

51

Int. Cl. 2:

G 21 C 15/18

19 **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**



11

Auslegeschrift 23 16 007

21

Aktenzeichen: P 23 16 007.8-33

22

Anmeldetag: 30. 3. 73

43

Offenlegungstag: 10. 10. 74

44

Bekanntmachungstag: 13. 9. 79

31

Unionspriorität:

32 33 31

—

54

Bezeichnung: Flüssigkeitsgekühlter Kernreaktor und Verfahren zu seiner Notkühlung

71

Anmelder: Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München

72

Erfinder: Braun, Wolfgang, Dipl.-Phys. Dr., 8520 Erlangen

56

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-OS 21 31 377

GB 9 07 458

JP 12 090-61

Nucleonics, Oktober 1965, S. 64

Atomwirtschaft, Februar 1972, S. 110-112

Atomwirtschaft, November 1971, S. 610-612

DE 23 16 007 B 2

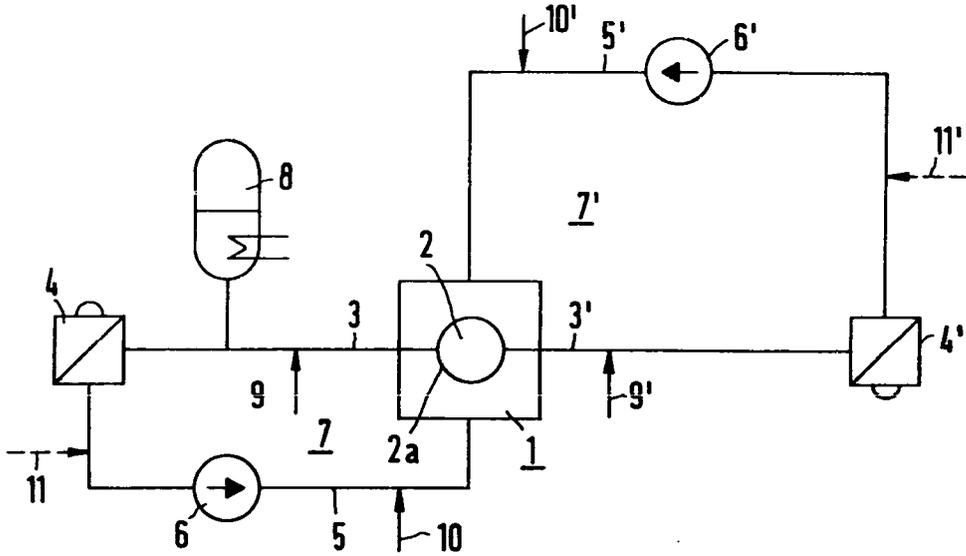


Fig.1

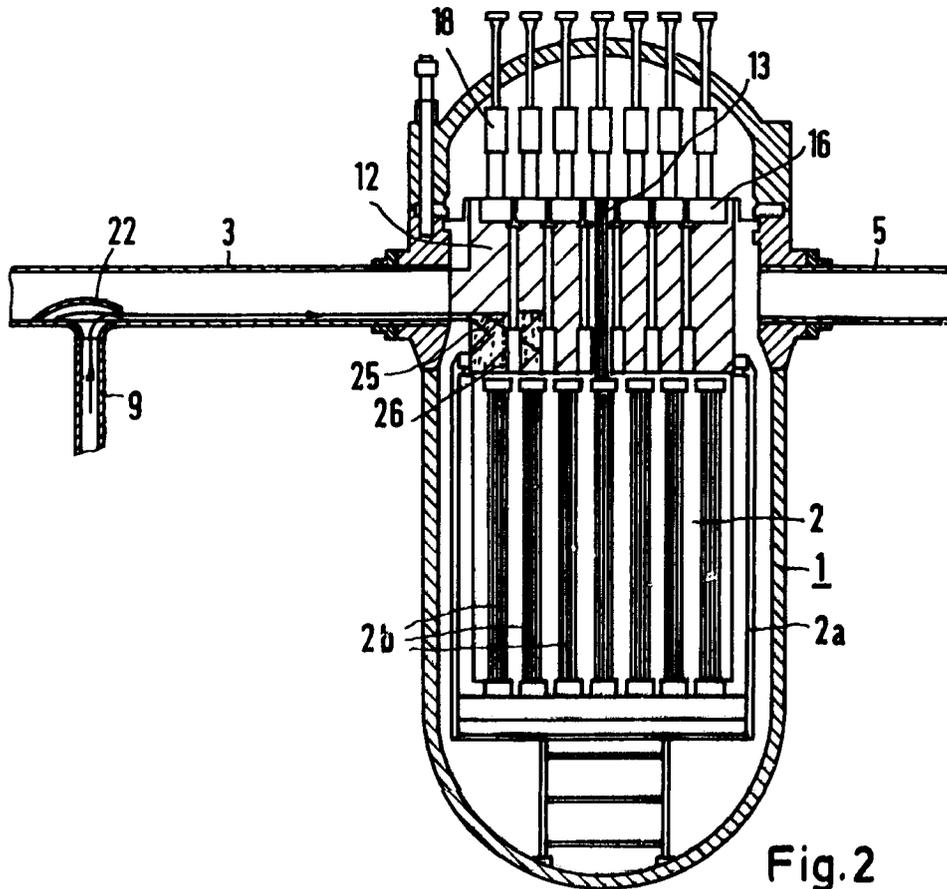


Fig.2

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Notkühlung eines flüssigkeitsgekühlten Kernreaktors, insbesondere eines Druckwasserreaktors, mit einem Reaktordruckbehälter, der einen Reaktorkern einschließt und über eine oder mehrere »heiße« und »kalte« Kühlmittleitungen mit einem oder mehreren Wärmeverbrauchern verbunden ist, wobei eine Notkühlung für den Fall eines Bruches der Kühlmittleitungen durch Einspeisen von Notkühlmittel in den Reaktordruckbehälter oberhalb des Reaktorkerns vorgesehen ist, wo das Notkühlmittel oberhalb des Reaktorkerns Dampf kondensiert, dadurch gekennzeichnet, daß das Notkühlmittel als kompakter, freier Strahl (25) in den Raum (12) oberhalb des Reaktorkerns (2) eingeleitet und dort zu einem großflächigen Sprühschleier (26) zerstäubt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Sprühschleier (26) mindestens $\frac{1}{4}$ der gesamten Einspeisemenge des Notkühlmittels umfaßt und daß der Rest des Notkühlmittels von unten an den Reaktorkern (2) geführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Rest des Notkühlmittels durch die kalten Kühlmittleitungen (5) zugeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das den Sprühschleier (26) bildende Notkühlmittel durch die heißen Kühlmittleitungen (3) in den Reaktordruckbehälter (1) eingeleitet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das den Sprühschleier (26) bildende Notkühlmittel durch gesonderte Anschlußstutzen (30, 15) des Reaktordruckbehälters (1) in den Raum (12) oberhalb des Reaktorkerns eingeleitet wird.

6. Flüssigkeitsgekühlter Kernreaktor zur Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Anschlußstutzen (15) im Deckel (32) des Reaktordruckbehälters (1) sitzen.

7. Flüssigkeitsgekühlter Kernreaktor zur Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Zerstäubung des Strahls (25) im Reaktordruckbehälter (1) Prallbleche (31) oberhalb des Reaktorkerns (2) angebracht sind.

8. Flüssigkeitsgekühlter Kernreaktor zur Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die an die heißen Kühlmittleitungen (3) angeschlossene Notkühlleitung (9) zur Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit mit einer Düse (22) ausgestattet ist, die in Richtung zum Reaktordruckbehälter (1) ausgerichtet ist.

9. Flüssigkeitsgekühlter Kernreaktor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse (22) in den Umfang der Kühlmittleitungen (9) eingelassen ist.

110 bis 112, Sprühleitungen bekannt, die in den Reaktordruckbehälter führen und dort Düsen aufweisen. Solche Sprühleitungen und Düsen komplizieren jedoch den Aufbau im Inneren des Reaktordruckbehälters. Selbst dann, wenn man die zum Sprühen verwendeten Leitungen wie die DE-OS 21 31 377 zeigt, von unten an den Reaktorkern heranführt, ist der zusätzliche Raumbedarf störend für die normale Kühlmittelströmung. Noch ungünstiger ist es jedoch, wenn die Leitungen mit den Düsen, wie die japanische Patentschrift 36-12 090 zeigt, durch den ganzen Reaktorkern geführt sind, weil damit die Neutronenökonomie beeinträchtigt wird und der Wechsel der Brennelemente behindert sein kann.

Im Hinblick auf die vorstehend geschilderten Probleme ist es Aufgabe der Erfindung, die Notkühlung flüssigkeitsgekühlter Kernreaktoren zu verbessern, wobei besonders die für die Kondensation von Dampf wichtige Versprühung des Kühlmittels in einfacher Weise erreicht werden soll.

Diese Aufgabe wird bei dem eingangs genannten Verfahren dadurch gelöst, daß erfindungsgemäß das Notkühlmittel als kompakter, freier Strahl in den Raum oberhalb des Reaktorkerns eingeleitet und dort zu einem großflächigen Sprühschleier zerstäubt wird.

Der großflächige Sprühschleier ergibt eine intensive und schnelle Kondensation des bei einem Kühlmittelverlust entstehenden Dampfes oberhalb des Reaktorkerns. Dadurch wird der Druck im Reaktordruckbehälter abgesenkt, so daß die Wiederauffüllung des Reaktordruckbehälters durch Notkühlmittel erleichtert wird. Diese vorteilhafte Wirkung wird erreicht, ohne daß dazu besondere Leitungen oder Düsen im Reaktordruckbehälter benötigt werden. Dort können allenfalls zur Verbesserung der Zerstäubung des Strahls Prallbleche oberhalb des Reaktorkerns angebracht sein, wenn die in diesem Raum üblicherweise vorhandenen Strukturen, bei Druckwasserreaktoren vor allem die Steuerstabführungsrohre, für die Zerstäubung des Strahles nicht günstig sein sollten.

Bei dem Verfahren nach der Erfindung sollte der Sprühschleier mindestens $\frac{1}{4}$ der gesamten Einspeisemenge des Notkühlmittels umfassen, während der Rest des Notkühlmittels von unten an den Reaktorkern geführt wird.

Dieser Rest wird zweckmäßigerweise durch die kalten Kühlmittleitungen zugeführt, weil diese im Normalfall in den unteren Bereich des Reaktordruckbehälters führen, so daß die Brennelemente mit ihren Brennstäben benetzt werden können, ohne die Dampfkondensation im oberen Teil des Reaktordruckbehälters zu behindern.

Das den Sprühschleier bildende Notkühlmittel wird dagegen vorteilhaft durch die heißen Kühlmittleitungen in den Reaktordruckbehälter eingeleitet, die bei Druckwasserreaktoren üblicher Bauart direkt an das sogenannte obere Plenum angeschlossen sind. Bei dieser Anordnung braucht man keine zusätzlichen Stutzen, die an dem mechanisch hochbeanspruchten Reaktordruckbehälter angebracht werden müssen. Man kann aber auch das den Sprühschleier bildende Notkühlmittel durch gesonderte Anschlußstutzen des Reaktordruckbehälters in den Raum oberhalb des Reaktorkerns einleiten. Solche Anschlußstutzen sitzen vorteilhaft im Deckel des Reaktordruckbehälters, weil sie dann den gesamten Raum oberhalb des Reaktorkerns zu bestreichen gestatten.

Damit der für die Erfindung kennzeichnende freie

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Notkühlung eines flüssigkeitsgekühlten Kernreaktors gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1.

Zur Notkühlung eines Siedewasserreaktors sind aus der Zeitschrift »Nucleonics«, Okt. 1965, Seite 64, Fig. 6 und der Zeitschrift »Atomwirtschaft«, Febr. 1972, Seiten

Strahl erreicht wird und weit genug in den Reaktor-druckbehälter gelangt, dessen Durchmesser einige Meter betragen kann, ist bei einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung die an die heißen Kühlmittleitungen angeschlossene Notkühlleitung zur Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit mit einer Düse ausgestattet, die in Richtung zum Reaktor-druckbehälter ausgerichtet ist. Die Düse kann in den Umfang der Kühlmittleitung eingelassen sein, damit sie die im Normalbetrieb vorliegende Kühlmittelströmung, die ihrer Austrittsrichtung entgegengesetzt verläuft, möglichst wenig behindert.

Zur näheren Erläuterung der Erfindung werden im folgenden anhand der Figuren Ausführungsbeispiele beschrieben.

In Fig. 1 ist schematisch ein Kernkraftwerk mit einem Druckwasser-Leistungsreaktor von z. B. 1000 MWe mit zum Beispiel zwei Kühlmittelschleifen dargestellt. Dieser mit normalem Wasser gekühlte Kernreaktor besitzt einen Reaktor-druckbehälter 1 mit einem Reaktorkern 2 in einem diesen umschließenden Kernbehälter 2a. Vom Kernbehälter 2a gehen die sogenannten heißen Stränge 3, 3' der beiden gleichen Kühlmittelschleifen 7, 7' aus, die zu Dampferzeugern 4, 4' führen. Hinter den Dampferzeugern liegen im kalten Kühlmittelstrang 5, 5' zwei gleiche Hauptkühlmittel-pumpen 6, 6'. Eine der beiden Kühlmittelschleifen ist mit einem Druckhalter 8 verbunden. Zu jeder Kühlmittel-schleife 7, 7' gehören noch Noteinspeiseanschlüsse 9, 9' und 10, 10' am heißen bzw. kalten Strang. Alternativ dazu können die Noteinspeiseanschlüsse der kalten Stränge 5 bzw. 5' auch bei 11 bzw. 11' zwischen den Dampferzeugern 4 bzw. 4' und den Pumpen 6 bzw. 6' angeschlossen werden, wie gestrichelt angedeutet.

In Fig. 2 ist der Reaktor-druckbehälter 1 mit dem Reaktorkern 2 im Kernbehälter 2a in größerem Maßstab in einem Längsschnitt dargestellt. Oberhalb des Kerns 2, der in bekannter Weise aus eng zusammengefügteten Brennelementen 2b besteht, liegt ein weitgehend freier Raum 12. Darin sind lediglich einzelne Einbauteile 13 vorhanden, die gegenüber dem Kernquerschnitt einen kleinen Querschnitt haben. Zu den Einbauteilen 13 zählen zum Beispiel Steuerstabführungs-einsätze und die stützenden Längsstrukturen des oberen Kerngerüsts. Auf der darüberliegenden Deck-platte 16 sitzen Hauben 18, mit denen die Steuerstabführungs-einsätze abgedeckt sind.

Wie Fig. 2 zeigt, ist an der heißen Kühlmittleitung 3 die wesentlich dünnere Noteinspeiseleitung 9 etwa rechtwinklig angebracht. Ihr Querschnitt beträgt nur etwa ein Sechstel bis ein Dreißigstel. Die Mündungsstelle ist mit einer düsenähnlichen Abdeckung 22 so versehen, daß bei einem Unfall, bei dem das normale Kühlmittel aus dem Druckbehälter 1 entwichen ist, eine widerstandsarme Umlenkung für das Notkühlmittel

erreicht wird, das durch den heißen Strang 3 mit erhöhter Geschwindigkeit in den Druckbehälter 1 gepumpt wird.

In den Fig. 3 und 4 ist in größerem Maßstab in Längs- und Querschnitt die Mündung der Noteinspeiseleitung 9 im heißen Strang 3 des Primärkühlkreises näher dargestellt. Man erkennt, daß die Abdeckung 22 aus dem kreisförmigen Querschnitt des Rohres 3 einen kleinen linsenförmigen Bereich 24 abtrennt. Deshalb wird die Noteinspeisemenge von der Abdeckung 22 nicht nur in Richtung der Achse des Rohres 3 umgelenkt, sondern auch auf eine durch den Querschnitt 24 bestimmte Geschwindigkeit gebracht, so daß sie mit beachtlicher kinetischer Energie in den Reaktor-druckbehälter 1 eintritt. Andererseits sorgt die gleichmäßig gerundete Form der Abdeckung 22 für eine geringe Beeinträchtigung der normalen, in Richtung des Pfeiles 23 verlaufende Kühlmittelströmung.

Infolge seiner hohen Geschwindigkeit schießt das Notkühlmittel als geschlossener Strahl 25 aus dem Rohr 3 in den Kernbehälter 2a hinein. Im freien Raum 12 oberhalb des Kerns 2 trifft es auf die Einbauten 13. Es zerstäubt dort zu einem großflächigen Sprühschleier 26, der durch den schraffierten Bereich 26 in Fig. 2 angedeutet ist und mindestens $\frac{1}{4}$ der Kernquerschnitts-fläche umfassen sollte. Dieser Sprühschleier kondensiert den Dampf, der durch den Unfall im Inneren des Reaktor-druckbehälters 1 entsteht. Dadurch verringert sich der Druck, so daß mit einem gegebenem Pumpendruck eine wesentlich bessere Notkühlung erreicht wird.

In Fig. 5 ist eine andere Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Hier sind zur Einspeisung des Notkühlmittels besondere Rohrstützen 30 in die Wand des Reaktor-druckbehälters 1 eingeschweißt, die mit einer Düsenöffnung 14 dafür sorgen, daß das bei der Notkühlung eingespeiste Wasser an den Einbauten 13 im freien Raum 12 über dem Reaktorkern 2 versprüht wird, damit sich wiederum ein großflächiger Sprüh-schleier 26 zur Kondensation von Dampf ausbildet. Zusätzlich können Prallbleche 31 den Strahl gegebenenfalls mit einer winkligen Schneide auch nach oben versprühen.

Das bei der Kondensation erwärmte Notkühlmittel kann gegebenenfalls zusammen mit weiteren, etwa durch die kalte Kühlmittleitung 5 eingespeisten Notkühlmittel von unten her den Reaktor-druckbehälter 1 auffüllen, so daß nach dem Druckabbau oder gleichzeitig damit entsprechend auch eine direkte Kühlung des Reaktorkerns 2 eintritt. Das Verhältnis von versprühtem zu sonstigem Notkühlmittel, das mindestens 1 zu 3 betragen sollte, kann auch in Abhängigkeit vom Dampfdruck im Reaktor-druckbehälter 1 variieren.

