



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 669 276 A5

⑤① Int. Cl. 4: G 21 C 7/10

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑫① Gesuchsnummer: 3173/85

⑫② Anmeldungsdatum: 22.07.1985

⑫③ Priorität(en): 03.08.1984 US 637183

⑫④ Patent erteilt: 28.02.1989

⑫⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 28.02.1989

⑦③ Inhaber:
Westinghouse Electric Corporation,
Pittsburgh/PA (US)

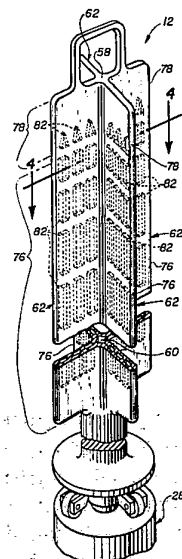
⑦② Erfinder:
Wilson, John Francis, Murrysville/PA (US)
Doshi, Pratap K., Murrysville/PA (US)

⑦④ Vertreter:
A. Braun, Braun, Héritier, Eschmann AG,
Patentanwälte, Basel

⑤④ **Steuerstabvorrichtung für Siedewasserreaktoren.**

⑤⑦ Die Steuerstabvorrichtung weist einen langgestreckten mittigen Schaft (58) auf, in dessen Innerem eine ebenfalls langgestreckte mittige Gassammelkammer (60) gebildet ist. Vom Schaft (58) gehen vier paarweise in zueinander orthogonalen Ebenen angeordnete Rippen (62) aus, die über den Schaft miteinander verbunden sind und von diesem radial wegragen. Dadurch besitzt der Steuerstab eine kreuzartige Querschnittsform. In jeder Rippe (62) ist eine Anzahl von inneren Kammern zur Aufnahme von Tabletten (82) aus neutronenabsorbierendem Material gebildet, die in Form von in Rippenlängsrichtung verlaufenden Säulen und in Richtung der Rippenbreite verlaufenden Reihen angeordnet sind. Die Kammern sind durch Verbindungskanäle mit der Gassammelkammer (60) verbunden, so dass aufgrund der Bestrahlung der Tabletten entstehende Gase in die Gas-Sammelkammer (60) entweichen können. Ausserdem sind die Kammern und die darin befindlichen Tabletten (82) so angeordnet, dass jede Rippe (62) einen längeren Hauptabschnitt (76) mit konstantem Absorptionswert und einen kürzeren oberen Endabschnitt (78) mit reduziertem Absorptionswert aufweist. Dieser

obere Endabschnitt (78) stellt beim Einschieben des Steuerstabs in die Brennelemente das führende Steuerstabende dar.



PATENTANSPRÜCHE

1. Steuerstabbvorrichtung für Siedewasserreaktoren, mit einem langgestreckten mittigen Schaft und mit einer Anzahl von Rippen, die mit dem Schaft verbunden sind und von diesem radial wegragen, dadurch gekennzeichnet, dass im Inneren des Schaftes (58) eine ebenfalls langgestreckte mittige Gassammelkammer (60) gebildet ist und in jeder Rippe (62) eine Anzahl von inneren Kammern (80) vorhanden ist, welche eine Vielzahl von Tabletten (82) aus neutronenabsorbierendem Material enthalten, und dass Verbindungskanäle (84) jede der in den Rippen gebildeten Kammern (80) mit der mittigen Gassammelkammer (60) verbinden, so dass durch Bestrahlung der Tabletten (82) entstehende Gase aus den Kammern (80) in die Gassammelkammer (60) entweichen können.

2. Steuerstabbvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kammern (80) in Form von entlang der Rippenlänge verlaufenden Säulen und von entlang der Rippenbreite verlaufenden Reihe in den Rippen (62) angeordnet sind und dass die Kammern (80) mit Bezug auf die darin enthaltenen Tabletten (82) jeweils Übergrösse haben.

3. Steuerstabbvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Tabletten (82) im Hauptabschnitt (76) jeder Rippe (62) so angeordnet sind, dass dieser Hauptabschnitt über seine ganze Länge einen konstanten Absorptionswert aufweist, und dass die Tabletten (89, 91, 93, 95, 97) im oberen Endabschnitt (78) jeder Rippe (62) so angeordnet sind, dass dieser kürzere Endabschnitt einen reduzierten Absorptionswert aufweist.

4. Steuerstabbvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die den oberen Endabschnitt (78) jeder Rippe (62) mit reduziertem Absorptionswert bildenden Tabletten (89) als dreieckförmige Tabletten mit zum oberen Rippenende hin abnehmender Neutronenabsorptionsfähigkeit ausgebildet sind.

5. Steuerstabbvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die den oberen Endabschnitt jeder Rippe mit reduziertem Absorptionswert bildenden Tabletten (97) als jeweils etwa gleiche, aber zum oberen Rippenende hin mit zunehmend grösseren gegenseitigen Abständen angeordnete Tabletten ausgebildet sind.

6. Steuerstabbvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die den oberen Endabschnitt jeder Rippe mit reduziertem Absorptionswert bildenden Tabletten (93) eine geringere Breite als die Tabletten (82) im Hauptabschnitt jeder Rippe haben.

7. Steuerstabbvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die den oberen Endabschnitt jeder Rippe mit reduziertem Absorptionswert bildenden Tabletten in Form von nebeneinander stehenden Säulen angeordnet sind, wobei jede dieser Säulen zusätzlich zu den Tabletten aus neutronenabsorbierendem Material Tabletten aus neutralem Material enthält.

8. Steuerstabbvorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Tabletten aus neutralem Material und die Tabletten aus neutronenabsorbierendem Material in den Tabletten Säulen miteinander abwechselnd angeordnet sind.

9. Steuerstabbvorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Tabletten aus neutralem Material zum oberen Rippenende hin eine zunehmend grössere Länge haben.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft eine Steuerstabbvorrichtung für Siedewasserreaktoren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Es ist allgemeine Praxis, bei Kernreaktoren des Siedewasserreaktortyps die Leistungsabgabe und die Leistungsverteilung im Reaktorkern mit Hilfe von Steuerstäben zu steuern, die vom Boden des Reaktors her in die Brennelemente des Reaktorkerns

einschiebbar bzw. aus diesen herausziehbar sind. Bei einem Siedewasserreaktor enthalten die Brennelemente jeweils eine Mehrzahl von Brennstäben. Jeder Brennstab enthält den Kernbrennstoff in Form eines Stapels gesinterter Brennstofftabletten, die stirnseitig aneinanderstossend in einem langgestreckten Hüllrohr untergebracht sind, das an seinen beiden Enden verschlossen ist. Die Brennelemente sind typischerweise in Gruppen zu je vier Brennelementen angeordnet, wobei jeder Vierergruppe von Brennelementen ein Steuerstab zugeordnet ist. Bei einer bekannten Konstruktion, wie sie beispielsweise in der US-PS 4 285 769 dargestellt ist, hat der Steuerstab eine kreuzartige Querschnittsform mit vier Rippen. Wenn der Steuerstab in die Brennelementengruppe eingeschoben ist, befinden sich seine Rippen in den Zwischenräumen zwischen den benachbarten Brennelementen. Jede solche Gruppe von vier Brennelementen, die um einen Steuerstab herum angeordnet sind, wird gewöhnlich als eine Brennzelle des Reaktorkerns bezeichnet.

Bei den im Querschnitt kreuzförmigen Steuerstäben für Siedewasserreaktoren wird gewöhnlich Borkarbidpulver als Neutronenabsorptionsmaterial verwendet. Dieses Pulver wird vibrationsverdichtet in Rohren kleinen Durchmessers aus rostfreiem Stahl untergebracht, die in kreuzförmiger Anordnung mittels aus rostfreiem Stahl bestehender Umhüllungen der Steuerstabbrippen gehalten sind. Im Betrieb können die Steuerstäbe mittels eines hydraulischen Antriebsmechanismus schrittweise vertikal nach unten bewegt werden, beispielsweise mit Schrittlängen von jeweils etwa 15 cm, um die Reaktorleistung zu erhöhen.

Steuerstäbe dieses bekannten Aufbaus zeigen zwei nachteilige Erscheinungen, nämlich erstens die Neigung zur Spannungsrisskorrosion des rostfreien Stahls, und zweitens das Hervorrufen einer Tabletten-Hüllrohr-Einwirkung der Brennstäbe. Die Spannungsrisskorrosion entsteht aufgrund der verhältnismässig hohen Zugspannungen in den aus rostfreiem Stahl bestehenden, das Borkarbidpulver enthaltenden Rohren. Diese Zugspannungen entstehen aufgrund mehrerer Umstände, nämlich erstens durch die Verfestigung des vibrationsverdichteten Borkarbidpulvers, zweitens durch einen Innendruckanstieg in den Rohren aufgrund bestrahlungsbedingter Heliumerzeugung, und drittens durch bestrahlungsbedingtes Anschwellen des Pulvers. Die Spannungsrisskorrosion führt häufig zu aufgeplatzten Rohren, wobei Borkarbidpulver aus den Steuerstäben austritt. Die Tabletten-Hüllrohr-Einwirkung wird durch einen Leistungserhöhungsschritt in den Brennstofftabletten innerhalb ihrer Hüllrohre nahe der Spitze des Steuerstabes verursacht. Diese Tabletten-Hüllrohr-Einwirkung führt oftmals zu Perforationen der Brennstabhülle. An eckständigen Brennstäben kann in der Steuerstabspitze benachbarten Bereich eine Leistungssteigerung von bis zu 150 % erwartet werden. Dieser plötzliche Anstieg der Tablettenleistung führt zu einem Anstieg der Tablettemperatur, wodurch die Tablette sich radial auswärts in Anlage an die Brennstabhülle ausdehnt. Die sich daraus ergebende mechanische Spannung in der Brennstabhülle zusammen mit einem chemischen Angriff auf die Innenseite der Brennstabhülle führt zur Tabletten-Hüllrohr-Einwirkung.

Eine Möglichkeit zur Abschwächung des Problems der Tabletten-Hüllrohr-Einwirkung besteht in der Beschränkung der Steuerstabsverschiebung bei hoher Reaktorleistung. Die Leistung wird dann durch Strömungssteuerung verringert, bevor die Steuerstäbe verschoben werden können. Eine zweite Möglichkeit besteht in der Auskleidung der Innenwandung der Brennstäbe mit einem Material, das eine Tabletten-Hüllrohr-Einwirkung verhindert. Beide Möglichkeiten sind jedoch sowohl hinsichtlich der Reaktorverfügbarkeit als auch hinsichtlich der Brennstoffherstellungskosten kostspielig.

Die bei den Steuerstäben nach den oben erwähnten Patent vorgeschlagene Lösung zur Abschwächung des Problems der Tabletten-Hüllrohr-Einwirkung besteht darin, eine «graue Spitze» am Ende der Steuerstäbe vorzusehen, indem die das Bor-

karbidpulver enthaltenden vertikalen Röhren an den äusseren Enden der Brennstabrippen mit kürzeren Längen ausgeführt oder indem an den Spitzen der Rippen kurze, aus Hafnium bestehende Abschnitte verwendet werden. Infolgedessen ist die graue Spitze aus Absorptionsmaterial voller Länge in der Mitte des kreuzförmigen Steuerstabs und aus zu den äusseren Enden der Rippen hin fortschreitend kürzeren Längen des Absorptionsmaterials zusammengesetzt. Jedoch kann diese Ausbildung aus der Sicht eines einzelnen Brennstabs heraus nicht als graue Spitze angesehen werden. Wenn der Steuerstab verschoben wird, erfahren die Tabletten in den eckständigen Brennstäben der Brennelemente nach wie vor den gleichen grossen Reaktivitätsänderungssprung (d.h. Neutronenflusssprung) wie bei einem Standardsteuerstab, da die Absorptionsrohre im Mittenbereich des Steuerstabs den gleichen Durchmesser haben und bis zu ihrem Ende mit Absorptionsmaterial gefüllt sind. Da im Hinblick auf das Problem der Tabletten-Hüllrohr-Einwirkung die eckständigen Brennstäbe die kritischen Brennstäbe der Brennelemente darstellen, kann die nach dem oben erwähnten Patent vorgeschlagene Konstruktion hinsichtlich dieses Problems keine Verbesserung bringen. Bei dieser bekannten Konstruktion treten auch die Zugspannungen auf, die durch den Aufbau eines Heliumgasdruckes aufgrund der Absorption von Neutronen durch die Boratome und durch das Anschwellen des Bors infolge der gleichen Einwirkung verursacht werden. Dadurch kann Borkarbid aus dem Steuerstab austreten und dessen Standzeit verkürzen.

Infolgedessen liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Steuerstabsvorrichtung der eingangs erläuterten Gattung im Hinblick auf die Bewältigung des Problems der Spannungsrissskorrosion und auch des Problems der Tabletten-Hüllrohr-Einwirkung zu verbessern.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird gemäss der Erfindung eine Steuerstabsvorrichtung für Siedewasserreaktoren der eingangs erwähnten Art vorgeschlagen, die dadurch gekennzeichnet ist, dass im Inneren des Schaftes eine ebenfalls langgestreckte mittige Gaskammer gebildet ist und in jeder Rippe eine Anzahl von inneren Kammern vorhanden ist, welche eine Vielzahl von Tabletten aus neutronenabsorbierendem Material enthalten, und dass Verbindungskanäle jede der in den Rippen gebildeten Kammern mit der mittigen Gassammelkammer verbinden, so dass durch Bestrahlung der Tabletten entstehende Gase aus den Kammern in die Gassammelkammer entweichen können.

Bei der erfindungsgemässen Steuerstabsvorrichtung kann Borkarbid in Tablettenform in den Steuerstabskammern untergebracht werden, die zweckmässig mit Übermass ausgebildet sind, um ein bestrahlungsbedingtes Anschwellen des Bors zu ermöglichen. Eine Tabletten-Hüllrohr-Einwirkung kann durch Verringerung der Grösse der Stufenänderung der Tablettenleistung bei einer Steuerstabverschiebung abgeschwächt werden. Die Anordnung des Absorptionsmaterials im Bereich der Spitze des Steuerstabs ergibt eine allmähliche Änderung des Neutronenflusses in jedem Brennstab nahe der Spitze des Steuerstabs anstatt einer abrupten Änderung, wie sie bei der oben erläuterten herkömmlichen Konstruktion in den Brennstäben hervorgehoben wird. Bei einer Steuerstabverschiebung kann also jede Brennstofftablette eine stark verringerte Stufenänderung der Leistung erfahren. Dadurch kann auch die Temperaturänderung in den Tabletten verringert werden, was wiederum die Grösse der bei der Steuerstabverschiebung auftretenden mechanischen Hüllrohrbeanspruchung verringert. Diese Verringerung der mechanischen Spannung vermindert die Möglichkeit einer Tabletten-Hüllrohr-Einwirkung wesentlich.

Vorzugsweise enthält jede der Rippen eine Anzahl von inneren Kammern, die in Form von entlang der Rippenlänge verlaufenden Säulen und entlang der Rippenbreite verlaufenden Reihen angeordnet sind. Zweckmässig liegt das neutronenabsorbierende Material in Form einer Vielzahl von Tabletten aus neu-

tronenabsorbierendem Material vor, die jeweils in einer der Kammern angeordnet sind und mit Bezug auf die Kammergrösse Untermass haben. Ausserdem können die Tabletten in dem einen verringerten Absorptionswert aufweisenden Abschnitt der Rippe im Bereich der Steuerstabspitze eine Vielfalt möglicher Konfigurationen haben, um den gewünschten Gradienten zu erzeugen. Bei einer Ausführungsform ist der Abschnitt mit verringertem Absorptionswert mit einer Anordnung von dreieckförmigen Tabletten ausgebildet. Bei einer anderen Ausführungsform weisen die Tabletten im Spitzenbereich der Rippen grosse Abstände auf und die Abstände verringern sich allmählich, um die gewünschten Gradienten zu erhalten. Wenn anstelle eines allmählich veränderten Gradienten eine stufenförmige Änderung gewünscht wird, können im Spitzenbereich der Rippen Tabletten mit geringerer Breite als in dem Bereich mit konstantem Absorptionswert angeordnet werden. Auch andere Variationen sind noch möglich.

Die Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen anhang eines bevorzugten Ausführungsbeispiels im einzelnen beschrieben. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 in schematischer Darstellung einen Siedewasserreaktor mit einer Steuerstabsvorrichtung nach der Erfindung,

Fig. 2 in vergrösserter Darstellung einen Querschnitt in der Ebene 2-2 in Fig. 1 durch eine Brennstoffzelle des Reaktorkerns mit einem mit der Erfindung verwendbaren Steuerstab,

Fig. 3 einen mit der Erfindung verwendbaren Steuerstab mit dem zugehörigen Antriebsmechanismus in perspektivischer Darstellung,

Fig. 4 in vergrösserter Darstellung einen Querschnitt durch den Steuerstab in der Ebene 4-4 in Fig. 3,

Fig. 5 in kleinerem Massstab einen Längsschnitt durch den oberen Endabschnitt des Steuerstabs mit reduziertem Absorptionswert, in der Ebene 5-5 in Fig. 4, und

Fig. 6 bis 9 Längsschnittdarstellungen ähnlich Fig. 5, jedoch von alternativen Ausführungsmöglichkeiten des oberen Endabschnitts des Steuerstabs mit reduziertem Absorptionswert.

Fig. 1 der Zeichnungen zeigt in vereinfachter schematischer Form einen Siedewasserreaktor 10, in welchem eine Anzahl von Steuerstäben 12 nach der Erfindung Anwendung findet. Der Siedewasserreaktor 10 weist in üblicher Weise einen Druckbehälter 14 auf, der einen in einem Moderator-Kühlmittel wie beispielsweise Leichtwasser eingetauchten Reaktorkern 16 enthält. Der Reaktorkern 16, der von einem ringförmigen Mantel 18 umschlossen ist, enthält eine Vielzahl von austauschbaren Brennelementen 20, die mit gegenseitigen Abständen zwischen einem oberen Kernhaltgitter 22 und einer unteren Kerntragplatte 24 angeordnet sind.

Unterhalb des Reaktorkern 16 ist eine Anzahl von Antriebsgehäuseröhren 26 mit den Brennelementen 20 fluchtend angeordnet. Diese Gehäuseröhre 26 nehmen Steuerstabantriebsmechanismen 28 (Fig. 3) auf, durch deren Betätigung die Steuerstäbe 12 wahlweise von unten her zwischen die Brennelemente 20 einschiebbar sind, um die Reaktivität des Reaktorkerns zu steuern. Jedes der Gehäuseröhre 26 ist mit einem Brennelemententragteil 30 versehen. Diese Tragteile 30 sind mit Aufnahmesockeln 32 zur Aufnahme von Positioniernasen 34 von jeweils 4 benachbarten Brennelementen 20 ausgebildet. Die Tragteile 30 mit den Aufnahmesockeln 32 sind mit Kühlmitteldurchtrittsöffnungen versehen, die mit einer unterhalb des Reaktorkerns 16 im Druckbehälter 14 gebildeten Kühlmittelspeisekammer 36 in Verbindung stehen.

Eine Kühlmittelumwälzpumpe 38 setzt das Kühlmittel in der Speisekammer 36 unter Druck, so dass das Kühlmittel aus der Speisekammer durch die Durchtrittsöffnungen in den Tragteilen 30 und Aufnahmesockeln 32 hindurch nach oben gedrückt wird. Das Kühlmittel wird dann durch Öffnungen in den Positioniernasen 34 der Brennelemente 20 hindurch und von da aus

nach oben durch die Brennelemente hindurch gedrängt. Ein Teil des Kühlmittels fließt zur Umwälzpumpe zurück, während ein anderer Teil des Kühlmittels in Dampf umgewandelt wird, der durch eine Tropfenabschneider-Trockner-Anordnung 40 hindurchpassiert, die nur im Umriss gestrichelt angedeutet ist. Sodann gelangt der Dampf zu einem Verbraucher, beispielsweise zu einer Turbine 42. Das Kondensat, das sich in einem der Turbine 42 zugeordneten Kondensator 44 bildet, wird mittels einer Pumpe 46 als Speisewasser in den Druckbehälter 14 zurückgeleitet.

Jeder der Steuerstäbe 12 bildet zusammen mit einer Gruppe von vier ihn umgebenden Brennelementen 20 eine Brennzelle 48 des Reaktorkerns 16. Eine dieser Zellen 48 ist in Fig. 2 dargestellt, wonach die vier einen Steuerstab 12 umgebenden Brennelemente 20 an ihren oberen Enden mittels einander kreuzender und ineinandergreifender Gitterstäbe 50 und 52 des oberen Kernhaltgitters 22 seitlich abgestützt sind. Die Brennelemente 20 sind bekanntermassen jeweils durch eine Anzahl von langgestreckten Brennstäben 54 gebildet, die mit gegenseitigen Abständen nebeneinander angeordnet und zwischen nicht dargestellten oberen und unteren Halteplatten gehalten sind. Die Brennstäbe 54 jedes Brennelementes 20 sind von einem rohrförmigen Mantel 56 umschlossen, der als Strömungskanal für das Kühlmittel 10 dient und dieses zwischen den Brennstäben hindurch nach oben leiten.

Mit Ausnahme der verbesserten Steuerstäbe, die nachstehend noch im einzelnen beschrieben werden, sind die oben beschriebenen grundsätzlichen Komponenten des Siedewasserreaktors 10 an sich bekannt, beispielsweise aus der oben erwähnten US-PS 4 285 769 und darin erwähnten früheren Patenten.

Nunmehr wird auf die Fig. 3 und 4 sowie auf Fig. 2 Bezug genommen, anhand derer nachstehend diejenigen Teile des verbesserten Steuerstabes 12 beschrieben werden, die sich von der herkömmlichen Steuerstabbauart nach dem oben erwähnten Patent unterscheiden. Der verbesserte Steuerstab 12 weist einen langgestreckten Schaft 58, der in seinem Inneren eine ebenfalls längs verlaufende mittige Gassammelkammer 60 enthält, und eine Anzahl, nämlich vorzugsweise vier Rippen 62 auf, die mit dem Schaft verbunden sind und von diesem aus radial wegragen. Diese vier Rippen sind paarweise in zwei zueinander orthogonalen Ebenen gelegen. Auf diese Weise ergeben die vier Rippen 62 die kreuzartige Querschnittsform des Steuerstabs 12.

Bei einem Ausführungsbeispiel sind die Rippen 62 und der Schaft 58 aus vier rechtwinklig abgebogen geformten Platten hergestellt, die mittels Umfangsschweissnähten 66, Stopfenschweissungen 68 und Stiften 70 mit Endschweissungen 72 miteinander verbunden sind. Die Platten 64 sind in ihren einander zugewandten Flächen jeweils mit einer Anzahl von Vertiefungen 74 versehen, deren Zweck nachstehend erläutert wird.

Jede Rippe 62 kann als aus einem langgestreckten Hauptteil 76 und einem oberen Endteil 78 bestehend angesehen werden. Die oberen Endteile 78 der Rippen stellen beim Einschieben des Steuerstabs in den Zwischenraum zwischen den benachbarten Brennelementen 20 (Fig. 2) das führende Ende der Rippen dar, wenn der Brennstab 12 in eine Brennzelle 48 hineingeschoben wird. Die Vertiefungen 74 in den einander zugewandten Flächen 75 der Platten 64 bilden zusammen in jeder der Rippen 62 eine Anzahl von inneren Kammern 80, die in Form von entlang der Rippenlänge verlaufenden Säulen und entlang der Rippenbreite verlaufenden Reihen angeordnet sind. In jeder dieser Kammern 80 ist neutronenabsorbierendes Material in Form einer Tablette 82 angeordnet. Die Tabletten 82 haben jeweils Untermass mit Bezug auf die Grösse der betreffenden Kammer 80, so dass noch genügend Spielraum verbleibt, um das Anschwellen der Tabletten aufgrund von Temperaturerhöhungen während Verschiebungen des Steuerstabs in der Brennzelle 48 zu berücksichtigen. Ausserdem ist jede der Kammer 80 durch

einen inneren Verbindungskanal 84 in der betreffenden Rippe 62 mit der im Schaft 58 gebildeten mittigen Gassammelkammer verbunden. Wenn die Tabletten 82, die beispielsweise aus Borharbid bestehen, Neutronen absorbieren und infolgedessen Heliumgas erzeugen, kann das Gas also in die Gassammelkammer 60 entweichen.

Ein Teil der Tabletten 32 in jeder Rippe 62 sind so angeordnet und ausgebildet, dass sie einen längeren Abschnitt mit konstantem Absorptionswert bilden, der etwa der Ausdehnung des Hauptteils 76 jeder Rippe entspricht. Die Tabletten 82 in diesem Abschnitt konstanten Absorptionswerts haben eine etwa gleichbleibende Neutronenabsorptionsfähigkeit und halten daher einen etwa gleichförmigen Pegel der Reaktivitätsleistung in den benachbarten Brennstäben 54 der Brennelemente 20 aufrecht, während die Hauptteile 76 der Rippen 62 sich beim Einschieben des Steuerstabs 12 in die betreffende Gruppe von Brennelementen 20 an den Brennstäben vortriebbewegen. Ein anderer Teil der Tabletten 82 in jeder Rippe 62 sind jedoch so angeordnet und ausgebildet, dass sie einen kürzeren Abschnitt mit verringerten Absorptionswert bilden, der in seiner Ausdehnung etwa dem Endteil 78 jeder Rippe entspricht. Die Tabletten 82 in dem Abschnitt verringerten Absorptionswertes haben eine allmählich abnehmende Neutronenabsorptionsfähigkeit zum oberen Ende 86 jeder Rippe 62 hin und erzeugen daher eine allmähliche Änderung bzw. einen Gradienten der Reaktivitätsleistung in jedem Brennstab 54 in dessen den Rippenendabschnitten 78 des Steuerstabs benachbarten Bereichen, wenn diese Rippenendabschnitte sich beim Einschieben des Steuerstabs 12 in die betreffende Gruppe des Brennelementes 20 an den Brennstäben vorbeibewegen.

Die Fig. 5 bis 9 zeigen verschiedene alternative Anordnungen und Konfigurationen der neutronenabsorbierenden Tabletten 82 zur Bildung eines Abschnitts reduzierten Absorptionswertes, wie oben beschrieben.

In Fig. 5 ist der Abschnitt reduzierten Absorptionswerts im oberen Endabschnitt 78 jeder Rippe 62 durch eine insgesamt mit 88 bezeichnete Anordnung von Tabletten 89 gebildet, die jeweils eine Dreieckform haben und so orientiert sind, dass die Dreieckspitze nach oben zum oberen Ende 86 der betreffenden Rippe zeigt. Da sich die Querschnittsgrösse jeder dreieckigen Tablette 82 in Richtung zum oberen Ende 86 jeder Rippe 62 hin verringert, nimmt auch die Neutronenabsorptionsfähigkeit dieser Tabletten entsprechend ab. Fig. 6 zeigt eine andere Anordnung 90 von Tabletten 91 mit jeweils etwa gleichen Volumens, jedoch mit zum oberen Ende 86 jeder Rippe 62 hin grösser werdenden gegenseitigen Abständen. Infolgedessen wird dort der gewünschte Absorptionswertgradient durch die zunehmenden Abstände zwischen den Tabletten und nicht durch die Form der einzelnen Tabletten erreicht. Fig. 7 zeigt eine Anordnung 92 mit einer stufenweisen Verringerung der Neutronenabsorptionsfähigkeit der Tabletten 93, indem die Tabletten 93 im oberen Endabschnitt 78 jeder Rippe 62 eine kleinere Breite als in dem einen konstanten Absorptionswert aufweisenden Hauptabschnitt 76 haben. Fig. 8 zeigt nochmals eine andere Anordnung 94 von Tabletten 95, bei welcher die Tablettenreihen gleichförmige vertikale Abstände voneinander haben, jedoch hat hier die dem oberen Ende 86 jeder Rippe 62 nächstliegende Reihe eine viel kleinere Neutronenabsorptionsfähigkeit als die dem Hauptabschnitt 76 der Rippe 62 mit konstanten Absorptionswert nächstliegende Reihe. Schliesslich zeigt Fig. 9 einen Abschnitt mit reduziertem Absorptionswert im oberen Endabschnitt 78 der Rippen 62, wobei eine Anordnung 96 von mit gleichem gegenseitigen Querausträumen verlaufenden Tablettenreihen 97, 98 vorgesehen ist, die jeweils Tabletten 97 mit Neutronenabsorptionsfähigkeit und neutrale Tabletten 98 abwechselnd miteinander enthalten. Hierbei wird ein Gradient dadurch erreicht, dass die Länge der neutralen Tabletten 98 zum oberen Ende 86 der Rippen 62 hin zunimmt.

Um wirksam zu sein, sollte die Länge des Abschnitts reduzierten Absorptionswertes im oberen Endabschnitt 78 der Rippen 62 mindestens gleich gross oder etwas grösser als ein Schiebenschritt des Steuerstabs 12 sein, der üblicher weise etwa 15 cm beträgt. Dadurch kann sich nach einem Bewegungsschritt des

Steuerstabs 12 in den Brennstofftabletten und ihren Hüllrohren wieder ein Gleichgewicht einstellen, bevor der nächste Verschiebeschritt folgt. Da Steuerstabbewegungen in Siedewasserreaktoren gut vorausgeplant werden, lässt sich dieses Betriebsverfahren bei den normalen Steuersystemen gut einführen.

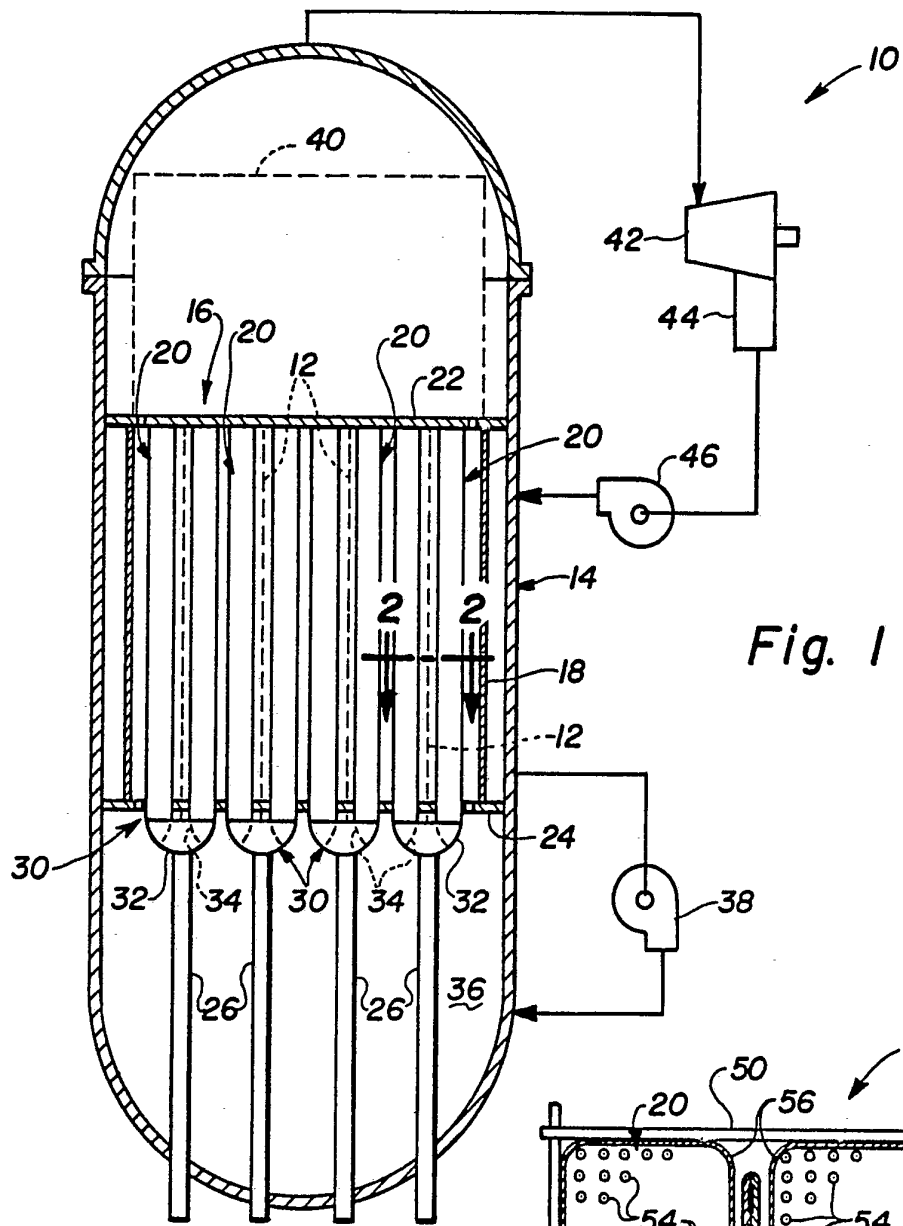


Fig. 1

Fig. 2

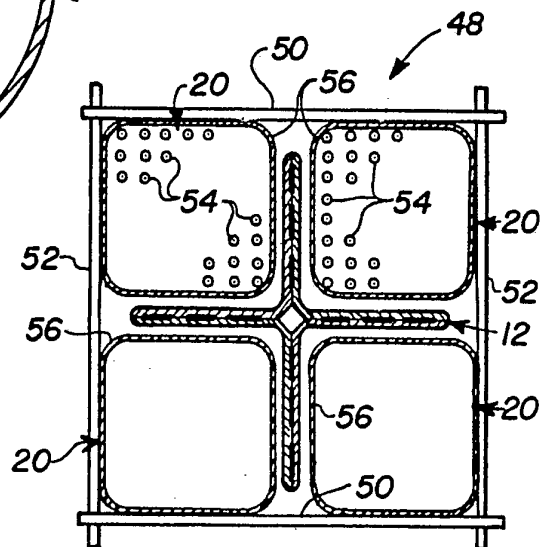


Fig. 3

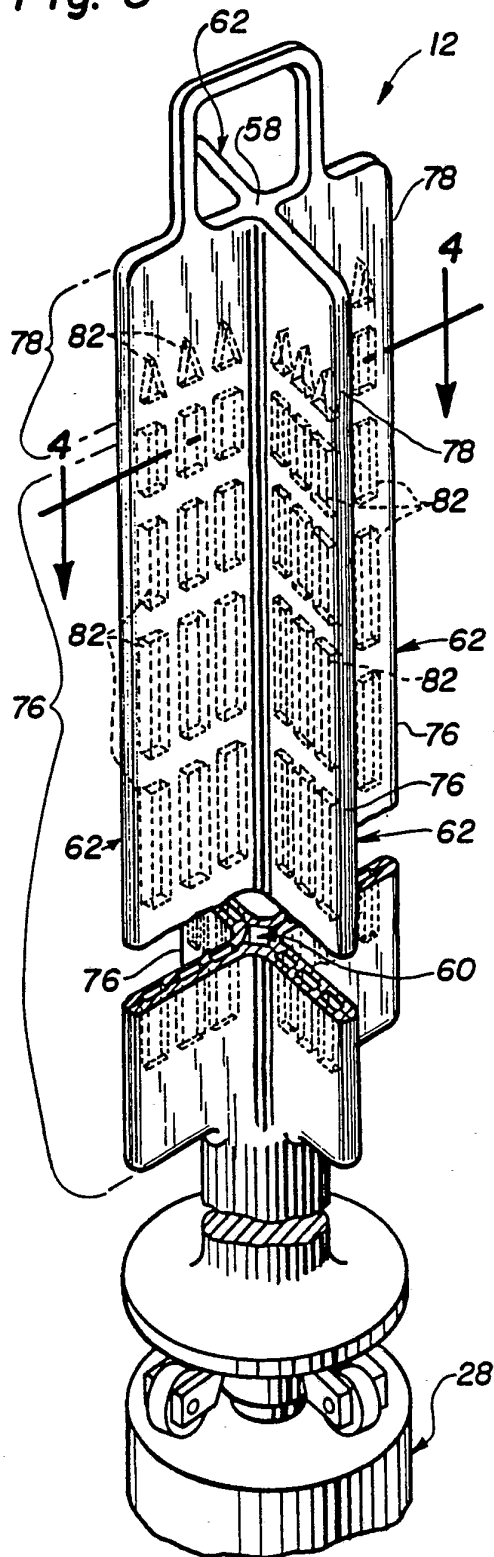


Fig. 7

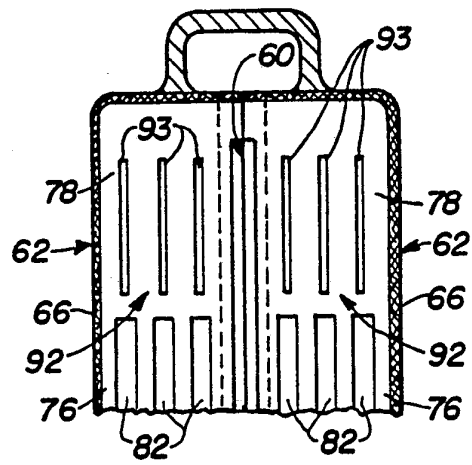


Fig. 8

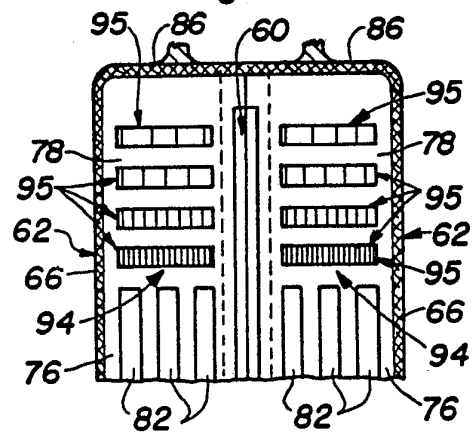


Fig. 9

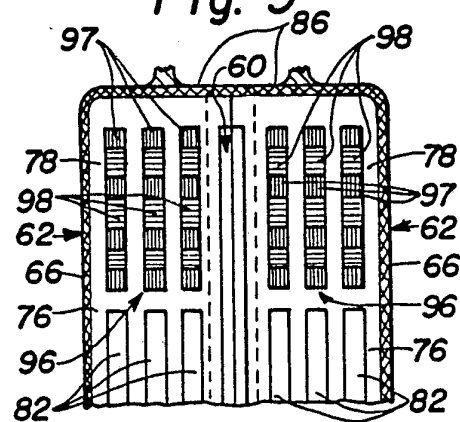


Fig. 4

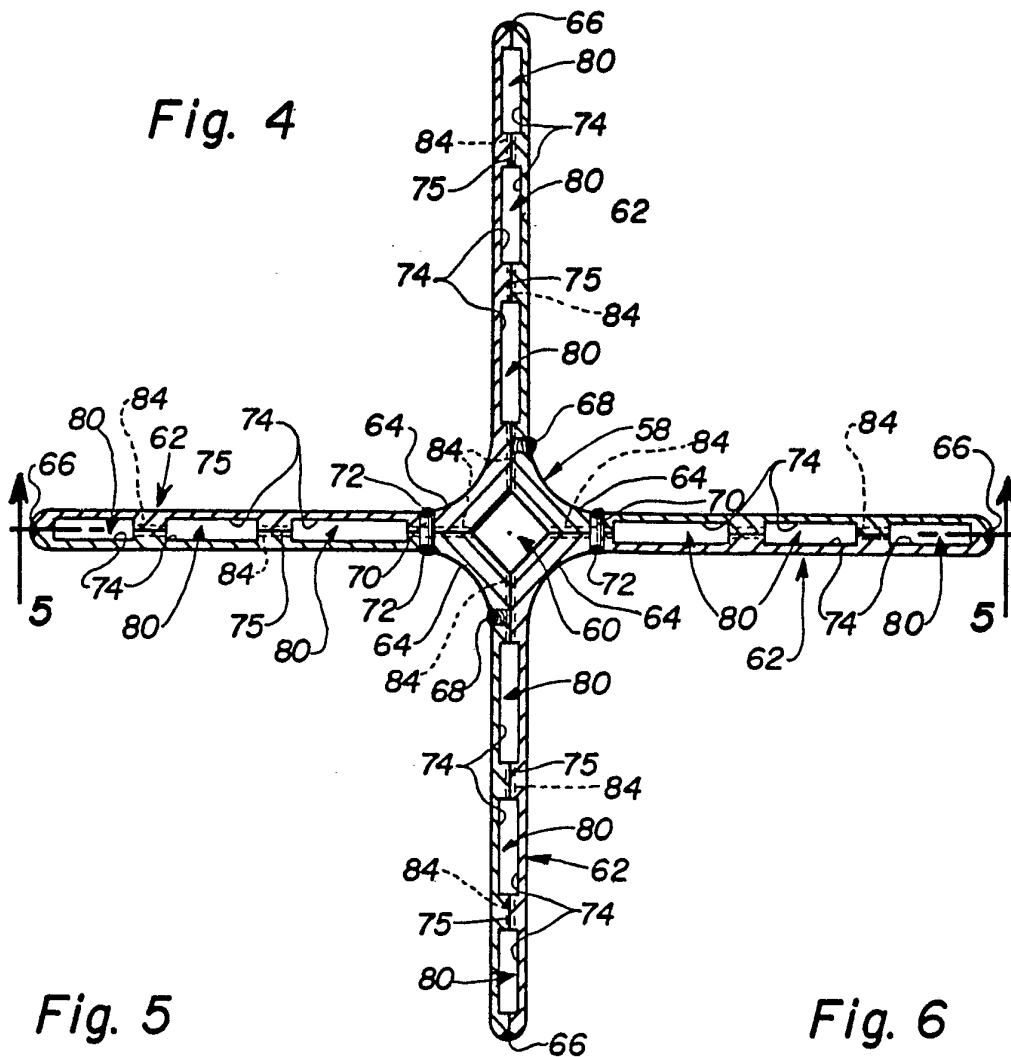


Fig. 5

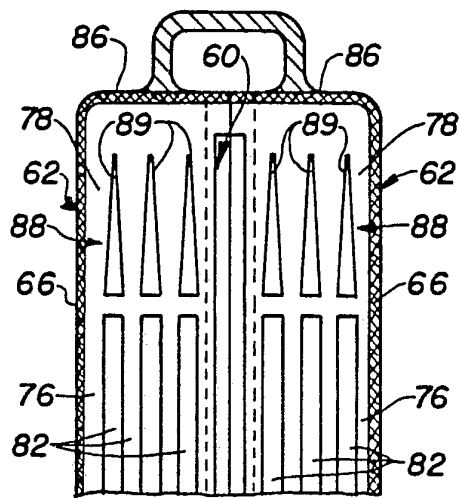


Fig. 6

