

⑤1

Int. Cl.: G 21 c, 3/06

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND


 DEUTSCHES PATENTAMT

⑤2

Deutsche Kl.: 21 g, 21/20

⑩0

Offenlegungsschrift 2 152 132

⑩1

Aktenzeichen: P 21 52 132.4

⑩2

Anmeldetag: 20. Oktober 1971

⑩3

Offenlegungstag: 26. April 1973

⑩4

Ausstellungspriorität: —

⑩0

Unionspriorität

⑩2

Datum: —

⑩3

Land: —

⑩1

Aktenzeichen: —

⑩4

Bezeichnung: Kernreaktorbrennstab

⑩1

Zusatz zu: —

⑩2

Ausscheidung aus: —

⑩1

Anmelder: Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München

Vertreter gem. § 16 PatG: —

⑩2

Als Erfinder benannt: Kammerer, Peter; Schöneich, Horst; Janner, Karl, Dipl.-Phys.;
8520 Erlangen

DT 2152132

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
Berlin und München

Erlangen, 19.10.71
Werner-von-Siemens-Straße 50

Unser Zeichen:
VPA 71/9439 Mü/D1

Kernreaktorbrennstab

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Kernreaktorbrenn- und/oder Moderatorstab mit einer von der Kreisform abweichenden, eine möglichst große Packungsdichte im Reaktorkern ermöglichenden Querschnittsform, sowie Belassung eines Ausdehnungsraumes für die Stabfüllung und während des Betriebes entstehender Gase innerhalb des Hüllrohres, das in üblicher Weise an den Enden des Stabes druckdicht verschlossen sein kann. Derartige Stäbe bilden die kleinste Grundeinheit eines Reaktorkerns. Unter Brennstäben werden dabei auch solche verstanden, die Brutstoffe enthalten. An Stelle oder zusätzlich zu einer Brenn- oder Brutstofffüllung können solche Stäbe aber auch Moderatorstoffe enthalten, können dabei innerhalb des eigentlichen Reaktorkerns aber auch innerhalb der Reflektorzone eingesetzt werden.

Aus kernphysikalischen Gründen ist dabei anzustreben, daß der Materialanteil der Hüllrohre möglichst gering ist, daß dieses Material außerdem in der Lage ist, den Außendruck aufzunehmen, daß ein Schwellen der Stabfüllung ohne plastische Verformung der Hülle möglich ist und daß thermische Spannungen im Hüllrohrmaterial durch gleichmäßigere Kühlung am Umfang niedrig gehalten werden. Dies gilt insbesondere bei einer maximalen Packungsdichte der Brennstäbe innerhalb der aktiven Zone des Reaktors, d.h. bei einem größtmöglichen Volumenanteil der Stäbe am Gesamtvolumen.

Bei den bekannten Brennstäben ist ein Spalt zwischen der

Füllung und dem Hüllrohr vorgesehen, so daß bei hoher Wärmeleistung ein großer Temperaturabfall an diesem Spalt entsteht, was zu einer Überhitzung der Füllung des Stabes und damit einer möglicherweise stärkeren Volumenzunahme derselben sowie zu einem erhöhten Gasdruck führt. Außerdem muß das Hüllrohr so dick ausgeführt werden, daß es dem Außendruck widerstehen kann. Durch seitliche unregelmäßige Versetzungen des normalerweise in Tablettenform eingefüllten Brennstoffes sind unsymmetrische Temperaturverteilungen, damit größere Temperaturgradienten über die verschiedenen Zonen und entsprechend größere thermische Spannungen möglich.

Es stellte sich daher die Aufgabe, derartige stabförmige Reaktorelemente zu schaffen, die trotz geringer Wandstärke der Hüllrohre und ohne besondere Stützstrukturen einen hohen Außendruck ertragen, einen hohen Füllungsgrad erlauben und die Aufnahme einer hohen Schwellrate der Stabfüllung ohne unzulässig große plastische Verformungen ermöglichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Ausbildung der Kernreaktorbrenn- und/oder Moderatorstäbe dadurch erreicht, daß in Umfangsrichtung gesehen das Hüllrohr abwechselnd an der Stabfüllung anliegt und einen Hohlraum bildet und daß das Hüllrohr zu diesem Zweck im Bereich des letzteren eine im Neuzustand praktisch kreiszylinderförmige Auswölbung hat, die fließend in die an der Stabfüllung anliegenden Hüllrohrpartien übergeht. Bei einer derartigen Konstruktion findet also zunächst eine Abstützung großer Partien des Hüllrohres an der Füllung des Stabes selbst statt, die beabsichtigten Hohlräume werden von einem Teil des Hüllrohres überdeckt, das zylinderförmige Gestalt hat und damit eine hohe Druckfestigkeit aufweist. Die Wandstärke der Hüllrohre kann somit im Vergleich zu bekannten Konstruktionen wesentlich erniedrigt werden, ohne daß es zu unzulässigen Verformungen infolge des Außendruckes - also von der Kühlmittel-seite her - kommt. Diese Konstruktion ermöglicht weiter-

hin eine Volumenvergrößerung des Kernbrennstoffs oder des Moderatormaterials ohne daß eine unzulässig hohe plastische Verformung des Hüllrohrmaterials eintritt. Das auch hier normalerweise in Tablettenform vorliegende Füllmaterial wird vom Hüllrohr in radialer Richtung gestützt, so daß damit auch eine Transportsicherung des Stabes gegeben ist, ein gegenseitiges Versetzen dieser Tabletten ist praktisch nicht mehr möglich. Diese Formgebung des Hüllrohrmaterials ermöglicht auch eine gute Emaillierfähigkeit. Emailsichten sind beispielsweise als Wasserstoffdiffusionssperrschichten bei wasserstoffhaltigen Füllmaterialien notwendig. Diese sind insbesondere bei solchen Brennstäben zu empfehlen, die mit einer homogenen Mischung von Brenn- oder Brutstoff und Moderatormaterial gefüllt sind, beispielsweise bei Forschungsreaktoren oder auch bei Kernreaktoren, die der Energieversorgung von Raumfahrzeugen dienen sollen. Da über einen großen Teil des Umfangs solcher Brennstäbe die Hülle am Füllstoff anliegt, ergeben sich gleichmäßigere und bessere Kühlmöglichkeiten, so daß die Beanspruchung der Abstandshalter im Vergleich zu den bekannten Konstruktionen geringer wird. Desgleichen wird durch die verbesserte Wärmeabführung auch die Betriebstemperatur z.B. der Kernbrennstoffe erniedrigt und somit auch die sogenannte Schwellrate derselben verkleinert.

Die Figuren 1 bis 3, die sämtlich mögliche Querschnitte von Brennstäben nach dieser Erfindung zeigen, dienen der weiteren Erläuterung dieser Zusammenhänge.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 zeigt einen im wesentlichen dreieckigen Querschnitt des Brenn- bzw. Moderatorstabes. Er ist in dieser Zeichnung in die Abschnitte I, II, III unterteilt, die den Neuzustand, den mittleren und schließlich den letzten Abbrandzustand des Stabes darstellen. Der Brennstoff ist mit 2, die Hülle mit 1 und der Ausdehnungsraum mit 21 bezeichnet. Diese Dreieckform ermöglicht ähnlich wie die Sechseckform eines Brennstabes die engstmögliche Packung

in einem Reaktorkern. Im Sektor I wölbt sich das Hüllrohr, hier mit 1a bezeichnet, über die abgestumpfte Kante des Kernbrennstoffes 2 und bildet damit den Ausdehnungsraum 21. Im Betriebszustand II hat bereits ein Schwellen des Brennstoffes 2 stattgefunden, das Hüllrohr 1 liegt weiterhin an den flächigen Teilen des Kernbrennstoffes an, hier mit 11 bezeichnet, der Ausdehnungsraum 21 dagegen ist kleiner geworden, da infolge des Schwellens eine Verformung der Hülle 1a zur Form 1b stattgefunden hat. Im Sektor III schließlich ist der Endzustand des Brennstabes dargestellt. Hier schmiegt sich die Hülle an der Stelle 1c an den Kernbrennstoff an, ohne dabei jedoch unzulässig hohen Spannungen ausgesetzt zu sein. Das im sozusagen idealen Zustand II im Ausdehnungsraum 21 vorhandene Gas weicht schließlich in die Zwischenräume zwischen dem normalerweise tablettenförmig ausgebildeten Kernbrennstoff sowie an die Stabenden aus. Die Verformungen des Hüllrohres 1 bleiben also in mäßigen Grenzen, so daß übermäßige Beanspruchungen desselben mit Sicherheit vermieden werden.

Die Figur 2 zeigt eine andere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Brennstabes. Hier besteht die Umfangslinie des Hüllrohres 1 sozusagen aus drei an den Stellen 11 zueinander übergehenden Kreisbögen, wobei diese Stellen 11 gleichzeitig die Anlagezonen am Kernbrennstoff 2 bilden. Der Kernbrennstoffeinsatz 2 ist dabei ebenfalls von Kreisbögen begrenzt, die jedoch einen etwas größeren Krümmungsradius besitzen, so daß Ausdehnungsräume 21 verbleiben. Die nach innen gewölbten Teile des Hüllrohres 1 können sich auf dem Füllmaterial 2 abstützen. Sollten stärkere Ausdehnungen desselben auftreten, ist es zweckmäßig, ähnlich wie in Fig. 1 die anfänglichen Ausdehnungsräume durch entsprechende Wahl der Radien für die Hülle 1 größer zu gestalten. In jedem Falle gehen diese Radien ohne Knick tangential ineinander über. Wenn sich z.B. bei Störfällen ein höherer innerer Überdruck bildet, z.B. beim Abfall des Außendruckes im Kühlmittel oder bei einer Überhitzung der

Stäbe, wird sich das Hüllrohr der Kreisform annähern. Dabei vergrößert sich der Gasraum und das Kühlmittel wird nach außen verdrängt. Bei den meisten Reaktortypen verringert sich dadurch die Reaktivität des Reaktors, so daß dadurch die Gefahr des Austritts von Spaltgasen aus den Brennelementen sehr verkleinert wird.

Die Figur 3 zeigt die Verwirklichung der Erfindungsgedanken an einem im wesentlichen sechseckigen Brenn- oder Moderatorstab. Dieser Stab ist als Rohr ausgebildet, seine innere Auskleidung ist mit 3 bezeichnet. Diese sowie das Hüllrohr 1 können beispielsweise mit einer Diffusionssperrschicht gegen Wasserstoff in nicht näher dargestellter Weise ausgekleidet sein. Ähnlich wie in Figur 1 ist dieser Querschnitt in drei Sektoren I, II, III dargestellt. Auch hier ist bei 1a, 1b und 1c die Verformung des Hüllrohres 1 entsprechend dem Grad des Volumenschwellens des Füllmaterials 2 dargestellt. Auch hier sind Kanten vermieden. Sämtliche Bögen gehen kontinuierlich ineinander über. Durch die konkave Gestaltung der Partien 11 des Hüllrohres ist ein ständiges Anliegen dieser Teile an der inneren Füllung 2 gewährleistet, so daß die auftretenden Verformungen gleichmäßig auf die Eckpartien verteilt und unzulässig hohe Belastungen im Material vermieden werden. Die Gefahr von Risbildungen wird also mit Sicherheit vermieden. Diese Formgebung wäre selbstverständlich auch möglich für volle Kernbrennstäbe ohne das Innenrohr 3, abgesehen davon, daß auch andere Gestaltungen der Partien 11 bzw. der Anlageflächen des Füllstoffs 2 bei entsprechenden Reaktorbetriebsbedingungen denkbar sind. Sollten Unverträglichkeiten zwischen dem Füllstoff 2 und dem Hüllrohrmaterial bzw. dem Material der Diffusionssperre auftreten, so sind selbstverständlich Sperrschichten zwischen diesen z.B. in Gestalt von Stahlfolien denkbar, die der Form des Hüllrohres angepaßt sein können und somit ebenfalls wie dieses den Formänderungen folgen können.

Schließlich zeigt Figur 4 eine etwas ungewöhnliche Form eines solchen Brennstabes oder Moderatorstabes. Diese nierenförmige Form wird beispielsweise dann angezeigt sein, wenn Lücken in der Randzone des Reaktorkerns ausgefüllt werden sollen. Auch hier wird ein Ausdehnungsraum 21 durch unterschiedliche Radien des Hüllrohres 1 und des Füllstoffes 2 gebildet. In dieser Zeichnung ist eine Diffusionssperrschicht z.B. aus Emaille mit 12 bezeichnet. Auch hier wird bei einem etwaigen Volumenwachstum des Füllstoffes 2 das Hüllrohrmaterial mechanisch nicht überlastet, so daß mögliche Brennstabschäden von dieser Seite her nicht auftreten können.

Wie diese Beispiele zeigen, ist man für die Verwirklichung des vorliegenden Erfindungsprinzips nicht mehr auf die Kreisform für solche Brenn- oder Moderatorstäbe allein angewiesen, sondern kann nach den örtlichen Verhältnissen die günstigste Stabform hinsichtlich der größten Raumausnutzung, der Gleichmäßigkeit der Kühlquerschnitte sowie stabilerer Abstandshalter wählen.

Ein Verschluß derartiger Brenn- oder Moderatorstäbe kann in üblicher Weise durch Endkappen erfolgen. Zwischen diesen und dem Beginn der evtl. schwellbaren Füllung aus Kernbrennstoff oder Moderatorstoffen ist es zweckmäßig, einen gewissen Abstand vorzusehen, damit bei der Verformung des Hüllrohres während des Betriebes praktisch keine Spannungen auf die dichte Verbindungsschweißnaht zwischen Hüllrohren und Endkappen übertragen werden können. Dieser Raum zwischen den Endkappen und der Füllung der Stäbe ist nicht verloren, da er für die Aufnahme von Spaltgasen usw. benötigt wird.

5 Patentansprüche

4 Figuren

Patentansprüche

1. Kernreaktorbrenn- und/oder Moderatorstab mit einer möglichst großen Packungsdichte im Reaktorkern ermöglichen- den Querschnittsform sowie Belassung eines Ausdehnungs- raumes für die Stabfüllung und während des Betriebes ent- stehender Gase innerhalb des Hüllrohres, das in üblicher Weise an den Enden des Stabes druckdicht verschlossen sein kann, dadurch gekennzeichnet, daß in Umfangsrichtung gesehen das Hüllrohr abwechselnd an der Stabfüllung an- liegt bzw. einen Hohlraum bildet und daß das Hüllrohr zu diesem Zweck im Bereich des letzteren eine im Neuzustand praktisch kreiszylinderförmige Auswölbung hat, die fließend in die an der Stabfüllung anliegenden Hüllrohrpartien über- geht.
2. Kernreaktorbrenn- und/oder Moderatorstab nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Stabfüllung einen Querschnitt in Gestalt eines Dreiecks mit abgestumpften Ecken hat und das Hüllrohr über diesen Ecken kreisförmig ausgewölbt ist.
3. Kernreaktorbrenn- und/oder Moderatorstab nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt der Stab- füllung von drei ineinander übergehenden kreisähnlichen Kurven begrenzt ist und das Hüllrohr nur im Bereich der Übergangsstellen auf die Füllung abgestützt ist.
4. Kernreaktorbrenn- und/oder Moderatorstab nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Stabfüllung einen sechs- eckigen Querschnitt mit abgestumpften Ecken hat und das sonst auf die Füllung abgestützte Hüllrohr über diesen kreisförmig ausgewölbt ist.
5. Kernreaktorbrenn- und/oder Moderatorstab nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt dieses Stabes den räumlichen Gegebenheiten im Reaktorkern angepaßt ist

und das im wesentlichen auf der Füllung abgestützte
Hüllrohr an den Stellen mit dem kleinsten Krümmungsradius
einen Hohlraum gegenüber der hier abgeflachten Füllung
bildet.

9
Leerseite

41

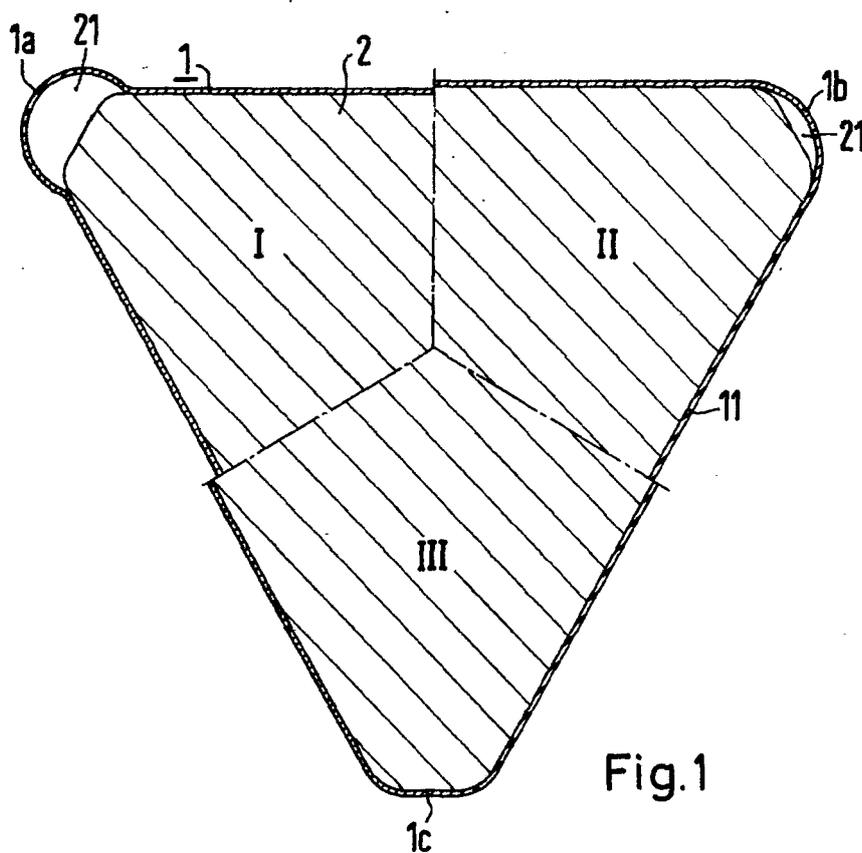


Fig.1

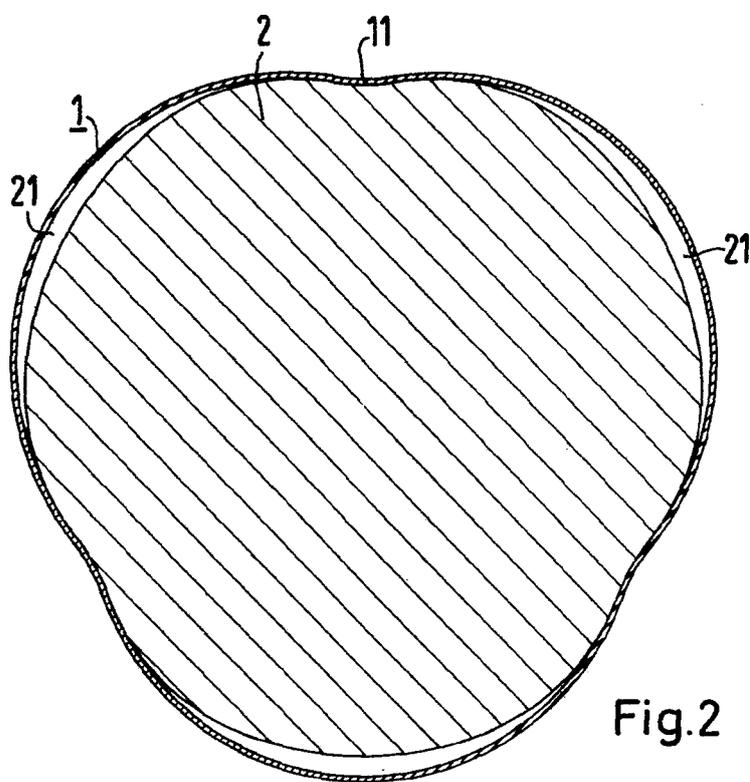


Fig.2

309817/0468

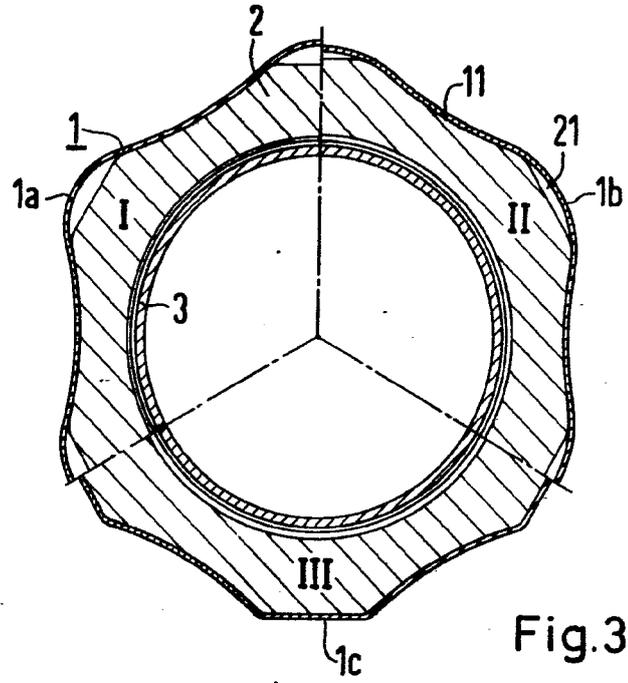


Fig.3

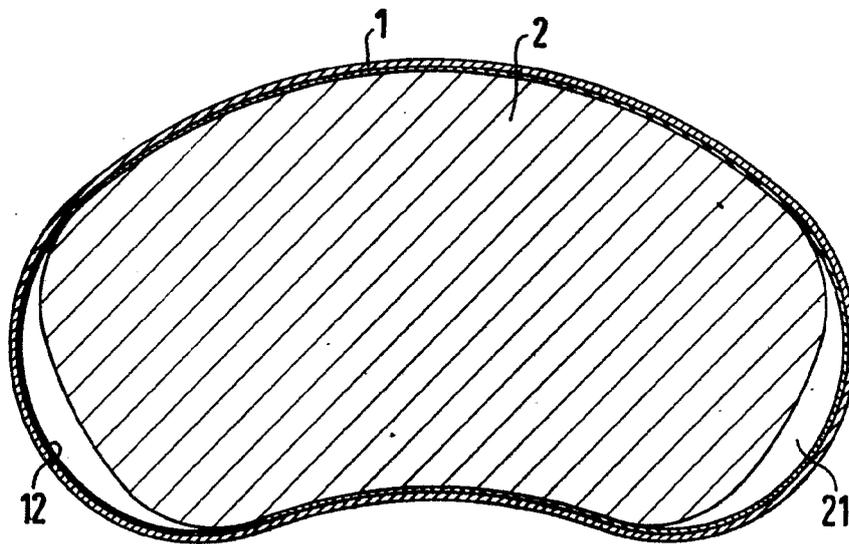


Fig.4