



21 Aktenzeichen: P 35 29 242.3
22 Anmeldetag: 16. 8. 85
43 Offenlegungstag: 19. 2. 87



71 Anmelder:

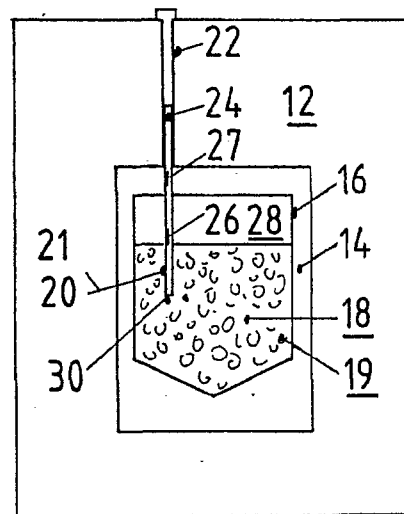
Hochtemperatur-Reaktorbau GmbH, 4600 Dortmund, DE; Brown, Boveri & Cie AG, 6800 Mannheim, DE

72 Erfinder:

Dorweiler, Harald, Dipl.-Ing., 6707 Schifferstadt, DE; Elter, Claus, Dipl.-Ing. Dr., 6702 Bad Dürkheim, DE; Grossert, Franz, 6149 Kröckelbach, DE; Schmitt, Hermann, Dipl.-Ing., 6752 Winnweiler, DE; Rohark, Günter, 6803 Edingen-Neckarhausen, DE; Schöning, Josef, Dipl.-Ing. Dr., 7521 Hambrücken, DE

54 Absorberstab

Die Erfindung betrifft einen Absorberstab (20) für Kernreaktoren (10) mit einer Schüttung (18) kugelförmiger Brennelemente, der direkt in die Schüttung (18) eingefahren wird, um mittels Absorbermaterial (36), welches in einem Ringspalt (38) zwischen zwei konzentrisch angeordneten, zylindrischen Stabelementen (32, 34) befindlich ist, den vorherrschenden Neutronenfluß zu beeinflussen. Der Absorberstab (20) ist dabei aus paarweise konzentrisch angeordneten zylindrischen Stabelementen (32, 34) einer gemeinsamen Stabspitze (30) und gemeinsamen Verbindungsstücken (40) zusammengesetzt. Die Stabelemente (32, 34) werden durch einen Gasstrom gekühlt, wobei das innere zylindrische Stabelement (32) die Tragfunktion übernimmt, d. h., daß es Kräfte und Momente aus der Stabbewegung beim Ein- und Ausfahren aufnimmt bzw. überträgt.



10

Patentansprüche

1. Absorberstab für Kernreaktoren mit einer Schüttung kugelförmiger Brennelemente, der direkt in die Schüttung eingefahren wird, um mittels Absorbermaterial, welches in einem Ringspalt zwischen zwei konzentrisch angeordneten, zylindrischen Stabelementen befindlich ist, den vorherrschenden Neutronenfluß zu beeinflussen, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Absorberstab (20, 21) aus paarweise zueinander konzentrisch angeordneten Stabelementen (32, 33, 34, 35) besteht, von denen das innere Stabelement (32, 33) Tragfunktion übernimmt und das äußere Stabelement (34, 35) gemeinsam mit dem Absorbermaterial (36) als Schutzschild vor thermischer und radioaktiver Überbeanspruchung für das innere Stabelement (32, 33) dient.
2. Absorberstab nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß am Umfang des Absorberstabes (20, 21) Längsschlitze (26, 27) für den Eintritt von Kühlgas zur Kühlung des Inneren (29) des Absorberstabes (20, 21) vorgesehen sind.
3. Absorberstab nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei Bereiche von Einlaßschlitzen (26, 27) für Kühlgas vorgesehen sind, deren Abstand zueinander und zur Stabspitze (30, 31) so gewählt ist, daß unabhängig von der Stabstellung im Reaktor (16) sich stets ein Bereich von Einlaßschlitzen (26, 27) im kühlgasgefüllten Zwischenraum (28) oberhalb der Kugelschüttung (18) befindet und so den Zutritt von Kühlgas ins Innere (29) des Absorberstabes ermöglicht.
4. Absorberstab nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Absorberstab (20, 21) aus gleichförmigen Abschnitten zusammengesetzt ist.
5. Absorberstab nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Stabspitze (30, 31) an ihrer konischen Oberfläche Öffnungen (25) für den Austritt von Kühlgas aufweist.
6. Absorberstab nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Absorberstab (20) an seinem oberen Ende eine einschraubbare Klauenkupplung (61) aufweist, die leicht lösbar zur Verbindung mit einem zugehörigen Stellantrieb dient.
7. Absorberstab nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Stabspitze (30, 31) eine der Brennelementform angepaßte kalottenartige Ausnehmung (46, 47) aufweist.
8. Absorberstab nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsstelle von Stabspitze (30, 31) und den Stabelementen (32, 33, 34, 35) im zylindrischen Bereich des Absorberstabes (20, 21) angeordnet ist.
9. Absorberstab nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Stabspitze (31) eine zentrale Durchgangsbohrung (56) aufweist, die sich in einem Führungszylinder (54) fortsetzt, an den Abstandhalter (60) angeformt sind.
10. Absorberstab nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstandhalter (60) regelmäßig am Außenumfang des Führungszylinders (54) angeordnet sind und sich am inneren Stabelement (33) abstützen.
11. Absorberstab nach einem der vorherigen An-

sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein in die Haltesicherung (50) eingesetzter Haltestab (51) in den Führungszylinder (54) eingepaßt ist und mittels einem Haltestift (55) fest mit der Stabspitze (31) verbunden ist.

12. Absorberstab nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ringpalte (38, 57) in der Stabspitze (31) gewölbte Stirnflächen aufweisen.

13. Absorberstab nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Ringspalt (38) zwischen innerem und äußerem Stabelement (33, 35) Absorbermaterial (36) angeordnet ist.

14. Absorberstab nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Distanzringe (39) in zwischen den inneren und äußeren Stabelementen (33, 35) befindlichen Ringspalten (38) vorgesehen sind, die das eingelegte Absorbermaterial (36) in ausreichendem Abstand von den Verbindungsstellen der Stabelemente (33, 35) miteinander und mit der Stabspitze (31) fernhalten.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Absorberstab für Kernreaktoren mit einer Schüttung kugelförmiger Brennelemente, welche nach einmaligem Durchlauf verbraucht sind, der direkt in die Schüttung eingefahren wird, um mittels Absorbermaterial, welches sich in einem Ringspalt zwischen zwei konzentrisch angeordneten zylindrischen Stabelementen befindet, den vorherrschenden Neutronenfluß im Reaktor zu beeinflussen.

Absorberstäbe dienen in Kernreaktoren zur Regelung der Reaktorleistung, der An- und Abfahrvorgänge, zum Ausgleich des Abbrandes und zum Abschalten des Reaktors. Zu diesem Zweck enthalten sie neutronenabsorbierende Substanz, das heißt Absorbermaterial. Je nach Eintauchtiefe des Stabes in den brennelementgefüllten Reaktor vermindert das Absorbermaterial aufgrund seines Einfangquerschnitts für Neutronen den Neutronenfluß und damit die Reaktivität des Reaktors.

Der Neutronenfluß im Reaktor erreicht sein Flußdichtemaximum abhängig vom Abbrandzustand der Brennelemente in unterschiedlicher Höhe des Reaktors. Verändert sich die Strahlungsintensität, das heißt die Radioaktivität der Brennelemente, dann verschiebt sich das Neutronenflußmaximum ebenfalls.

Bei Kernreaktoren der oberbegrifflichen Art besteht im Gegensatz zu Kernreaktoren mit block- oder stabförmigen Brennelementen die Möglichkeit, Brennelemente kontinuierlich ohne Unterbrechung des Reaktorbetriebes zu wechseln und so den Abbrandzustand der Brennelemente zu verändern, wobei der Reaktor so eingestellt ist, daß die Brennelemente nach einmaligem Durchlauf verbraucht sind und durch neue ersetzt werden. Dieses Verfahrensprinzip heißt auch OTTO-Prinzip (OTTO = once through then out). Bei Reaktoren, die nach dem Otto-Prinzip betrieben werden, liegt das Maximum des Neutronenflusses in dem Zwischenraum zwischen Kugelschüttung und Reaktordeckel, durch welchen die Absorberstäbe in den Reaktor eingefahren werden.

Aus reaktorspezifischen Gründen ragen die Absorberstäbe in Ruhestellung in den Reaktorraum oberhalb des Kugelhaufens und sind so ständig der Reaktoratmosphäre ausgesetzt. Dies ist bei der konstruktiven Gestaltung der Absorberstäbe zu berücksichtigen. Bei Kernreaktoren nach dem Otto-Prinzip unterliegen die Absor-

berstäbe in diesem Bereich einer zusätzlichen Beanspruchung infolge Neutronenstrahlung.

Da Kernreaktoren mit einer Schüttung aus kugelförmigen Brennelementen keine speziellen Führungseinrichtungen für die Absorberstäbe aufweisen, treten beim Einfahren der Absorberstäbe in den Kugelhaufen zusätzliche Beanspruchungen mechanischer Art auf. Diese Zusatzbeanspruchungen resultieren aus Kräften die die Brennelementkugeln dem Absorberstab bei seinem Eindringen entgegenstellen. Dieser Eindringwiderstand der Schüttung nimmt mit wachsender Eindringtiefe zu. Ähnlich einem Kragträger ist der Absorberstab nur im Bereich seiner Führung in einem Panzerrohr unterstützt. Das freie Ende, das in den Kugelhaufen eintaucht, kann hingegen aus seiner Eindringachse ausgelenkt werden, abhängig von seiner Freilänge und seinem Widerstandsmoment. Damit erfährt der Absorberstab außer der seiner Eindringrichtung entgegengesetzten Kraft auch eine seitliche Kraft, die ein Biegemoment erzeugt. Bei Absorberstäben für Kernreaktoren der oberbegrifflichen Art gilt es danach, diese Arten der mechanischen Beanspruchung beim Betrieb konstruktiv zu berücksichtigen. Vor allem ist sie mit der ohnehin gegebenen Beanspruchung der Stäbe in Einklang zu bringen. Absorberstäbe werden beim Eintauchen in den Reaktor in zweifacher Hinsicht thermisch belastet. Zum einen führt die von den Brennelementen ausgehende Strahlungswärme zu einer Aufheizung des Stabes; zum anderen entsteht in dem im Absorberstab befindlichen Absorbermaterial Wärme infolge Neutronenabsorption. Eine durch diese Wärmequellen bedingte unzulässige Temperaturerhöhung des Absorberstabes, das heißt eine Temperaturerhöhung auf einen Wert, bei welchem der Stab die erforderliche mechanische Mindestfestigkeit verliert, muß sicher ausgeschlossen werden. Gleiches gilt für den Fall daß der Absorberstab die erforderliche Elastizität und Duktilität infolge Neutronenversprödung verliert. Die Beanspruchung durch Neutronenstrahlung ist wie eingangs erläutert abhängig von der Bauart bzw. von der Betriebsart des Reaktors, das heißt von der Lage des Neutronenflußdichtemaximums im Reaktor, während die mechanische Beanspruchung von geometrischen Größen wie Stabquerschnitt, Coredurchmesser oder Corehöhe abhängt, und die thermische Beanspruchung durch das Brennstoffinventar bestimmt ist.

Unter Berücksichtigung der erläuterten Zusammenhänge liegt der Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, Absorberstäbe zu schaffen, welche einfach und kostengünstig herstellbar sind und aufgrund ihrer konstruktiven Gestaltung einen langfristigen störungsfreien Einsatz in einem Reaktor der obergrifflichen Art ermöglichen.

Die Lösung der Aufgabe besteht erfindungsgemäß in den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1. Danach ist vorgesehen, daß der Absorberstab aus paarweise konzentrisch angeordneten zylindrischen Stabelementen besteht, von denen das innere Stabelement die Tragfunktion übernimmt, d. h., die aus der Stabbewegung beim Einfahren des Stabes in die Kugelschüttung resultierenden Kräfte und Momente aufnimmt und überträgt, ohne dabei Schaden zu nehmen z. B. infolge Verformung oder Bruch und das äußere Stabelement gemeinsam mit dem Absorbermaterial als Schutzschild für das innere Stabelement dient gegen thermische und radioaktive Überbeanspruchung.

In diesem Sinne ist vorteilhafterweise das innere zylindrische Stabelement als Tragelement zur Aufnahme

der mechanischen Beanspruchungen ausgebildet, da dieses gegen die permanent einwirkende Neutronenstrahlung durch das Absorbermaterial geschützt ist. Das äußere Stabelement hat in diesem Fall lediglich die Aufgabe, das Absorbermaterial in seiner Lage zu fixieren und das innere Tragrohr abzuschirmen. Sämtliche äußeren mechanischen Kräfte und Momente werden von der angeschweißten Stabspitze eingeleitet und vom Innenrohr aufgenommen und übertragen.

Die Stabspitze ist generell als einstückiges Kopfstück ausgeführt und mit dem inneren sowie mit dem äußeren anschließenden Stabelement verschweißt, wobei die beiden Ringnähte axial zueinander versetzt sind. Die Schweißnaht liegt aus thermischen und neutronenphysikalischen Gründen zweckmäßigerweise möglichst weit von der Stabspitze entfernt, d. h. vorzugsweise wenigstens im Abstand des einfachen Stabdurchmessers von der Stirnebene der Stabspitze. In seinem Zentrum kann das Kopfstück auch eine Bohrung aufweisen, die sich in einem Zylinderstück fortsetzt, welches eine Haltevorrichtung für das Kopfstück aufnimmt. Diese Haltevorrichtung dient im Falle eines Bruchs der Absorberstabspitze dazu, diese zu halten und vor dem irreversiblen Eintauchen in den Kugelhaufen zu bewahren. Auf diese Weise können auch beschädigte Absorberstäbe komplett aus der Kugelschüttung geborgen werden, ohne daß störende Reste dort verbleiben.

Wie bereits angesprochen werden die Absorberstäbe zur Kühlung im Inneren von Gas durchströmt. Hierzu ist es vorteilhaft, einen Teil des Kühlgasstromes zu verwenden, der durch die Brennelementschüttung geführt ist. Dieser Teilstrom wird oberhalb der Brennelementschüttung, wo relativ niedrige Kühlgastemperaturen herrschen, abgetrennt und durch axial angeordnete Kühlgasschlitzte, die am Umfang des äußeren Stabelements verteilt sind, geführt. Durch passende Wahl der Schlitzgröße, Schlitzanzahl und der axialen Positionierung auf dem Absorberstab lassen sich hinreichend niedrige Materialtemperaturen des inneren und auch des äußeren Stabelements erreichen. Auf diese Weise ist es möglich, die erfindungsgemäß ausgebildeten Absorberstäbe bei Hochtemperaturreaktoren mit Kühlgasaustrittstemperaturen bis 750° zum Einsatz zu bringen. Ein Einsatz ist ferner möglich bei mit Gasturbomaschinen gekoppelten Kernreaktoren. Bei derartigen Kernreaktoranlagen mit geschlossenem Kühlgaskreislauf — sogenannte Einkreisanlagen — erreicht die Gastemperatur im Reaktorkern Werte von 750 bis 950° Celsius.

Für den Kühlgaseintritt sind wenigstens zwei axial verschieden angeordnete Einlaßpartien im äußeren Stabelement vorgesehen, die je nach Stabstellung bezogen auf die Kugelschüttung zum Einsatz kommen. Grundsätzlich wird immer der Teil des Stabes gekühlt, der sich in der Kugelschüttung befindet. Wie bereits erwähnt werden die beiden Einlaßpartien jeweils aus einer großen Anzahl von axial angeordneten Einlaßschlitzen, die auf dem Umfang des äußeren Stabelements verteilt sind, gebildet und gewährleisten so eine gleichmäßige Durchströmung und Kühlung des darunter befindlichen Stabbereichs. Der Kühlgasaustritt ist an der Stabspitze vorgesehen und besteht aus Schlitzen, die gegenüber Bohrungen den Vorteil haben, daß sie einen geringeren Druckverlust und eine bessere Kühlung ermöglichen.

Aufgrund der beschriebenen Kühlung entsteht im Absorberstab ein radialer sowie ein axialer Temperaturgradient. Um eine Zusatzbeanspruchung des Absorberstabes infolge Spannungen durch behinderte Wärme-

dehnung zu verhindern, ist vorgesehen, die Stabelemente, welche nicht Tragfunktion übernehmen, nur einendig zu fixieren und mit einem definierten Spalt gleitend zu führen. Zur besseren Kühlung kann das innere Stabelement auch als Rippenrohr ausgebildet sein.

Bei der Gestaltung des einstückigen Kopfstückes, das als Stabspitze dient, ist darauf zu achten, daß der Ringspalt zwischen äußerem und innerem Anschlußzylinder, an welchen die äußeren und inneren Stabelemente anschließen, in einer definierten Ausrundung ausläuft um Kerbwirkung zu vermeiden und Wärmespannungsspitzen zu minimieren. Andernfalls können die radialen Auslenkungen des äußeren Stabelementes, die sich auf das äußere zylindrische Anschlußstück des Kopfstücks übertragen, zu einer bleibenden Schädigung der Stabspitze, z. B. RiB, führen.

Das Absorbermaterial, z. B. Absorberringe aus Borcarbid, sind ringförmig und aus Vereinfachungs- und Kostengründen in einheitlichen Abmessungen (Durchmesser und Höhe) ausgeführt. Zwischen innerem und äußerem Stabelement sind Ringe als Abstandhalter eingelegt, um das Absorbermaterial von der Verbindungsstelle (Schweißnaht) des äußeren und inneren Stabelementes mit der Stabspitze fernzuhalten. Dadurch wird eine unerwünschte Aufkohlung und Carbidbildung in den Stabelementen beim Schweißen wie auch im Betrieb vermieden. Ferner werden auf diese Weise Temperatur- und Spannungsspitzen von der Schweißnaht ferngehalten. Desweiteren sorgen die Abstandhalter dafür, daß zwischen den inneren und äußeren Stabelementen und dem Absorbermaterial Ringspalte gebildet werden, um schädliche Reaktionen zwischen Stabelementen und Absorbermaterial infolge Schwellens des Absorbermaterials unter Bestrahlung zu vermeiden. Das Absorbermaterial ist nicht über die ganze Stablänge eingefüllt, so daß ein axialer Ringspalt zwischen innerem und äußerem Stabelement unbelegt ist, der dem unter Bestrahlung auch axial schwellenden Absorbermaterial zum Ausgleich dient und auf diese Weise axiale Zusatzkräfte im Absorberstab verhindert.

Der Absorberstab ist glatt und zylindrisch mit gleichbleibendem Außendurchmesser als Schweißkonstruktion ausgeführt und gestattet damit die wirtschaftliche Verwendung von Formteilen und Rohren. Zur Vermeidung von Abrieb und dadurch bedingter Durchmesseränderung insbesondere im Bereich von Lagerstellen und Bremsvorrichtungen ist die Außenoberfläche des Stabes mit einer verschleißfesten Schicht versehen, die zweckmäßigerweise mittels Flammshockspritzen aufgebracht wird. Die so erzeugten Deckschichten zeichnen sich durch überdurchschnittliche Haftfestigkeiten und hohe Dichte aus. Als besonders vorteilhaft hat sich die Beschichtung mit Chromcarbid erwiesen. Damit wird sowohl eine Schwächung des äußeren Stabelementes als auch durch Erhaltung der Beschaffenheit der glatten Staboberfläche ein Abrieb an Reaktoreinbauten und Brennelementen verhindert. Der erfindungsgemäße Absorberstab weist an seinem oberen Ende eine eingeschraubte Kupplung auf, die die Verbindung mit dem zugeordneten Stabantrieb herstellt. Die Kupplung ist als federnde Klauenkupplung ausgeführt und kann fernbetätigt gelöst werden. Im wesentlichen besteht die Kupplung aus zwei Teilen, einem Klauenkörper mit koaxial angeordneten Klauen und zylindrisches Gegenstück mit einem Bund, den die Klauen hintergreifen. Mittels einer Löseeinrichtung, die z. B. ein kreisförmiges, axial verschiebliches Teil sein kann, welches die Klauen aus ihrer Klammerposition drücken, können die

beiden Kupplungshälften leicht getrennt und axial auseinander gefahren werden. Zur Fixierung des Stabes beim Ein- und Ausbau sind an seinem Umfang Bohrungen vorgesehen, in die ein Haltewerkzeug eingreift.

5 Diese und weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Verbesserungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Eine weitgehend andere Gestaltung eines Abschaltstabs für Kernreaktoren mit einer Schüttung kugelförmiger Brennelemente ist aus der DE-PS 20 66 109 bekannt. Es handelt sich hierbei um einen aus zwei konzentrischen zylindrischen Stabelementen, die an einer gemeinsamen Spitze anschließen, gebildeten Stab, bei welchem die Druckbelastung an der Kontaktfläche Stabspitze-Brennelement durch Vergrößerung der Auflagefläche ähnlich wie bei der Erfindung herabgesetzt wird. Die Lösung besteht in einer der Brennelementkontur angepaßten Ausformung oder Ausnehmung an der Stabspitze. Weitere Merkmale, die für die vorliegende Erfindung von Bedeutung wären, sind der offenbarten Lehre nicht zu entnehmen.

Anhand der Zeichnung in der ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt ist, sollen die Erfindung, vorteilhafte Ausgestaltungen und Verbesserungen der Erfindung, sowie weitere Vorteile näher erläutert und beschrieben werden. Es zeigt

Fig. 1 in schematischer Darstellung einen erfindungsgemäßen Absorberstab im teileingefahrenen Zustand in einem Kugelhaufenreaktor, der sich in einem Spannbetonbehälter befindet,

Fig. 2 einen erfindungsgemäßen Absorberstab, dessen inneres Stabelement die Tragfunktion übernimmt,

Fig. 3 das obere Ende eines erfindungsgemäßen Absorberstabes mit eingeschraubter Klauenkupplung.

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Kernkraftwerksanlage 10, in der sich ein Spannbetonbehälter 12 befindet, welcher in seinem Inneren einen Hohlraum 14 aufweist, in dem ein Reaktor 16 mit einer Schüttung 18 aus kugelförmigen Brennelementen 19, kurz Kugelhaufen 18 genannt, angeordnet ist. In diesen Kugelhaufen 18 taucht ein Absorberstab 20, 21 ein, der in einem im Spannbetonbehälter 12 eingegossenen Panzerrohr 22 geführt ist und von einem Hubkolbenantrieb 24 bewegt wird. An seinem Umfang weist der Absorberstab 20, 21 in zwei zueinander axial versetzten Bereichen Längsschlitze 26, 27 auf. Der Abstand dieser Bereiche mit Schlitzen 26, 27 zueinander und zur Stabspitze 30 ist so gewählt, daß mit Eintauchen des Stabes 20, 21 in den Kugelhaufen 18 Kühlgas aus dem oberhalb des Kugelhaufens 18 befindlichen Zwischenraum 28 in das Innere des Stabes 20, 21 eintreten kann und ihn zu seiner Kühlung zur Stabspitze 28 hin durchströmt. Durch Einhaltung dieser geometrischen Bedingung ist sichergestellt, daß bei jeder Stabstellung sich ein Bereich mit Schlitzen 26, 27 im Zwischenraum 28 des Reaktors 16 befindet und den Zutritt von Kühlgas in das Stabinnere gestattet.

In Fig. 2 ist ein Absorberstab 20 dargestellt, der in einem durch zwei konzentrisch angeordnete zylindrische Stabelemente 32, 34 gebildeten Ringspalt 38 Absorbermaterial 36 aufweist. Der Absorberstab 20 ist stufenförmig aus gleichlangen Abschnitten von Stabelementen 32, 34 aufgebaut, die mittels Verbindungsstücken 40 miteinander verbunden sind. Am unteren Stabende sind das innere Stabelement 32 und das äußere Stabelement 34 an eine einstückige Spitze 30 angeschweißt, welche konisch zuläuft und eine der Form der Brennelemente 19 angepaßte nahezu halbkugelförmige Ausnehmung 46 aufweist. Zur Aufnahme und Übertra-

gung der aus dem Betrieb resultierenden Beanspruchungen hat das Innenrohr 32 eine größere Wanddicke als das Außenrohr 34. Während das Innenrohr 32 mit der Stabspitze 30 und mit dem Mittelstück 40, welches über den Umfang verteilt axial verlaufende Radialschlitze 26 für den Kühlgaseintritt aufweist, verschweißt ist, sind die äußeren Stabelemente 34 jeweils nur im unteren Bereich mit der Stabspitze 30 bzw. mit dem Mittelstück 40 mittels Schweißnaht verbunden. An ihrem oberen Ende sind die äußeren Stabelemente 34 jeweils gleitend geführt. Sowohl an der Stabspitze 30 als auch an den Verbindungen 40 sind im Ringspalt 38 Distanzringe 39 eingelegt, die das Absorbermaterial 36 in ausreichendem Abstand von der Verbindungsstelle 42 (Schweißnaht) des äußeren Stabelements 34 mit der Stabspitze 30 bzw. den Verbindungsstücken 40 hält. Im Bereich des Konus der Stabspitze 30 sind Austrittsschlitze 25 über den Umfang verteilt vorgesehen. Im Innenrohr 32 sind Belüftungsbohrungen 45 vorgesehen, die die Verbindung zum Stabinneren 29 herstellen und einen unzulässigen Druckaufbau infolge Quellens des Absorbermaterials 36 oder infolge gasförmiger Zersetzungsprodukte des Absorbermaterials 36 verhindern.

In Fig. 3 ist ausschnittsweise ein Querschnitt durch die lösbare Kupplung 44 wiedergegeben, welche den Corestab 20 mit der Kolbenstange 61 eines nicht näher gezeigten Stellantriebs verbindet.

Die Kupplung 44 besteht im wesentlichen aus einem Klauenkörper 60, welcher in das obere offene Ende des Corestabs 20 eingeschraubt wird. Ein darunter befindlicher Einsatz 62 dient zum Abschluß des Corestabs 20. An dem nach oben gerichteten Ende weist der rohrförmige Klauenkörper 63 gleichmäßig über seinen Umfang angeordnete Längsschlitze 64 auf, die an ihrem Ende mit einem Radius versehen sind. Auf diese Weise sind gleichförmige coaxial verlaufende Lamellen 66 gebildet, welche an ihrem freien Ende jeweils in eine klauenähnliche Nase 68 übergehen. Als Gegenstück für diese Nase 68 ist in dem unteren Ende der Kolbenstange 61 ein Absatz 69 vorgesehen, den die Nase 68 hintergreift. Die Form der Lamellen 66 ist bezüglich ihrer Dicke, Breite und Länge so gewählt, daß sie wie eine Blattfeder federnd nach innen bewegbar sind. Dadurch ist es möglich einen Hohlzylinder 70 wie in Fig. 3 gezeigt über den Klauenkörper 63 zu schieben. Die zurückfedernden Lamellen 66 schnappen nach Erreichen des Bunds 69 hier ein und stellen damit die formschlüssige Axialverbindung von Kolbenstange 61 und Corestab 20 her.

Zum Lösen der Kupplung ist es möglich, einen Zylinderring 72 zwischen die Nasen 68 und die Zylinderwand 71 zu schieben, wodurch die Nasen 68 aus dem Formschluß mit dem Bund 69 gelöst werden; nun kann durch axiales Verschieben die Kolbenstange 61 von der Kupplung 44 gelöst werden. Die Betätigung des Zylinderrings 72 kann mittels eigenem Antrieb, der hier nicht gezeigt ist, erfolgen oder dadurch, daß bei fixiertem Corestab 20 die Kolbenstange soweit eingeschoben wird, daß der Zylinderring 72 wie vorher beschrieben in Eingriff gelangt.

In Fig. 4 ist eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Absorberstabs 21 gezeigt, der gegenüber dem in Fig. 2 gezeigten Stab 20 eine geänderte Stabspitze 31 aufweist sowie eine im folgenden beschriebene Haltesicherung 50. Der übrige Aufbau des Absorberstabs 21 entspricht identisch dem aus Fig. 2 bekannten Prinzip und wird daher nicht näher beschrieben.

Die einstückige Stabspitze 31 verjüngt sich konisch

von dem Anschlußbereich 58 an die Stabelemente 33, 35 bis zu einer kleinen Stirnfläche, die eine nahezu halbkugelförmige Ausnehmung 47 aufweist. Zusätzlich ist eine axial verlaufende zentrische Durchgangsbohrung 56 vorgesehen, die sich in einem dünnwandigen hohlen Führungszylinder 54 fortsetzt und einen Haltestab 51 aufnimmt. Dieser Haltestab 51, der die Bohrung 56 voll ausfüllt, greift mit seinem freien Ende in einen Aufnahmestutzen 53, der zu einer Haltesicherung 50 gehört und mit dem er fest verbunden ist.

Etwa auf halber Länge des Führungszylinders 54 sind regelmäßig an seinem Außenumfang Abstandhalter 60 angeformt, die seitliches Spiel verhindern sollen, indem sie sich an dem inneren Stabelement 33 abstützen.

Die Haltesicherung 50, die mittels einem Haltering 52 an das der Stabspitze 31 nächstgelegene Verbindungsstück 40 anschließt, dient im wesentlichen dazu, die infolge Bruchversagen vom äußeren Stabelement 35 gelöste Stabspitze 31 zu halten und vor dem Einsinken und dem Verbleib im Kugelhaufen 18 zu bewahren, was schwerwiegende Folgen für den Reaktorbetrieb hätte.

Ein weiterer Vorteil der sich mit der Ausgestaltung der Halteeinrichtung verbindet, beruht darauf, daß das im Stabinneren durchströmende Kühlgas in dem verbleibenden konzentrischen Ringraum um den Führungszylinder 54, bzw. um den Haltestab 51 und den Aufnahmestutzen 53 intensiver zur Kühlung der inneren Stabelemente 33 beiträgt. Die Länge des Haltestabes 51 ist so gewählt, daß er einerseits spielfrei in den Aufnahmestutzen 53 eingeführt ist und andererseits nicht in die kalottenartige Ausnehmung 47 hineinragt.

Die Länge sowie die Anzahl der einzelnen Abschnitte der Stabelemente 33, 35 richtet sich nach den geometrischen Gegebenheiten des Reaktors sowie nach der vorgesehenen Betriebsweise. Günstig ist eine Anzahl von wenigstens 3 Abschnitten. Dabei kann es vorteilhaft sein, die Ausstattung der Verbindungsstücke mit Eintrittsschlitzen 26 differenziert vorzusehen, d. h. gegebenenfalls alternierend mit und ohne Schlitze 26.

In Fig. 5 ist eine Ausschnittsvergrößerung A aus Fig. 4 gezeigt, aus der erfindungswesentliche Details zur Gestaltung der Stabspitze 31 des Absorberstabs 20 hervorgehen. Gezeigt ist eine Halbseite der Stabspitze 31 im Längsschnitt.

Die als einstückiges Drehteil herzustellende Stabspitze weist eine axial verlaufende zentrische Durchgangsbohrung 56 auf, in die ein Haltestab 51 eingesetzt ist, der unterhalb bündig mit der kalottenförmigen Ausnehmung 47 abschließt.

Ausgehend von dieser Stirnfläche erweitert sich die Stabspitze 31 auf den Durchmesser des äußeren Stabelements 35, an welches es mittels Schweißnaht 42 fest anschließt. Erfindungsgemäß soll diese Schweißnaht 42 konstruktiv möglichst weit nach oben gelegt werden. Mit kleinerem Radius konzentrisch zum äußeren Stabelement ist ein Anschlußstutzen 59 vorgesehen, an den axial versetzt das nicht gezeigte innere Stabelement 33 angeschweißt ist. Der zwischen beiden Stabelementen 33, 35 entstandene Ringraum 38 wird begrenzt von einer ringförmig in die Stabspitze 31 eingelassene Stirnfläche mit halbkreisförmigem Querschnitt.

Der relativ große Radius dieser Ringfläche, der etwa dem halben Abstand der Stabelemente 33, 35 entspricht, dient vor allem dazu, Kerbspannungen zu vermeiden, die sich denen aus unterschiedlicher Wärmedehnung aufgrund der unterschiedlichen Erwärmung und der ungleichen Materialdicken von Anschlußbereich 58 und den Wanddicken im Schweißnahtbereich überlagern.

Aus dem gleichen Grund ist vorgesehen, den Ringraum 57, der zwischen dem inneren Stabelement 33 und dem zentrisch angeordneten, den Haltestab 51 umschließenden Führungszylinder 54 gebildet ist zur Stabspitze 31 hin durch stetige Querschnittsänderung zu begrenzen. Mit anderen Worten, der zwischen dem Führungszylinder 54 und dem Anschlußbereich 58 bzw. dem inneren Stabelement 33 befindliche zylindrische Ringraum 57 verjüngt seinen Querschnitt zur Stabspitze 31 hin derart, daß die Außenwand der Stabspitze gleiche Dicke beibehält und die Wanddicke des Führungszylinders 54 stetig zunimmt. Der auf diese Weise entstehende Ringraum 57 weist einen dreieckförmigen Querschnitt auf, der an seiner Spitze in einen Radius übergeht.

Auf diese Weise wird erreicht, daß die infolge großer Unterschiede der Materialquerschnitt auftretenden Spannungen gering gehalten werden und Kerbspannungen vermieden werden.

Um Leistungsschwankungen beim Reaktorbetrieb ausreichend schnell korrigieren zu können, werden Absorberstäbe 20 soweit in den Reaktor 16 eingefahren, daß ihre Spitzen 30 sich unmittelbar über der Schüttung 18 befinden. Bei einer Betriebsweise des Reaktors 16 entsprechend dem OTTO-Prinzip, bei der ein einmaliger Brennelementdurchlauf vorgesehen ist, stellt sich das Neutronenflußmaximum oberhalb des Kugelhaufens 18 in dem Zwischenraum 28 des Reaktors 16 ein. Die ständige Beaufschlagung mit Neutronenstrahlung hat einen Rückgang an Duktilität und Belastbarkeit der äußeren Hüllrohre von Absorberstäben infolge Neutronenversprödung zur Folge. Zur Gewährleistung des bestimmungsgemäßen Betriebes unter derartigen Bedingungen ist es daher erfindungsgemäß vorgesehen, einen Absorberstab 20 gemäß Fig. 2 einzusetzen, bei dem die kraftübertragenden Stabelemente 32 im Stabinneren 29 angeordnet sind und von einer Schicht aus Absorbermaterial 36 umgeben sind. Das äußere Hüllrohr 34 hat lediglich die Funktion, das Absorbermaterial in seiner Lage zu halten. Mit Hilfe dieser Anordnung ist es möglich Absorberstäbe über lange Betriebszeiten in der vorgesehenen Weise zu betreiben, ohne ein vorzeitiges Versagen infolge Bruch durch erhöhte Sprödigkeit befürchten zu müssen. Durch Anordnung der Kühlgaseintrittsschlitze 26 im Abstand zueinander ist es möglich, das Stabinnere 29 in jeder Stabstellung nach Eindringen in den Kugelhaufen 18 zu kühlen. Durch entsprechend gewählte geometrische Anpassung der Schlitzbereiche an die Reaktorgeometrie befindet sich stets ein Schlitzbereich in dem kühlgasgefüllten Zwischenraum 28, so daß stets Kühlgas in das Innere 29 des Stabes 20 eintreten, zu seiner Kühlung durchströmen und an der Spitze 30 austreten kann.

Die erfindungsgemäßen Absorberstäbe 20 sind einfach und kostengünstig herstellbar, da aufgrund ihrer einfachen Konstruktion die Verwendung von konturenarmen Formstücken und Rohren möglich ist.

60

65

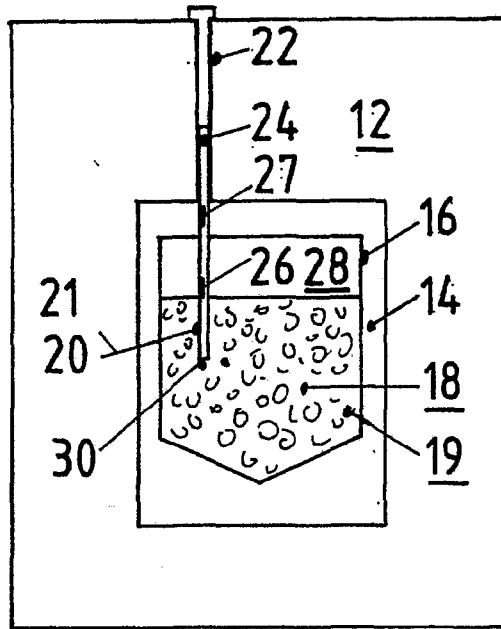


Fig.1

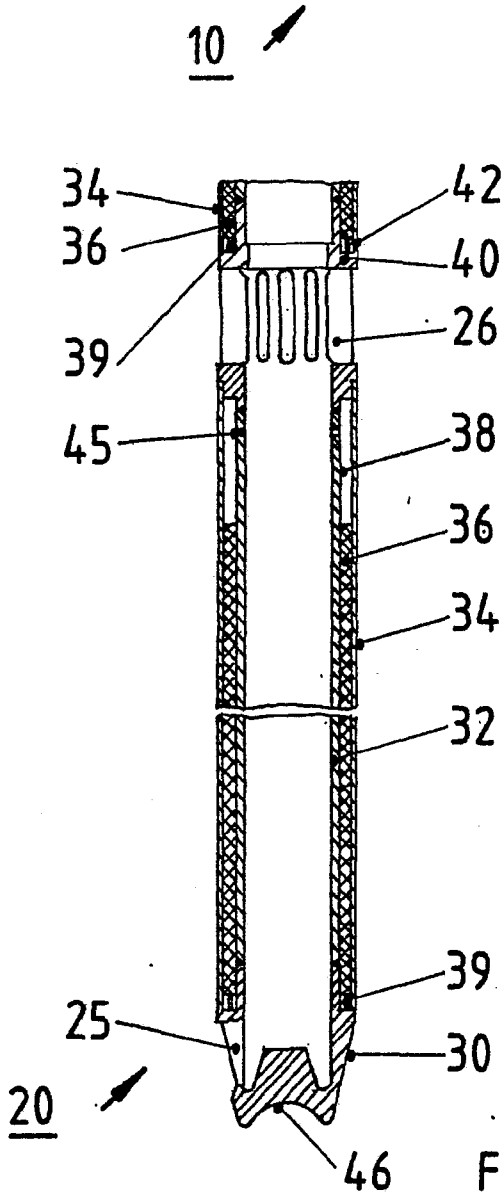


Fig.2

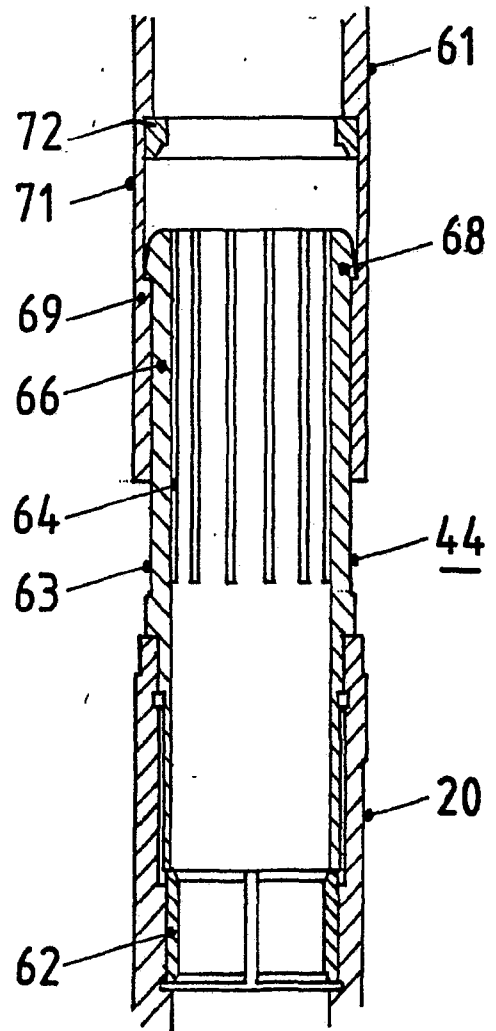


Fig.3

