

⑤1

Int. Cl. 2:

G 21 C 15/00

①9 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



7  
6  
7

DT 26 02 250 B 2

①1

## Auslegeschrift 26 02 250

②1

Aktenzeichen: P 26 02 250.4-33

②2

Anmeldetag: 22. 1. 76

④3

Offenlegungstag: 7. 10. 76

④4

Bekanntmachungstag: 24. 11. 77

③0

Unionspriorität:

③2 ③3 ③1

31. 3. 75 USA 563556

⑤4

Bezeichnung: Atomkernreaktor

⑦1

Anmelder: The Babcock & Wilcox Co., New York, N.Y. (V.St.A.)

⑦4

Vertreter: Karstedt, E., Dipl.-Ing. Dr., Pat.-Anw., 4200 Oberhausen

⑦2

Erfinder: Jabsen, Felix S., Lynchburg, Va. (V.St.A.)

⑤6

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

FR 14 49 917

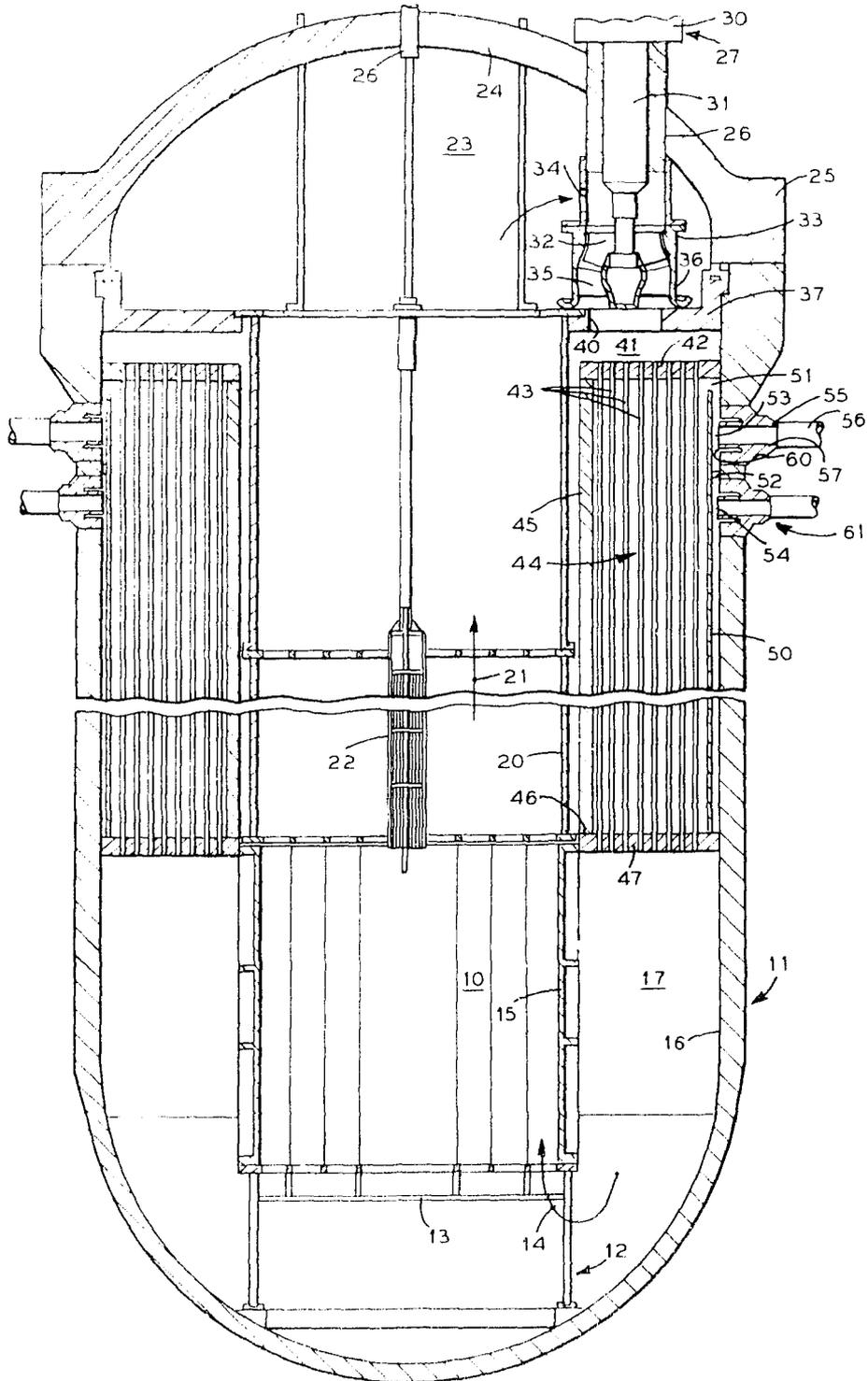
GB 12 47 897

GB 11 16 327

GB 11 15 078

Atomwirtschaft, Juni 1968, S. 323

2



## Patentansprüche:

1. Atomkernreaktor, bestehend aus einem zylindrischen Druckbehälter, einem Reaktorkern, der mittig innerhalb des Druckgefäßes angeordnet ist und einen Ringraum zwischen der Druckbehälterinnenwand und dem Kern bildet, wobei in diesem Ringraum ein Wärmetauschergefäß angeordnet ist, in dem Dampf erzeugt wird, und einem Speisewassereintritts- und einem Dampfaustritts-Stutzen für den Wärmetauscher, welche beide den Reaktor-druckbehälter durchdringen, dadurch gekennzeichnet, daß das Wärmetauschergefäß (44) als Druckgefäß ausgebildet ist, welches von Wärmetauscherrohren (43) durchsetzt ist, welche mit ihren oberen Enden mit dem oberen Teil des Ringraumes (62), d. h. der Kammer (41) und ihren unteren Enden mit dem unteren Teil des Ringraumes (62), d. h. dem Durchtritt (17) verbunden sind, während der Speisewassereintritts- (61) und der Dampfaustrittsstutzen (55) strömungsmäßig mit dem Raum, der zwischen der Innenfläche des Wärmetauschergefäßes (44) und den Außenflächen der Wärmetauscherrohre (43) gebildet ist, in Verbindung stehen.

2. Atomkernreaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Pumpen (27) das Primärkühlmittel des Reaktors durch den Reaktorkern (10), einen halbkugelförmigen Raum (23) und durch die Wärmetauscherrohre (43) hindurch umwälzen.

Die Erfindung betrifft einen Atomkernreaktor, bestehend aus einem zylindrischen Druckbehälter, einem Reaktorkern, der mittig innerhalb des Druckgefäßes angeordnet ist und einen Ringraum zwischen der Druckbehälterinnenwand und dem Kern bildet, wobei in diesem Ringraum ein Wärmetauschergefäß angeordnet ist, in dem Dampf erzeugt wird, und einem Speisewassereintritts- und einem Dampfaustritts-Stutzen für den Wärmetauscher, welche beide den Reaktorbehälter durchdringen. Derartige Reaktoren sind aus der FR-PS 14 49 117 und den GB-PS 11 16 327, 11 15 078 und 12 47 897 bekannt.

Bei bekannten Druckwasserreaktoren wird das Druckwasser durch den Atomkern gepumpt, um die Wärme abzuführen und anschließend aus dem Druckbehälter in einen oder mehrere Wärmetauscher geführt. Innerhalb dieser Wärmetauscher strömt das unter Druck befindliche Druckwasser, welches auch als Primärkühlmittel bezeichnet wird, von dem Eintrittsammler durch ein Rohrbündel zu einem Austrittsammler, bevor es in den Druckbehälter und den Reaktorkern zurückströmt.

Dabei wird die Wärme von dem unter Druck stehenden und innerhalb der Rohre strömenden Primärkühlmittel durch die Rohrwände auf ein Sekundärkühlmittel übertragen, das in einen Ringraum zwischen der Druckbehälterinnenwand und dem Kern eingeführt wird. Im allgemeinen wird dabei ebenfalls Wasser als Sekundärkühlmittel verwendet und es verwandelt sich in dem Wärmetauscher in Heißdampf. Dieser Heißdampf strömt dann von dem Wärmetauscher zu den Turbinen, die elektrische Energie erzeugen.

In einer Reihe von Fällen ist es jedoch nicht wünschenswert, den Wärmetauscher und das Reaktor-

druckgefäß räumlich zu trennen. In typischer Weise führt die Verwendung von getrennten Gefäßen für den Reaktorkern und den Wärmetauscher gelegentlich zu Schwierigkeiten beim Transport der Anlageteile zur Baustelle und zu Komplikationen beim Zusammenbau auf der Baustelle. Wenn das Reaktorsystem außerdem für einen bestimmten Zweck konstruiert ist, bei dem die Beschränkungen von Raum und Masse unausweichlich und kritisch sind — z. B. bei einer Schiffsantriebsanlage —, dann ist die ziemlich verschwenderische Raumnutzung bei der Anordnung von getrennten Gefäßen untauglich und unannehmbar.

Um einen kompakteren Kernreaktor zu schaffen, sind aus der eingangs genannten Literatur Vorschläge bekanntgeworden, einen etwas größeren Druckbehälter zu bauen, der nicht nur den Reaktorkern umschließt und unterstützt, sondern auch den Wärmetauscher. Diese Vorschläge sehen gewöhnlich vor, daß der Reaktorkern mittig innerhalb des Druckgefäßes angeordnet wird, um einen hohlen, zylindrischen Ring zwischen der Innenwand des Druckgefäßes und der Außenfläche des Kerns zu bilden. Der Wärmetauscher wird in diesen Ring eingebaut, und zwar entweder als ein hohles, zylindrisches Gebilde aus Sammlern und verbindenden Rohren oder als eine Reihe von hohlen, zylindrischen Bausteinen, von denen jeder entsprechende Sammler und Rohre aufweist. Diese bekannten Wärmetauscher in Baustein- und Ringausführung werden so ausgeführt, daß sie das Sekundärkühlmittel auf der Rohrseite enthalten und Dampf innerhalb der Rohre erzeugen, während das Druckwasser auf der Mantelseite des Wärmetauschers entlangströmt.

Obwohl die Einsparungen am Raum, der von solchen kompakten Reaktoren benötigt wird, bedeutend sein können, ergeben diese Vorschläge eine Reihe von praktischen Schwierigkeiten. Insbesondere die innerhalb des Reaktordruckgefäßes liegenden Rohre oder Stutzen, die erforderlich sind, um das Sekundärkühlmittel in die Wärmetauscher-Bausteine zu leiten und aus denselben herauszuführen, sind kompliziert und nehmen einen großen Raum innerhalb des Druckgefäßes ein. Die Rohrbündel innerhalb der Bausteine können auch strömungsinduzierten Schwingungen ausgesetzt sein, weil Dampf innerhalb der Rohre erzeugt wird. Weiterhin gibt es in dieser Beziehung noch andere Wirkungen, die zu Störungen führen können. Unter diesem Gesichtspunkt bilden die Speisewassersutzenwartung, die Rohrverstopfung, die Dampferzeuger-Tragkonstruktion, die Instrumentierung, die Überwachung und die Besichtigung im Betrieb Bereiche vorhersehbarer Schwierigkeiten.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Atomkernreaktor zu schaffen, der die geschilderten Nachteile überwindet oder zumindest vermindert.

Diese Aufgabe wird bei einem Kernreaktor der eingangs beschriebenen Art dadurch gelöst, daß das Wärmetauschergefäß als Druckgefäß ausgebildet wird, welches von Wärmetauscherrohren durchsetzt ist, die mit ihren oberen Enden mit dem oberen Teil des Ringraumes und ihren unteren Enden mit dem unteren Teil des gleichen Ringraumes verbunden sind, während der Speisewassereintritts- und der Dampfaustrittsstutzen strömungsmäßig mit dem Raum, der zwischen der Innenfläche des Wärmetauschers und den Außenflächen der Wärmetauscherrohre gebildet wird, in Verbindung stehen.

Dadurch strömt, im Gegensatz zu den bisher bekannten Anordnungen, das Primärkühlmittel, das aus

dem Reaktorkern gepumpt wird, direkt in die Rohre des Wärmetauschers. Der Dampf wird dabei aus dem Sekundärkühlmittel auf der Mantelseite des Wärmetauschers erzeugt und strömt aus dem Wärmetauscher und dem Druckbehälter zu den Turbinen.

Diese Ausführungsform, bei der das Sieden auf der Mantelseite eines innerhalb eines Druckgefäßes angeordneten Dampferzeugers stattfindet, zwingt zur Verwendung eines druckfesten Mantels innerhalb des Druckgefäßes, um den Dampfdruck gewachsen zu sein, der in dem Sekundärkühlmittel entsteht.

Diese ungewöhnliche Anordnung eines Druckgefäßes innerhalb eines Druckgefäßes, die ein herausragendes Merkmal der Erfindung darstellt, ergibt eine Reihe bedeutender Vorteile. Das Primärkühlmittel strömt direkt von der Umwälzpumpe in die Wärmetauscherrohre und von diesen Rohren zum Reaktorkern. Es besteht keine Notwendigkeit die bisher üblichen Eintritts- und Austrittssammler vorzusehen, die im allgemeinen bei Reaktorwärmetauschern vorhanden sind. Durch die Erfindung werden im übrigen auch keine sperrigen und komplizierten Sekundärkühlmittel-Eintritts- und -Austrittsstutzen innerhalb des Druckgefäßes erforderlich. Weiterhin werden die Primärkühlmittel-Druckverluste vermindert und die Halterungen sowie Unterstützungen für den Baustein-Dampferzeuger innerhalb des Druckgefäßes vereinfacht. Eine bedeutende Einsparung wird auch an Druckgefäßhöhe durch den Fortfall dieser Sekundärkühlmittelleitung erzielt. Da das Sekundärsieden auf der Mantelseite des Wärmetauschers stattfindet, wird eine Hauptursache der Rohr-schwingungen ausgeschaltet.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben. Die Figur zeigt im Schnitt einen Frontal-aufriß eines Kernreaktor-Energiesystems.

Wie es in der Zeichnung dargestellt ist, wird ein Atomreaktorkern 10 mittig innerhalb der unteren Hälfte eines im allgemeinen zylindrischen Druckbehälters 11 angeordnet. Der Kern 10 wird innerhalb dieses Druckbehälters 11 durch einen Rahmen 12 getragen, der eine quer angeordnete Strömungsverteilplatte 13 aufweist. Obwohl in der Zeichnung nicht dargestellt, ist die Platte 13 durchbohrt, um zu gewährleisten, daß das Druckwasser oder ein anderes Primärkühlmittel, das in den Reaktorkern in Richtung des Pfeiles 14 strömt, gleichmäßig innerhalb des gesamten Reaktorkerns 10 verteilt wird, um »heiße Stellen« oder andere außergewöhnliche Temperaturverhältnisse durch Primärkühlmittelausfall nicht entstehen zu lassen.

Der Reaktorkern 10 ist innerhalb einer zylindrischen Kerntrommel 15 eingeschlossen, die in Verbindung mit einer Innenwand 16 des Druckgefäßes 11 einen zylindrischen Durchtritt 17 bildet, um die Primärkühlmittelströmung in der durch den Pfeil 18 angedeuteten Richtung aufzunehmen. Ein vertikal angeordneter zylindrischer Mantel 20 befindet sich so oberhalb der Kerntrommel 15 und in einer vertikalen Verlängerung derselben, daß er eine obere Füllkammer bildet, die das heiße Druckwasser, welches von dem Reaktorkern in Richtung des Pfeiles 21 strömt, leitet, um einer Durchtritt für Regelstäbe zu bilden, die den Betrieb des Reaktors regeln, und um den Ausbau sowie den Wiedereinbau der Brennelemente zu erleichtern, die den Reaktorkern 10 bilden. Eine Regelstabskonstruktion 22 ist in der Zeichnung dargestellt.

Heißes Druckwasser aus dem Reaktorkern 10 wird durch die obere Füllkammer in einen halbkugelförmigen

Raum 23 geleitet, der durch den Druckbehälterverschluß 24 gebildet wird. Der Verschluß 24 ist mit dem offenen Oberteil des Druckgefäßes 11 durch einen Schraub-Flansch 25 verbunden. Durchtritte 26 sind in dem Verschluß 24 ausgebildet, um die Regelstabskonstruktion und eine oder mehrere Primärkühlmittel-Umwälzpumpen 27 aufzunehmen.

Die Pumpe 27 besitzt einen Motor 39, der über eine Welle innerhalb eines Wellengehäuses 31 an ein Laufrad 32 gekoppelt ist. Das Pumpengehäuse 31 wird in dem Durchtritt 26 aufgenommen und liegt mit dem senkrechten Laufradgehäuse 33 in Flucht. Wenigstens eine Eintrittsöffnung 34 ist in der zylindrischen Fläche des Laufradgehäuses ausgebildet, um zu ermöglichen, daß das in Richtung des Pfeiles 21 strömende Druckwasser in dem Gefäß 11 in die Eintrittsseite des Laufrades 32 fließt. Die innere zylindrische Fläche des Laufradgehäuses 33 hat den gleichen Umfang wie die Laufradspitzen.

Das Laufrad 32 fördert das Druckwasser in vertikaler Richtung nach unten entlang einer vertikalen Reihe von Strömungsschaufeln 35 zu einem Druckkanal 36. Der unterste Teil des Druckkanals 36 endet auf der oberen horizontalen Fläche eines Ringflansches 37. Innerhalb des Flansches 37 ist eine vertikale Öffnung 40 ausgebildet, die mit dem Pumpendruckkanal 36 ausgerichtet ist. Weiterhin ist darauf hinzuweisen, daß der Ringflansch 37 im allgemeinen die gleiche Größe hat wie die Quer- oder Horizontalmaße des Durchtritts 17, der zwischen der Kerntrommel 15 und der Innenwand 16 des Druckbehälters 11 ausgebildet ist.

Das aus der Umwälzpumpe austretende Druckwasser strömt in vertikaler Richtung abwärts in eine Kammer 41, die zwischen dem Ringflansch 37 und einem querliegenden, ringförmigen Rohrboden 42 ausgebildet ist, der unterhalb des Flansches 37 angeordnet ist. Der Rohrboden 42 besteht aus dickem Stahl, um die oberen Enden einer Reihe vertikal angeordneter Wärmetauscherrohre 43 sowie den Druck des Dampfes aufzunehmen, der innerhalb des Wärmetauschers 44 erzeugt werden soll, zu dem der Rohrboden gehört. Die Konstruktion des Wärmetauschers 44 bildet im wesentlichen ein Druckgefäß innerhalb des Druckgefäßes 11. Der Rest des Wärmetauschers schließt einen vertikalen, hohlen, aus dickem Stahl bestehenden, zylindrischen Mantel 45 ein, der radial nach außen mit Abstand zu dem Mantel 20 angeordnet ist, der das Primärkühlmittel zur Pumpe 27 leitet. Der Mantel bildet einen druckfesten vertikalen Verschluß für den Wärmetauscher 44 sowie eine Abdichtung zwischen dem inneren, kreisförmigen Umfang des Rohrbodens 42 und einem inneren, kreisförmigen Umfang 46 eines ringförmigen unteren Rohrbodens 47. Der Rohrboden 47 ist im wesentlichen in Form und Stärke gleich dem Rohrboden 42.

Die außenliegenden kreisförmigen Ränder der Rohrböden 42, 47 werden an die Innenwand 16 des Druckgefäßes 11 geschweißt oder in einer anderen geeigneten Weise befestigt, um eine dichte und druckfeste Abdichtung für das Sekundärkühlmittel innerhalb des Wärmetauschers 44 zu bilden. Eine vertikal angeordnete Strömungsverteil- oder -leitplatte 50 ist innerhalb des Wärmetauschers 44 befestigt. Die Leitplatte 50 wird an der inneren Oberfläche des unteren Rohrbodens 47 verankert und liegt etwas einwärts von der Innenwand 16 des Druckgefäßes 11. Die Leitplatte verläuft nicht über die gesamte vertikale Höhe des Wärmetauschers 44, sondern endet ein kurzes

Stück unterhalb der unteren Querfläche des Rohrbodens 42, um einen Spalt 51 zwischen der Oberkante der Leitplatte 50 und der unteren Fläche des Rohrbodens 42 zu bilden. Der Raum zwischen der Leitplatte 50 und der Innenwand 16 des Druckbehälters 11 wird durch eine Schweißbraupe oder einen Streifen 52 in einen oberen Dampfaustrittsteil 53 und einen unteren Speisewasser-

eintrittsteil 54 unterteilt. Der untere Teil der Leitplatte 50 ist mit Bohrungen oder sonstigen Durchtritten (auf der Zeichnung nicht dargestellt) versehen, damit einströmendes Sekundärkühlmittel-Speisewasser in Berührung mit dem Rohrbündel des Wärmetauschers 44 treten und dadurch Wärme aus dem Druckwasser aufnehmen kann, das innerhalb der Rohre 43 strömt. Dieses erwärmte Sekundärkühlmittel in dem Wärmetauscher 44 verwandelt sich in Dampf unter Druck und strömt durch den Spalt 51 in den Dampfaustrittsteil 53.

Ein Dampfaustrittsstutzen 55 durchdringt die Wand des Druckgefäßes 11, um eine strömungstechnische Verbindung zwischen dem Dampf, der sich im Austrittsteil 53 sammelt, und der Stromerzeugungsanlage, die sich außerhalb des Druckgefäßes 11 befindet, herzustellen. In typischer Weise hat der Austrittsstutzen 55 ein mittig angeordnetes Rohr 56, das in einem im allgemeinen kegelförmigen Paßstück 57 aufgenommen wird, das den Übergang zwischen dem Dampfaustrittsrohr 56 und der Wand des Druckgefäßes 11 bildet. Ein einspringender Ring 60 ist in dem Paßstück 57 zwischen dem Ende des Dampfrohres und dem Boden des im allgemeinen kegelförmigen Paßstücks 57 ausgebildet, das einen Teil der Druckgefäßwand in der Nähe des Dampfrohres 56 bildet.

Ein Sekundärkühlmittel-Speisewassereintrittsstutzen 61 durchdringt die Wand des Druckgefäßes 11 gerade unterhalb des Dampfaustrittsstutzens 55, obwohl nicht notwendigerweise in vertikaler Ausrichtung dazu. Der Speisewasserstutzen 61 hat im wesentlichen die gleiche konstruktive Ausbildung wie der Dampfaustrittsstutzen, obwohl er etwas kleiner ist, weil das Volumen des einströmenden Speisewassers wesentlich geringer als das entsprechende Volumen des ausströmenden Dampfes ist.

Im Betrieb saugt das Laufrad 32 an der Primärkühlmittel-Umwälzpumpe 27 heißes Primärkühlwasser durch die Pumpeneintrittsöffnung 34 und drückt dieses Wasser durch die vertikale Öffnung 40 in dem Ringflansch 37 in die Kammer 41. Das heiße Primärkühlmittel in der Kammer 41 strömt dann durch die Rohre 43 in dem Wärmetauscher 44. Das erwärmte Primärkühlmittel überträgt einen großen Teil seiner Wärme an das Sekundärkühlmittel, das sich auf der »Mantel«-Seite des Wärmetauschers 44 befindet. Das

Sekundärkühlmittel wurde zu dem Wärmetauscher 44 durch den Speisewassereintrittsstutzen 61 zugeführt, der die einströmende Sekundärflüssigkeit in die Lage versetzt, in den unteren Teil der Leitplatte 50 zu gelangen, bevor sie um den unteren Teil der Rohre 43 strömt.

Die von dem Sekundärkühlmittel in dem Wärmetauscher aus dem Primärkühlmittel innerhalb der Rohre 43 aufgenommene Wärme verwandelt das Sekundärkühlmittel in Heißdampf, der von der »Mantel«-Seite des Rohrbündels durch den Spalt 51 zwischen der Oberkante der Leitplatte 50 und der Unterfläche des oberen Rohrbodens 42 in den Dampfaustrittsteil 53 strömt und dann den Wärmetauscher 44 durch den Dampfaustrittsstutzen 55 verläßt, um zu den Turbinen oder zu anderen Stromerzeugungsmaschinen (nicht dargestellt) innerhalb der Anlage zu gelangen.

Das Primärkühlmittel, das einen Großteil seiner Wärme an das Sekundärkühlmittel innerhalb des Wärmetauschers 44 abgegeben hat, strömt aus den im unteren Rohrboden 47 befestigten Rohren 43 heraus und gelangt in den Durchtritt 17. Das gekühlte Primärkühlmittel kehrt seine Strömungsrichtung in einem Winkel von etwa 180° um, wie durch den Pfeil 14 angedeutet, um aufwärts durch die Strömungsverteilplatte 13 in den Atomreaktorkern 10 zu strömen.

Innerhalb des Kerns 10 wird das Primärkühlmittel wieder erwärmt und strömt aufwärts aus den Kern 10 in der durch Pfeil 21 angedeuteten Richtung heraus, um in den halbkugelförmigen Raum 23 zu gelangen. Das heiße Primärkühlmittel in dem Raum 23 gelangt zur Pumpe 27, um weiter durch das Reaktorsystem in der oben beschriebenen Weise umgewälzt zu werden.

Es sind natürlich Vorkehrungen vorhanden, um zusätzliches Primärkühlmittel in diesen Kreislauf zum Ausgleich von Verlusten einzuführen; weiterhin sind Vorrichtungen vorhanden, um das Primärkühlmittel in einem Flüssigkeitszustand unter Druck zu halten und um die Konzentration von chemischen und Strahlungsschmutzstoffen innerhalb des Primärkühlwassers zu überprüfen. Obwohl der Wärmetauscher 44 als eine einzelne, hohle, zylindrische Einheit beschrieben worden ist, könnte er auch im Rahmen der Erfindung z. B. in Form einer Reihe von Einzelbausteinen angeordnet werden, von denen jeder einen entsprechenden Speisewassereintrittsstutzen und einen Dampfaustrittsstutzen hat. Weiterhin können in dieser Beziehung mehrere Pumpen eingesetzt werden, um das Primärkühlmittel in dem Reaktor umzuwälzen, also nicht nur die Pumpe 27, die in Verbindung mit der hierin beschriebenen besonderen Ausführungsform der Erfindung beschrieben worden ist.

---

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

---