



(51) Internationale Patentklassifikation ⁷ : G21C 7/00	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/57426 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 28. September 2000 (28.09.00)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/00899 (22) Internationales Anmeldedatum: 21. März 2000 (21.03.00) (30) Prioritätsdaten: 99/02247 23. März 1999 (23.03.99) ZA (71) Anmelder: FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH [DE/DE]; Wilhelm-Johnen-Strasse, D-52425 Jülich (DE). (72) Erfinder: STRUTH, Stephan; Sternschanze 46, D-52428 Jülich (DE). KUHLMANN, Mario; Daubenrather Kirchweg 9, D-52428 Jülich (DE). (74) Gemeinsamer Vertreter: FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH; Personal und Recht – Patente (PR-PT), D-52425 Jülich (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: CN, JP, ZA, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>	

(54) Title: REACTOR SYSTEM, METHOD OF CONTROLLING SAME AND MEANS

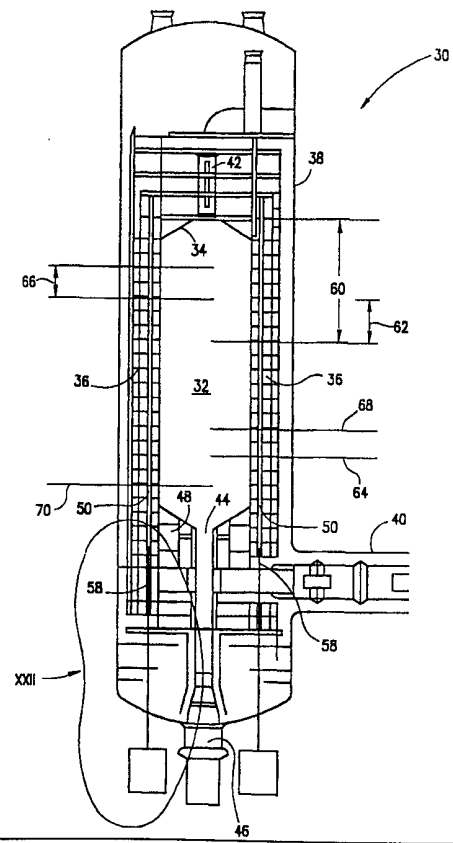
(54) Bezeichnung: REAKTORSYSTEM UND STEUERUNGSVERFAHREN UND MITTEL

(57) Abstract

The invention relates to a method and a system for controlling and optionally shutting down the power of a nuclear reactor. The control system comprises regulating systems which operate on a neutron-absorption basis and use mobile neutron absorbing bodies. According to the invention a system of holes and channels can be filled with neutron absorbing bodies to a required level by the force of gravity.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Methode und ein Kontrollsystem zur Regelung und optionalen Abschaltung der Leistung eines Kernreaktors. Das Kontrollsystem umfaßt Regelsysteme, die auf Basis der Neutronenabsorption arbeiten, und welche bewegliche Neutronenabsorptionskörper einsetzen. Ein System von Bohrungen/Kanälen kann dabei schwerkraftbedingt bis zu einem entsprechenden Level mit Neutronenabsorptionskörper gefüllt werden.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbajdschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

B e s c h r e i b u n g

Reaktorsystem und Steuerungsverfahren und Mittel

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und Steuerungssystem zum Regeln und wahlweisen Abschalten der Leistung eines Kernreaktors, auf einen Kernreaktor einschließlich eines solchen Systems und auf einen Neutronenabsorptionskörper zum derartigen Regeln und wahlweisen Abschalten der Leistung eines Kernreaktors.

Heutige Kernspaltungsreaktoren umfassen einen Reaktorkern, der die Kernbrennstoffelemente enthält. Die Kernbrennstoffelemente umfassen den Kernbrennstoff (Uran-, Thorium- und/oder Plutoniumisotope) sowie einen Moderator. Die Kernspaltung setzt schnelle Neutronen frei, die durch den Moderator abgebremst werden, um ein Energieniveau zu erreichen, das geeignet ist, einen weiteren Brennstoffkern zur Spaltung zu veranlassen. Dies führt wiederum zur Freisetzung von schnellen Neutronen und Wärme, die zur Energieerzeugung genutzt wird.

Es ist heute allgemein üblich, für Kernreaktoren mindestens zwei unabhängige Abschaltssysteme zu verwenden. Sie dienen dazu, die nukleare Kettenreaktion zu beenden. Mindestens eines dieser Systeme kann darüber hinaus zur Regelung des Betriebs, d.h. der Leistung und des Leistungsprofils des Reaktors benutzt werden. Die Abschaltssysteme arbeiten herkömmlicherweise durch Ein-

bringen von Neutronen absorbierenden Materialien in den Kern oder seine Umgebung (z.B. den umgebenden Reflektor). Die Menge solcher einzubringender Absorber muss ausreichend sein, um einen hinreichend schnellen Regel- und ggf. hinreichenden Abschalteneffekt zu gewährleisten, z.B. in allen Betriebs- und Störfallsituationen bei einem Temperaturwechsel und/oder nach einem Zerfall von Xe^{135} .

5

10

Falls ein Abschaltensystem auch zum Regeln benutzt wird, werden diese Absorber im Normalbetrieb nicht ganz aus ihren effektiven Positionen herausgefahren, so dass bei weiterem Ausfahren die Reaktivität erhöht werden kann, d.h. die Spaltrate kann erhöht werden. Eine Abschaltfunktion wird erreicht durch Bewegen weiterer Absorber in effektive Positionen, wodurch die Kettenreaktion angehalten wird.

15

20

Der sogenannte Hochtemperaturreaktor (HTR) hat in jüngerer Zeit an Bedeutung gewonnen. Sein Name ergibt sich aus der Tatsache, dass er auf Grund seiner Graphitbauweise in der Lage ist, Wärme mit hohen Temperaturen zu erzeugen. Ein Sondertyp des HTR ist der Kugelschütungs- oder Kugelhaufenreaktor. Dieser hat eine Reihe fortschreitender Entwicklungsstufen durchlaufen, die als AVR (Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor mit Standort in Jülich, Deutschland, der eine Wärmeleistung von 46 MW hatte, für eine Heliumausgangstemperatur von 850 °C ausgelegt war, aber experimentell bis 1000 °C betrieben wurde); THTR (Thorium-Hochtemperaturreaktor; Wärmeleistung 750 MW mit Standort in Uentrop, Deutschland); bzw. MODUL-HTR (ein in Deutschland entwickeltes

25

30

modulares Kugelhaufenreaktorkonzept mit einer Wärmeleistung von 200 MW) bekannt sind. Ein Merkmal des Kugelhaufenreaktors besteht darin, dass während seines Betriebs neue kugelförmige Brennelemente in seinen Kern
5 eingebracht werden und nötigenfalls, alte aus ihm abgezogen werden können. Diese Merkmale ermöglichen eine Entlastung des Regelsystem von seiner Aufgabe, den Verbrauch an Kernbrennstoff durch den Abzug von Absorbermaterial zu kompensieren. In diesen Systemen muss
10 das Regelsystem lediglich Reaktivitätsschwankungen infolge Temperaturwechsel, sich ändernder Xe^{135} -Konzentration und ähnlicher geringfügigerer Effekte ausgleichen.

15 Gewöhnlich werden in den Abschalt- und Regelsystemen Stäbe verwendet, bei denen das absorbierende Material in metallischen Rohren eingeschlossen ist. Wenn der Kugelhaufenkern entsprechend konstruiert ist, genügt es, solche Stäbe in hierfür vorgesehene Staböffnungen
20 in den Seitenreflektoren einzufahren. Außerdem ist es nur für Abschaltzwecke auch möglich, den Absorber in kleine Kugeln anstatt in Stäbe einzuschließen, wie dies beim zweiten Abschaltssystem des MODUL-HTR-Konzepts geschehen ist. Solche Kugeln sind als "Kleine Absorber-
25 Kügelchen" (KLAKs) bekannt geworden. Diese KLAKs bestehen aus Graphitkugeln, die Bor oder Borkarbid enthalten. Die KLAKs werden in vertikale sogenannte KLAK-Öffnungen oder -Bohrungen eingebracht. Zum Entfernen der KLAKs aus ihren effektiven Positionen werden
30 diese üblicherweise durch Gravitation am unteren Ende solcher KLAK-Öffnungen oder -Bohrungen abgezogen. Sie werden dann pneumatisch in die Aufgabehälter der

KLAK-Bohrungen zurückgeleitet. Die wichtigsten Unterschiede in den Merkmalen zwischen Stäben und KLAKs sind:

- 5 1. KLAKs sind weniger temperaturempfindlich als metallische Stäbe.
2. Während Stäbe sowohl von unten als auch von oben und bei Ausführung als Kurzstäbe auch in verschiedene Positionen eingebracht werden können, sammeln
10 sich KLAKs durch Gravitation am unteren Ende eines jeden KLAK-Kanals und müssen zum Erreichen höherer Pegel durch Gravitation aufgefüllt oder von dort nach unten abgezogen werden, um die Absorptionspegel zu verringern.

15

In vielen Reaktoren werden Absorbermaterialien bisher vornehmlich in Form der vorgenannten Stäbe eingesetzt, um das Leistungsprofil und insbesondere das Wärmeleistungsprofil in gewünschter Weise kontrolliert zu beeinflussen, gewöhnlich um ein solches Profil zu glätten. Dies geschieht auch im HTR hauptsächlich zur Vermeidung hoher örtlicher Bestrahlungsbelastungen im Graphitreflektor. In einem Kugelschüttungs-HTR erhöht sich die
20 Konzentration abgebrannten Brennstoffs nach unten.

25

Dementsprechend befindet sich das Leistungsmaximum gewöhnlich in der oberen Hälfte des Kerns. Der Verlauf dieses Leistungsmaximums in der oberen Hälfte und damit auch das entstehende Profil bzw. die Produktion schneller Neutronen kann geglättet werden, wenn sich der Teil
30 der Absorberkörper des Regelsystems, der zur Leistungsregelung benutzt wird, unter normalen Betriebsbedingungen in der Nähe dieser Position maximaler Wirkung in

der oberen Hälfte befindet. Ein Ausfahren aus dieser Position maximaler Wirkung setzt Reaktivität frei, während das Einbringen von mehr Absorbermaterial diese Aktivität verringert und schließlich zu einer Abschaltung führt. Um dieses Merkmal des Regelsystems voll zu nutzen zu können, aber auch um die Kosten solcher Steuerungsvorgänge zu minimieren, ist das Regelsystem im Allgemeinen für den Betrieb mit Stäben ausgelegt. KLAKS sind bisher nur für das zweite Abschaltssystem verwendet worden, d.h. nur zum vollständigen Abschalten.

Die konventionellen Steuerstäbe hatten bisher jeweils die Form eines Stabes, um den herum ringförmige Steuerkörper aus Neutronen absorbierendem Material wie Bor-
karbid, Hafniumkarbid oder ähnlichem angeordnet waren. Während Borkarbid beispielsweise bei Temperaturen bis zu mindestens 1600 °C stabil ist, verliert das Metall des Innenstabes seine erforderliche Zugfestigkeit bei Temperaturen über 650 °C. Dies verursacht Probleme, denn aus sehr guten Gründen war es üblich, diese Metallstäbe oben hängend anzuordnen, um sie durch Gravitation in den Kernbereich absenken zu können und so durch Erhöhen der Neutronenabsorption die Kettenreaktion abzubremesen und wahlweise ganz anzuhalten. In konventionellen Kugelhaufenreaktoren ist der Neutronenfluss in den oberen Bereichen des Reaktorkerns am höchsten, weil frische Brennelementkugeln konventionell von oben in den Reaktor eingebracht werden, während ganz oder teilweise verbrauchte oder abgebrannte Brennstoffkugeln aus dem unteren Bereich abgezogen werden. Dementsprechend nimmt der Pegel des Neutronenflusses im Reaktorkern von oben nach unten ab. Daher liegt es

nahe, dass ein Regelsystem von Vorteil ist, das vorran-
gig von oben in den Kernbereich gelangt. Bei modernen
Kugelhaufenreaktoren sind Temperaturen von etwa 900 °C
bei Normalbetrieb die Regel geworden und im Falle von
5 Betriebsstörungen können die Temperaturen der Absorber-
körper auf über 1200 °C ansteigen, was die Toleranz-
grenzen der Metallstäbe bei weitem übersteigt.

Es wurde daher eine Notwendigkeit für eine Alternative
10 zu konventionellen Absorberstäben in Regel- und Ab-
schaltssystemen gesehen, welche die Probleme der Wärme-
empfindlichkeit herkömmlicher Stäbe ohne Verlust an Re-
gelfähigkeit und Schutz des Reflektors gegen Strahlen-
überbelastung überwinden oder mindern würde.

15 Die vorliegende Erfindung sieht einen Kernreaktor vor,
der ein System oder Systeme von Reglern zur Leistungs-
und Abschaltregelung auf der Basis von Neutronenabsorp-
tion mit Hilfe beweglicher Neutronenabsorberkörper ein-
20 schließt, wobei das (die) Reglersystem(e) ein Kanalsys-
tem mit einem Kanal oder einer Anordnung von Bohrungen
einschließt, die mit einer Folge von durch Schwerkraft
einfallenden Absorberkörpern auf einstellbare Niveaus
beladen werden oder beladbar sind, wobei die Absorber-
25 körper Querschnittsabmessungen haben, die im wesentli-
chen den Querschnittsabmessungen der Bohrungen in
Gleitbeziehung mit genügend Spiel für leichtes Gleiten
entsprechen, und die Absorberkörper nach unten durch
mindestens ein Niveau bestimmendes Auflager abgestützt
30 werden.

- Vorzugsweise sind zwischen den das Niveau bestimmenden Auflagern und den Absorberkörpern ein oder mehrere ebenfalls gleitfähige Blindkörper in Längsrichtung des Kanals untergebracht, wobei besagte Blindkörper im Vergleich zum Neutronenabsorptionsvermögen der Absorberkörper kein oder ein verringertes Neutronenabsorptionsvermögen haben. Vorzugsweise enthält jeder Kanal eine Vielzahl besagter Blindkörper.
- Die Blindkörper können unterschiedlich Neutronen absorptionsfähig sein, genauer gesagt so, dass sich das Neutronenabsorptionsvermögen von Blindkörpern nach unten verringert.
- Wahlweise können ein oder mehrere der Blindkörper Neutronen reflektierende Eigenschaften haben, beispielsweise indem sie in einem Neutronen reflektierenden Material eingeschlossen oder diesem zugewandt sind.
- Gemäß einer besonderen Ausführungsform dient ein Plungerglied als Niveau bestimmendes Auflager. Typischerweise schließt das Plungerglied einen Kolben ein oder ist kolbenförmig. Die Strecke, die von den Blindkörpern zwischen den Neutronenabsorberkörpern und dem Plungerglied oder einem anderen das Niveau bestimmenden Auflager zurückgelegt wird, ist vorzugsweise so, dass sich der Kolben in allen seinen Betriebspositionen unter dem niedrigsten Niveau des Reaktorkerns befindet, d.h. in einem Bereich, wo die Strahlung, insbesondere der Neutronenfluss minimal oder nicht vorhanden ist. Vorzugsweise wird der Kolben durch geeignete Bedienungsmittel außerhalb des Druckgefäßes des Reaktors be-

tätigt (d.h. angehoben bzw. abgesenkt). Solche Bedienungsmittel können mechanisch, pneumatisch, hydraulisch oder elektromagnetisch oder eine Kombination von zwei oder mehreren dieser Möglichkeiten sein.

5

Der Kolben bzw. das Plungerglied kann aus einem für den Zweck geeigneten Material wie Graphit, Keramik, z.B. Aluminiumoxid oder Berylliumoxid, oder einem geeigneten Metall wie Ofenstahl sein.

10

Die Tatsache, dass sich die Absorberkörper unter Schwerkraft bewegen, bis sie durch das Plungerglied oder ein anderes Niveau bestimmendes Auflager gestoppt werden, kann dazu benutzt werden, die Absorberkörper im Falle einer Betriebsstörung des Reaktors beispielsweise infolge Stromausfall durch automatische Freigabe der normalerweise an dem Plungerglied oder einem anderen das Niveau bestimmenden Auflager anliegenden Haltekraft automatisch in ihre Abschaltpositionen (d.h. wo maximaler Neutronenfluss vorliegt) abzusenken. Dies kann auf herkömmliche Weise durch automatische Freigabe einer das Niveau bestimmende Auflager in seiner angehobenen Position haltenden Kraft erfolgen, beispielsweise durch Freigabe einer elektromagnetischen Kupplung oder Haltevorrichtung.

15

20

25

Die Blindkörper können aus einem nicht oder schwach Neutronen absorbierenden Material mit für den Zweck geeigneten mechanischen, thermischen oder sonstigen Eigenschaften sein. Die verwendeten Werkstoffe könnten dieselben oder ähnlich denen sein, die vorstehend für den Kolben bzw. das Plungerglied beschrieben wurden, sind jedoch vorzugsweise nicht metallisch.

30

Sowohl die Absorberkörper als auch die Blindkörper sind so zu formen und zu dimensionieren, dass sie frei gleiten, ohne sich in den Bohrungen zu verklemmen.

5

Einer der potentiellen Vorteile, den die Erfindung durch das Merkmal bietet, nämlich dass die Bohrungen Säulen aus unverbundenen Einzelkörpern anstatt eines durchgehenden Einzelstabs enthalten, besteht darin, dass die Bohrungen infolgedessen nicht überall geradlinig sein müssen, sondern insoweit Krümmungen aufweisen können, wie die Körper dies ohne Verklemmen zulassen. Es ist lediglich notwendig, dass die Bohrungen allgemein in Richtung der Schwerkraft verlaufen.

10

15

Für die vorgenannten Zwecke kann die Form der Absorberkörper und Blindkörper von kugelförmig über ellipsoid oder fassförmig bis zylindrisch mit gefasteten oder gerundeten Kanten variieren. In der Benutzung werden längliche Körper der letzteren Formen vorzugsweise der Länge nach in ihre jeweiligen Bohrungen eingebracht. Die Krümmungsradien etwaiger Biegungen oder Krümmungen in den Bohrungen begrenzen die axiale Länge der Körper, die in der Praxis beispielsweise vom 1- bis 5-fachen, vorzugsweise vom 1- bis 3-fachen, besser noch vom Ein- bis Zweifachen des Kanaldurchmessers variieren kann. Für weitere Einzelheiten wird auf die Beschreibung der Körper als solche weiter unten verwiesen.

20

25

30

Solche Abweichungen von der Geradlinigkeit eines Kanals können vorteilhaft dazu benutzt werden, die Nähe der Neutronenabsorberkörper zum Reaktorkern und dadurch die

Neutronen absorbierende Wirkung der Neutronenabsorberkörper auf unterschiedlichen Kernniveaus zu variieren. Eine Anordnung von Bohrungen kann benutzt werden, wobei verschiedene Bohrungen in Relation zum Kern unterschiedlich gekrümmt verlaufen können. Einige Bohrungen können auch geradlinig sein, d.h. in gleichbleibendem Abstand zum Reaktorkern verlaufen, während einige andere Bohrungen gekrümmt sein können, um die Absorberkörper auf verschiedenen Niveaus des Reaktorkerns zunehmend zu diesem hin oder von ihm weg zu führen. Dieses Prinzip ähnelt in etwa dem unserer gleichzeitig anhängigen Anmeldung 98/0128. Darüber hinaus ist es möglich, die Lehren der vorliegenden Anmeldung mit den Lehren dieser früheren Anmeldung, wonach einige Bohrungen für den Betrieb mit einer Charge KLAks oder ähnlich frei fließender Absorberkörper, d.h. Absorberkugeln mit Durchmessern vorzugsweise nicht über $1/6$ des kleinsten Kanaldurchmessers ausgelegt werden können, zu kombinieren.

Die Bohrungen können über ihre gesamte Länge einen einheitlichen runden Querschnitt haben. Wie im Falle der südafrikanischen Patentanmeldung 98/0128 ist es jedoch möglich, Bohrungen mit rechteckigem oder länglichem Querschnitt in Kombination mit Absorber- und ggf. Blindkörpern zu verwenden, wobei der entsprechende Querschnitt ihres jeweiligen Kanals mit einem geeigneten Spiel für leichtes axiales Gleiten im Kanal angepaßt und so ausgerichtet wird, dass in an Teile des Kerns angrenzenden Bereichen, wo bei Normalbetrieb maximaler Neutronenfluss vorliegt, die Richtung der

Querschnittslängung der Bohrungen senkrecht zur Kernachse ist.

5 Zusätzlich oder als Alternative zu einem solchen Kanal, der axial von der Kern-/Reflektorgrenzfläche weg in Bereichen gekrümmt ist, in denen die Kernaktivität unter normalen Betriebsbedingungen reduziert ist, kann ein solcher Kanal mit länglichem Querschnitt eine allmähliche axiale Verdrehung erhalten, bis in einem Bereich
10 mit normalerweise reduzierter Kernaktivität die Richtung der Querschnittslängung radial zur Kernachse weist.

15 Zusätzlich oder alternativ zum Vorgenannten ist es möglich, mit Hilfe der Erfindung die Neutronenfluss-Exposition der Absorber- und/oder Blindkörper in Bereichen hoher Kernaktivität zu maximieren, indem man für diese Körper in diesen Bereichen Bohrungen verwendet, die teilweise zum Kernbereich hin offen sind. Mit "teilweise
20 offen" meinen wir das Vorhandensein offener Bereiche in Form eines Schlitzes oder einer Folge von Schlitzten oder Öffnungen, die parallel zur Reaktorkernachse ausgerichtet und so dimensioniert sind, dass die Absorber- und/oder Blindkörper im Kanal gehalten werden, und insbesondere auch so dimensioniert, dass die
25 Brennstoffkugeln im Falle eines Kugelhaufenreaktors nicht in den Kanal gelangen können.

30 Das Bedienungs- oder Antriebsmittel für das Plungerglied befindet sich vorzugsweise außerhalb des Druckgefäßes des Reaktors. Dementsprechend können Wartungsarbeiten an diesem Mittel ohne Schwierigkeit

durchgeführt werden. Das Bedienungs- oder Antriebsmittel kann über eine Pleuelstange oder ähnliches mit dem Plungerglied verbunden sein, wobei nur eine kleine Durchführung durch die Wand des Druckgefäßes einschließlich geeigneter Abdichtmittel notwendig ist. Es liegt nahe, Bedienungs- oder Antriebsmittel innerhalb des Druckgefäßes nicht vom Schutzzumfang der Erfindung auszuschließen.

Die Erfindung findet vorzugsweise Anwendung auf Reaktoren des Hochtemperaturreaktor (HTR)-Typs und insbesondere auf Reaktoren, die dazu ausgelegt sind, durch Einbringen von frischem Kernbrennstoff mit oder ohne rückgeführten teilabgebrannten Brennstoff an einem Ende und Abzug von abgebranntem Brennstoff mit oder ohne teilabgebrannten Brennstoff an einem gegenüberliegenden Ende betrieben zu werden, und bei denen die Absorberkörper in einer Anordnung gehalten werden, die geeignet ist, eine maximale Neutronenabsorption in einem Bereich unmittelbar an oder nahe einem Teil des Reaktorkerns zu bewirken, wo der den Reaktor durchlaufende Brennstoff maximale oder nahezu maximale Leistung erreicht, und eine abnehmende oder Null-Neutronenabsorption in Bereichen unmittelbar an oder nahe Teilen des Reaktorkerns zu bewirken, wo die Brennstoffaktivität bereits reduziert ist. Eine bevorzugte Ausführungsform ist der Kugelbrennstoffschüttungs- oder Kugelhaufentyp.

Bei einem gegebenen Reaktor hängt das Niveau (in Relation zum Reaktorkern), auf dem eine Änderung vom maximalen Absorptionseffekt zu einem weniger absorbierenden oder Null-Absorptionseffekt stattfinden sollte, wei-

testgehend davon ab, wie dem Reaktor Brennstoff zugeführt wird. Vorzugsweise soll die Anordnung eine maximale oder nahezu maximale Absorption in einem Bereich unmittelbar an oder nahe der oberen Hälfte des Reaktor-

5 kerns und eine verminderte oder Null-Absorption in einem Bereich bewirken, wo die Leistung des nicht vergifteten Kerns etwa die Hälfte bis ein Drittel des Bereichs mit maximaler Leistung beträgt. Genauer gesagt beginnt der Bereich mit vermindertem oder Null-Absorptionseffekt auf einem Niveau nicht unter 1/10 der Gesamtkernhöhe über dem Bodenreflektorbereich des Reak-

10 tors.

Wenn es sich um einen Reaktor mit Mehrfachbrennstoff-

15 durchsatz handelt, liegt der Bereich maximaler Leistung des Kerns in der Regel auf einem Niveau zwischen 50 % und 70 % der Gesamtkernhöhe und der Teil der Anordnung mit maximalem Absorptionseffekt erstreckt sich nach unten auf ein Niveau nicht unter 30 % der Gesamtkern-

20 höhe über dem Bodenreflektorbereich des Reaktors.

Wenn es sich hingegen um einen Reaktor mit Einwegbeschickung (OTTO) handelt, befindet sich der Bereich maximaler Leistung des Kerns auf einem Niveau zwischen

25 66 % und 75 % der Gesamtkernhöhe, wobei sich der Bereich der Anordnung mit maximalem Absorptionseffekt nach unten auf ein Niveau nicht unter 40 % der Gesamtkernhöhe über dem Bodenreflektorbereich des Reaktors erstreckt. Genauer gesagt erstreckt sich der Bereich

30 der Anordnung mit maximalem Absorptionseffekt nach unten auf ein Niveau nicht unter 50 % der Gesamtreaktorhöhe über dem Bodenreflektorbereich des Reaktors.

Die Erfindung ist von besonderem Nutzen bei direktem Einsatz der Energieleistung für den Betrieb von Heliumturbinen oder Turbinen mit anderen gasförmigen Medien, bei denen hohe Ausgangstemperaturen benötigt werden.

Gemäß einer weiteren Erscheinungsform der Erfindung ist ein Verfahren zum Regeln der Leistung eines Kernreaktors durch Absorbieren von Neutronen mit Hilfe Neutronen absorbierender Körper vorgesehen, das folgende Schritte einschließt:

- Beschicken eines Regelsystems, das geeignet ist, die Reaktorleistung zu regeln, und das ein Kanalsystem mit einem Kanal oder einer Anordnung von Bohrungen umfasst, mit einer Folge durch Schwerkraft in einer Schräge befindlicher Neutronenabsorberkörper mit Querschnittsabmessungen entsprechend dem Querschnitt des (der) Kanals (Bohrungen) eines solchen Kanalsystems mit genügend Spiel für freies Gleiten; und

- Einstellen des Niveaus der Neutronenabsorberkörper durch verstellbares mechanisches Auflager von unterhalb der Körper.

Die übrigen Merkmale und vorbeschriebenen Einzelheiten im Zusammenhang mit dem Reaktor gelten analog für dieses Verfahren.

Die Erfindung erstreckt sich weiter auf einen Reflektor für einen Kernreaktor, wobei ein Kanalsystem mit einem

Kanal oder einer Anordnung von Bohrungen zur Aufnahme einer Säule aus aufeinander gestapelten Neutronenabsorberkörpern ausgebildet ist und der Querschnitt des (der) Kanals (Bohrungen) im wesentlichen dem Querschnitt der zur Aufnahme in diesem Kanal bestimmten Körper mit genügend Spiel für freie Gleitbewegung der Körper in dem (den) Kanal (Bohrungen) entspricht.

Die einschlägigen Merkmale der vorstehend im Zusammenhang mit dem Reaktor beschriebenen Bohrungen und zugehörigen Mittel gelten vornehmlich auch für den Reflektor.

Darüber hinaus erstreckt sich der Schutzzumfang der Erfindung auf Absorber- und Blindkörper wie weiter oben ausgeführt, die zur Benutzung in einem Verfahren und Reaktor gemäß der Erfindung geeignet sind. So sieht die Erfindung Neutronenabsorber- und Blindkörper vor, die in in einem Kernreaktor ausgebildeten Bohrungen gleitend ineinander greifen, wobei die Blindkörper ein Null- oder vermindertes Neutronenabsorptionsvermögen im Vergleich zu dem der Absorberkörper haben und besagte Körper Querschnitte haben, die im wesentlichen den Querschnitten der Bohrungen entsprechen, die sie während der Benutzung aufnehmen, mit genügend Spiel für freie Gleitbewegung in den Bohrungen.

Diese Absorberkörper unterscheiden sich vorzugsweise in ihrer Größe wesentlich von KLAks, die Stand der Technik sind. Ihre in axialer Längsrichtung der Bohrungen gemessenen Längen liegen vorzugsweise im Bereich von

40 mm bis 400 mm, besser noch 50 mm bis 220 mm, am besten von 60 mm bis 150 mm.

5 Die Querschnittsabmessungen der Absorber- und Blindkörper hängen davon ab, ob die Bohrungen zylindrisch oder länglich sind oder eine andere Form haben. Wenn die Körper kugelförmig sind, gelten die vorbeschriebenen Bereiche für die Durchmesser, wobei Durchmesser nahe den unteren Grenzen bevorzugt werden. Wenn die Bohrungen 10 zylindrisch sind, haben die Körper einen Querschnitt entsprechend dem Querschnitt des Kanals mit einem Spiel. Die Gestalt der Körper in axialer Richtung kann von kugelförmig über ellipsoid oder fassförmig bis zylindrisch mit gerundeten oder gefasteten Enden sein. 15 Wenn die spezifischen Oberflächenbereiche der Körper beispielsweise für erhöhtes Absorptionsvermögen vergrößert werden sollen, können auf die vorbeschriebene Grundform geeignete Flächen vergrößernde Oberflächenkonfigurationen aufgebracht werden, z.B. Wellenmuster 20 mit abwechselnd erhabenen und vertieften Bereichen.

Bei länglichen Querschnitten kann die kürzere Abmessung im Bereich von beispielsweise 20 mm bis 100 mm, vorzugsweise 30 mm bis 80 mm liegen, z.B. 60 mm betragen, 25 und die längere Abmessung kann im Bereich von 100 bis 300 mm, vorzugsweise 150 bis 280 mm liegen, z.B. 260 mm betragen. Die kurzen Seiten können eine gerundete, z.B. halbzyklindrische Gestalt haben. In der Längsrichtung der Körper, d.h. der Bewegungsrichtung durch die Bohrungen, gelten dieselben Prinzipien wie für im vorstehenden Absatz beschriebene Körper mit rundem Querschnitt mit der Ausnahme, dass der senkrecht auf den 30

langen Seiten des transversalen Querschnitts stehende Längsachsenschnitt eine Art gedünnte Version des Längschnittes parallel zu den langen Seiten des transversalen Querschnitts ist.

5

Die Absorberkörper können einen nicht oder schwach absorbierenden Kern z.B. aus Graphit oder einem feuerfesten Keramikmaterial haben, der (zumindest in Bereichen, die bei Gebrauch dem Reaktorkern zugewandt sind) mit einem stark Neutronen absorbierenden Stoff wie Borkarbid oder Hafniumkarbid beschichtet oder verkleidet ist.

10

Die Blindkörper wie vorstehend beschrieben werden auch als Teil der Erfindung betrachtet und haben vorzugsweise dieselben Abmessungen (oder zumindest dieselben Querschnittsabmessungen) wie die Neutronenabsorberkörper. Die Blindkörper können mit einem Neutronen reflektierenden Material wie einem speziellen Qualitätsgraphit beschichtet oder verkleidet sein.

15

20

Als eine noch weitere Erscheinungsform der Erfindung sind Graphitsteine oder -blöcke vorgesehen, die zu einem Reaktorreflektor zusammengebaut werden und in diesem die Bohrungen für die Neutronenabsorberkörper mit den neuen charakteristischen Merkmalen wie vorstehend ausgeführt bilden können, insbesondere Bohrungen, die wie vorstehend beschrieben zum Reaktorkern hin offen sind. Die Graphitsteine oder -blöcke sind daher so geformt, dimensioniert und gestaltet, dass sie zu einem Reflektor wie vorbeschrieben zusammengebaut werden können.

25

30

In Reaktorsystemen neueren Typs kann die Dosierung schneller Neutronen, die auf die Reflektorinnenperipherie auftreffen, auf Werte über $1,5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ (EDN) ansteigen. Deshalb kann in Anbetracht der vorerwähnten modernen Temperaturen bis zu $900 \text{ }^\circ\text{C}$ oder mehr ein Seitenwandreflektor mit durchgehender glatter Oberfläche auch versagen, bevor er die ausgelegte Lebenserwartung von etwa 30 Jahren erreicht hat. Dies wird durch die strahlungsbedingten Volumenänderungen des Graphits verursacht, die in zwei Phasen ablaufen. In der ersten Phase führt die Neutronenbestrahlung zu einer unproblematischen Volumenkontraktion. Während der zweiten Phase vergrößert sich das Volumen wieder, überschreitet dabei möglicherweise die ursprünglichen Abmessungen und führt zu Spannungsbelastungen, die den Reflektor beschädigen. Um dieses Problem zu mindern oder zu überwinden, sind die nach innen weisende Oberfläche des Reflektors und die entsprechenden Oberflächen der Graphitsteine oder -blöcke erfindungsgemäß vorzugsweise in einer Weise gerieft, die bekanntermaßen von sich aus solche Maßänderungen ausgleicht, die der Graphit nach längerer intensiver Neutronenbestrahlung erfährt.

Im Folgenden wird die Erfindung ohne Einschränkung beispielhaft mit Bezug auf die begleitenden Prinzipzeichnungen weiter beschrieben. In den Zeichnungen zeigt:

Abbildung 1 schematisch einen Längsschnitt durch einen erfindungsgemäß entwickelten Kernreaktor des modularen HTR-Kugelhaufentyps;

Abbildung 2 und 3 schematisch vertikale Schnitte durch Teile von erfindungsgemäß in einem Kernreaktor zu benutzenden Bohrungen, die mit einer Folge von durch Schwerkraft einfallenden Absorberkörpern beschickt werden können, wobei die Schnitte in radialer Richtung zur Reaktorkernachse verlaufen;

Abbildung 4 schematisch eine dreidimensionale rückwärtige Schnittansicht eines Teils eines Reflektors eines Kernreaktors gemäß der Erfindung mit drei geraden zylindrischen Bohrungen vertikal im Reflektor hinter seiner Grenzfläche zum Kern;

Abbildung 5 schematisch eine dreidimensionale Schnittansicht eines Teils eines Reflektors eines Kernreaktors gemäß der Erfindung, bei dem drei sich verdrehende Bohrungen mit generell länglichem Querschnitt vertikal im Reflektor hinter seiner Grenzfläche zum Reaktorkern ausgerichtet sind;

Abbildung 6 schematisch einen Teil eines Reflektors eines Kernreaktors gemäß der Erfindung, in dem drei vertikale Bohrungen ausgebildet sind, die Weiterbildungen der in Abbildung 4 gezeigten sind, wobei jeder Kanal zum Kernbereich des Reaktors hin teilweise offen ist;

Abbildung 7 schematisch eine vergrößerte Teilansicht eines Teils eines der in Abbildung 6 gezeigten Bohrungen;

Abbildung 8, 9, 10 und 12 schematisch Seitenansichten von Neutronenabsorberkörpern mit rundem Querschnitt für den Einsatz in Bohrungen mit in etwa entsprechenden runden Querschnitten;

5

Abbildung 11 bzw. 13 einen Schnitt bei XI - XI in Abbildung 10 und eine Endansicht des Körpers in Abbildung 12 bei XII - XII;

10

Abbildung 14, 15, 16 und 18 schematisch Seitenansichten von Neutronenabsorberkörpern mit generell länglichem Querschnitt für den Einsatz in Bohrungen mit in etwa entsprechendem länglichem Querschnitt;

15

Abbildung 17 bzw. 19 einen Schnitt bei XVII - XVII in Abbildung 16 und eine Endansicht des Körpers in Abbildung 18 bei XIX - XIX;

20

Abbildung 20 schematisch einen Querschnitt eines Blindkörpers mit einem Kern und einer reflektierenden Graphitbeschichtung;

25

Abbildung 21 schematisch einen transversalen Querschnitt eines Teils eines Reflektors für einen Kernreaktor, wobei der Schnitt auch durch einen Absorberkörper verläuft, der in einem im Reflektor ausgebildeten Kanal untergebracht ist, und durch ein Brennelement im Reaktorkern;

30

Abbildung 22 schematisch einen vertikalen Schnitt durch einen (als XXII gekennzeichneten) unteren Teil des in Abbildung 1 gezeigten Reaktors;

Abbildung 23 und 24 schematisch einen vertikalen Teilschnitt durch eine Strecke eines Kanals mit Blindkörpern und Absorberkörpern in zwei gesonderten Konfigurationen, die durch zwei gesonderte Betriebspositionen eines Plungergliedes bestimmt werden, das vom unteren Ende des Kanals auf die Körper wirkt.

Mit Bezug auf die Zeichnungen bezeichnet die Bezugszahl 30 allgemein einen für den Einsatz gemäß der vorliegenden Erfindung modifizierten und entwickelten Kugelhaufen (Kugelbrennstoffschüttungs)-HTR-Reaktor des MODUL-HTR-Typs an. Der Reaktor 30 schließt einen bis zu einem konischen oberen Niveau 34 mit geschüttetem Brennstoff gefüllten Reaktorkern 32 ein. Die Bezugszahl 36 bezeichnet einen Reflektor aus hochreinem Graphit im Bereich seiner Innenfläche und aus Graphit niedrigerer Güte in seinem äußeren Bereich. Der Kern 32 und der Reflektor 36 sind von einem Reaktorgefäß oder Druckgefäß 38 in Verbindung mit einem Anschlussrohr 40 zur Lieferung von Kühlgas wie beispielsweise Helium zum Kern 32 umschlossen. Die Bezugszahl 42 bezeichnet allgemein einen Brennstoffeinlass und Bezugszahl 44 einen durch einen Auslassregler 46 gesteuerten Brennstoffauslass. Ein unterer Bereich des Reflektors ist mit der Bezugszahl 48 bezeichnet.

Der Reaktor 30 schließt ein Regelsystem zum Regeln oder Abschalten der Reaktorleistung ein, wobei das System wiederum ein System von Bohrungen 50 umfasst. Die Bohrungen sind in verschiedenen Positionen im gesamten Körper des Reflektors 36 untergebracht und bilden eine Anordnung von Bohrungen. Bei Einsatz des Regelsystems

werden die Bohrungen auf verstellbare Niveaus mit einer Folge durch Schwerkraft einfallender Neutronenabsorberkörper 52, 54 (und ggf. Blindkörper 56) beschickt, deren Querschnittsabmessungen denen der Bohrungen 50 entsprechen und die sich in Gleitbeziehung mit den Bohrungen befinden und genügend Spiel für leichtes Gleiten haben.

Mit Bezug auf Abbildung 22 bis 24 werden die Körper 52, 54, 56 in Abwärtsrichtung durch Niveau bestimmende Auflager in Form von Plungergliedern 58 gehalten, von denen jedes einen in die Körper einrückenden Kolben 59 hat. Diese Merkmale werden weiter unten behandelt.

Konventionelle MODUL-HTR-Reaktoren wurden bisher durch ein erstes Abschalt- und Regelsystem mit Metall- und gekapselten Neutronenabsorberstäben und ein zweites Abschaltssystem geregelt, das vollständig mit kleinen Absorberkügelchen (KLAks) arbeitete. Gemäß der vorliegenden Erfindung wird das erste Abschalt- und Regelsystem und wahlweise das zweite Abschaltssystem durch ein System von Bohrungen 50 und die Neutronenabsorber- und Blindkörper 52, 54, 56 ersetzt.

Einige der Bohrungen 50, die die Leistung des Reaktors regeln sollen, haben spezielle Konfigurationen, von denen zwei mit Bezug auf Abbildung 3 und 5 nachstehend beschrieben werden. Der von den Bohrungen bei Beschickung mit Neutronenabsorberkörpern erreichte Neutronenabsorptionsgrad hängt von der Nähe oder Ferne des Kanals zum Kern auf einem bestimmten Niveau und von der Breite des Aspekts ab, den der Kanal dem Kern auf einem

bestimmten Niveau bietet. Wie vorstehend allgemein beschrieben, gibt es eine Reihe zum Kern gehöriger Niveaus, die ihrerseits Niveaus des Kanals abgrenzen, auf denen bestimmte Grade von Regelfunktionen unter bestimmten Betriebsbedingungen durchgeführt werden müssen. Die Niveaus variieren mit der Art des Reaktorbetriebs. In den Bereichen des Reaktorkerns, in denen maximaler Neutronenfluss vorherrscht und maximale Absorption zum Regeln benötigt wird, sind die Bohrungen für maximalen Absorptionseffekt ausgelegt, während nahe den Bereichen des Kerns, wo verminderter oder kein Neutronenfluss auftritt, die Bohrungen für verminderten Absorptionseffekt konfiguriert sind. Im allgemeinen soll die Anordnung von Bohrungen einen maximalen oder nahezu maximalen Absorptionseffekt in einem Bereich unmittelbar an oder nahe der oberen Hälfte (durch Bezugszahl 60 bezeichnet) des Reaktorkerns zu bewirken. Der Absorptionseffekt verringert sich oder wird Null auf einem entsprechenden Niveau im unteren Teil des Reaktorkerns unterhalb des durch Bezugszahl 60 bezeichneten Bereichs.

Die Bezugszahl 62 bezeichnet einen Bereich des Reaktorkerns zwischen 50 % und 70 % der Gesamtkernhöhe, in dem maximaler Neutronenfluss vorliegt und somit maximale Absorptionseffekte erforderlich sind. Die Bezugszahl 64 bezeichnet ein Niveau von 30 % der Kernhöhe über dem Bodenreflektorbereich 48. Der Bereich mit maximalem Absorptionseffekt erstreckt sich gewöhnlich bis auf ein Niveau nicht unter 30 % des Kernhöhenlevels 64. Wenn der Reaktor mit Einwegbeschickung (OTTO) betrieben wird, erstreckt sich der Bereich maximaler Leistung des

5 Kerns in der Regel von einem Niveau zwischen 66 % und 75 % der Gesamtkernhöhe (durch Bezugszahl 66 bezeichnet) bis zu einem niedriger gelegenen Niveau irgendwo über 40 % (durch Bezugszahl 68 bezeichnet) der Kernhöhe.

10 Wenn der Reaktor andererseits wiederholt mit Brennstoff nachbeladen wird, werden die Brennstoffkörper (z.B. Brennstoffkugeln oder Brennelemente), die über den Auslass 44 aus dem Kern abgezogen werden, analysiert und ihr Verbrauchsgrad wird bestimmt. Auf diese Weise können sie bis zu zwanzigmal rückgeführt werden, bevor sie durch neue Brennstoffkörper ersetzt werden. In einem so betriebenen Reaktor liegt der Bereich maximaler Leistung des Kerns im allgemeinen zwischen einem Niveau im Bereich von 2/3 der Reaktorkernhöhe (unteres Ende von Bereich 66) und der halben Reaktorhöhe (unteres Ende von Bereich 60).

20 Die Bezugszahl 70 bezeichnet ein Niveau bei 1/10 der Gesamtkernhöhe. Gewöhnlich erstreckt sich ein Bereich mit vermindertem oder Null-Absorptionseffekt von diesem Niveau aufwärts auf das entsprechende höhere Niveau (wie vorstehend diskutiert), wo maximale Absorption vorliegt.

25 Um die benötigten Variationen im Absorptionsvermögen zu erzielen, können die Bohrungen der Erfindung verschiedene Konfigurationen entlang ihrer Länge haben.

30 So sieht man mit Bezug auf Abbildung 3 eine Konfiguration eines Kanals 50, bei dem eine Erhöhung des Absorp-

tionseffekts in Abwärtsrichtung durch eine Abschrägung des Kanals nach unten gegen den Kern 32 herbeigeführt wird. Der Kanal 50 kehrt danach wieder in eine vertikale Ausrichtung zurück. Die Krümmungen 72 entlang der Länge des Schrägkanals sind gerundet, um das Gleiten von Absorber- und Blindkörpern im Kanal zu erleichtern, und die Krümmungsradien der Krümmungen sind in Bezug auf eine Längsstrecke der wahrscheinlich im Kanal einzusetzenden Absorber- und Blindkörper so ausgelegt, dass die Körper die Krümmungen frei überwinden können. Die in Abbildung 2, 3 und 4 gezeigten Bohrungen 50 haben einen runden Querschnitt für den Einsatz von Absorber- und Blindkörpern 52, 56 mit entsprechendem runden Querschnitt.

In Abbildung 5 sind Bohrungen 50 mit in der Regel länglichem Querschnitt in dem Körper des Reflektors 36 ausgebildet. Bei Gebrauch nehmen diese Bohrungen entsprechende Absorberkörper 54 und Blindkörper mit in der Regel länglichem Querschnitt auf. Die Körper sind gleitend in dem Kanal in Längsausrichtung aufeinander folgend und gegeneinander stoßend untergebracht.

Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, weisen die Bohrungen 50 eine allmähliche axiale Verdrehung auf, die von einer Konfiguration mit Richtung der Querschnittslängung des Kanals senkrecht zur Kernachse (oben in der Abbildung) bis zu einer Konfiguration mit Richtung der Querschnittslängung radial zur Kernachse (unten in der Abbildung) reicht. Diese axiale Verdrehung hat eine entsprechende Wirkung auf das vom Kanal und seinen zugehörigen Absorberkörpern erreichte Absorptionsvermö-

gen. Das Absorptionsvermögen ist dort höher, wo die Längungsrichtung senkrecht zur Kernachse verläuft (tangential zum Kern). Eine solche Konfiguration ist nahe
5 Teilen des Kerns zweckmäßig, wo maximaler Neutronenfluss bei Normalbetrieb auftritt. Demgegenüber weist der Kanal einen Aspekt verringerter Fläche zum Kern dort auf, wo die Längungsrichtung des Kanals radial zur Kernachse weist. Eine solche Konfiguration ist zweckmäßig in einem Bereich des Kerns mit normalerweise reduzierter Neutronenflussaktivität.
10

Obwohl nicht in Abbildung 5 dargestellt, können Abweichungen von der Geradlinigkeit des Kanals (Abschrägung) der axialen Verdrehung überlagert sein, um die Absorptionseigenschaften des Kanals zu erhöhen oder zu verändern.
15

Mit Bezug auf Abbildung 6, 7 und 21 wird nunmehr eine Ausführungsform eines Reflektors 36 gezeigt, bei der die Neutronenfluss-Exposition der Absorber- und/oder Blindkörper in Bereichen hoher Kernaktivität durch die Verwendung von Bohrungen 50 erhöht ist, die zum Kernbereich 32 hin teilweise offen sind. In der in diesen Abbildungen gezeigten Ausführungsform ist ein einzelner
20 Längsschlitz 74 entlang einem Teil der Länge jedes Kanals 50 ausgebildet. Der Schlitz ist parallel zur Reaktorkernachse ausgerichtet und erstreckt sich vom Kernbereich rückwärtig durch den Kanal 50, wie insbesondere aus Abbildung 7 ersichtlich ist. Zwei einander gegenüberliegende Graphitsteine oder -blöcke 76 sind so
25 geformt und dimensioniert, dass sie zwischen sich einen Teil des Schlitzes 74 und den Kanal 50 ausbilden. Wie
30

aus Abbildung 21 ersichtlich, ist der Schlitz 74 so geformt und dimensioniert, dass Absorber- und/oder Blindkörper 52 im Kanal gehalten werden, und insbesondere so, dass Brennstoffkugeln 78 (im Falle eines Kugelhaufenreaktors) nicht in den Kanal gelangen können.

Wie bereits erwähnt, bilden die in Abbildung 6, 7 und 21 gezeigten Steine oder Blöcke 76 einen Schlitz aus, der über die gesamte vertikale Länge der Steine oder Blöcke verläuft. In anderen Ausführungsformen der Erfindungen (nicht gezeigt) können den Reflektor bildende Graphitsteine oder -blöcke jedoch je einen diskreten Schlitz aufweisen, so dass ein vertikaler Stapel der Steine oder Blöcke eine Folge diskreter aufeinander folgend angeordneter Schlitze mit Öffnung zu einem bestimmten Kanal 50 ausbilden. Wie aus Abbildung 7 und 21 ersichtlich, sind die dem Kern zugewandten Oberflächen 77 der Steine oder Blöcke 76 gerieft, um die Maßänderungen des Graphits nach längerer intensiver Neutronenbestrahlung auszugleichen.

Wenden wir uns nun den Abbildungen 8 bis 13 zu, in denen ein Spektrum von Formen von Neutronenabsorberkörpern 52 mit rundem Querschnitt gezeigt wird. Die Formen sind Teil eines Kontinuums von Formen, die von kugelförmig (Abbildung 8) über fassförmig (Abbildung 9) und ellipsoid (Abbildung 10 und 11) bis zylindrisch mit gefasteten oder gerundeten Kanten reichen (Abbildung 12 und 13). Die Durchmesser der Absorberkörper 52 sind so gewählt, dass sie den Durchmessern der Bohrungen entsprechen, in denen sie untergebracht werden sollen, mit

genügend Spiel für freies Gleiten der Körper in den Bohrungen unter dem Einfluss von Schwerkraft.

5 Die Absorberkörper 52 haben einen nicht oder schwach absorbierenden Kern typischerweise aus Graphit oder einem feuerfesten Keramikmaterial, der mit einer Schale aus stark Neutronen absorbierenden Stoffen wie Borkarbid oder Hafniumkarbid überzogen oder verkleidet ist. In einigen Ausführungsformen von Absorberkörpern sind
10 nur die Teile der Körper, die bei Gebrauch dem Reaktorkern zugewandt sind, mit einer solchen Schale überzogen.

15 Mit Bezug auf Abbildung 14 bis 19 werden nunmehr Absorberkörper 54 mit in der Regel länglichen Querschnitten gezeigt. Bei diesen Körpern variiert die kürzere Abmessung des Querschnitts von 20 mm bis 100 mm, vorzugsweise 30 mm bis 80 mm (z.B. 60 mm) und die längere Abmessung kann im Bereich von 100 bis 300 mm, vorzugsweise
20 150 mm bis 280 mm (z.B. 260 mm) liegen. Wie ersichtlich, haben die kurzen Seiten des Querschnitts eine gerundete Konfiguration, so dass insbesondere in dem in Abbildung 18 gezeigten Absorberkörper axial verlaufende Kanten des Körpers den kurzen Seiten des Querschnitts mit einer halbzyklindrischen Konfiguration entsprechen. Die Absorberkörper 54 haben eine Verbundstruktur ähnlich der der Körper 52 und umfassen einen schwach absorbierenden Kern und eine Schale aus stark
25 Neutronen absorbierenden Stoffen.

30 Obwohl nicht in Abbildung 8 bis 19 gezeigt, sind in bestimmten Ausführungsformen von Neutronenabsorberkörpern

für erhöhtes Absorptionsvermögen den Oberflächenbereich vergrößernde Oberflächenkonfigurationen (z.B. Wellenmuster mit abwechselnd erhabenen und vertieften Bereichen) auf die Grundformen der Körper aufgebracht. Die in axialer Längsrichtung (x in Abbildung 12) der Bohrungen gemessenen Längen der Körper 52, 54 liegen vorzugsweise im Bereich von 40 bis 400 mm, besser noch 50 bis 220 mm und am besten von 60 bis 150 mm. Die axiale Länge der Körper in verschiedenen Ausführungsformen variiert vom 1- bis 5-fachen, typischerweise 1- bis 3-fachen und vorzugsweise 1- bis 2-fachen des Bohrungsdurchmessers.

In Abbildung 20 bezeichnet die Bezugszahl 56 allgemein einen Blindkörper. Der in Abbildung 20 gezeigte Körper hat einen runden Querschnitt. In der Praxis können Blindkörper jedoch in jeder der Formen der Neutronenabsorberkörper 52, 54 (z.B. wie in Abbildung 8 bis 19 gezeigt) vorgesehen werden. Die Blindkörper haben dieselben Querschnittsabmessungen wie die Neutronenabsorberkörper, mit denen sie benutzt werden sollen, können jedoch in der Länge von den Absorberkörpern abweichen. Jeder Blindkörper 56 umfasst einen Innenkern 80, der mit einer Schale 82 aus Neutronen reflektierendem Material wie beispielsweise hochwertigem Sondergraphit überzogen oder verkleidet ist.

In bestimmten Ausführungsformen der Erfindung sind die Blindkörper 56 unterschiedlich Neutronen absorptionsfähig und in den Bohrungen 50 so angeordnet, dass das Neutronenabsorptionsvermögen der Blindkörper in Abwärtsrichtung abnimmt.

Wenden wir uns nun den Abbildungen 22 bis 24 zu, in denen der Betrieb des Plungergliedes 58 (einschließlich des Kolben 59) gezeigt wird. Das Plungerglied 58 wirkt als ein Niveau bestimmendes Auflager, auf dem die Neutronenabsorberkörper 52 und Blindkörper 56 aufliegen. Die von den Blindkörpern 56 besetzte Strecke zwischen dem Kolben 59 und dem Neutronenabsorberkörpern 52 ist so gewählt, dass sich das Plungerglied 58 und der Kolben 59 immer unter einem Mindestniveau 84 des Kernreaktorkerns befinden, d.h. in einem Bereich, in dem die Strahlung, insbesondere der Neutronenfluss minimal oder nicht vorhanden ist.

Wie aus Abbildung 22 ersichtlich, wird der Kolben durch ein hydraulisches Bedienungsmittel 86 betätigt (d.h. angehoben bzw. abgesenkt). In anderen Ausführungsformen der Erfindung (nicht gezeigt) können die Bedienungsmittel mechanisch, pneumatisch, elektromagnetisch oder eine Kombination von zwei oder mehreren dieser Möglichkeiten sein. Das Bedienungsmittel 86 befindet sich außerhalb des Druckbehälters 38 des Reaktors zur leichteren Wartung. Das Bedienungsmittel 86 ist über eine Pleuelstange 88 (Abbildung 22) mit dem Plungerglied 58 verbunden, wobei die Pleuelstange durch eine kleine Öffnung 90 in der Wand des Druckgefäßes 38 geführt wird, die mit einem geeigneten Dichtmittel 92 abgedichtet ist. In anderen Ausführungsformen der Erfindung (nicht gezeigt) befindet sich das Bedienungs- oder Antriebsmittel für das Plungerglied innerhalb des Druckgefäßes 38 des Reaktors.

Die Neutronen absorbierenden Körper 52 und die Blindkörper 56 bewegen sich unter Schwerkraft, sofern sie nicht vom Plungerglied 58 zurückgehalten werden. So wird der Reaktor im Falle einer Betriebsstörung des Reaktors 30 infolge beispielsweise eines Stromausfalls durch automatisches Absenken der Absorberkörper 52 in ihre Abschaltpositionen (für maximales Absorptionsvermögen, wo maximaler Neutronenfluss vorherrscht) abgeschaltet. Das automatische Absenken der Absorberkörper kann durch automatische Freigabe einer normalerweise am Plungerglied 58 anliegenden Haltekraft erfolgen. In Abbildung 22 ist diese Haltekraft durch eine elektromagnetische Kupplung oder Haltevorrichtung 94 vorgesehen, die bei Stromausfall freigegeben wird. In Abbildung 24 werden die Neutronenabsorberkörper 52 in ihren Abschaltpositionen gezeigt, wobei sich der Kolben 59 am unteren Ende des Kanals 50 befindet. Demgegenüber befinden sich in Abbildung 23 die Neutronenabsorberkörper 52 in einer Regelposition, die für Steuerungszwecke durch Anheben oder Absenken des Kolbens 59 vertikal verändert werden kann.

Allgemein kann, obwohl nicht in den Zeichnungen gezeigt, eine Anordnung von Bohrungen 50 benutzt werden, bei der verschiedene Bohrungen in Relation zum Kern 32 unterschiedlich verlaufen. Einige Bohrungen können auch für den Betrieb mit einer Charge KLAKs oder ähnlich frei fließender Absorberkörper wie beispielsweise Absorberkugeln mit Durchmessern vorzugsweise nicht über $1/6$ des kleinsten Kanaldurchmessers ausgelegt sein. So können Bohrungen, die sowohl die Neutronenabsorberkörper 52, 54 als auch Blindkörper 56 enthalten, und sepa-

rate Bohrungen mit KLAks zu einem einzigen Regelsystem für einen Reaktor zusammengefügt werden.

5 Die nachfolgenden Ansprüche sind Bestandteil der vorliegenden Offenlegung.

10 Der Begriff "umfassend" mit seinen verschiedenen grammatikalischen Varianten ist bei Gebrauch in der vorstehenden Beschreibung und in den Ansprüchen in seinem nicht restriktiven Sinn als „einschließlich“ auszulegen, so dass Merkmale oder Punkte, auf die nicht ausdrücklich Bezug genommen wird, dennoch neben den ausdrücklich erwähnten Merkmalen und Punkten eingeschlossen sein können.

15

20 In den Ansprüchen aufgeführte (auf die Zeichnungen verweisende) Bezugszahlen dienen zur leichteren Korrelation der ganzen Zahlen der Ansprüche mit veranschaulichten Merkmalen der bevorzugten Ausführungsform(en), sollen jedoch nicht den Wortlaut der Ansprüche in irgendeiner Weise auf das beschränken, was in den Zeichnungen gezeigt ist, sofern sich aus dem Kontext nichts eindeutig Gegenteiliges ergibt.

P a t e n t a n s p r ü c h e

-
1. Ein Kernreaktor (30), der ein System oder Systeme von Reglern zur Leistungs- und Abschaltregelung auf der Basis von Neutronenabsorption mit Hilfe beweglicher Neutronenabsorberkörper einschließt, wobei
5 das (die) Reglersystem(e) ein Kanalsystem mit einem Kanal oder einer Anordnung von Bohrungen einschließt, die mit einer Folge von durch Schwerkraft einfallenden Absorberkörpern auf verstellbare
10 Niveaus beladen werden oder beladbar sind, wobei die Absorberkörper (52, 54) Querschnittsabmessungen haben, die im wesentlichen den Querschnittsabmessungen der Bohrungen in Gleitbeziehung mit genügend Spiel für leichtes Gleiten entsprechen, und die
15 Absorberkörper nach unten durch mindestens ein Niveau bestimmendes Auflager (59) abgestützt werden.
2. Ein Kernreaktor (30) gemäß Anspruch 1, bei dem zwischen dem das Niveau bestimmenden Auflager (59) und den Absorberkörpern (52, 54) ein oder mehrere ebenfalls gleitfähige Blindkörper (56) in Längsrichtung des Kanals (50) untergebracht sind, wobei besagte
20 Blindkörper im Vergleich zum Neutronenabsorptionsvermögen der Absorberkörper kein oder ein verringertes Neutronenabsorptionsvermögen haben.
3. Ein Kernreaktor (30) gemäß Anspruch 2, bei dem
25 jeder Kanal (50) eine Vielzahl von Blindkörpern

- 5 (56) mit unterschiedlichem Neutronenabsorptionsvermögen enthält und die Blindkörper in dem Kanal so angeordnet sind, dass sich das Neutronenabsorptionsvermögen der Blindkörper in Abwärtsrichtung verringert.
- 10 4. Ein Kernreaktor gemäß Anspruch 2 oder Anspruch 3, bei dem genügend Blindkörper (56) zwischen den Neutronenabsorptionskörpern (52, 54) und dem das Niveau bestimmenden Auflager (59) angeordnet sind, so dass der Abstand zwischen den Neutronenabsorptionskörpern und dem Auflager so ist, dass sich das Auflager in allen seinen Betriebspositionen unter dem niedrigsten Niveau (84) des Reaktorkerns (32)
- 15 in einem Bereich befindet, wo die Strahlung, insbesondere der Neutronenfluss minimal oder nicht vorhanden ist.
- 20 5. Ein Kernreaktor (30) gemäß einem der Ansprüche 2 bis 4, bei dem die Absorberkörper (52, 54) und die Blindkörper (56) so geformt und dimensioniert sind, dass sie frei gleiten, ohne sich in den Bohrungen (50) des Kanalsystems zu verklemmen.
- 25 6. Ein Kernreaktor (30) gemäß einem der Ansprüche 2 bis 5, bei dem mindestens einige der Bohrungen (50) des Kanalsystems teilweise zum Kern (32) hin offen sind, indem offene Bereiche in Form eines Schlitzes (74) oder einer Folge von Schlitzten oder Öffnungen
- 30 parallel zur Kernachse vorgesehen und so dimensioniert sind, dass die Absorberkörper (52, 54) und/oder Blindkörper (56) im Kanal gehalten werden

und im Falle eines Kugelhaufenreaktors keine Brennstoffkugeln (78) in den Kanal gelangen können und dadurch die Neutronenfluss-Exposition der Absorberkörper in Bereichen hoher Kernaktivität erhöhen.

5

7. Ein Kernreaktor (30) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, der ein Druckgefäß (38) einschließt und in dem das Niveau bestimmende Auflager (59) durch außerhalb des Druckgefäßes befindliche Bedienungsmittel betätigt wird.

10

8. Ein Kernreaktor (30) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, der einen ausfallsicheren Mechanismus zum automatischen Absenken der Absorberkörper (52, 54) in ihre Abschaltpositionen nahe einem Bereich mit maximalem Neutronenfluß im Reaktor im Falle einer Betriebsstörung des Reaktors einschließt, wobei der Mechanismus ein automatisches Freigabemittel (94) zur automatischen Freigabe einer normalerweise an dem das Niveau bestimmenden Auflager (59) anliegenden Haltekraft einschließt.

15

20

9. Ein Kernreaktor (30) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Bohrungen (50) generell in Schwerkraftrichtung und mindestens einige der Bohrungen in Relation zum Reaktorkern (32) gekrümmt verlaufen, so dass die Bohrungen die Absorberkörper (52, 54) auf verschiedenen Niveaus des Kerns zunehmend zu diesem hin oder von ihm weg führen, wobei die Bohrungen in Bereichen, in denen die Aktivität des Kerns unter normalen Betriebsbedingungen reduziert ist, axial vom Kern weg gekrümmt sind.

25

30

10. Ein Kernreaktor (30) gemäß Anspruch 9, in dem die unterschiedlich gekrümmt verlaufenden Bohrungen (50) Krümmungen und Mindestkrümmungsradien haben, die mit Bezug auf eine axiale Längsstrecke der in die Bohrungen geladenen oder ladbaren Absorberkörper (52, 54) ausgelegt sind.
11. Ein Kernreaktor (30) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem mindestens einige der Bohrungen (50) einen in der Regel länglichen Querschnitt und entlang ihrer Länge eine allmähliche axiale Verdrehung haben und die Bohrungen so konfiguriert und ausgerichtet sind, dass in Bereichen unmittelbar an Teilen des Kerns (32) des Reaktors, wo maximaler Neutronenfluss bei Normalbetrieb vorliegt, die Richtung der Querschnittslängung der Bohrungen senkrechter zur Kernachse (tangential zum Kern) ist als in Bereichen, die an Teile des Kerns mit normalerweise reduzierter Kernaktivität angrenzen, wobei die Richtung der Querschnittslängung in letzteren Bereichen radialer zur Kernachse weist.
12. Ein Kernreaktor (30) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem die Bohrungen (50) des Kanalsystems jeweils einen einheitlichen Querschnitt über die gesamte Kanallänge oder zumindest entlang einer Kanalstrecke haben, in der bei Einsatz des Kernreaktors die Absorberkörper (52, 54) untergebracht oder wahrscheinlich untergebracht sind.
13. Ein Kernreaktor (30) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12, der ein Hochtemperaturreaktor (HTR) zum Be-

trieb durch Einbringen frischen Kernbrennstoffs (78) mit oder ohne rückgeführten teilabgebrannten Brennstoff an einem Ende und Abzug von abgebranntem Brennstoff mit oder ohne teilabgebrannten Brennstoff an einem gegenüberliegenden Ende ist, wobei die Absorberkörper (52, 54) des Kanalsystems in einer Anordnung gehalten werden, die geeignet ist, einen maximalen Neutronenabsorptionseffekt in einem Bereich unmittelbar an oder nahe einem Teil des Reaktorkerns (32) zu bewirken, in dem der den Reaktor durchlaufende Brennstoff maximale oder nahezu maximale Leistung erreicht, und einen geringeren oder keinen Neutronen absorbierenden Effekt in Bereichen unmittelbar an oder nahe Teilen des Kerns zu bewirken, wo die Brennstoffaktivität bereits reduziert ist.

14. Ein Kernreaktor (30) gemäß Anspruch 13, bei dem es sich um einen Kugelbrennstoffschüttungs- oder Kugelhaufenreaktor handelt.

15. Ein Kernreaktor (30) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14, der darüber hinaus Bohrungen für den Betrieb mit einer Charge KLAKs oder ähnlich frei fließender Absorberkörper mit Durchmessern vorrangig nicht über $1/6$ des kleinsten Kanaldurchmessers des Reaktors einschließt.

16. Ein Verfahren zum Regeln der Leistung eines Kernreaktors (30) durch Absorption von Neutronen mit Hilfe Neutronen absorbierender Körper, das folgende Schritte einschließt:

- 5 - Beschicken eines Regelsystems, das geeignet ist, die Reaktorleistung zu regeln, und das ein Kanalsystem mit einem Kanal (50) oder einer Anordnung von Bohrungen umfasst, mit einer Folge durch Schwerkraft in einer Schräge befindlicher Neutronenabsorberkörper (52, 54) mit Querschnittsabmessungen entsprechend dem Querschnitt des (der) Kanals (Bohrungen) eines solchen Kanalsystems mit genügend Spiel für freies Gleiten; und

10

- 15 - Einstellen des Niveaus der Neutronenabsorberkörper durch verstellbares mechanisches Auflager von unterhalb der Körper.

- 17. Ein Verfahren gemäß Anspruch 16, bei dem das verstellbare mechanische Auflager durch ein oder mehrere Niveau bestimmende Auflager (59) vorgesehen ist, und das die Aufnahme eines oder mehrerer Blindkörper (56) zwischen dem das Niveau bestimmenden Auflager und den Absorberkörpern (52, 54) in Längsrichtung des Kanals (50) einschließt, wobei besagte Blindkörper im Vergleich zum Neutronenabsorptionsvermögen der Absorberkörper kein oder ein verringertes Neutronenabsorptionsvermögen haben.

20

25

- 18. Ein Verfahren gemäß Anspruch 17, bei dem Blindkörper (56) mit unterschiedlichem Neutronenabsorptionsvermögen so in dem Kanal (50) angeordnet sind, dass sich das Neutronenabsorptionsvermögen der Blindkörper in Abwärtsrichtung verringert.

30

19. Ein Verfahren gemäß Anspruch 17 oder Anspruch 18,
das die Anordnung von genügend Blindkörpern (56)
zwischen den Neutronenabsorberkörpern (52, 54) und
dem das Niveau bestimmenden Auflager (59) so ein-
5 schließt, dass der Abstand zwischen den Neutronen-
absorberkörpern und dem Auflager ausreicht, um das
Auflager in allen seinen Betriebspositionen in
einem Bereich unter dem niedrigsten Niveau des Re-
aktorkerns (32) halten zu können, wo die Strahlung,
10 insbesondere der Neutronenfluss minimal oder nicht
vorhanden ist.
20. Ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 19,
bei dem der Reaktor (30) ein Druckgefäß (38) ent-
15 hält und das verstellbare mechanische Auflager von
außerhalb des Druckgefäßes betätigt wird.
21. Ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 20,
bei dem der Reaktor (30) einen Kern (32) hat, und
20 das eine Führung der Absorberkörper (52, 54) zuneh-
mend zum Kern oder von diesem weg auf verschiedenen
Niveaus des Kerns entlang den Bohrungen (50) ein-
schließt.
22. Ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 21,
25 bei dem der Reaktor (30) einen Kern (32) und min-
destens einer der Bohrungen (50) in der Regel einen
länglichen Querschnitt und eine allmähliche axiale
Verdrehung entlang seiner Länge hat und das eine
30 Führung der Absorberkörper (54) zunehmend entlang
der axialen Verdrehung des Kanals (50) einschließt.

23. Ein Reflektor (36) für einen Kernreaktor (30), der ein Kanalsystem mit einem Kanal (50) oder einer Anordnung von Bohrungen zur Aufnahme einer Säule aus aufeinander gestapelten Neutronenabsorberkörpern (52, 54) ausbildet, wobei der Querschnitt des (der) Kanals (Bohrungen) im wesentlichen dem Querschnitt der Körper entspricht, die darin aufgenommen werden sollen, mit genügend Spiel für freie Gleitbewegung der Körper in dem Kanal (den Bohrungen).
24. Ein Reflektor (36) gemäß Anspruch 23, bei dem die Bohrungen (50) sich in der Regel in Richtung der Schwerkraft erstrecken und mindestens einige der Bohrungen in Relation zum Reaktorkern (32) unterschiedlich gekrümmt verlaufen, so dass die Bohrungen die Absorberkörper (52, 54) zunehmend auf verschiedenen Niveaus des Kerns zu diesem hin oder von ihm weg führen und die Bohrungen in Bereichen, in denen die Aktivität des Kerns unter normalen Betriebsbedingungen reduziert ist, axial vom Kern weg gekrümmt verlaufen.
25. Ein Reflektor (36) gemäß Anspruch 24, bei dem die unterschiedlich gekrümmt verlaufenden Bohrungen (50), Krümmungen und Mindestkrümmungsradien mit Bezug auf die axiale Längsstrecke der Absorberkörper (52, 54) haben, die von den Bohrungen aufgenommen werden oder aufzunehmen sind.
26. Ein Reflektor (36) gemäß einem der Ansprüche 23 bis 25, bei dem mindestens einige der Bohrungen (50) in der Regel einen länglichen Querschnitt und eine

allmähliche axiale Verdrehung entlang ihrer Länge haben und so konfiguriert und ausgerichtet sind, dass in Bereichen, die an Teile des Kerns (32) des Reaktors (30) angrenzen, in denen bei Normalbetrieb maximaler Neutronenfluss vorliegt, die Richtung der Querschnittslängung der Bohrungen senkrechter zur Kernachse (tangential zum Kern) ist als in Bereichen, die an Teile des Kerns mit normalerweise reduzierter Kernaktivität angrenzen, wobei die Richtung der Querschnittslängung in letzteren Bereichen radialer zur Kernachse weist.

27. Ein Reflektor (36) gemäß einem der Ansprüche 23 bis 26, bei dem mindestens einige der Bohrungen (50) des Kanalsystems teilweise zum Kern (32) hin offen sind, indem offene Bereiche in Form eines Schlitzes (74) oder einer Folge von Schlitzten oder Öffnungen parallel zur Kernachse vorgesehen und so dimensioniert sind, dass die Absorberkörper (52, 54) im Kanal gehalten werden und im Falle eines Kugelhaufenreaktors keine Brennstoffkugeln (78) in den Kanal gelangen können und dadurch die Neutronenfluss-Exposition der Absorberkörper in Bereichen hoher Kernaktivität erhöhen.

28. Ein Reflektor (36) gemäß einem der Ansprüche 23 bis 27, bei dem die Bohrungen (50) jeweils einen einheitlichen Querschnitt über die gesamte Kanallänge oder zumindest entlang einer Kanalstrecke haben, in der bei Einsatz des Kernreaktors die Absorberkörper (52, 54) wahrscheinlich untergebracht sind.

29. Ein Reflektor (36) gemäß einem der Ansprüche 23 bis 28 mit einer dem Kern (32) zugewandten Seite, von der mindestens ein Teil gerieft ist, um die Maßänderungen des Reflektors nach Neutronenbestrahlung auszugleichen.
- 5
30. Ein Reflektor (36) gemäß einem der Ansprüche 23 bis 29, der darüber hinaus Bohrungen für den Betrieb mit einer Charge KLAks oder ähnlich frei fließender Absorberkörper mit Durchmessern vorrangig nicht über $1/6$ des kleinsten Kanaldurchmessers des Reaktors (30) einschließt.
- 10
31. Neutronenabsorber- (52, 54) und Blindkörper (56), die innerhalb der in einem Kernreaktor (30) ausgebildeten Bohrungen (50) gleitend ineinander greifen, wobei die Blindkörper im Vergleich zu den Absorberkörpern kein oder ein verringertes Neutronenabsorptionsvermögen und besagte Körper Querschnitte haben, die im wesentlichen den Querschnitten der Bohrungen entsprechen, in denen sie während der Benutzung untergebracht sind, mit genügend Spiel für freie Gleitbewegung der Körper in den Bohrungen.
- 15
- 20
32. Körper (52, 54, 56) gemäß Anspruch 31, die sich in der Größe wesentlich von KLAks unterscheiden.
- 25
33. Körper (52, 54, 56) gemäß Anspruch 31 oder Anspruch 32, die so geformt und dimensioniert sind, dass sie in den Bohrungen (50) frei gleiten, ohne sich zu verklemmen.
- 30

34. Körper (52, 54, 56) gemäß einem der Ansprüche 31 bis 33 mit einer in axialer Längsrichtung der Bohrungen (50), in denen sie aufgenommen werden sollen, gemessenen axialen Länge, die in einem Bereich von 40 mm bis 400 mm liegt.
35. Körper (52, 54, 56) gemäß einem der Ansprüche 31 bis 34 mit einer in axialer Längsrichtung der Bohrungen (50), in denen sie aufgenommen werden sollen, gemessenen axialen Länge, die in einem Bereich vom 1- bis 5-fachen des Durchmessers besagter Bohrungen liegt.
36. Körper (52, 56) gemäß einem der Ansprüche 31 bis 35, die einen runden Querschnitt und eine Form haben, die aus einem Kontinuum von Formen ausgewählt wird, das sich von kugelförmig über ellipsoid und fassförmig bis zylindrisch mit gerundeten oder gefasteten Enden erstreckt.
37. Körper (54, 56) gemäß einem der Ansprüche 31 bis 36, die in der Regel einen länglichen transversalen Querschnitt mit einer kürzeren Abmessung in einem Bereich von 20 mm bis 100 mm und einer längeren Abmessung in einem Bereich von 100 mm bis 300 mm und eine Form haben, die aus einem Kontinuum von Formen ausgewählt wird, das sich von generell scheibenförmig über abgeflacht ellipsoid und abgeflacht fassförmig bis zu einer abgeflachten zylindrischen Form erstreckt, deren Längskanten halbzyklindrisch sind.

- 5 38. Körper (52, 54) gemäß einem der Ansprüche 31 bis 37, die Neutronenabsorberkörper sind und einen nicht oder schwach absorbierenden Kern besitzen, der zumindest teilweise mit einem stark Neutronen absorbierenden Stoff überzogen ist.
- 10 39. Körper (56) gemäß einem der Ansprüche 31 bis 38, bei denen es sich um Blindkörper handelt und die mit einem Neutronen reflektierenden Material (82) beschichtet oder verkleidet sind.
- 15 40. Körper (52, 56) gemäß einem der Ansprüche 31 bis 39 mit Flächen vergrößernden Oberflächenkonfigurationen auf ihren Grundformen zur Erhöhung des Absorptionsvermögens der Körper durch Vergrößern der spezifischen Oberflächen der Körper.
- 20 41. Körper (52, 54, 56) gemäß einem der Ansprüche 31 bis 40 mit unterschiedlichem Neutronenabsorptions- und/oder -reflektionsvermögen.
- 25 42. Graphitsteine oder -blöcke (76), die so geformt, dimensioniert und konfiguriert sind, dass sie zu einem Reflektor (36) gemäß einem der Ansprüche 23 bis einschließlich 30 zusammengebaut werden können.
- 30 43. Graphitsteine oder -blöcke (76) gemäß Anspruch 42 mit gerieften kernseitigen Oberflächen (77) zum Ausgleichen der Maßänderungen der Steine oder Blöcke nach Neutronenbestrahlung.

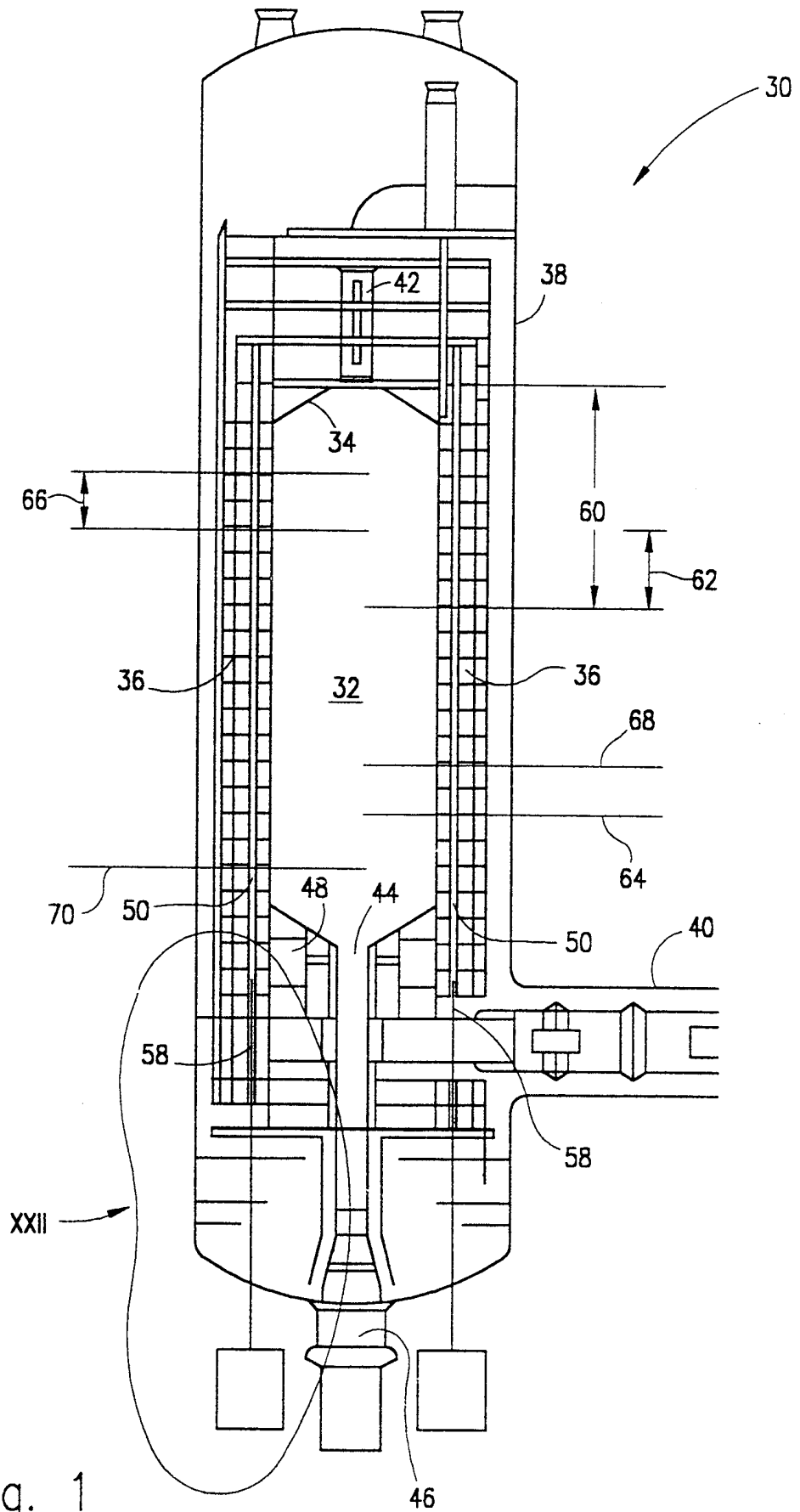


Fig. 1

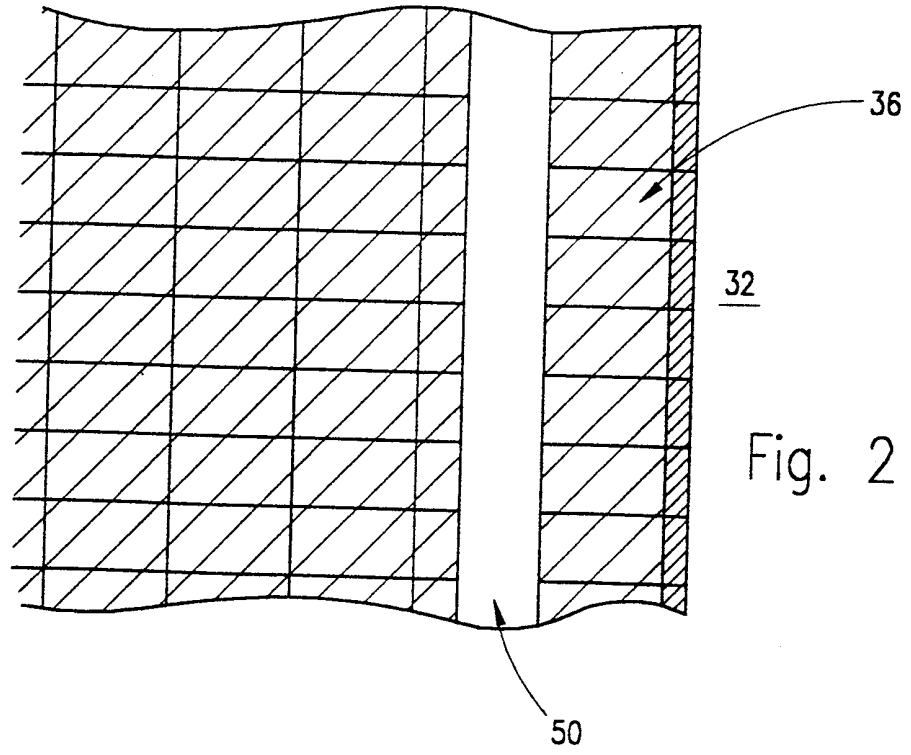


Fig. 2

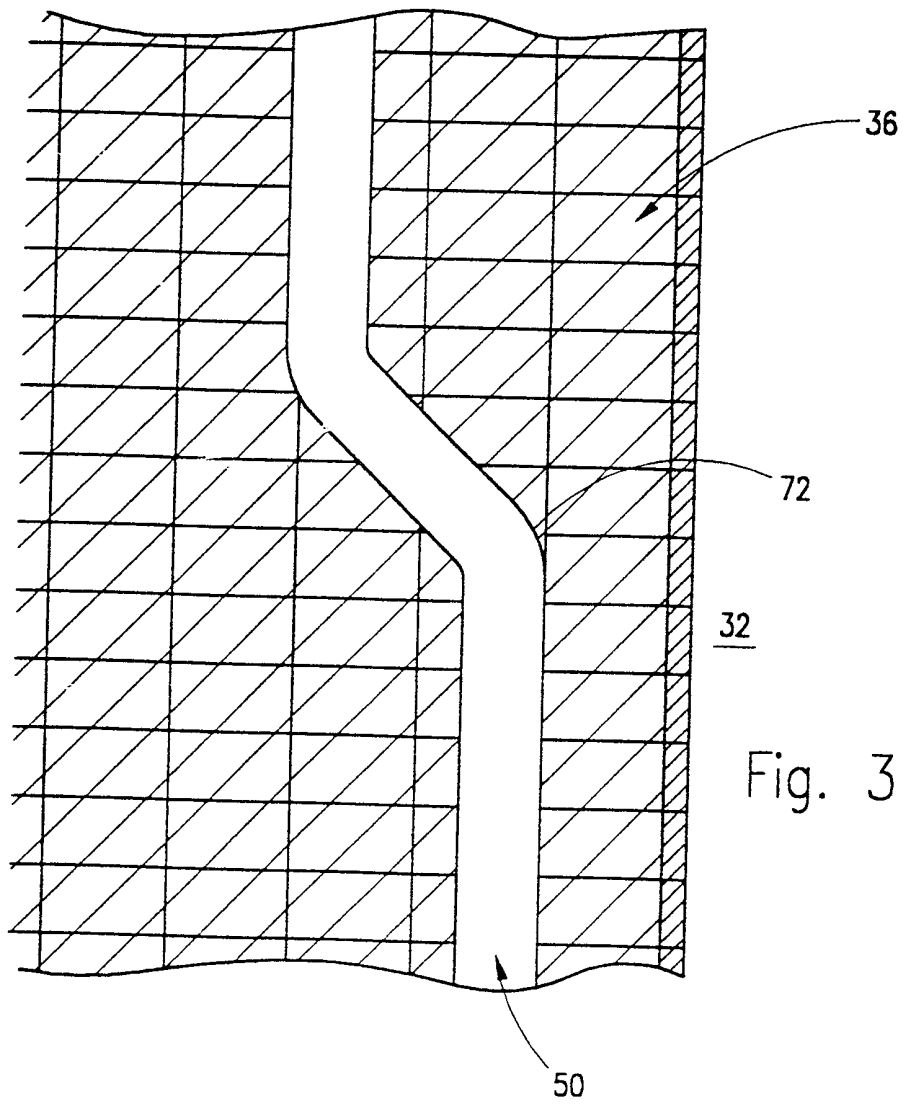


Fig. 3

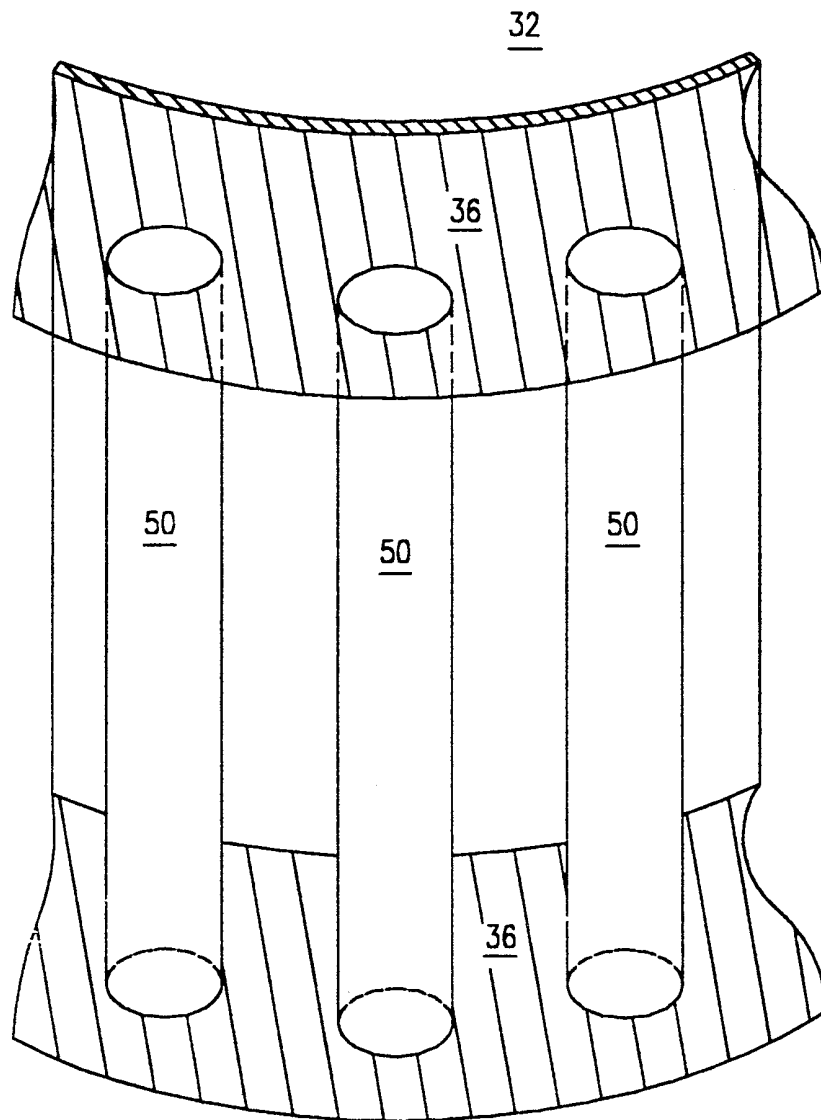


Fig. 4

4/11

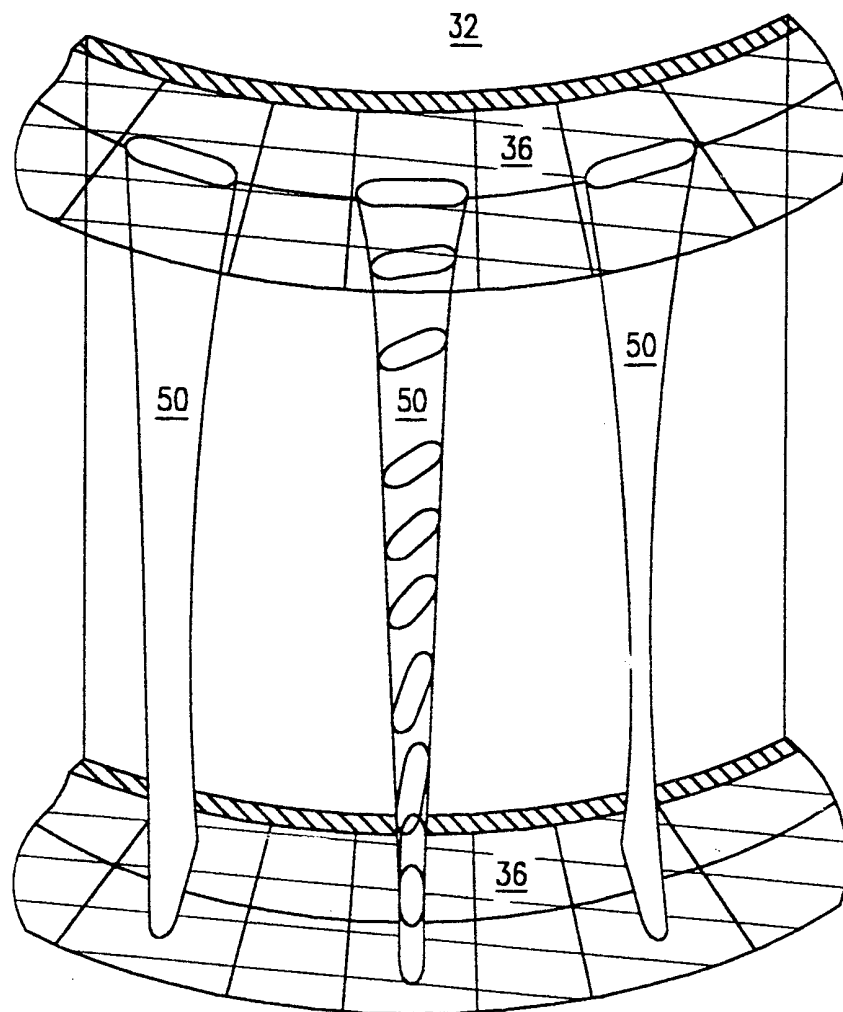


Fig. 5

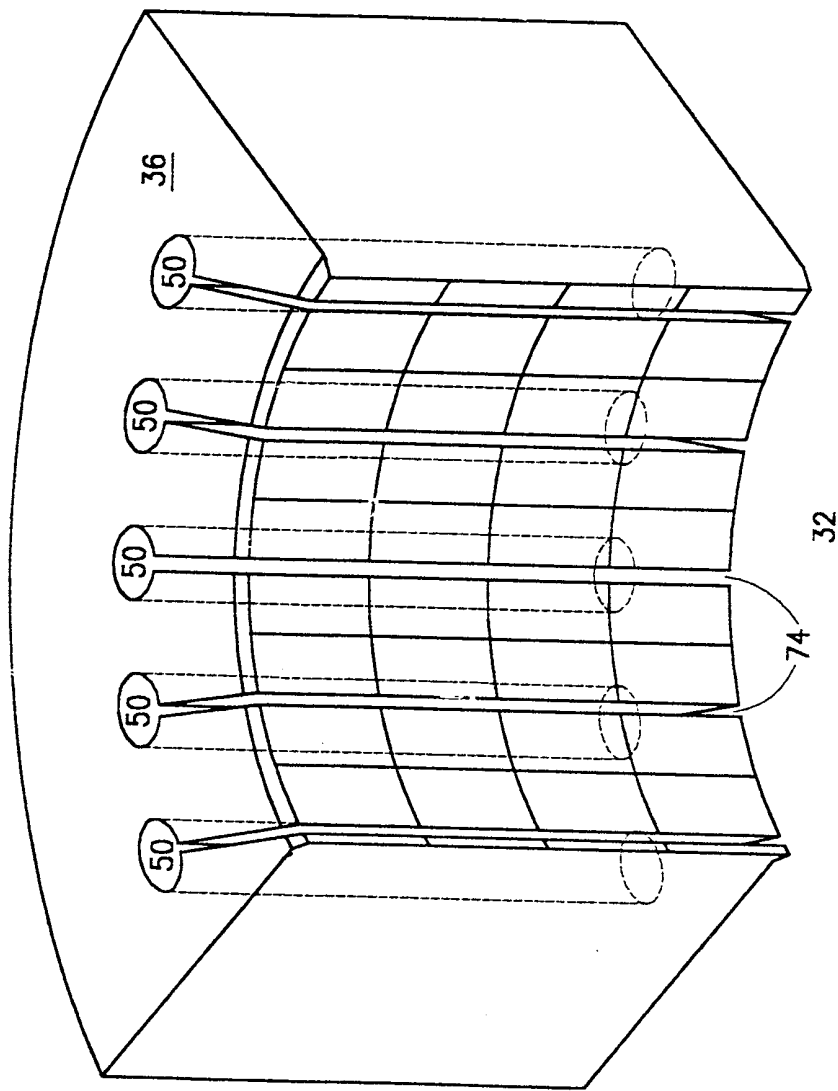


Fig. 6

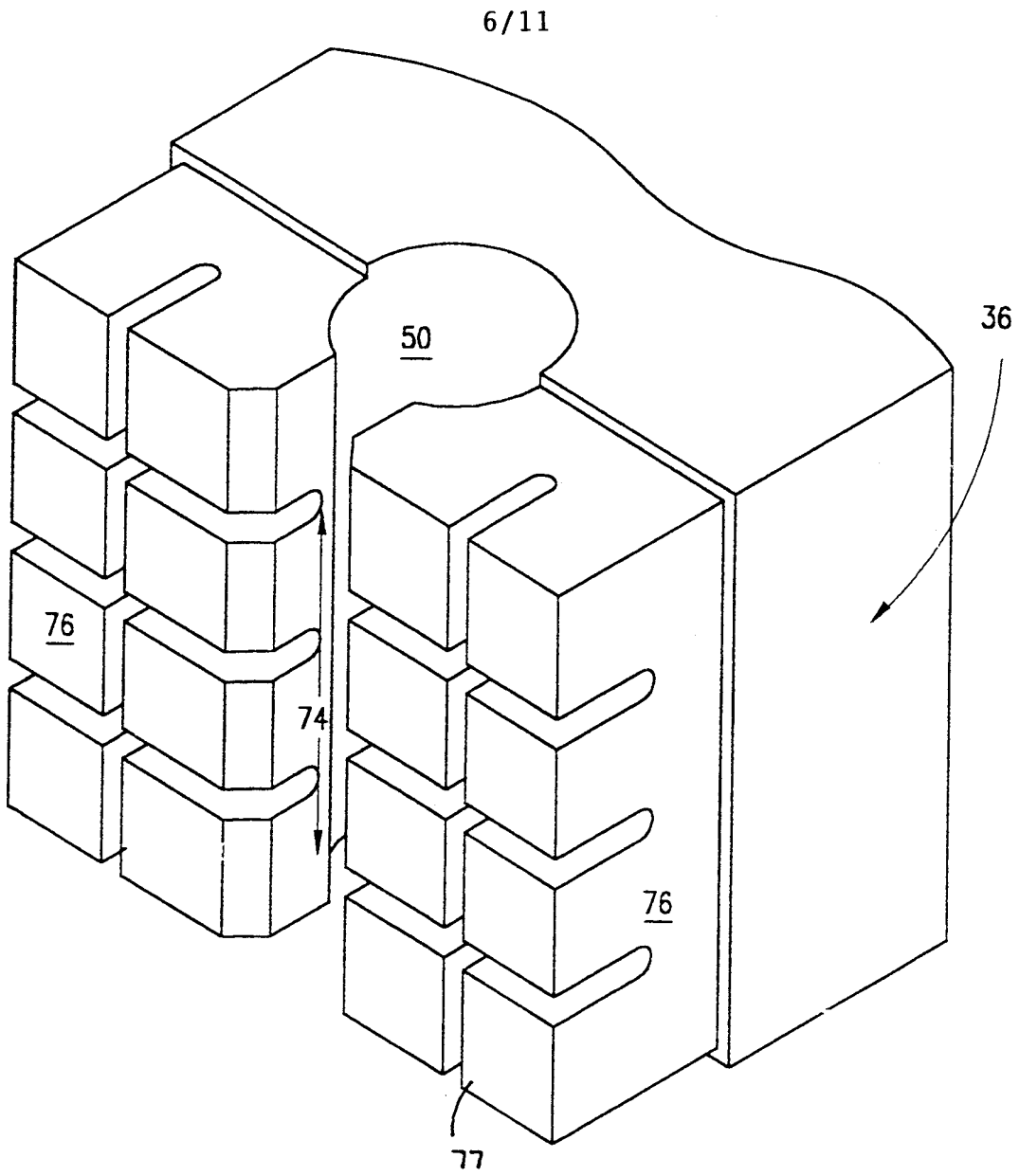


Fig. 7

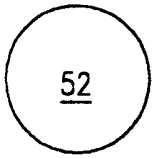


Fig. 8

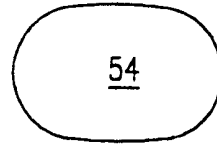


Fig. 14

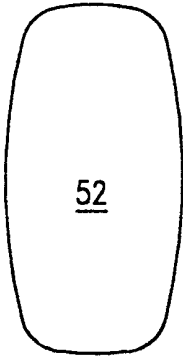


Fig. 9

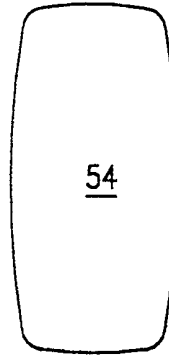


Fig. 15

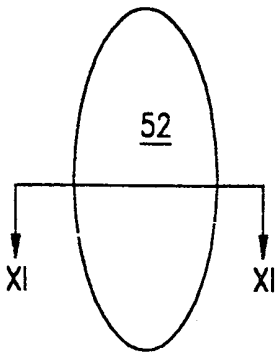


Fig. 10

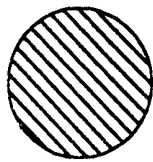


Fig. 11

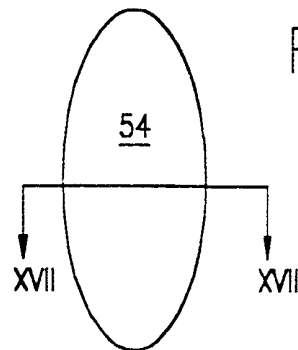


Fig. 16



Fig. 17

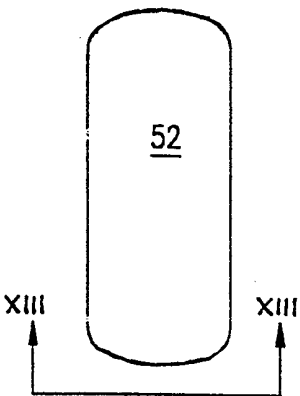


Fig. 12

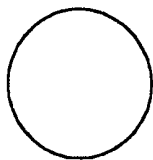


Fig. 13

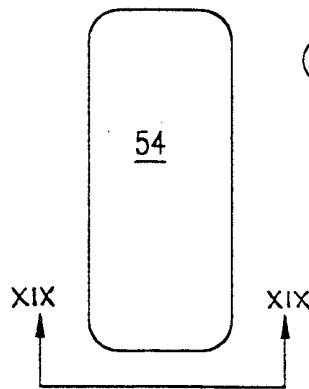


Fig. 18

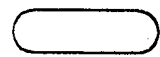


Fig. 19

8/11

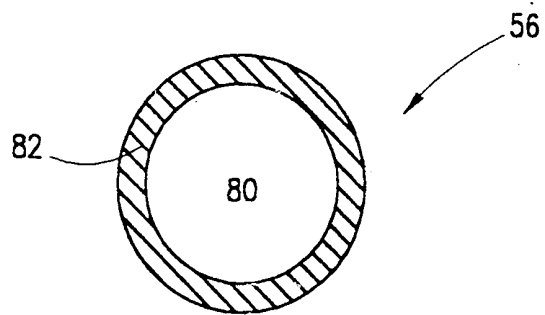


Fig. 20

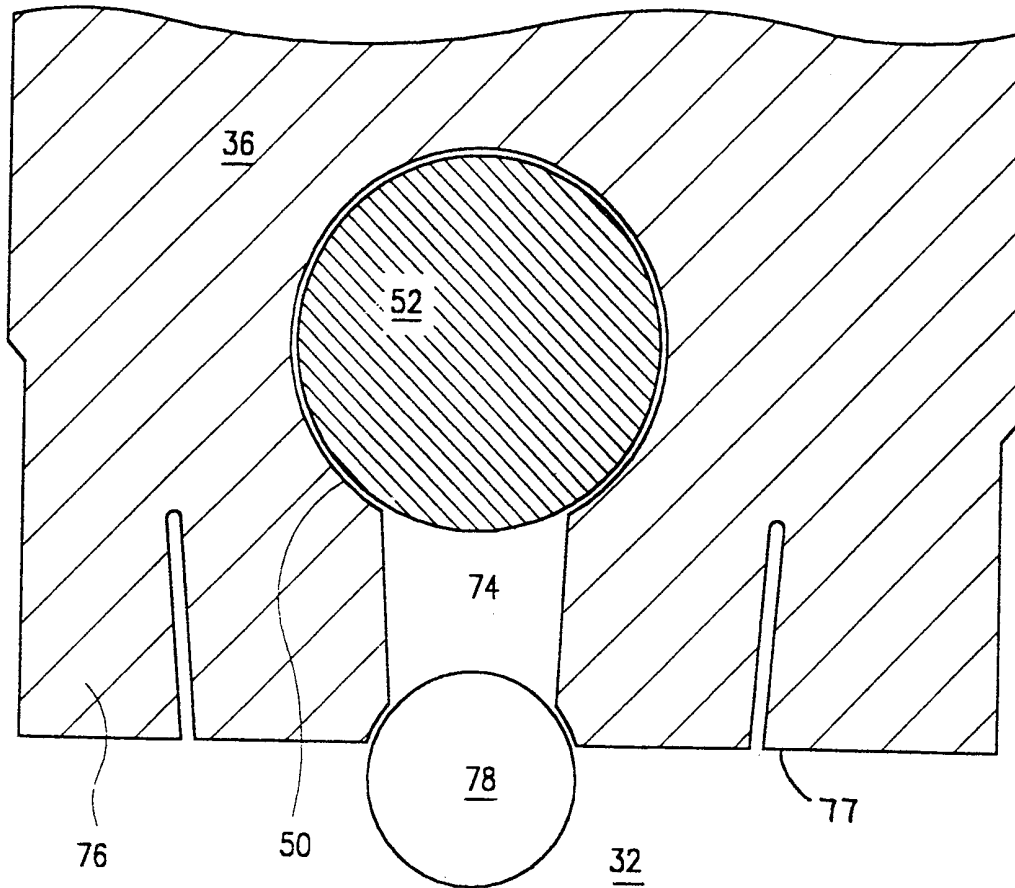


Fig. 21

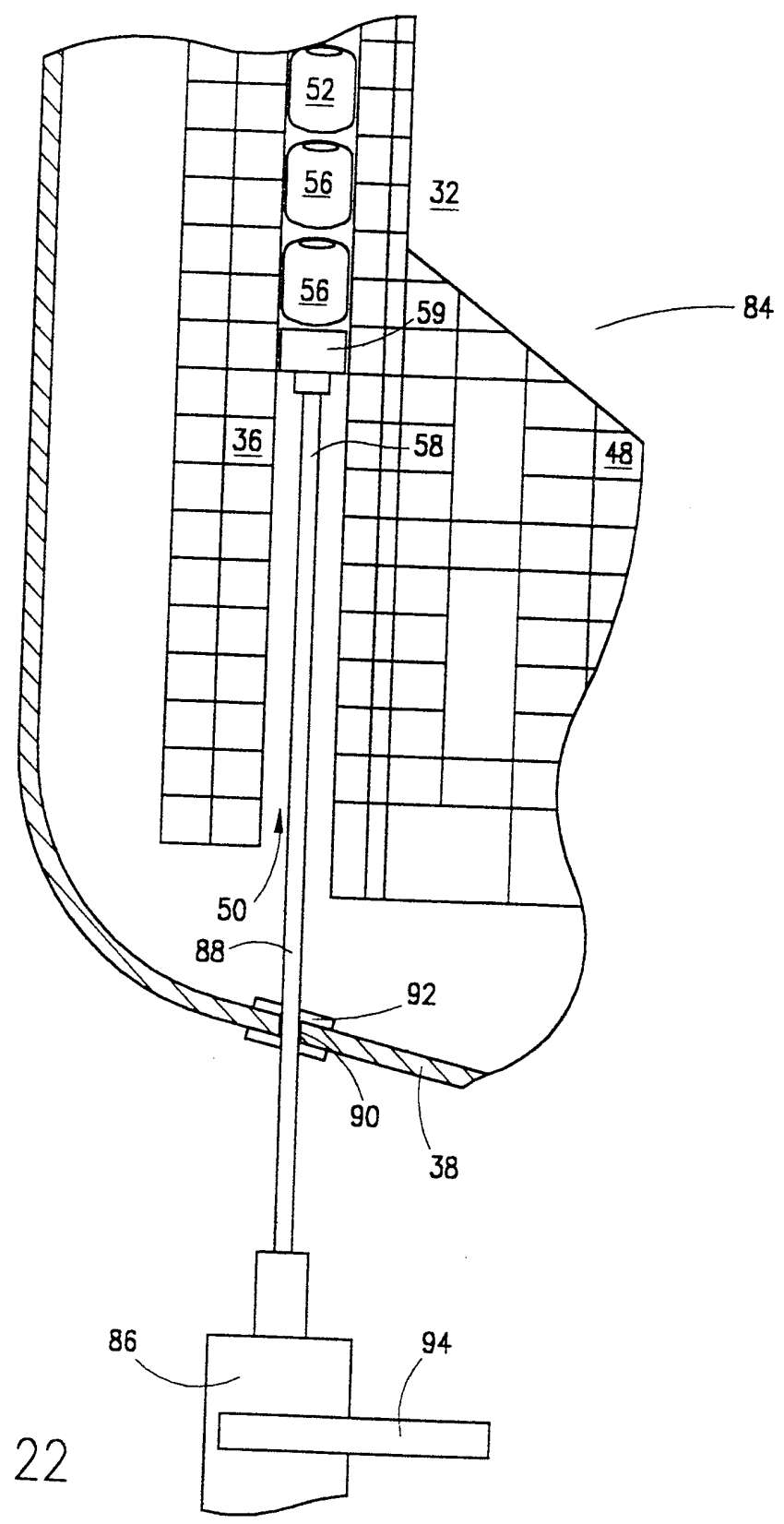


Fig. 22

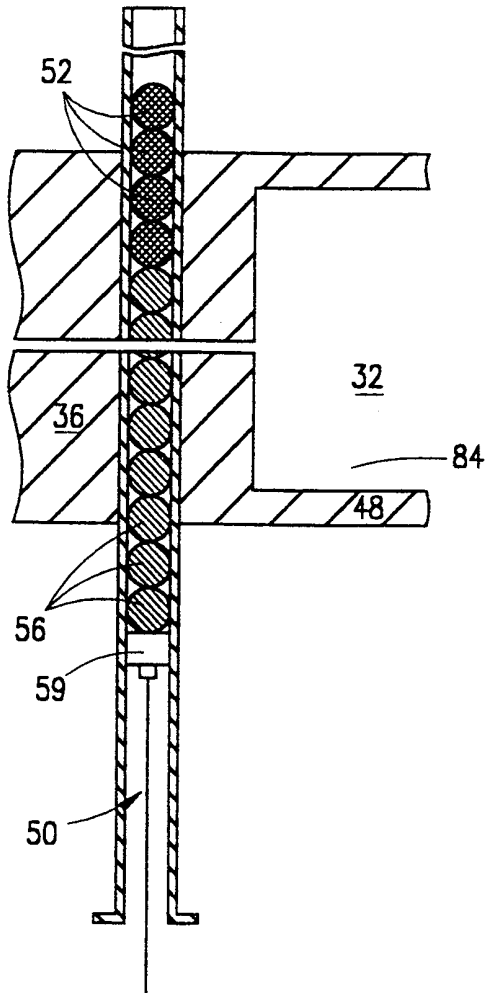


Fig. 23

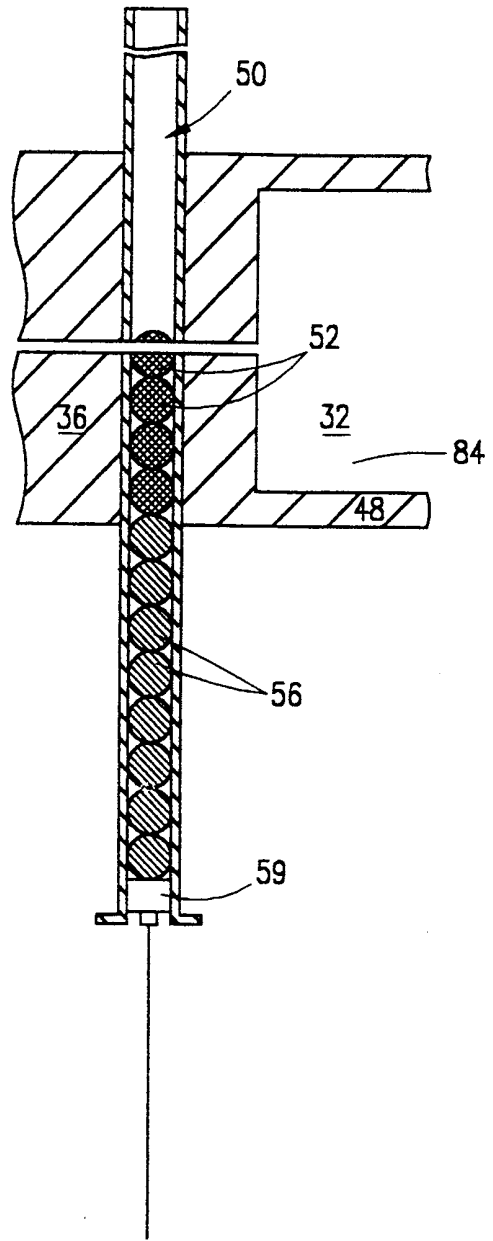


Fig. 24