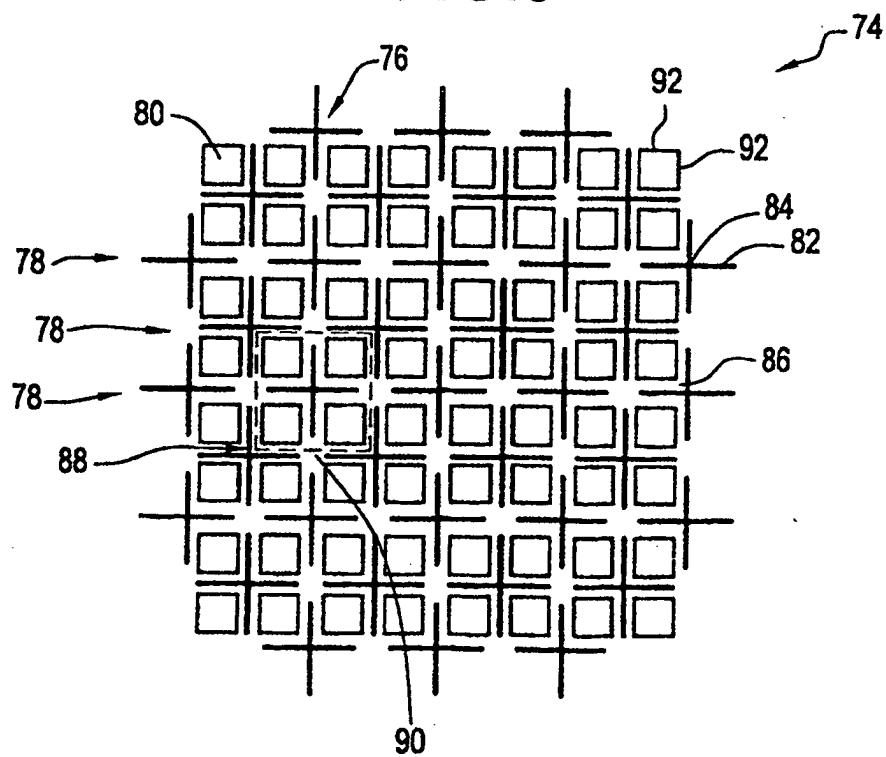


FIG.4

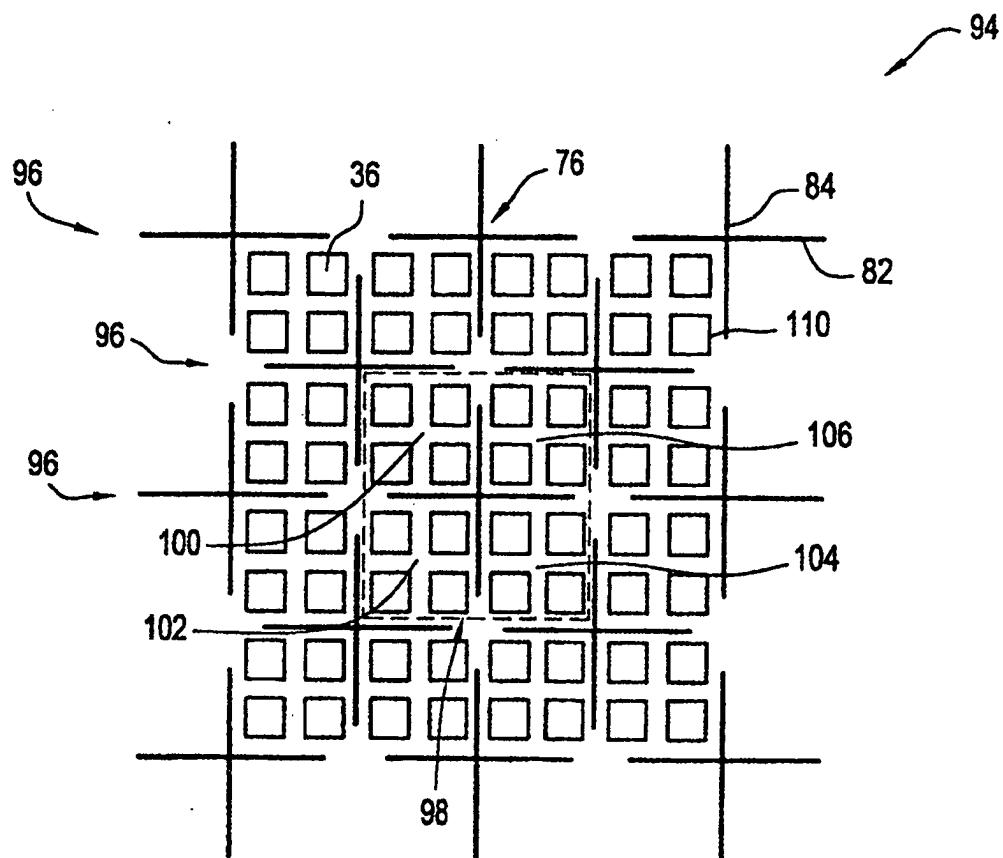


FIG.5

