

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
11 **DE 3036232 A1**

5 Int. Cl. 3:
G21 C 15/18
G 21 C 15/24

21 Aktenzeichen: P 30 36 232.4
22 Anmeldetag: 25. 9. 80
43 Offenlegungstag: 6. 5. 82

Behördeneigentum

DE 3036232 A1

71 Anmelder:
Kraftwerk Union AG, 4330 Mülheim, DE

72 Erfinder:
Kumpf, Hermann, Dipl.-Ing., 8501 Wendelstein, DE

54 **Verfahren und Einrichtung zur Notkühlung gasgekühlter schneller Brutreaktoren**

DE 3036232 A1

Patentansprüche

- ① Verfahren zur Notkühlung gasgekühlter schneller Brutreaktoren, deren Kern aus Spalt- und Brutzonen besteht, mit Wasser, das im Störfall aus Düsen von oben auf den Kern gesprüht wird, d a d u r c h g e - k e n n z e i c h n e t , daß das unborierte Wasser einem Reservoir (7) in einer solchen Maximalmenge entnommen wird, daß das im Raum (K1) unterhalb des Kernes (K) sich ansammelnde Kühlwasser höchstens bis zur Unterkante der Spaltzone (1) ansteigt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, für schnelle, gasgekühlte Kernreaktoren mit stehendem Kern und einer Kerntragplatte unterhalb desselben, g e k e n n z e i c h n e t d u r c h eine solche Reservoir-Wassermenge, daß das unterhalb des Kernes (K) sich ansammelnde Kühlwasser höchstens bis zu einem Niveau (W2) ansteigt, welches wenigstens einen Teil des Gasumlaufpfades frei läßt.
3. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß ein nur die maximale Kühlwassermenge enthaltender Vorratstank (7) an Kernsprühleitungen (L) angeschlossen ist und daß der Tank (7) geodätisch höher als die Kernsprühleitungen angeordnet oder als Drucktank ausgebildet ist.
- 4 Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Kernsprühleitungen (L) an Sumpf-Strahlpumpen (9) angeschlossen sind, welche zur Rückförderung des unterhalb des Kernes (K) sich ansammelnden Kühlwassers in die Sprühdüsen (6) dienen, und daß der Jetdruck für die Sumpf-

25.09.80

3036232

- 1-2-

VPA 80 P 93 58 DE

Strahlpumpen (9) von Niederdruck-Pumpen (12) aufgebracht wird, welche über entsprechende Leitungen das Kühlwasser aus dem Tank (7) zu den Ejektoren (9.1) der Sumpf-Strahlpumpen (9) fördern.

5

5. Einrichtung nach Anspruch 3 oder 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß zur Kondensation des an den heißen Brennstäben verdampfenden Kühlwassers eine Wärmesenke in Form eines Hilfswärmetauschers (20) vorgesehen ist, welcher an den oberhalb des Kerns (K) befindlichen Gasraum (21) über eine Dampfleitung (22) angeschlossen ist und dessen Kondenswassers in den Sumpfkreislauf, vorzugsweise über eine Pumpe (23), zurückgespeist wird

15

6. Einrichtung nach Anspruch 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß mehrere in Reihe zueinander geschaltete und durch Bypaßleitungen (14) überbrückte Niederdruck-Pumpen (12) vorgesehen sind.

KRAFTWERK UNION AKTIENGESELLSCHAFT

Unser Zeichen

VPA 80 P 93 58 DE

5 Verfahren und Einrichtung zur Notkühlung gasgekühlter
schneller Brutreaktoren

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Not-
kühlung gasgekühlter schneller Brutreaktoren, deren
Kern aus Spalt- und Brutzonen besteht, mit Wasser, das
10 im Störfall aus Düsen von oben auf den Kern gesprüht
wird. Gegenstand der Erfindung ist auch eine Einrich-
tung zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

Es gibt eine Reihe von sehr unwahrscheinlichen, aber
15 zumindest denkbaren Störfällen, die bei einem gasge-
kühlten schnellen Brüter oder Brutreaktor, nachfolgen-
de abgekürzt als GSB bezeichnet, zum Kernschmelzen
führen könnten. Dazu gehören in erster Linie rasche
Verluste des Kühlmittels, in aller Regel Heliumgas,
20 durch große Lecks mit gleichzeitigem Netzausfall und/
oder Druckhüllenschaden. Mit Helium gekühlte GSB können
von der Werkstoffseite her so ausgebildet werden, daß
sie wasserverträglich sind, also z.B. gelegentliches
Fluten des Kerns zu Reparaturzwecken vertragen, aller-
25 dings normalerweise nach dem Entladen der Brennelemente.
Die Brennelemente selbst sind, von Reaktivitätsproblemen
abgesehen, auch durchaus wasserverträglich, und man
kann sie unter Wasser lagern und kühlen. Es scheint
also keineswegs abwegig, im Notfall Wasserkühlung als
30 zusätzliches andersartiges Kühlmittelsystem einzuset-
zen. Notkühlung durch Besprühen des trockengefahrenen
Kernes mit Wasser ist für Siedewasserreaktoren bekannt,
siehe Aufsatz "Safety concepts and emergency core
cooling for a BWR" von E.Koch und L.Sack in "Nuclear
35 Engineering International", Juni 1972, Seiten 483 -
487. Eine Notkühlung mit Einspritzwasser für eine

- 2-4- VPA 80 P 93 58 DE

Druckwasser-Kernreaktoranlage zeigt die US-PS 3 528 884. Weiterhin ist es durch die DE-AS 25 16 123 bekannt, bei heliumgekühlten, graphitmoderierten Hochtemperatur-Kernreaktoren zum Abführen der Zerfallswärme radioaktiver Spaltprodukte nach dem Eintritt der den Störfall bedingenden Fehlerkombination Wasser, vorzugsweise vollentsalztes Wasser, als Kernkühlmittel zu verwenden. Dabei wird das Wasser insbesondere von oben auf das Core gegossen. Schließlich ist es grundsätzlich für den GSB bekannt, ein Kernschmelzen durch Einsprühen von Notkühlwasser von oben auf den Kern zu verhindern, siehe DE-OS 22 34 744.

Normalerweise reagiert ein GSB-Kern auf die Einbringung geringer und verteilter Wassermengen, z.B. in Dampfform, mit einer Senkung der Reaktivität. Bei manchen Auslegungen ist allerdings zunächst ein minimaler Reaktivitätsanstieg vorhanden, der erst mit steigendem Dampfgehalt verschwindet. Werden jedoch auch nur Teile der Spaltzone mit flüssigem Wasser gefüllt, so resultiert daraus ein starker Reaktivitätsanstieg, der nur mit großen Absorbermengen kompensiert werden könnte. Man müßte also stark boriertes oder unter Umständen mit B10 angereichertes Kühlwasser verwenden. Dies wieder führt zu einer für reine Notmaßnahmen zwar nicht unbedingt prohibitiven, aber umfangreichen und unangenehmen Problemgruppe, die mit der Wiederentfernung des eingebrachten und unter Umständen ausgefällten Bors zusammenhängt.

Es liegt die Aufgabe vor, das Verfahren der eingangs genannten Art so auszugestalten, daß der GSB mit reinem, insbesondere chemisch reinem, Wasser ohne Zusatz von Bor notgekühlt werden kann.

Erfindungsgemäß wird die gestellte Aufgabe durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 enthaltenen Maßnahmen gelöst. Zur Abfuhr der Nachzerfallswärme bei abgeschaltetem Reaktor genügt eine relativ geringe, verdampfende Wassermenge. Dabei wird das Wasser vorteilhaft von oben auf den Kern gesprüht, und zwar nur mäßig zerstäubt aus einer Vielzahl von Düsen und teilweise mit alternierendem Sprühdruk, damit die Strahllänge wechselt und der ganze Kern bestrichen wird. Man vermeidet so nicht besprühte Kernbereiche. Der nicht sofort verdampfende Wasseranteil tropft durch die Brennelemente des Kerns hindurch und steigt sofort wieder auf nach Verdampfung an den heißen Einbauten und Wänden. Bei einigermaßen feiner Wasserverteilung können Thermoschocks dabei, insbesondere in bezug auf die Kerntragplatte, praktisch vermieden werden. Erst nach dem hinreichenden Abkühlen des Reaktordruckbehälters kann sich Wasser im Druckbehälter-Unterteil sammeln und wieder hochgepumpt und erneut versprüht werden.

Die Angabe "bis zur Unterkante der Spaltzone" im Anspruch 1 umschreibt das höchstzulässige Niveau, welches unzulässige Reaktivitätssteigerungen mit Sicherheit vermeidet. Bei einem GSB mit stehendem Kern und einer Kerntragplatte unterhalb desselben kann gemäß Anspruch 2 indessen eine solche Reservoir-Wassermenge vorteilhaft sein, daß das unterhalb des Kerns sich ansammelnde Kühlwasser höchstens bis zur Kerntragplatte ansteigt. In diesem Falle bleibt auf jeden Fall der Weg für eine eventuelle restliche Gaskühlung frei, und die Materialbeanspruchung der Kerntragplatte und der unteren Enden der Brennelemente ist geringer, als wenn diese in Wasser eintauchen würden. Aber auch bei der Grenzauslegung gemäß Anspruch 1 sind noch erhebliche Reserven gegen das Kritischwerden gegeben, da sich ein Teil des Wassers ständig im Dampfzustand befindet und ein anderer Teil als Niederschlag an Wänden und Kühlflächen gebunden ist.

- 16 -

VPA 80 P 93 58 DE

Durch seine Kondensationsfähigkeit bietet das Wasser hervorragende Naturumlauf-Eigenschaften auch bei niedrigen Drücken im Bereich von wenigen bar, bei welchen kein Gas mehr im Stande wäre, im Naturzug ausreichend zu kühlen.

Eine vorteilhafte Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach der Erfindung ist in den Ansprüchen 3 bis 6 angegeben.

10

Im folgenden wird anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels die Erfindung nach näher erläutert.

15 Die einzige Figur zeigt schematisch unter Fortlassung der für das Verständnis der Erfindung nicht erforderlichen Teile einen GSB mit Einrichtungen zur Notkühlung mit Wasser.

20 Der aus der inneren Spaltzone 1 und einer diese ummantelnden Brutzone 2 bestehende Kern K (auch als Core bezeichnet) ist auf der Kerntagplatte 3 und im Innenraum des z.B. hohlzylindrisch geformten biologischen Schildes 5 gelagert, wobei letzterer wieder am Innenumfang des vorzugsweise aus Spannbeton bestehenden Reaktordruckbehälters 4 mit Deckel 4a angeordnet ist. Spaltzone 1 und Brutzone 2 werden durch achsparallel zur Längsachse a des als Ganzes mit GSB bezeichneten Brutreaktors angeordnete Brennelemente gebildet, die jedoch, da für die vorliegende Erfindung ohne Belang, nicht im einzelnen dargestellt sind.

35 Normalerweise wird der in Fig. 1 dargestellte gasgekühlte schnelle Brutreaktor GSB, d.h. sein Kern K, von oben nach unten von Heliumgas durchströmt, so wie es die oberen, zuströmseitigen Kaltgaskanäle g1 und die

- 5 - 7 -

VPA 80 P 93 58 DE

unteren, abströmseitigen Heißgaskanäle g2 mit den ent-
 sprechenden Gasströmungspfeilen G1, G2 verdeutlichen.
 Die Kühlung kann jedoch auch ansteigend, d.h. in umge-
 kehrter Richtung, erfolgen. Wird nun der Helium-Kühl-
 5 kreislauf gestört, so setzt die Notkühlung ein. Dazu
 sind Düsen 6 über den Innenumfang des biologischen
 Schildes 5 verteilt oberhalb des Kernes K angeordnet
 (von denen nur eine dargestellt ist), aus denen im
 Störfall von oben das Wasser auf den Kern K gesprüht
 10 wird. Erfindungsgemäß wird unboriertes Wasser einem
 Reservoir 7 in einer solchen Maximalmenge entnommen,
 daß das im Raum K1 unterhalb des Kernes K sich ansam-
 melnde Kühlwasser höchstens bis zur Unterkante 1.0 der
 Spaltzone 1 ansteigt, was durch die gezackt verlaufende
 15 Wasserniveaulinie W1 angedeutet ist. In Fig. 1 handelt
 es sich um einen stehenden Kern K mit einer Kerntrag-
 platte 3 unterhalb desselben. Für eine solche Anordnung
 ist es besonders günstig, eine solche Reservoir-Wasser-
 menge zu verwenden, daß das unterhalb des Kernes K sich
 20 ansammelnde Kühlwasser höchstens bis zur Kerntragplatte
 3 ansteigen kann, was durch die zweite gezackte Wasser-
 niveaulinie W2 angedeutet ist. Vorteilhaft wird das
 Wasser nur mäßig zerstäubt aus einer Vielzahl von Dü-
 sen 6 und teilweise mit alternierenden Sprühdruck ge-
 25 sprüht, so daß die Strahllänge wechselt und der ganze
 Kern K bestrichen wird. Dies ist durch den aufgefächer-
 ten Sprühstrahl 6a verdeutlicht.

Der nur die maximale Kühlwassermenge W_0 enthaltende
 30 Vorrattank 7 ist an ein System von Kernsprühleitungen
 L angeschlossen, von denen nur eine Verbindungsleitung
 8 dargestellt ist, von welcher über die Sumpfpumpen-
 9 (auch hierbei sind mehrere über den Umfang
 des Kernes K verteilte vorgesehen) das Notkühlwasser
 35 in die Düsen 6 gefördert wird. Aus Gründen der Redun-
 danz können mehrere solcher Tanks 7 vorgesehen sein,
 von denen jeder dann nur eine entsprechende Teilmenge

Notkühlwasser enthält. Der Tank 7 ist wie ersichtlich geodätisch höher als die Düsen 6 des Kernsprüh-Leitungssystems L angeordnet. Die Wassermenge W_0 im Tank 7 kann so bemessen sein, daß sie im Notkühlfall den Sumpfspiegel entweder bis zum Niveau W2 oder aber

5 höchstens bis zum Niveau W1 ansteigen läßt. Durch die geodätisch höhere Anordnung des Vorratstankes 7 wird erreicht, daß auch ohne Pumpen zunächst ein minimaler Sprühdruck für die Notkühlung gewährleistet ist. Der

10 Vorratstank 7 ist über das Einschaltventil 10 und das Rückschlagventil 11 sowie die Verbindungsleitung 8 mit dem Sprühleitungssystem L, d.h. der Sumpfstrahlpumpe 9 und den Sprühdüsen 6 verbunden. Je nach dem Tankniveau erfolgt die Sprühung durch den natürlichen

15 Höhenunterschied oder aber durch die Pumpen 12, welches für den Langzeigbetrieb noch der Kühler 13 vorgeschaltet ist. Die Pumpen 12 sind Niederdruckpumpen, die in einem geschlossenen System nur den Sprüdruck bzw. den Jetdruck für die Sumpfstrahlpumpe 9 aufzubringen haben.

20 Die dargestellte Reihenschaltung von drei Pumpenaggregaten dient der Redundanz und bewirkt eine gute Fördermengenkonstanz unabhängig von der arbeitenden Pumpenanzahl. Die Bypaßleitungen 14 der Pumpen 12 sind normalerweise durch entsprechende Absperrventile 15

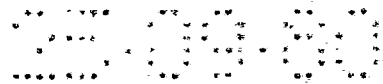
25 abgesperrt. Den Pumpen 12 sind jeweils auf ihrer Saug- und auf ihrer Druckseite weitere Absperrventile 16 zugeordnet, wobei die Pumpen so ausgebildet und bemessen sind, daß bereits durch eine Pumpe 12 der minimale Jetdruck für eine der Sumpfstrahlpumpen 9 aufgebracht

30 werden kann. Der zwischen den Verzweigungspunkten 17 und 18 gelegene Leitungszweig 19 mit Kühler 13 und den Pumpen 12 kann mittels der Ventile 15, 16 also so geschaltet werden, daß alle drei Pumpen 12 oder nur zwei davon in Reihe geschaltet sind oder aber daß nur

35 eine der Pumpen in Betrieb ist, was auch für die Pumpenwartung von Vorteil ist.

Die Sumpfstrahlpumpe 9 hat einen Ejektor 9.1 am unteren Ende des zentralen Druckrohres 9.2, welchem das Treibwasser über die Verbindungsleitung 8 und den Pumpen 12 zugeführt wird. Das Druckrohr 9.2 ist konzentrisch umgeben von der Kernsprühleitung 6.1 mit Sprühdüse 6 an ihrem oberen Ende. Im Bereich ihres unteren Endes hat die Kernsprühleitung 6.1 eine Erweiterung 6.2, die den Ejektor 9.1 umgibt und an ihrem Boden ein Ansaug-Rückschlagventil 6.3 aufweist, so daß bei genügendem Sog das Rückschlagventil 6.3 öffnet und das Sumpfwasser, angetrieben von der Sumpfstrahlpumpe, durch die Sprühleitung 6.1 hindurch nach oben zu den Sprühdüsen 6 gefördert wird. Zur Kondensation des im Notkühlfall an den heißen Brennstäben des Kernes K verdampfenden Kühlwassers ist eine Wärmesenke in Form eines Hilfswärmetauschers 20 vorgesehen, welcher an den oberhalb des Kernes K befindlichen Gasraum bzw. das Plenum 21 über eine Dampfleitung 22 angeschlossen ist und dessen Kondenswasser in den Sumpfkreislauf über die Pumpe 23 und die Rückspeiseleitung 24 zurückgespeist wird. Die Rückspeiseleitung 24 ist strichpunktiert schematisch angedeutet; ihr Auslaß mündet am Ende von den biologischen Schild 5 durchdringenden Leitungsteilen im Bereich einer Auslaßöffnung 24a in den Gasraum 21. Der Kühlrohr-Kreislauf des Hilfswärmetauschers 20 ist bei 20a angedeutet. Dementsprechend weist auch der Kühler 13 einen äußeren Kühlkreislauf mit Kühl-schlangen oder dergleichen 13a auf. Der Hilfswärmetauscher 20 kann auch ein zusätzlicher Dampferzeuger sein. Über Leitung 25 wird das Kondenswasser des Hilfswärmetauschers 20 dem Vorrats-tank 7 zu- und damit für Sprüzzwecke wieder zurückgeführt.

Die vorbeschriebenen Aggregate des Notkühlkreislaufes haben nur geringe Wassermengen und geringe Druckhöhen zu bewältigen. Die daraus resultierenden kleinen Motor-



3036232

- 8-10-

VPA 80 P 93 58 DE

leistungen sind notstromfähig im Gegensatz zu relativ großen Gas-Umwälzleistungen.

Der insbesondere in sogenannter pod-Bauweise ausgeführte im wesentlichen hohlzylindrische Spannbetonbehälter 4 enthält, wie bereits erwähnt mehrere über seinen Umfang verteilte Kaltgaskanäle g1 in seinem oberen Bereich und Heißgaskanäle g2 in seinem unteren Bereich, die gestrichelt angedeutet sind und zu nicht dargestellten Dampferzeugern führen. Das Kaltgas (Pfeil G1) strömt also von oben in das Plenum 21 und durchströmt den Kern K von oben nach unten; es verläßt den Kern K in seinem unteren Bereich durch die durchbrochene Kerntragplatte 3 hindurch und verläßt das untere Plenum K1 über die Heißgaskanäle g2 (Heißgasströmungsrichtung G2). Wie erwähnt, wird als Kühlgas Helium verwendet; wenn dessen Primärdruck auf einen zur Kernkühlung (Naturzug) nicht mehr ausreichenden Wert in der Größenordnung von 10 bar absinkt, so wird über (nicht dargestellte) Druckwächter die dargestellte Notkühleinrichtung in Gang gesetzt. Es ist auch möglich, den Vorratstank 7 als Drucktank auszuführen und ihn mit einem Druckpolster zu versehen, so daß es nicht unbedingt erforderlich ist, ihn geodätisch höher als die Kernsprühleitungen L anzuordnen. Im Sinne einer verbesserten Redundanz können auch mehrere Tanks 7 vorgesehen sein, von denen einige als Drucktanks ausgebildet sind und andere durch ihre geodätisch wesentlich höhere Anordnung das Gefälle zur Erzeugung des Sprühdruckes ausnutzen. Für das erste Einsprühen genügen also die Drucktanks bzw. Tanks; um den weiteren Notkühlbetrieb aufrecht zu erhalten und dabei das wieder an den Einbauten des Reaktors sich kondensierende Wasser umzuwälzen, sind die Pumpen 12 in Verbindung mit der Sumpfstrahlpumpe 9 vorgesehen. Bei den Pumpen 12 handelt es sich insbesondere um Kreiselpumpen mit voneinander unabhängigen Antrieben.

Im Notkühlfalle schützen sich die heißesten Stellen des Kernes (Brennelemente) durch Bildung eines Dampf-
filmes. Andererseits bewirkt das überschüssige, die
Strukturteile berührende und verdampfende Kühlwasser
5 eine kräftige Dampfströmung auch durch die Brennele-
mente hindurch. Überschlägig benötigt man für einen
1000 MWe-GSB eine mittlere Sprühmenge von ca. 50 Liter
pro Sek., was eine 200%ige Sicherheit ergibt, und ein
Gesamteinspeisevolumen im Vorratstank 7 von ca. ⁶⁰cbm in
10 ca. 20 Min. Etwa die Hälfte dieser Menge wird für die
Abkühlung der unteren Einbauten auf 100° benötigt und
verdampft.

Im Falle, daß das Sumpfniveau W2 gewählt wird, liegt,
15 wie ersichtlich, das Niveau der Heißgasleitungen g2
darüber und gestattet noch ein zusätzliches Hindurch-
leiten von Kühlgas aus den nicht gestörten Primärkühl-
kreisen. Wird das höhere Sumpfniveau W1 gewählt, so
müßten die Heißgasleitungen g2 abgeschottet werden,
20 damit das Notkühlwasser nicht abfließt, oder aber es
müssen die durch g2 erreichbaren unteren Dampferzeu-
geräume dem Sumpfvolumen zugerechnet werden.

6 Ansprüche.

1 Figur

3036232

3036232

- 12 -

VPA 80 P 93 58 DE

Zusammenfassung

Verfahren und Einrichtung zur Notkühlung gasgekühlter
schneller Brutreaktoren

Zur Notkühlung gasgekühlter schneller Brutreaktoren (GSB), deren Kern (K) aus einer Spaltzone (1) und einer Brutzone (2) besteht, wird im Störfall Wasser aus Düsen (6) von oben auf den Kern (K) gesprüht. Das Wasser ist unboriert und wird einem Reservoir in Form eines Vorratstanks (7) in einer solchen Maximalmenge entnommen, daß im Raum (K1) unterhalb des Kernes (K) das sich ansammelnde Kühlwasser höchstens bis zur Unterkante (1.0) der Spaltzone (1) ansteigt (Wasserniveau W1).

Einzigste Figur

Nummer: 3036232
 Int. Cl.³: G21C 15/18
 Anmeldetag: 25. September 1980
 Offenlegungstag: 6. Mai 1982

1/1 -13-

80 P 93 58 DE

