

⑤

Int. Cl. 2:

G 21 C 7-04

⑯ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



DT 24 32 347 A1

⑪

Offenlegungsschrift 24 32 347

⑰

Aktenzeichen: P 24 32 347.5-33

⑱

Anmeldetag: 5. 7. 74

⑲

Offenlegungstag: 22. 1. 76

⑳

Unionspriorität:

⑳ ㉑ ㉒

⑤④

Bezeichnung: Kernreaktor

⑦①

Anmelder: Kraftwerk Union AG, 4330 Mülheim

⑦②

Erfinder: Aleite, Werner, Dipl.-Ing.; Bock, Heinz-Wilhelm, Dr.; Struensee, Susanne;
8520 Erlangen

Prüfungsantrag gem. § 28b PatG ist gestellt

DT 24 32 347 A1

VPA 74/9428 Sm/Hgr

Kernreaktor

Die Erfindung betrifft einen Kernreaktor mit einem aus einzelnen länglichen Brennelementen zusammengesetzten Reaktorkern, dessen Brennelemente gruppenweise nach jeweils einem Abbrandzyklus ersetzt werden, und mit Steuerstäben zur Leistungsregelung, die in Längsrichtung der Brennelemente von einer Seite aus in den Reaktorkern einfahrbar sind, wobei einzelne Brennelemente zur Vergleichmäßigung der Leistungsverteilung über den Reaktorkern mit abbrennbaren Giften versehen sind.

Als ein Kernreaktor der vorstehend genannten Art wird zum Beispiel in den deutschen Offenlegungsschriften 1 909 109 und 1 948 819 ein Siedewasserreaktor beschrieben, bei dem die maximal denkbare Vergleichmäßigung der Leistungsverteilung über den Reaktorkern angestrebt wird. Die zu diesem Zweck eingesetzten abbrennbaren Gifte, zum Beispiel Gadolinium, sind in die Brennstäbe der Brennelementebündel eingearbeitet. Ihre Konzentration ist der Lage des Brennstabes im Kern entsprechend vielfach unterschiedlich gewählt, und zwar nicht nur in der radialen Richtung, d.h. entsprechend dem Abstand von der Achse des Reaktorkerns, sondern auch in der dazu senkrechten, sogenannten axialen Richtung. Daraus ergibt sich eine Erschwerung der Herstellung der Brennstäbe und des ganzen Reaktorkerns.

Der erfindungsgemäße Einsatz von abbrennbaren Giften hat dagegen nicht die optimale Vergleichmäßigung der Leistungsverteilung, sondern eine vielmehr suboptimale Vergleichmäßigung zum Ziel, die die Regelbarkeit des Reaktors bei normalem, wirtschaftlichem Betrieb verbessert. Zu diesem Zweck

sind die abbrennbaren Gifte in solchen Brennelementen, die von einem vorangegangenen Abbrandzyklus übernommen sind, angeordnet und von der den Steuerstäben zugekehrten Seite ausgehend über höchstens 20% der Länge der Brennelemente verteilt. Vorzugsweise befinden sich die abbrennbaren Gifte nur auf der dem Kühlmittelaustritt zugekehrten, üblicherweise oberen Seite des Reaktorkerns.

Bei der Erfindung ist in striktem Gegensatz zu der technischen Lehre der vorgenannten Offenlegungsschriften bewußt eine einseitige Anordnung der abbrennbaren Gifte vorgesehen, und zwar nur über ein Fünftel des Kernvolumens. Dadurch kann, wie umfangreiche Untersuchungen ergeben haben, die Regelbarkeit insbesondere großer Kernreaktoren, die als Druckwasserreaktoren ausgebildet sind, erheblich verbessert werden. Dies beruht darauf, daß die Brennelemente, die aus einem vorangegangenen Abbrandzyklus übernommen sind, vor allem wegen der für die Leistungsregelung üblichen Steuerstabführung und wegen des unterschiedlichen axialen Abbrands infolge der Reaktivitätsrückwirkung der Kühlmittelaufwärmspanne an der einen Seite, von der aus die Steuerstäbe in den Reaktorkern einfahren und an der das Kühlmittel heißer ist, eine größere Reaktivität aufweisen als an der anderen Seite. Diese größere Reaktivität wird durch die nach der Erfindung vorgesehenen abbrennbaren Gifte kompensiert, damit auch schnelle Leistungserhöhungen, bei denen die zur Leistungsregelung dienenden Steuerstäbe nahezu vollständig oder sogar vollständig aus dem Reaktorkern ausgefahren werden, keine unzulässigen örtlichen Leistungsspitzen verursachen. Mit dieser in Kauf genommenen Verringerung der gleichmäßigen Leistungsentwicklung am einen Ende einer Gruppe von Brennelementen wird aber die Regelbarkeit des Kernreaktors so weit erhöht, daß der neue Kernreaktor uneingeschränkt für den Lastfolgebetrieb zur Stützung der Netzfrequenz herangezogen werden kann.

Die abbrennbaren Gifte können vorteilhaft in besonderen Stä-

ben untergebracht sein. Damit sind nicht nur Anordnungen gemeint, die in Brennelementen der für Leichtwasserreaktoren üblichen Bauweise an die Stelle von Brennstäben treten, sondern auch zusätzliche längliche Konstruktionen, mit denen die abbrennbaren Gifte in dem erfindungsgemäßen Bereich untergebracht werden können. Jedenfalls gestattet es die im Gegensatz zu den vorgenannten Offenlegungsschriften stehende Anordnung der abbrennbaren Gifte in besonderen Stäben, die Brennelemente, die aus einem Reaktorkern stammen und beim Umsetzen und Nachladen von neuen Brennelementen mit Reaktorgiften versehen werden sollen, schnell und ohne Transport in eine Brennelementefabrik mit abbrennbaren Giften auszustatten.

Die abbrennbaren Gifte brauchen keine starke Wirkung auszuüben, es genügt, wenn sie eine Anfangsreaktivität von 1% binden. Vorzugsweise verwendet man Gifte, die nach 3 bis 4-monatigem Normalbetrieb unwirksam sind. Unter Normalbetrieb wird dabei ein Leistungsbetrieb mit mindestens 50% der Nennleistung des Kernreaktors verstanden. Es hat sich nämlich gezeigt, daß danach eine so weitgehende Angleichung der Leistung der einzelnen Brennelemente erfolgt ist, daß die für einen Lastfolgebetrieb zur Frequenzstützung erforderlichen großen Lastrampen auch ohne abbrennbare Gifte eingehalten werden können.

Zur näheren Erläuterung der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung ein Ausführungsbeispiel beschrieben. Dabei ist in den Fig. 1 und 2 in einem Vertikalschnitt und einer Draufsicht etwas vereinfacht der Reaktordruckbehälter eines Druckwasserreaktors dargestellt, dessen Reaktorkern nach der Erfindung ausgebildet ist. Die Fig. 3 zeigt in einer Ansicht ein einzelnes Brennelement des Reaktorkerns.

Der gezeichnete Druckwasserreaktor für zum Beispiel 1000 MWe besitzt einen Reaktordruckbehälter 1, der aus einem Unterteil 2 und einem mit diesen über Flansche 3 verbundenen Deckel 4 besteht. Der Reaktordruckbehälter 1 enthält in einem

sogenannten Kernbehälter 5 einen Reaktorkern 6, der aus vertikal angeordneten länglichen, im Querschnitt quadratischen Brennelementen 8 zusammengesetzt ist. Zu einem Kern können etwa 100 bis zu mehr als 200 Brennelemente gehören, die aus Brennstäben mit den diese an den Enden umfassenden Kopfstücken bestehen. Die Brennstäbe sind Metallrohre, die nach dem Einfüllen von uranhaltigen Tabletten dicht verschweißt werden.

Die im Reaktorkern 6 durch Kernspaltung mit Hilfe von Neutronen entwickelte Leistung wird durch Steuerstäbe 10 geregelt, die als neutronenabsorbierendes Material zum Beispiel Borcarbid enthalten und in Längsrichtung der Brennelemente 8 verstellbar sind. Ihre Antriebe 11 sind auf Stützen 12 des Druckbehälterdeckels 4 befestigt. Die Steuerstäbe 10 werden demnach zur Regelung der Reaktorleistung von der Oberseite her in den Reaktorkern 6 hinein- oder aus diesem herausgefahren.

Die im Reaktorkern 6 durch Kernspaltung entstehende Wärme wird durch unter hohem Druck stehendes Wasser abgeführt, das den Reaktorkern in Richtung der Pfeile 15 durchströmt. Außerhalb des Reaktordruckbehälters 1 gelangt das Wasser über eine Leitung 16 zu einem nicht dargestellten Dampferzeuger, von dem es durch eine ebenfalls nicht dargestellte Hauptkühlmittelpumpe über die Leitung 17 in den Reaktordruckbehälter 1 zurückgefördert wird.

Der Reaktorkern 6 verringert bei der Wärmeerzeugung seine Reaktivität. Deshalb muß der Kernreaktor nach einer als Abbrennzyklus bezeichneten Zeit von zum Beispiel einem Jahr nachgeladen werden. Hierbei werden die meisten der Brennelemente 8 des Reaktorkerns erneut verwendet. In der Draufsicht der Fig. 2 sind diese mit 8' bezeichneten Brennelemente etwa in der Mitte des Reaktorkerns 6 zu sehen. In der Regel sind sie schachbrettartig verteilt. Sie sind nach der Erfindung mit abbrennbaren Giften versehen.

In Fig. 3 ist dargestellt, daß zwischen die Brennstäbe 20

des in größerem Maßstab vereinfacht perspektivisch gezeichneten Brennelements 8' auf seiner Oberseite im Kopfstück 21 zehn Stäbe 22 ragen, die parallel zur Längsrichtung der Brennstäbe 20 über 20% der Höhe H des Brennelementes 8' reichen. Die Stäbe 22 können als Rohre ausgeführt sein, die u.a. Gadolinium oder ein anderes abbrennbares Gift enthalten. Das Gift kann in Form stabförmiger Körper in den Rohren angeordnet sein. Es ist auch möglich, körniges oder pulverförmiges abbrennbares Gift in Metallrohre einzusetzen. Eine andere Möglichkeit zur Verwirklichung der Erfindung besteht in massiven Metallstiften, deren Metall das abbrennbare Gift zugeetzt ist. Die Stäbe können einen wesentlich kleineren Durchmesser als die Brennstäbe 20 aufweisen, so daß sie in die Teilung der Brennstäbe 20 hineinpassen. Sie können aber zum Beispiel auch als die Brennstäbe konzentrisch umfassende Rohre ausgebildet sein, wenn durch Öffnungen für die erforderliche Kühlmittelströmung gesorgt ist. Gegebenenfalls kann man auch die zum Brennelementskelett gehörenden Führungsrohre in dem erfindungsgemäßen Bereich mit abbrennbaren Giften versehen.

Bei der Erfindung wird erreicht, daß die "alten", d.h. aus einem vorangegangenen Brennelementzyklus übernommenen Brennelemente 8' auch bei schnellen Leistungssteigerungen, insbesondere oben, keine örtliche Überhitzung erfahren, wenn die zur Leistungsregelung dienenden Steuerstäbe 10 vollständig aus dem Reaktorkern herausgefahren werden. In diesem Fall werden am oberen Ende (Bereich $0,2H$) der Brennelemente die abbrennbaren Gifte wirksam und kompensieren, daß im Normalfall die Steuerstäbe 10 zwar am oberen Rand des Reaktorkerns 6 stehen, dort aber doch noch eine so weitgehende Abschirmung der Brennelemente 8 bewirken, daß am Ende eines Abbrandzyklus oben eine merklich höhere Reaktivität vorhanden ist als im Bereich des unteren Kopfstückes 24.

Beim Ausführungsbeispiel sind im Reaktorkern 6 neun Brennelemente 8' eingezeichnet, die bereits einen Abbrandzyklus

durchlaufen haben. Die Zahl der Elemente richtet sich jedoch nach der Gesamtmenge der Brennelemente 8 des Kerns 6. Üblicherweise beträgt sie etwa $2/3$ aller Brennelemente 8. Diesen sind die Stäbe 22 mit dem abbrennbaren Gift zugeordnet. Die Erfindung kann aber auch so verwirklicht werden, daß weitere Stäbe 22 mit abbrennbaren Giften in der Nähe der Brennelemente 8' in anderen Brennelementen 8 vorgesehen sind.

Da bei der Ausführungsform nach Fig. 3 zehn Stäbe 22 mit abbrennbarem Gift pro Brennelement 8' vorgesehen sind, sind über den Reaktorkern insgesamt fast 100 Stäbe 22 verteilt. Ihre Wirksamkeit soll so groß sein, daß sie zusammengenommen 1% der Anfangsreaktivität des Kerns 6 binden. Das reicht zur Kompensation der anfänglichen örtlichen "Überreaktivität" aus, die ohnehin nach einem vierteljährlichen Normalbetrieb mit 50% Nennleistung oder mehr abgebrannt ist, so daß auch das abbrennbare Gift verbraucht sein kann. Dies läßt sich durch geeignete Wahl der Menge, Anordnung und des Stoffes der abbrennbaren Gifte erreichen.

4 Patentansprüche

3 Figuren

Patentansprüche

1. Kernreaktor, insbesondere Druckwasserreaktor, mit einem aus einzelnen länglichen Brennelementen zusammengesetzten Reaktorkern, dessen Brennelemente gruppenweise nach jeweils einem Abbrandzyklus ersetzt werden, und mit Steuerstäben zur Leistungsregelung, die in Längsrichtung der Brennelemente von einer Seite aus vorzugsweise von oben in den Reaktorkern einfahrbar sind, wobei einzelne Brennelemente zur Vergleichmäßigung der Leistungsverteilung über den Reaktorkern mit abbrennbaren Giften versehen sind, dadurch gekennzeichnet, daß die abbrennbaren Gifte in solchen Brennelementen (8'), die von einem vorangegangenen Abbrandzyklus übernommen sind, angeordnet und von der den Steuerstäben (10) zugekehrten Seite ausgehend über höchstens 20% der Länge (4) der Brennelemente (8') verteilt sind.
2. Kernreaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die abbrennbaren Gifte in besonderen Stäben (22) untergebracht sind.
3. Kernreaktor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die abbrennbaren Gifte zusammen eine Anfangsreaktivität von 1% binden.
4. Kernreaktor nach Anspruch 1, 2 oder 3, gekennzeichnet durch solche abbrennbaren Gifte, die nach 3 bis 4-monatigem Normalbetrieb unwirksam sind.

- 8.
Leerseite

G21C

7-04

AT:05.07.1974

OT:22.01.1976

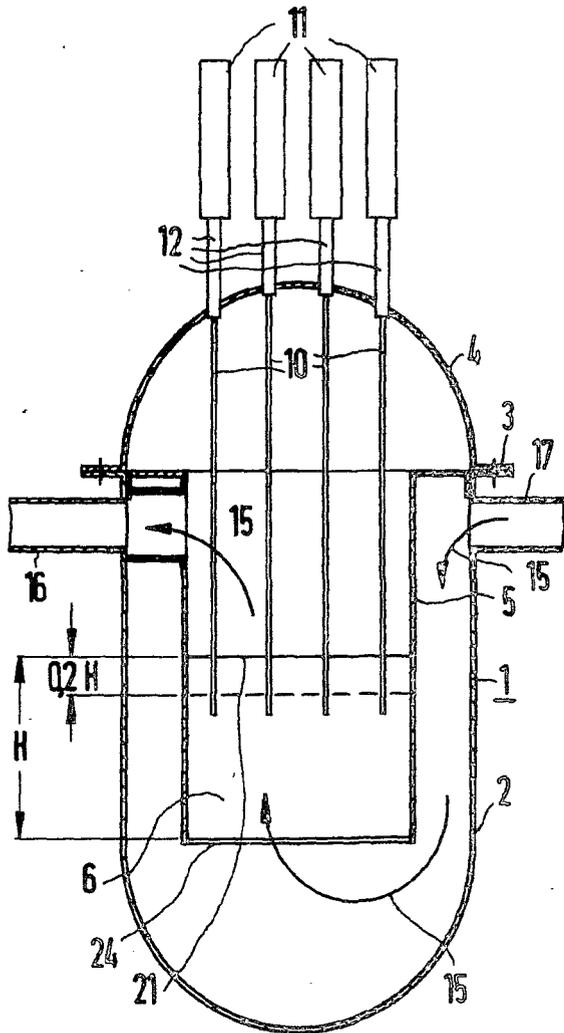


Fig. 1

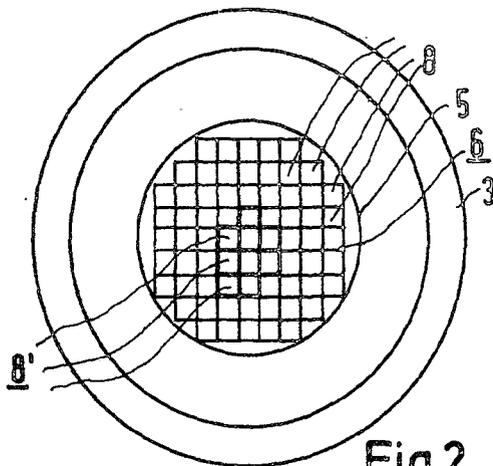


Fig. 2

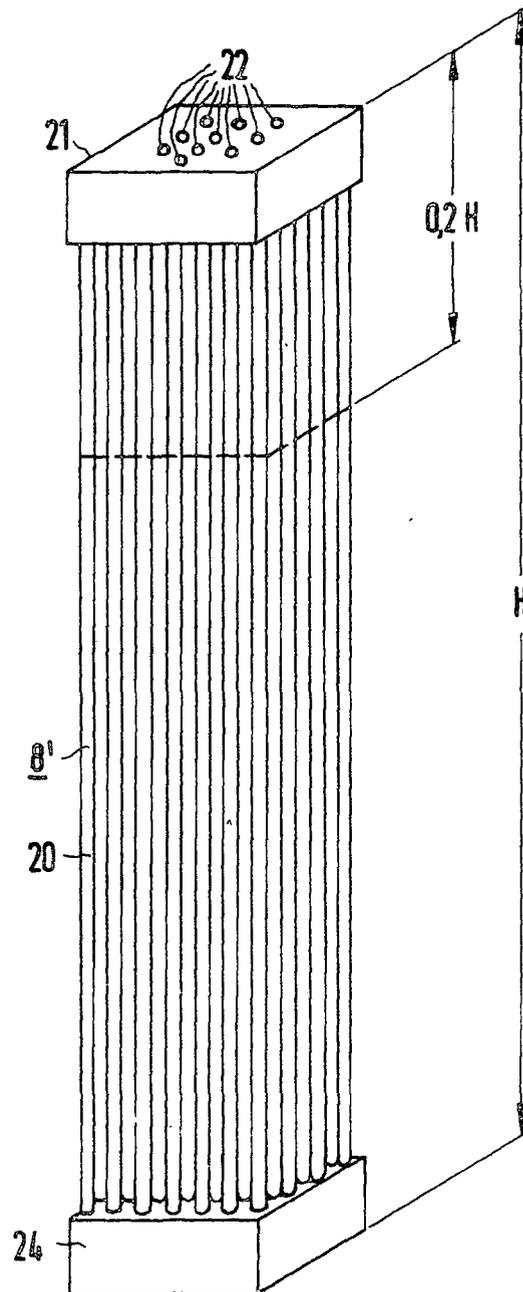


Fig. 3