

51

Int. Cl. 2:

G 21 C 19/00

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



DE 27 35 935 A 1

11

Offenlegungsschrift 27 35 935

21

Aktenzeichen: P 27 35 935.9

22

Anmeldetag: 10. 8. 77

43

Offenlegungstag: 22. 2. 79

31

Unionspriorität:

32 33 31

54

Bezeichnung: Verfahren zum erstmaligen Beladen eines gasgekühlten Kernreaktors mit Betriebselementen

71

Anmelder: Hochtemperatur-Reaktorbau GmbH, 5000 Köln

72

Erfinder: Bromkamp, Karl-Heinz, Dipl.-Ing. Dr., 6711 Beindersheim;
Daoud, Hassan, Dipl.-Phys. Dr., 6831 Brühl; Engelhardt, Klaus,
6733 Haßloch; Hantke, Hans-Jürgen, Dipl.-Phys. Dr., 6834 Ketsch

DE 27 35 935 A 1

P a t e n t a n s p r ü c h e
=====

- 1) Verfahren zum erstmaligen Beladen eines gasgekühlten Kernreaktors mit Betriebselementen, dessen Kern aus einer Schüttung mehrerer Sorten von kugelförmigen Betriebselementen gebildet wird und von einem zylindrischen Seitenreflektor umgeben ist und der mit Hilfe direkt in die Schüttung einfahrbarer Absorberstäbe (Corestäbe) sowie in vertikale Bohrungen des Seitenreflektors einfahrbarer Absorberstäbe (Reflektorstäbe) abschaltbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß die kugelförmigen Betriebselemente bei voll in den Kern eingefahrenen Corestäben und ausgefahrenen Reflektorstäben in einzelnen Beladungsschritten entsprechend dem vorgegebenen Mischungsverhältnis der verschiedenen Kugelsorten in den Kern eingebracht werden, wobei gemäß der Auslegungsdaten des Kerns und der Wirksamkeit der Corestäbe der Kern während des gesamten Beladungsvorganges unterkritisch bleibt.
- 2) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch Messung der inversen Multiplikation des Kerns nach jedem Beladungsschritt die Größe des folgenden Beladungsschrittes so festgelegt wird, daß stets nicht mehr als die Hälfte derjenigen Brennstoffmenge zugeladen wird, die laut Extrapolation den Kern kritisch machen würde.
- 3) Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch seine Anwendung auf einen gasgekühlten Kernreaktor, dessen Kern von mindestens zwei Zonen gebildet wird, die sich hinsichtlich ihres Brennstoffgehalts unterscheiden.

...2/

HOCHTEMPERATUR-REAKTORBAU GmbH

Hansaring 53 - 57

5000 K ö l n 1

Verfahren zum erstmaligen Beladen eines gasgekühlten Kernreaktors mit Betriebselementen

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum erstmaligen Beladen eines gasgekühlten Kernreaktors mit Betriebselementen, dessen Kern aus einer Schüttung mehrerer Sorten von kugelförmigen Betriebselementen gebildet wird und von einem zylindrischen Seitenreflektor umgeben ist und der mit Hilfe direkt in die Schüttung einfahrbarer Absorberstäbe (Corestäbe) sowie in vertikale Bohrungen des Seitenreflektors einfahrbarer Absorberstäbe (Reflektorstäbe) abschaltbar ist.

Bei der Erstbeladung eines derartigen Kernreaktors (Kugelhafenreaktors) wird der Reaktorkern aus einer vorgegebenen Anzahl von Brennstoffkugeln, Graphitkugeln und Absorberkugeln aufgebaut, die eine statistische Schüttung bilden. In kernphysikalischer Hinsicht kann man davon ausgehen, daß eine homogene Verteilung der Betriebselemente im Reaktorkern vorliegt.

Die Brennstoffbeladung und das erste Kritischmachen des Kernreaktors gehören zu den wichtigsten Phasen der nuklearen Inbe-

...3/

909808/0180

triebnahme eines Kernkraftwerks. Neben der Reaktorsicherheit ist die Wirtschaftlichkeit eines Kernkraftwerks sowohl für den Hersteller als auch für den Betreiber von großem Interesse. Man ist daher bestrebt, Zeit und Kosten der nuklearen Inbetriebnahme möglichst zu minimieren. Um den Nachweis zu führen, daß der Kernreaktor für die geplante Leistung richtig dimensioniert und betriebssicher ist, muß in einem frischen Reaktorkern und bei niedriger Leistung eine Reihe wichtiger Messungen vorgenommen werden (sogenannte Nullenergieversuche, die bei einer thermischen Reaktorleistung von einigen KW durchgeführt werden). Für die optimale nukleare Inbetriebnahme eines Kernreaktors ist es wichtig, Erfahrungen von anderen Kernreaktoren zu berücksichtigen, um die Nullenergieversuche auf ein annehmbares Maß beschränken zu können.

Für Kugelhaufenreaktoren stehen entsprechende Erfahrungen z.Zt. nur aus der Inbetriebnahme des Versuchsreaktors in Jülich zur Verfügung. Bei diesem Reaktor werden die der Abschaltung dienenden Absorberstäbe nicht direkt in die Schüttung der kugelförmigen Betriebselemente eingefahren, sondern sie werden in Graphiteinbauten geführt, die Ausbuchtungen des Seitenreflektors sind. Bei der nuklearen Inbetriebnahme des Versuchsreaktors wurde der Kern bis nahe an die Erstkritikalität ohne eingefahrene Absorberstäbe beladen. Danach erfolgte die Beladung in Schritten, wobei die Reaktivität des jeweiligen Beladungsschrittes mit der Verdoppelungszeitmethode gemessen und durch Einfahren von Absorberstäben kompensiert wurde. An dem voll beladenen Kern wurden sodann einige Nullenergieversuche (z.B. die Eichung von Absorberstäben, die Bestimmung des Druckkoeffizienten und des Temperaturkoeffizienten der Reaktivität) durchgeführt, wobei die Absorberstäbe ein- und ausgefahren werden mußten.

...4/

- 4 -

Bei einem Kernreaktor der eingangs geschilderten Bauart mit direkt in die Schüttung der kugelförmigen Betriebselemente einfahrbaren Absorberstäbe besteht die Gefahr, daß sowohl während des Beladungsvorganges als auch bei der Durchführung von Nullenergieversuchen infolge des Einfahrens der Corestäbe in die Kugelschüttung eine Verdichtung der Schüttung eintritt, was zu einer Erhöhung der Stabkräfte sowie der Bruchrate der Betriebselemente führen würde. Dieser unerwünschte Effekt wird noch durch den (experimentell bestätigten) Umstand verstärkt, daß der Füllfaktor im Erstkern größer ist als im stationären Kern.

Ausgehend von dem genannten Stand der Technik, liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, für einen Kernreaktor der eingangs geschilderten Bauart ein Beladungsverfahren für den Erstkern anzugeben, bei dem die mechanischen Belastungen der Betriebselemente, des Seitenreflektors und der Corestäbe vorgegebene Grenzen nicht überschreiten und das bei einem Minimum an Inbetriebnahmezeit und Inbetriebnahmekosten ein Maximum an Reaktorsicherheit gewährleistet.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß die kugelförmigen Betriebselemente bei voll in den Kern eingefahrenen Corestäben und ausgefahrenen Reflektorstäben in einzelnen Beladungsschritten entsprechend dem vorgegebenen Mischungsverhältnis der verschiedenen Kugelsorten in den Kern eingebracht werden, wobei gemäß der Auslegungsdaten des Kerns und der Wirksamkeit der Corestäbe der Kern während des gesamten Beladungsvorganges unterkritisch bleibt.

Da die Corestäbe während des Beladungsvorganges von Anfang an voll eingefahren sind und nicht bewegt werden, kommt es nicht zur Verdichtung der ohnehin dichten Kugelschüttung durch das

...5/

909808/0180

Einfahren von Corestäben bei der Beladung. Dies ist von grosser Bedeutung, denn wegen der eingefahrenen Corestäbe wäre es in der Nullastphase nicht möglich, die Kugelschüttung durch Umwälzen der Betriebselemente aufzulockern. Es kann davon ausgegangen werden, daß das Beladen des Erstkerns bei eingefahrenen, in Ruhe befindlichen Corestäben mit einer minimalen Belastung sowohl der Corestäbe als auch der Betriebselemente und der Reaktoreinbauten verbunden ist.

Die Beladung erfolgt ständig im unterkritischen Zustand, so daß die Beladungsschritte entsprechend groß gewählt werden können. Zudem werden durch diese Beladungsmethode keine spezifischen Sicherheitsanforderungen hervorgerufen, und vorgegebene Sicherheitsrisiken können während und nach dem Beladungsvorgang jederzeit eingehalten werden.

Da keine Messungen der zobeladenen Überschußreaktivität während des Beladens durchgeführt werden, ist die Meßzeit minimal gegenüber der Beladungszeit. Es läßt sich daher mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine optimale Beladungszeit erzielen, was sich auch positiv auf die Inbetriebnahmekosten auswirkt.

Um völlig sicherzustellen, daß der Kern während des Beladungsvorganges unterkritisch bleibt, kann gemäß einer vorteilhaften Weiterentwicklung der Erfindung durch Messung der inversen Multiplikation des Kerns nach jedem Beladungsschritt die Größe des folgenden Beladungsschrittes so festgelegt wer-

...6/

den, daß stets nicht mehr als die Hälfte derjenigen Brennstoffmenge zugeladen wird, die laut Extrapolation den Kern kritisch machen würde.

Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich auch mit Vorteil auf einen gasgekühlten Kernreaktor anwenden, dessen Kern von mindestens zwei Zonen gebildet wird, die sich hinsichtlich ihres Brennstoffgehalts unterscheiden. Hierbei kann es sich um eine zylindrische Innenzone und um mindestens eine konzentrisch zu dieser angeordnete ringförmige Außenzone handeln. Zusätzlich zu diesen Zonen kann ein Kernreaktor nach der Erstbeladung sich in axialer Richtung erstreckende Bereiche mit verschiedenem Brennstoffgehalt aufweisen, wobei in dem untersten Bereich ein hoher Anteil an Graphitkugeln vorgesehen ist, der zum obersten Bereich hin stufenweise kleiner wird, während der Anteil der Brennstoffkugeln zunimmt. Eine solche Brennstoffverteilung im Kern liegt z.B. bei einem Kernreaktor vor, dessen Brennelemente bereits nach einmaligem Durchlaufen des Kerns den gewünschten Endabbrand erreicht haben. Somit ist in dem obersten Bereich bereits nach der (einmaligen) Beladung die endgültige Beschickungscharge des Gleichgewichtszyklus vorhanden.

An Hand eines Beispiels (THTR-300) soll im folgenden das erfindungsgemäße Verfahren näher erläutert werden.

Der Kern des THTR-300 hat einen Durchmesser von 5,6 m und eine mittlere Füllhöhe von 5 m und wird mit ca. 675 000 Betriebselementen gefüllt sein. Diese bestehen aus Brennstoffkugeln mit angereichertem Uran und Thorium, aus Absorberkugeln und Graphitkugeln. Der Erstkern wird eine innere und eine äußere Zone enthalten mit einem Verhältnis der Brennstoffdichte in der äußeren Zone zur inneren Zone von 1,55. Das Mischungsverhältnis der drei Sorten von Betriebselementen ist in jeder Zo-

...7/

- 7 -

ne konstant. Zur Abschaltung des Reaktors sind 42 Corestäbe und 36 Reflektorstäbe vorgesehen.

Die Beladung des Kern erfolgt über drei Positionen in der inneren Zone und 12 Positionen in der äußeren Zone, wobei die kugelförmigen Betriebselemente kontinuierlich dem Kern zugeführt werden. Die innere und die äußere Zone werden abwechselnd beladen. Die Größe der Beladungsschritte wird dabei so gewählt, daß die sich zwischen der inneren und der äußeren Zone einstellende Mischzone eine vorgegebene Breite nicht übersteigt. Da die Mischungsverhältnisse der drei Kugelsorten in jeder Zone konstant sind, können die Mischungen außerhalb des Kerns hergestellt werden.

Die Reflektorstäbe sind während des ganzen Beschickungsvorganges in ausgefahrener Position, während die Corestäbe in den Kern eingefahren sind und zu Beginn der Beladung frei in der Luft hängen. Sie werden dann durch die anwachsende Kugelschüttung von unten her mehr und mehr bedeckt. Entsprechend den Auslegungsdaten des THTR-300 beträgt die Überschußreaktivität des voll beladenen Erstkernes 11,7 Nile und die Wirksamkeit der 42 Corestäbe 14,5 Nile. Die Beladung erfolgt also ständig im unterkritischen Zustand. Dies wird außerdem dadurch gewährleistet, daß während des Beladungsvorganges nach jedem Beladungsschritt die Unterkritikalität durch Messung der inversen Multiplikation kontrolliert wird. Die jeweils folgenden Beladungsschritte werden in ihrer Größe so festgelegt, daß stets nur höchstens die Hälfte derjenigen Brennstoffmenge zugeladen wird, die nach Extrapolation den Kern kritisch machen würde.

809808/0180