

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 31 39 823 A 1**

⑤① Int. Cl. 3:  
**G 21 C 3/18**

⑳ Aktenzeichen:  
㉔ Anmeldetag:  
㉕ Offenlegungstag:

P 31 39 823.5-33  
7. 10. 81  
27. 5. 82

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
10.10.80 US 195877

⑦① Anmelder:  
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

⑦④ Vertreter:  
Schüler, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 6000  
Frankfurt

⑦② Erfinder:  
Wolters jun., Richard Arthur; Lee, Tommy Chung; Matzner,  
Bruce, San Jose, Calif., US

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ »Kernbrennelement«

Die ungleichförmige axiale Neutronenflußdichteverteilung in einem Kernreaktorkern wird durch die Verwendung von Brennstab-Abstandshaltern geringer Neutronenabsorption in Bereichen hoher Neutronenflußdichte und von Brennstab-Abstandshaltern geringen Kühlmittel-Strömungswiderstands in Bereichen geringer Neutronenflußdichte des Kerns genutzt, wobei diese Abstandshalterkombination auch höhere thermische Grenzen der Brennstoffbündel bietet. (31 39 823)

DE 31 39 823 A 1

ORIGINAL INSPEC

3139823

Dr. rer. nat. Horst Schüler  
PATENTANWALT

6000 Frankfurt/Main 1, 6. 10. 1981  
Kaiserstrasse 41 Dr. Sb/Pr/Wo.  
Telefon (0611) 235555  
Telex 04-16759 mapat d  
Postscheck-Konto: 2824 20-602 Frankfurt/M.  
Bankkonto: 225/0389  
Deutsche Bank AG, Frankfurt/M.  
8790-24NT-04403

GENERAL ELECTRIC COMPANY  
1 River Road  
Schenectady, N.Y./U.S.A.

Ansprüche

1. Brennelement zur Verwendung mit einer Vielzahl von Brennelementen und einem durch die Brennelemente in einem Kernreaktor umlaufenden Neutronenmoderatorfluid, wobei die Neutronenflußdichte von verhältnismäßig niederen Neutronenflußdichten gegen die Enden des Kerns bis zu einer höheren Neutronenflußdichte zwischen den Enden des Kerns variiert, dadurch gekennzeichnet, daß das Brennelement eine Vielzahl langgestreckter Spaltstoffelemente, Einrichtungen zum Halten der Spaltstoffelemente in Abstandsordnung, eine Vielzahl von Spaltstoffelement-Abstandshaltern in axial Abstand haltender Anordnung entlang dem Brennelement zum seitlichen Halten der Spaltstoffelemente eines ersten und eines zweiten Typs, wobei der erste Typ von Abstandshaltern einen verhältnismäßig niederen Neutronenabsorptionsquerschnitt hat, aber einen verhältnismäßig hohen Neutronenmoderatorfluid-Strömungswiderstand bietet, der zweite Abstandshaltertyp einen höheren Neutronenabsorptionsquerschnitt hat, aber einen geringeren Neutronenmoderatorfluid-Strömungswiderstand bietet, wobei die Abstandshalter des ersten Typs axial entlang dem Brennelement in Bereichen höchster Neutronenflußdichte und

BAD ORIGINAL

die Abstandshalter des zweiten Typs axial entlang dem Brennelement in Bereichen geringerer Neutronenflußdichte angeordnet sind, aufweist.

2. Brennelement zur Verwendung mit einer Vielzahl von Brennelementen und einem Wasser-Moderator/Kühlmittel in dem Kern eines Siedewasserreaktors mit Einrichtungen zum Richten eines Stroms des Kühlmittels/Moderators durch die Brennelemente, dadurch gekennzeichnet, daß das Brennelement eine Vielzahl von Spaltstoffelement-Abstandshaltern in axial im Abstand zueinander angeordneten Positionen entlang dem Brennelement zum seitlichen Halten der Spaltstoffelemente eines ersten und eines zweiten Typs, wobei der erste Typ von Abstandshaltern einen verhältnismäßig niedrigen Neutroneneinfangsquerschnitt hat, aber einen verhältnismäßig hohen Kühlmittel/Moderator-Strömungswiderstand bietet, der zweite Typ von Abstandshaltern einen höheren Neutronenabsorptionsquerschnitt als die Abstandshalter des ersten Typs hat, aber einen geringeren Kühlmittel/Moderator-Strömungswiderstand als die Abstandshalter des ersten Typs hat, wobei die Abstandshalter des ersten Typs axial entlang dem Brennelement vorwiegend in Bereichen höchster Neutronenflußdichte und die Abstandshalter des zweiten Typs axial entlang dem Brennelement überwiegend in Bereichen niedriger Neutronenflußdichte angeordnet sind, aufweist.

3. Brennelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Typ von Abstandshaltern überwiegend aus einer Zirconiumlegierung und der zweite Typ von Abstandshaltern überwiegend aus einer Nickellegierung ist.

4. Brennelement nach Anspruch 2 mit sieben Abstandshaltern, dadurch gekennzeichnet, daß die unteren vier Abstandshalter vom ersten Typ und die oberen drei Abstandshalter vom zweiten Typ sind.

5. Brennelement nach Anspruch 2 mit sieben Abstandshaltern, dadurch gekennzeichnet, daß die unteren drei Abstandshalter vom ersten Typ und die oberen vier Abstandshalter vom zweiten Typ sind.

6. Brennelement nach Anspruch 2 mit sieben Abstandshaltern, dadurch gekennzeichnet, daß die unteren drei Abstandshalter und der oberste Abstandshalter vom ersten Typ und die übrigen drei Abstandshalter vom zweiten Typ sind.

7. Brennelement zur Verwendung mit einer Vielzahl von Brennelementen und einem durch die Brennelemente im Kern eines Siedewasserreaktors umlaufenden Wasser-Kühlmittel/Moderator, wobei während des Reaktorbetriebs das Wasser ein Dampf/Flüssigkeits-Zweiphasengemisch in einem oberen Siedebereich des Kerns ist, wo die thermischen Grenzen im allgemeinen zuerst erreicht werden, und eine Einphasen-Flüssigkeit in einem unteren, nicht siedenden Bereich des Kerns ist, wo die thermischen Grenzen im allgemeinen nie überschritten werden, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Vielzahl langgestreckter Spaltstoffelemente, eine Einrichtung zum Halten der Spaltstoffelemente in Abstandsanordnung einschließlich einer Vielzahl von Spaltstoffelementen in axial Abstand haltender Anordnung entlang dem Brennelement zum seitlichen Halten der Spaltstoffelemente aufweist, wobei jeder der Abstandshalter einen Durchgang für jeden der Spaltstoffelemente und in jedem der Durchgänge eine elastische Einrichtung zum Eingriff mit den Spaltstoffelementen bietet, wobei die Abstandshalter von einem ersten und einem zweiten Typ sind, wobei der erste Typ von Abstandshaltern Bauteile aus einem Material mit einem verhältnismäßig geringen Neutroneneinfangsquerschnitt aufweist, wobei die elastische Einrichtung des ersten Typs von Abstandshaltern aus einem anderen Material als die Bauteile ist, wobei der erste Typ von Abstandshaltern entlang der Länge des Brennelements überwie-

gend im nicht-siedenden Bereich des Kerns angeordnet ist, der zweite Typ von Abstandshaltern eine hoch-skelettierte Struktur zwecks minimalen Kühlmittel/Moderator-Strömungsdruckabfalls hat, wobei die elastische Einrichtung des zweiten Typs von Abstandshaltern mit deren Bauteilen integriert ausgebildet ist, wobei der zweite Typ von Abstandshaltern über die Länge des Brennelements überwiegend im Siedebereich des Kerns angeordnet ist.

8. Brennelement nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Bauteile des ersten Typs von Abstandshaltern aus einer Zirconiumlegierung und die elastische Einrichtung aus einer Nickellegierung ist.

9. Brennelement nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Typ von Abstandshaltern einschließlich deren Bauteile und elastische Einrichtungen aus einer Nickellegierung sind.

10. Brennelement nach Anspruch 7 mit sieben Abstandshaltern, von denen die unteren vier vom ersten Typ und die oberen drei vom zweiten Typ sind.

11. Brennelement nach Anspruch 7 mit sieben Abstandshaltern, von denen die unteren drei vom ersten Typ und die oberen vier vom zweiten Typ sind.

12. Brennelement nach Anspruch 7 mit sieben Abstandshaltern, von denen der oberste und die unteren drei vom ersten Typ und die übrigen vom zweiten Typ sind.

13. Brennelement nach Anspruch 7, bei dem die Anzahl der Abstandshalter jeden Typs nicht mehr als eins größer ist als die Anzahl der Abstandshalter des anderen Typs.

GENERAL ELECTRIC COMPANY  
1 River Road  
Schenectady, N.Y./U.S.A.

---

Kernbrennelement

---

Kernreaktoren sind gut bekannt und werden z.B. von M.M. El-Wakil in "Nuclear Power Engineering" McGraw-Hill Book Comp. Inc., 1976, erörtert.

Bei einem bekannten Kernreakortyp, z.B. wie bei dem Dresden I-Reaktor der Dresden-Kernanlage nahe Chicago, Illinois, verwendet, ist der Reaktorkern vom heterogenen Typ. Bei solchen Reaktoren weist der Kernbrennstoff langgestreckte Stäbe aus verschlossenen Hüllrohren geeigneten Materials, wie einer Zirconiumlegierung, Uranoxid und/oder Plutoniumoxid als Kernbrennstoff enthaltend, auf, wie z.B. in der US-PS 3 365 371 gezeigt. Eine Reihe solcher Brennstoffstäbe sind zusammengruppiert und in einem offenendigen rohrförmigen Strömungskanal enthalten, um eine getrennt entfernbare Brennstoffeinheit oder Brennelement oder ein Brennstoffbündel zu bilden, wie z.B. in der US-PS 3 431 170 gezeigt. Eine genügende Anzahl von Brennelementen sind in einer Matrix angeordnet, etwa in der Art eines kreisförmigen Zylinders, um einen Reaktorkern zu bilden, der zur selbstunterhaltenen Spaltungs-

- 2 -  
6

reaktion befähigt ist. Der Kern ist in eine Flüssigkeit, wie leichtes Wasser, getaucht, das sowohl als Kühlmittel als auch als Neutronenmoderator dient.

Ein typisches Brennelement/<sup>- auch Brennstoffkassette genannt -</sup> wird durch eine Reihe von im Abstand zueinander angeordneten Brennstäben gebildet, die zwischen oberen und unteren Auflageplatten gehalten sind, wobei die Stäbe mehrere Fuß Länge haben, einen Durchmesser in der Größe von 12,5 mm (1/2") und voneinander um den Bruchteil eines Zoll entfernt sind. Um einen geeigneten Kühlmittelstrom um die Brennstäbe herum zu schaffen, ist es wichtig, die Stäbe in Abstand voneinander anzuordnen und sie daran zu hindern, während des Reaktorbetriebs sich zu biegen und zu vibrieren. Eine Vielzahl von Brennstab-Abstandshaltern, über die Länge des Brennelements verteilt, sind für diesen Zweck vorgesehen. Eine Vielzahl solcher Brennstab-Abstandshalter sind vorgeschlagen und verwendet worden.

Gestaltungsüberlegungen für solche Brennstab-Abstandshalter umfassen folgende: Den Erhalt des Stab-zu-Stab-Abstands; den Erhalt der Brennelementform; die Ermöglichung der Wärmeausdehnung für den Brennstab; die Beschränkung der Vibration des Brennstabs; die Leichtigkeit der Brennstabbündel-Montage; die Minimalhaltung von Kontaktflächen zwischen Abstandshalter und Brennstäben; die Aufrechterhaltung der Baueinheit des Abstandshalters unter normalen und anomalen (z.B. seismischen) Beanspruchungen; die Minimalhaltung der Verzerrung und Beschränkung des Reaktorkühlmittelstroms; die Maximierung thermischer Grenzen; die Minimalhaltung parasitischer Neutronenabsorption; der Herstellungskosten einschließlich der Anpassung an automatisierte Produktion. So schafft die Notwendigkeit solcher Brennstab-Abstandshalter mehrere erhebliche Probleme, von denen drei parasitische Neutronenabsorption, thermische Grenzen und Kühlmittelstrombeschränkung oder Druckabfall sind.

Jedes Material neben dem Kernbrennstoff, das beim Bau des Reaktorkerns verwendet werden muß, absorbiert unproduktiv Neutronen und reduziert so die Reaktivität, mit dem Ergebnis, daß eine zusätzliche, kompensierende Menge an Brennstoff vorgegeben werden muß. Das Ausmaß einer solchen parasitischen Neutronenabsorption ist eine Funktion der Menge des Nichtbrennstoff-Materials, seiner Neutronenabsorptionseigenschaften, d.h., seines Neutronenabsorptionsquerschnitts, und der Neutronenflußdichte, der es ausgesetzt ist.

Zur Wärmeabführung vom Kernbrennstoff wird unter Druck stehendes Kühlmittel durch die Brennelemente des Reaktorkerns gepreßt. Die Brennstab-Abstandshalter in den Elementen wirken als Kühlmittelstrom-Begrenzer und verursachen einen unerwünschten, doch unvermeidbaren Kühlmittelfluß-Druckabfall. Um eine geeignete Kühlung der Brennstäbe über ihre Länge aufrechtzuerhalten und die erforderliche Kühlmittel-Pumpleistung minimal zu gestalten, ist es wünschenswert, daß die Begrenzung des Kühlmittelflusses durch den Abstandshalter minimal gehalten wird. Die Strömungsdrosselung eines Abstandshalters hängt stark von seiner Projektions- oder "Schatten"-Fläche ab. Daher kann die Strömungsdrosselung eines Abstandshalters dadurch minimal gestaltet werden, daß die Projektionsfläche der Struktur des Abstandshalters minimal gestaltet wird. Tests haben gezeigt, daß Abstandshalter mit minimaler Projektionsfläche auch die höchsten thermischen Grenzen haben.

In der Praxis stellt der Wunsch sowohl nach minimaler parasitischer Neutronenabsorption als auch nach minimaler Kühlmittel-Strömungsdrosselung einen Konflikt bei der Brennstab-Abstandshalter-Gestaltung dar.

Um die Drosselung des Kühlmittelstroms minimal zu halten, müssen Abstandshalterteile dünn und von minimalem Querschnitt sein. Doch müssen solche dünnen Teile aus hochfestem Material mit geeigneten Elastizitätseigenschaften sein.



Es zeigt sich, daß geeignete solche Materialien verhältnismäßig hohe Neutronenabsorptionseigenschaften haben.

Andererseits erweisen sich Materialien der gewünscht geringen Neutronenabsorptionseigenschaften als von verhältnismäßig geringer Festigkeit, schwieriger Formbarkeit und fehlender Elastizität, die für die Federteile des Abstandshalters erwünscht sind.

Dieser Konflikt bei der Gestaltung hat zu zwei unterscheidbar verschiedenen Lösungen für die Gestaltung des Abstandshalters geführt. Eine erste Lösung besteht in einem "zusammengesetzten" Abstandshalter aus verhältnismäßig großen Bauteilen aus einem Material mit niedrigem Neutronenabsorptionsquerschnitt, ausgestattet mit getrennt gebildeten Federteilen aus geeignet elastischem Material, wodurch die Menge an Material mit hohem Neutronenabsorptionsquerschnitt minimal gehalten wird. Dieser erste Typ von Abstandshalter bietet so minimale Neutronenabsorption, aber verhältnismäßig hohen Strömungswiderstand des Kühlmittels.

Eine zweite Gestaltungslösung ist ein Abstandshalter mit einer stark skelettierten Struktur und einem Minimum an hochfestem Material geeigneter Elastizität, aber mit einem höheren Neutronenabsorptionsquerschnitt. Dieser zweite Abstandshaltertyp bietet so minimale Kühlmittel-Strömungsdrosselung, aber auf Kosten einer höheren Neutronenabsorption.

Der komplexe Abstandshaltertyp ist beispielsweise in der US-PS 3 654 077 offenbart. Der skelettierte Abstandshaltertyp ist beispielsweise in der GB-PS 1 480 649 und in der US-PS 4 190 494 offenbart.

Aufgabe der Erfindung ist die Verbesserung der Kernreaktorleistung durch eine Abstandshalteranordnung, die einen vorteilhaften Kompromiß zwischen der Verringerung parasitischer

Neutronenabsorption und der Minimalhaltung der Kühlmittelstromdrosselung bietet, wodurch sowohl die thermischen Leistungsgrenzen oder Temperaturgrenzen als auch die Druckabfallleistung maximal gestaltet werden. Ferner soll eine Abstandshalteranordnung geschaffen werden, die aus den verschiedenen Neutronenflußdichtebereichen eines Siedewasser-Reaktors Nutzen zieht.

In einem wassergekühlten und -moderierten Reaktor ist die Flußdichte thermischer Neutronen im oberen Bereich des Kerns geringer als im unteren, und zwar aufgrund der geringeren Dichte des Wassers, da es beim Durchgang durch den Kern erhitzt wird. In einem Siedewasserreaktor ist dieser Effekt durch das Sieden im oberen Kernbereich ausgeprägt.

In Übereinstimmung mit der erfindungsgemäßen Abstandshalteranordnung werden zusammengesetzte Abstandshalter verhältnismäßig geringer Neutronenabsorption im Bereich hoher Neutronenflußdichte des Kerns verwendet (d.h. im unteren Teil), während skelettierte Abstandshalter, die verhältnismäßig geringen Kühlmittelstromwiderstand bieten, im Kernbereich mit niedriger Neutronenflußdichte (d.h. im oberen Teil) verwendet werden, wo ihr hoher Neutronenabsorptionsquerschnitt geringere Folgen hat.

Die Erfindung wird im einzelnen unter Bezugnahme auf die Figuren näher beschrieben; von diesen ist

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Siedewasserreaktors,

Fig. 2 ein Längsschnitt eines Brennelements,

Fig. 3 eine Kurve, die eine typische axiale Flußveränderung thermischer Neutronen in einem Siedewasserreaktorkern, auch im Hinblick auf die typischen Axialanordnungen der

Abstandshalter der Brennelemente, veranschaulicht,

Fig. 4 ist eine Draufsicht eines Abstandshalters des zusammengesetzten Typs,

Fig. 5A ist eine Draufsicht eines skelettierten Abstandshalters geringen Druckabfalls und

Fig. 5B ist eine isometrische Ansicht der Zellen, die den Abstandshalter der Fig. 5B bilden.

Die Erfindung wird hier als in einem wassergekühlten und -moderierten Kernreaktor des Siedewassertyps angewandt beschrieben, wofür ein Beispiel in der vereinfachten Schemazeichnung der Fig. 1 dargestellt ist. Solch ein Reaktorsystem umfaßt einen Druckbehälter 10 mit einem Reaktorkern 11, eingetaucht in Kühlmittel/Moderator, wie leichtes Wasser. Der Kern 11, der von einer ringförmigen Abschirmung 12 umgeben ist, umfaßt eine Vielzahl ersetzbarer Brennelemente 13, im Abstand zueinander zwischen einem oberen Kerngitter 14 und einer unteren Kernplatte 16 angeordnet.

Eine Reihe von Regelstabantrieb aufnehmenden Rohren 17 beherbergt Regelstabantriebe, wodurch eine Reihe von Regelstäben 18 selektiv unter den Brennelementen 13 zur Regelung der Reaktivität des Kerns einsetzbar ist. Jedes der Rohre 17 ist mit einem Brennelement-Tragteil 19 ausgestattet, deren jedes mit Muffen zur Aufnahme der Nasenteile 21 von vier benachbarten Brennelementen ausgebildet ist. Die Nasenteile 21 und die Tragteile 19 weisen Kühlmitteldurchgänge unter Öffnungen zur Verbindung mit einer Kühlmittelnachschubkammer 22 auf. Eine Kühlmittelumlaufpumpe 23 setzt das Kühlmittel in der Versorgungskammer 22 unter Druck, von der das Kühlmittel so durch die Öffnungen in den Tragteilen 19 und die Brennelement-Nasenteile bis hinauf durch die Brennelemente gedrückt wird.

Ein Teil des Kühlmittels wird dadurch in Dampf umgewandelt, der durch eine Abscheider/Trockneranordnung 24 zu einer verwertenden Einrichtung, wie einer Turbine 26, strömt. In einem Kühler 27 gebildetes Kondensat wird als Zufuhrwasser zum Behälter 10 mit Hilfe einer Pumpe 28 rückgeführt.

Ein Brennelement 13 ist im Aufriß in Fig. 2 veranschaulicht. Das Brennelement 13 umfaßt eine Vielzahl von Brennelementen oder -stäben 31, getragen zwischen einer skelettierten, oberen Halteplatte 32 und einer skelettierten unteren Halteplatte 33. Die Brennstäbe 31 führen durch eine Vielzahl von Brennstab-Abstandshaltern 34(1)-34(n), die dazwischen verteilten Halt bieten, um die langgestreckten Stäbe auf Abstand zueinander zu halten und sie von seitlichen Schwingungen abzuhalten.

Jeder der Brennstäbe 31 besteht aus einem langen Rohr mit spaltbarem Brennstoff und anderen Materialien, wie brütbarem Brennstoff, abbrennbarem Reaktorgift, Inertmaterial oder dergleichen, in dem Rohr durch obere und untere Endstopfen 36 und 37 eingeschlossen. Die unteren Endstopfen 37 weisen Ver-ringerungen zum Erfassen und zur Aufnahme in tragenden Aus-nehmungen 38 auf, die in der unteren Halteplatte 33 ausge-bildet sind. Die oberen Endstopfen 36 weisen Verlängerungen 39 auf, die in Lagerhöhlen 41 in der oberen Halteplatte 32 passen. Mehrere der Lagerausnehmungen 38 (z.B. einige ausge-wählte der Kanten- oder Randausnehmungen) in der unteren Hal-teplatte 33 sind mit Gewinden ausgebildet, um Brennstäbe mit Gewindestopfen 37' am unteren Ende aufzunehmen. Die Verlän-gerungen oder Zapfen 39' der Stopfen am oberen Ende der sel-ben Brennstäbe sind lang-gestreckt, um durch die Ausnehmungen in der oberen Halteplatte 32 zu führen, und mit Gewinden ver-sehen, um die Haltemuttern 42 zu erfassen. So werden die obere und die untere Halteplatte und die Brennstäbe zu einer Baueinheit.

Das Brennelement 13 weist ferner einen dünnwandigen, rohrar-

tigen Strömungskanal 43 von erheblichem Querschnitt auf, so bemessen, daß über der oberen und unteren Halteplatte 32 und 33 und den Abstandshaltern 34 (1) bis 34(n) ein Gleitsitz gebildet wird, so daß der Kanal 43 leicht angebracht und entfernt werden kann. Am oberen Ende des Strömungskanals 43 ist eine Zunge 44 befestigt, durch die der Kanal an einem Standard 46 der oberen Halteplatte 32 mit Hilfe eines Bolzens 47 befestigt ist.

Die untere Halteplatte 33 ist mit einem Nasenteil 21 ausgebildet, das so angepaßt ist, daß es das Brennelement 13 in einer Muffe des Tragteils 19 trägt, wie in Fig. 1 dargestellt.

Fig. 3 zeigt eine Kurve 48 der typischen axialen Flußverteilung thermischer Neutronen in einem Siedewasserreaktorkern im Zusammenhang mit der aktiven Kernhöhe; d.h., hinsichtlich des brennstoffhaltigen Teils der Brennstäbe der Brennelemente.

Wenn die Dichte des Wasser-Moderators axial gleichförmig wäre, hätte die axiale Flußverteilung thermischer Neutronen Kosinus-Form, d.h. ein Maximum in der Mitte und nach oben und unten des Kerns abnehmend.

Unter wirklichen Reaktorbetriebsbedingungen jedoch wird der Wasser-Moderator erhitzt und weniger dicht (und somit weniger wirksam als Moderator), wenn er nach oben durch die Brennelemente strömt. In einem Siedewasserreaktor erzeugt das Sieden ein zweiphasiges Dampf/Wasser-Gemisch im oberen Teil der Brennelemente, was die Dichte und den Moderatoreffekt weiter verringert. Das Ergebnis ist eine thermische Neutronenflußverteilung, die gegen den Boden des Kerns hin eine Spitze hat, wie durch die Kurve 48 dargestellt.

Fig. 3 zeigt auch die relativen axialen Anordnungen Sp(1) bis Sp(7) der sieben Brennstab-Abstandshalter, die in dem Brenn-

element 13 des veranschaulichenden Beispiels verwendet sind. Man sieht, daß die Lagen der Abstandshalter durch die örtlichen "Eindellungen" in der Flußdichtekurve 48 in Erscheinung treten, verursacht durch die Neutronenabsorption durch die Abstandshalter.

Erfindungsgemäß werden die (zusammengesetzten) Abstandshalter mit geringer Neutronenabsorption in den unteren drei oder vier Abstandshalterpositionen verwendet, während (skelettierete) Abstandshalter mit geringem Strömungswiderstand in den oberen drei oder vier Abstandshalterpositionen verwendet werden.

Ein geeigneter Brennstab-Abstandshalter des zusammengesetzten Typs, in Fig. 4 als Abstandshalter 34(1) veranschaulicht, weist ein Umfangsband 50 auf, das eine Reihe quer gezogener Unterteilungsglieder trägt, einschließlich Unterteilungsglieder 51 und Federträger-Unterteilungsglieder 52, im Abstand voneinander unter Ausbildung einer Reihe von Brennstabdurchlässen oder Zellen 53. An den Schnittstellen der Unterteilungsglieder 52 tragend aufgenommen sind vierseitige Kastenfederelemente 54 mit nach außen ragenden, V-förmigen Federteilen 55, die in die Durchlässe 53 ragen, wodurch die Brennstäbe in Kontakt mit gegenüber angeordneten, verhältnismäßig starren Vorsprüngen 56 gedrückt werden, die in den Unterteilungsgliedern 51 ausgebildet sind.

Die Bauteile des Abstandshalters 34(1) sind aus einem Material mit niedrigem Neutronenabsorptionsquerschnitt, wie einer Zirconiumlegierung, z.B. Zircaloy-4. Die Federteile 54 sind aus einem Material mit geeigneten Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften, wie eine Nickellegierung, z.B. Inconel.

Ein zusammengesetzter Abstandshalter des in Fig. 4 dargestellten Typs ist im einzelnen in der zuvor erwähnten US-PS

3 654 077 beschrieben, deren Offenbarungsgehalt durch diese Bezugnahme in die vorliegende Anmeldung aufgenommen wird.

Ein geeigneter Brennstab-Abstandshalter des skelettierten Typs mit geringem Strömungswiderstand ist als Abstandshalter 34(n) in Fig. 5A veranschaulicht. Der Abstandshalter 34(n) besteht aus einer Vielzahl von Zellen 61 (jede zur Aufnahme eines Brennstabes durch sie hindurch), die in regelmäßiger Anordnung zusammengestellt und zusammengeschweißt sind. Eine der Zellen 61, die den Abstandshalter 13(n) aufbauen, ist in Fig. 5B veranschaulicht.

Die Zelle 61 ist z.B. aus einem Metallblech gestanzt, das dann zu der dargestellten Konfiguration gebogen wird. So geformt umfaßt die Zelle 61 ein Paar axial ausgerichteter polygonaler Hülsen 62(1) und 62(2), die axial voneinander entfernt durch ein Paar seitlich im Abstand vorhandener Federteile 63(1) und 63(2) im allgemeinen mit W-Form, in den Brennstabdurchlaß der Zelle reichend, miteinander verbunden sind.

An ihren Scheiteln haben die Federteile 63(1) und 63(2) Kuppeln oder Vorsprünge 64 zur Begrenzung der Kontaktfläche mit dem Brennstab in der Zelle. Die seitliche Federkraft der Federteile 63(1) und 63(2) auf den Brennstab spannt den Brennstab zum Kontakt mit verhältnismäßig starren Vorsprüngen 66 vor, die in den Hülsen 62(1) und 62(2) in den Seiten der Zelle gegenüber den Federn ausgebildet sind.

Der durch die zusammengeschweißten Zellen 61 gebildete Abstandshalter 34(n) kann durch zusätzliche skelettierte periphere Plattenteile 67, an die Hülsen der Randzellen angeschweißt, verfestigt werden.

- 14 -  
15

Da die Federteile 63(1) und 63(2) integral ausgebildet sind, besteht die gesamte Abstandshalterstruktur aus einem Material mit geeigneten Elastizitätseigenschaften. Solch ein geeignetes Material ist eine Nickellegierung, wie Inconel.

Ein Abstandshalter des skelettierten Typs, wie in den Figuren 5A und 5B veranschaulicht, ist im einzelnen in der zuvor erwähnten GP-PS 1 480 649 und in der US-PS 4 190 494 beschrieben, deren Offenbarungsgehalte durch diese Bezugnahme in die vorliegende Anmeldung aufgenommen wird.

Gemäß einer bevorzugten Form der Erfindung, in einem Siedewasserreaktor angewandt, werden Abstandshalter des zusammengesetzten Typs mit geringer Neutronenabsorption (Fig. 4) in dem Kernbereich mit hohem Neutronenfluß verwendet, nämlich in den Abstandshalterpositionen Sp(1), Sp(2) und Sp(3), während skelettierte Abstandshalter mit geringem Kühlmittelströmungswiderstand (Fig. 5A) in dem Bereich mit geringem Neutronenfluß, nämlich in den Abstandshalterpositionen Sp(5), Sp(6) und Sp(7), verwendet werden. Jeder Abstandshaltertyp kann in der mittleren Abstandshalterposition Sp(4) verwendet werden, da dort keine überwiegende Bevorzugung für die Verwendung des einen Typs gegenüber dem anderen bei dem Zwischenwert der Neutronenflußdichte in dieser Position besteht.

Eine Betrachtung der praktischen Beispiele der skelettierten und der zusammengesetzten Abstandshalter zeigt, daß der skelettierte Abstandshalter einen etwa zehnmal größeren relativen Neutronenabsorptionsquerschnitt hat als die zusammengesetzten Abstandshalter. Die Folge hiervon ist, daß die Reaktivitätseinbuße der Verwendung zusammengesetzter Abstandshalter an allen sieben Abstandshalterpositionen etwa 50 % der Reaktivitätseinbuße wäre, die auftreten würde, wenn die skelettierten Abstandshalter in allen Positionen verwendet würden.



- 12 -  
16

Andererseits zeigen Strömungstests, daß der Druckabfall des Kühlmittelstroms durch das Brennelement um etwa 20 % abnimmt und die Temperaturgrenzen um 19 % erhöht werden, wenn skelettierte Abstandshalter in allen Positionen verwendet werden, verglichen mit dem Druckabfall und den Temperaturgrenzen bei Verwendung von zusammengesetzten Abstandshaltern an allen Positionen.

Durch die Verwendung der Abstandshalteranordnung gemäß der Erfindung wird der Druckabfall des Kühlmittelstroms in der Größenordnung von 15 % und die Temperaturgrenzen in der Größenordnung von 10 % herabgesetzt, während die Reaktivitätseinbuße um nur etwa 20 % (verglichen mit dem Fall, wo alle Abstandshalter vom zusammengesetzten Typ sind) steigt.

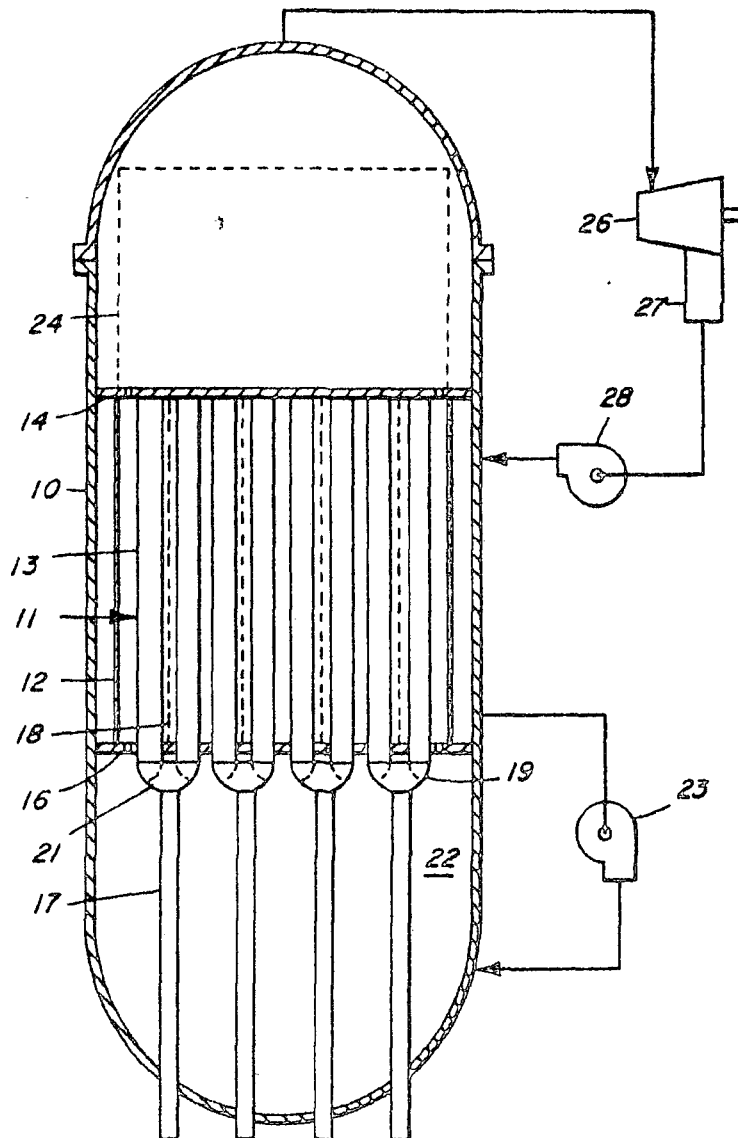


Fig. 1

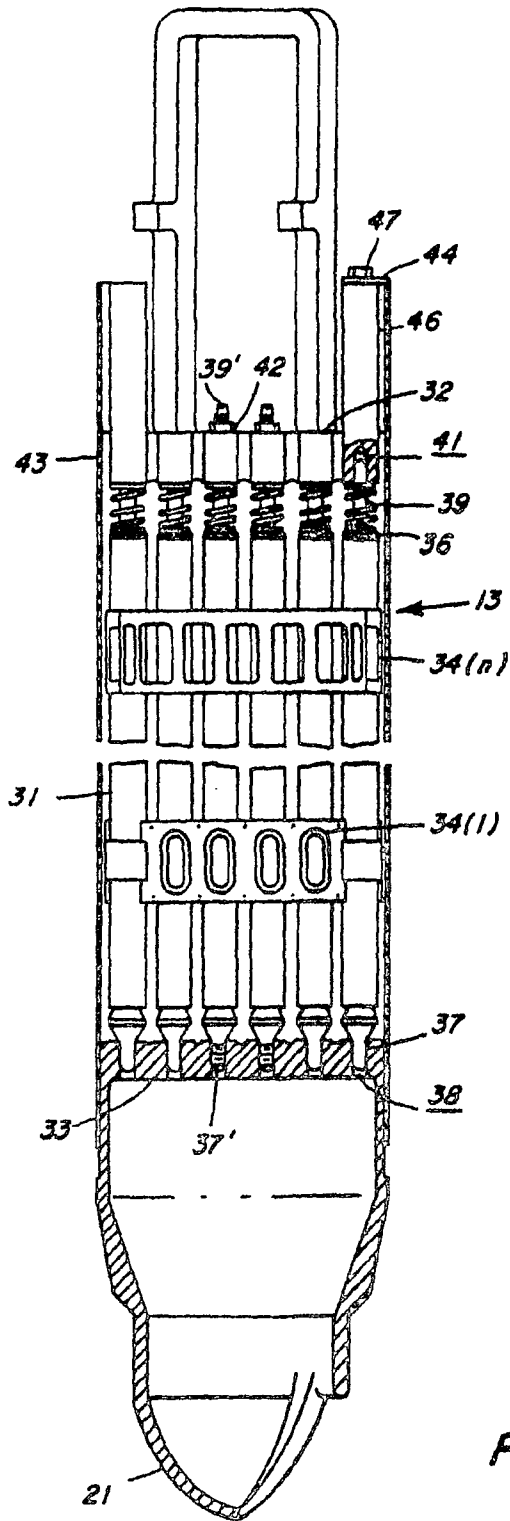


Fig. 2

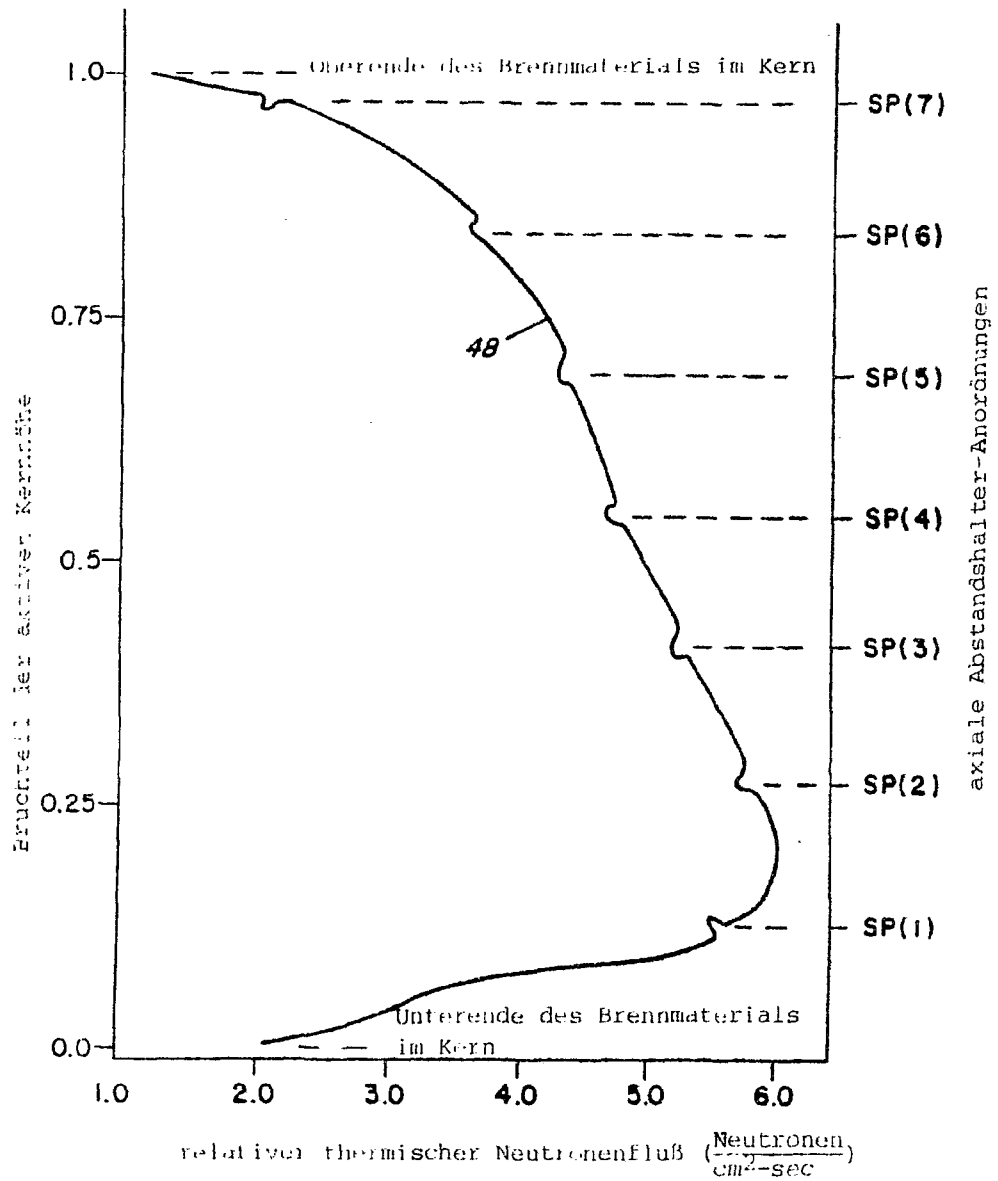


Fig. 3

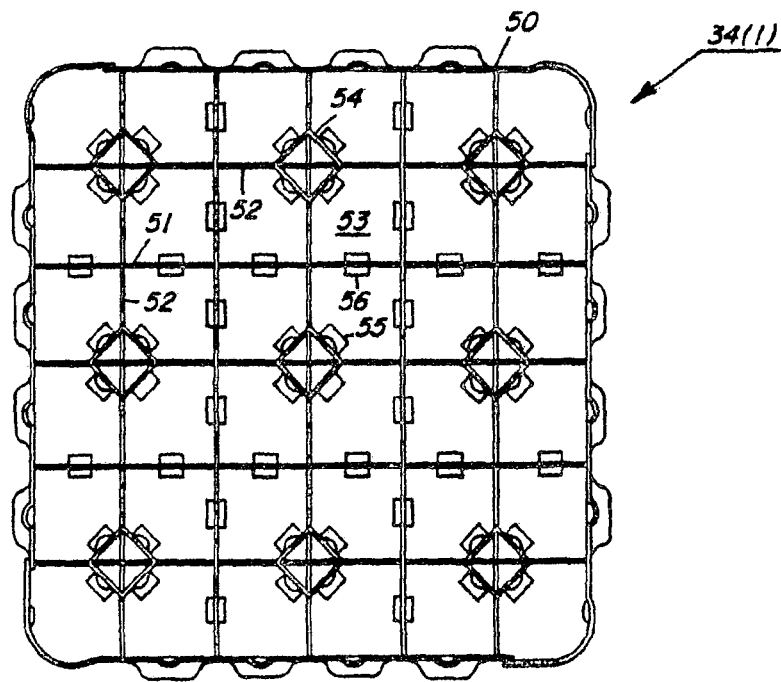


Fig. 4

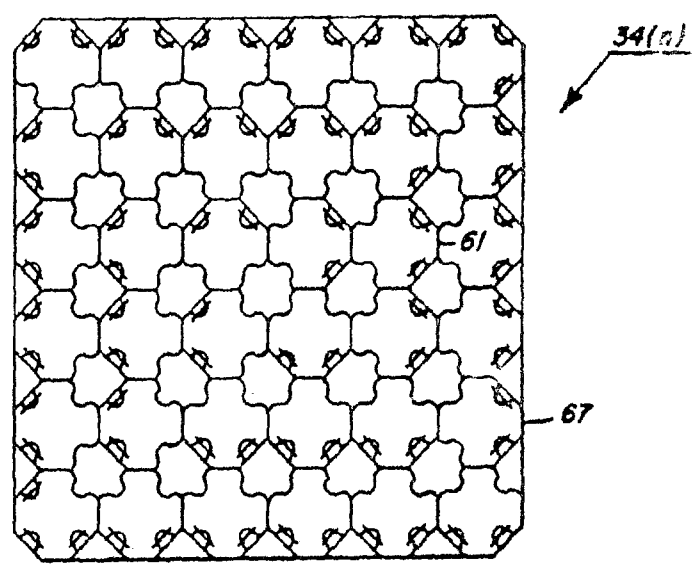


Fig. 5A

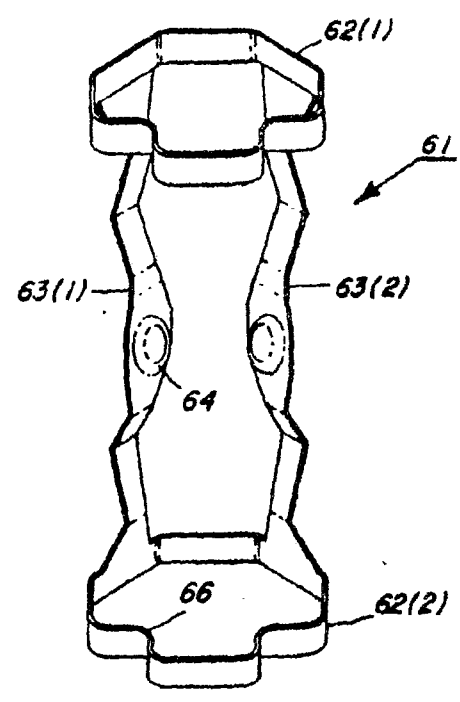


Fig. 5B

BAD ORIGINAL  
BAD ORIGINAL