



21 Aktenzeichen: P 24 08 926.7-33
22 Anmeldetag: 25. 2. 74
43 Offenlegungstag: 4. 9. 75
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 28. 6. 84

DE 2408926 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Interatom Internationale Atomreaktorbau GmbH,
5060 Bergisch Gladbach, DE

72 Erfinder:

Lohnert, Günter, Dipl.-Phys. Dr.phil.; Müller-Frank,
Ulrich, Dipl.-Ing. Dr.-Ing., 5060 Bensberg, DE

56 Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene
Druckschriften nach § 44 PatG:

DE-PS 10 83 941
DE-PS 10 68 390
DE-OS 21 23 894
US 30 34 689

»Atomwirtschaft«, 1966, Nr.5, S.218-271;
»Atomwirtschaft«, 1971, Nr.5, S.235-246;

54 Vergleichmäßigung des Fließens von Kugeln im Kugelhaufenreaktor

DE 2408926 C 2

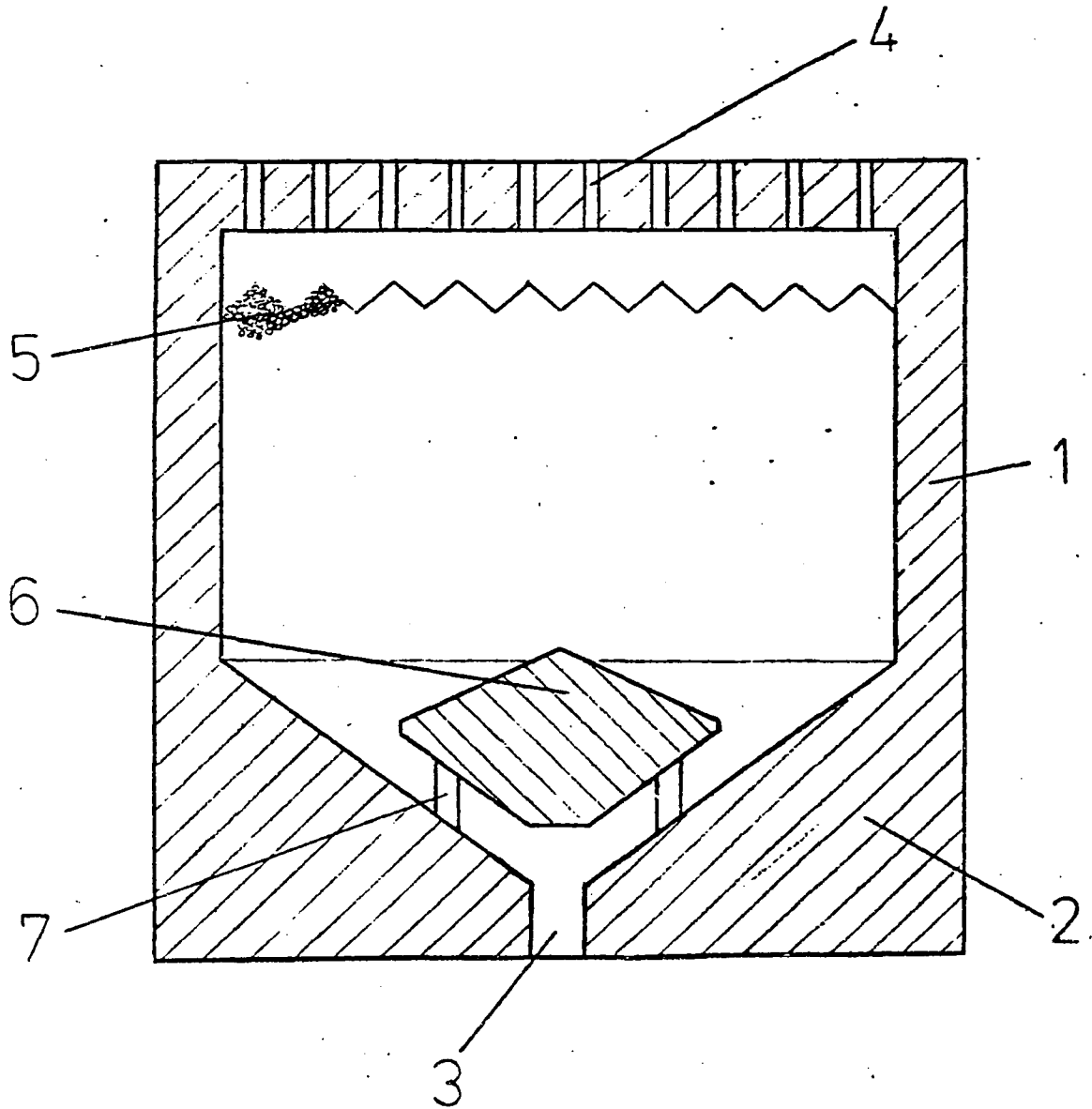


Fig. 1

Patentansprüche:

1. Vorrichtung zur Vergleichmäßigung des Fließens von Kugeln im Kugelhaufenreaktor großer Leistung, bestehend aus einem zylindrischen Reaktorbehälter mit einem trichterförmigen Boden, wobei oberhalb seines Auslaufs ein Kegel mit der Spitze nach oben angeordnet ist, der sich auf den trichterförmigen Boden abstützt, dadurch gekennzeichnet, daß dieser Kegel (6 bzw. 8) ein Körper mit einem rhombusähnlichen Längsschnitt ist und einen Durchmesser aufweist, der etwa die Hälfte des zylindrischen Kerndurchmessers beträgt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dieser Kegel (6 bzw. 8) an seiner Oberseite einen Neigungswinkel von ca. 25–30° zur Waagerechten aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Kegel (6) mit mehreren senkrechten Säulen (7) auf den Core-Boden abstützt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Kegel (8) mit mehreren radialen Stegen (9) auf den Core-Boden (2) abstützt.

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Vergleichmäßigung des Fließens von Kugeln in einem sogen. Kugelhaufenreaktor, insbesondere in einem Reaktor großer Leistung und mit nur einem Kugelabzug nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein kleiner Versuchsreaktor dieser Art, der sogen. AVR-Reaktor in Jülich wird in der Zeitschrift Atomwirtschaft, 1966 im Heft 5 auf den Seiten 218 bis 271 beschrieben. Ein weiterer Kugelhaufenreaktor dieser Art, der sogen. THTR-Reaktor in Uentrop, wird in der Atomwirtschaft vom Mai 1971 auf den Seiten 235 bis 246 beschrieben. Auf Seite 237 wird als zweckmäßige Weiterentwicklung dieser beiden Reaktoren auf das sogen. Otto-Programm (once through then out) hingewiesen, »bei dem die Brennelemente nur einmal von oben nach unten durch das Core wandern. Bei diesem Programm müßten zwar die Brennelemente des Erst-Cores entsprechend ihrer Lage im Core für einen sofortigen Vollastbetrieb verschieden hoch angereichertes Uran besitzen, jedoch könnten die entsprechend dem Abbrand nachzufüllenden Brennelemente gleiche Anreicherung aufweisen. Die aus dem Core abgezogenen Brennelemente wären dann abgebrannt und könnten dem Kreislauf entnommen werden. Die betriebliche Beschickung und die Entnahmeanlage könnten dann sehr einfach gehalten werden, da die Umwälzung des Cores und die Abbrandmessung fortfallen könnten. Entsprechende Untersuchungen werden in der Kernforschungsanlage Jülich angestellt.« Die weiteren Vorteile dieses Otto-Programms werden in der deutschen Offenlegungsschrift 21 23 894 näher beschrieben.

Sowohl der AVR- als auch der THTR-Reaktor haben ein zylindrisches Core, das im unteren Bereich in einen Trichter übergeht, an dessen unterer Spitze sich eine Abzugsvorrichtung für die Brennstoffkugeln befindet. Die bisherigen Versuche mit einer solchen einzigen und zentralen Abzugsvorrichtung haben aber gezeigt, daß sich das gewünschte Otto-Programm mit dieser Abzugsvorrichtung allein nicht in kerntechnisch sinnvoller Weise verwirklichen läßt. Bei kontinuierlichem Abzug

der Brennstoffkugeln mit einer in bezug auf den Corequerschnitt mittleren Geschwindigkeit von ca. 0,5 cm/d ist die Geschwindigkeit der Kugeln im zentralen Bereich des Cores ca. 6fach größer als in den Randbereichen. Daher müßte man bei den Brennstoffkugeln im zentralen Bereich des Reaktors entweder mit einem geringeren Abbrand zufrieden sein, oder diese Kugeln erneut dem Reaktor von oben zuführen und damit auf die wesentlichen Vorteile des sogen. Otto-Programms verzichten, nämlich auf den über den Querschnitt gleichmäßigen Abbrand. Um den gleichmäßigen Abzug der Kugeln über dem Corequerschnitt zu verbessern, ist bereits versucht worden, im unteren Core-Bereich drei oder mehrere Abzugsvorrichtungen anzuordnen, die jeweils zu mehreren auf einem Radius angeordnet sind. Ganz abgesehen von der Tatsache, daß die Anzahl dieser Kugelabzugsvorrichtungen nicht beliebig vermehrt werden kann, weil diese Abzugsvorrichtungen einen erheblichen konstruktiven Aufwand und damit wesentliche Kosten verursachen, haben entsprechende Versuche gezeigt, daß eine Vergrößerung der Anzahl der Abzugsvorrichtungen noch nicht das erwünschte gleichmäßige Fließen der Kugeln gewährleistet.

In der US-PS 30 34 689 wird am Auslauf eines trichterförmigen Bodens 26 ein Ventil beschrieben, bei dem durch Heben oder Senken des Rohres 16 der Abfluß der Brennstoffkugeln 18 gesteuert wird. Damit dieses Ventil funktioniert, ist eine kleine Haube 14 notwendig. Der Durchmesser dieser Haube ist aber im Verhältnis zum gesamten Kerndurchmesser viel zu klein, um die oben erwähnten Probleme zu lösen.

Die DE-PS 10 68 390 zeigt in Fig. 2 einen Blechkegel 16, der aber nicht im Reaktorbehälter sondern in einer Auskühlwanne 12 unterhalb des Reaktors angeordnet ist, um zu verhindern, daß ein Zustromen von Brennstoffelementen 3 zu der unteren Öffnung durch den Druck der unmittelbar darüber lagernden Elemente behindert wird. Bei den vorgesehenen Temperaturen der vorliegenden Erfindung in Höhe von fast 1000°C und der zusätzlichen Belastung durch radioaktive Strahlung würde ein solcher Blechkegel sehr schnell zerstört werden, herunterfallen und den Abfluß der Brennstoffkugeln stören.

In der DE-PS 10 83 941 ist ein Leitblech 4 in Kegelform beschrieben, das im Reaktorbehälter 1 angeordnet ist und mit Rippen 5 an der Wand des Reaktorbehälters 1 befestigt ist. Selbst wenn bei geringeren Kühlmitteltemperaturen eine solche Konstruktion zulässig wäre, so ist doch sehr fraglich, ob diese Konstruktion das Gewicht der darauf ruhenden Kugelschüttung aushalten würde. Diese Anordnung eines Kegels im Reaktor hat noch einen wesentlichen Nachteil. Wie im folgenden beschrieben, soll die gewünschte über den Querschnitt konstante Vertikalgeschwindigkeit der Kugeln zumindestens so lange beibehalten werden, bis die Kugeln eine Position erreichen, die einer Höhe von 0,2 des Core-Durchmessers oder weniger über dem Kegel entspricht. Wenn also dieser Kegel wie dort dargestellt, sehr hoch angeordnet ist, wird auch die Vertikalgeschwindigkeit schon wesentlich eher gestört und damit der maximal mögliche Abbrand verringert.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, aus den obengenannten Gründen, die mit dem ungleichmäßigen Fließen der Kugeln verbundenen Nachteile zu vermeiden und mit geringem konstruktivem Aufwand eine annähernd konstante Vertikalgeschwindigkeit der Kugeln über den Querschnitt zu erreichen.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird eine Vorrichtung

nach dem ersten Anspruch vorgeschlagen, bei der die Kugeln unterhalb dieses Körpers zu einem zentralen Abfluß fließen können. Dieser Körper sollte in bezug auf seine senkrechte Achse eine annähernd rotations-symmetrische Form aufweisen. Mit Rücksicht auf seine Herstellung aus einem sehr hitzebeständigen Material, beispielsweise Graphit, kann er auch im Querschnitt die Form eines regelmäßigen Vielecks aufweisen. Modellversuche haben gezeigt, daß bei dieser Anordnung eine weitgehend konstante Vertikalgeschwindigkeit der Kugeln im Core erreicht wird, zumindest solange, bis die Kugeln bei ihrer Abwärtsbewegung eine Position erreichen, die einer Höhe von ca. 0,2 des Core-Durchmessers oder weniger entspricht. Das bedeutet, daß ein möglichst großes Höhen/Durchmesser-Verhältnis der Kugelschütthöhe im Core angestrebt werden sollte, um diese Position möglichst spät zu erreichen. Da die Druckverluste des Kühlmediums innerhalb der Brennstoffschüttung kubisch von der Core-Höhe abhängen, kann bei Vergrößerung der thermischen Leistung eines Kugelhaufenreaktors die Höhe nicht beliebig vergrößert werden. Daher muß ein Kugelhaufenreaktor größerer Leistung zwangsläufig ein kleineres Höhen/Durchmesser-Verhältnis aufweisen. Diese Tatsache unterstreicht die Notwendigkeit eines möglichst gleichmäßigen Kugelfließens bei Reaktoren größerer Leistung. Ein weiterer Vorteil dieser Vorrichtung besteht darin, daß man mit dem Durchmesser des inneren, kegelähnlichen Körpers ein eventuell gewünschtes Geschwindigkeitsprofil über dem Reaktorquerschnitt erzeugen kann.

Je größer der Durchmesser des inneren kegelähnlichen Körpers gegenüber dem Core-Durchmesser gewählt wird, um so größer wird die Geschwindigkeit der Kugeln im Randbereich gegenüber den Kugeln im zentralen Bereich des Cores. Der innere Körper mit einem rhombusähnlichen Längsschnitt ist aus statischen Gründen günstiger als ein Kegel mit ebener Bodenfläche. Damit der Kegel nicht zu hoch wird und dadurch die Vertikalgeschwindigkeit der Kugeln stört, soll der Kegel an seiner Oberseite einen Neigungswinkel von ca. 25—30° zur Waagerechten haben.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß sich der innere kegelähnliche Körper mit mehreren senkrechten Säulen auf den Core-Boden abstützt.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß sich der innere kegelähnliche Körper mit mehreren radialen Stegen auf den Core-Boden abstützt.

Diese Abstützung des kegelähnlichen Körpers ist von wesentlicher Bedeutung. Einerseits muß sie das Gewicht des Körpers einschließlich der darauf liegenden Kugelschüttung aufnehmen, andererseits darf der Abfluß der Kugeln nicht behindert werden. Insbesondere sollen weder einzelne Kugeln noch Bruchstücke von einzelnen Kugeln für längere Zeit festgehalten werden.

Im folgenden werden die Vorteile der Erfindung zusammengefaßt:

Aufgrund des gleichmäßigen Kugelfließens bis in den untersten Bereich des Cores ergibt sich ein gleichmäßiger Abbrand aller Brennstoffkugeln sowie ein rotations-symmetrischer Leistungs-, Temperatur- und Flußverlauf.

Aus denselben Gründen ist auch eine rotations-symmetrische Beschickung möglich.

Die Spaltprodukt-Freisetzung wird geringer, da die Verweilzeiten auch einzelner Brennelemente im Core herabgesetzt werden.

Im unteren Bereich des Cores ist keine Flußüberhö-

hung durch nur wenig abgebrannte Brennstoffkugeln zu erwarten, daher genügt eine geringere Einfahrtiefe der Abschaltstäbe.

Die in den Kugelhaufen einfahrenden Regelstäbe werden nicht mehr durch Querkkräfte aufgrund einer Horizontal-Komponente der Kugelbewegung belastet.

Der vertikale Druckverlauf des Kühlmediums in der Kugelschüttung wird gleichmäßiger.

Auch bei Kugelhaufenreaktoren größerer Leistung genügt ein zentrales Kugelabzugsrohr. Gegenüber den bereits vorgeschlagenen zahlreichen Abzugsrohren sind erhebliche Kostensenkungen und sicherheitstechnische Vorteile zu erwarten.

Der Einbau eines voluminösen kegelähnlichen Körpers verringert die Anzahl der im nicht aktiven Teil des Cores vorhandenen Kugeln.

Die Fig. 1, 2 und 3 zeigen schematische Ausführungsbeispiele der Erfindung.

Fig. 1 zeigt einen senkrechten Längsschnitt durch einen Kugelhaufenreaktor mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Fig. 2 zeigt in der rechten Hälfte einen senkrechten Längsschnitt und in der linken Hälfte eine Ansicht einer speziellen Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Fig. 3 zeigt entsprechend Schnitt A-A eine Ansicht von unten auf die erfindungsgemäße Vorrichtung in Fig. 2.

Der zylindrische Core-Behälter 1 geht an seinem unteren Ende in einen trichterförmigen Auslauf 2 über, der wiederum in einem einzigen zylindrischen Ablauf-Rohr 3 von geringem Durchmesser endet. Der Core-Behälter 1 wird von oben über mehrere Beschickungsöffnungen 4 mit den Kugeln 5 gefüllt. Der zylindrische Teil der Kugelschüttung hat ein Höhen/Durchmesser-Verhältnis H/D von ungefähr 0,5. Im unteren trichterförmigen Auslauf 2 des Core-Behälters 1 ist ein kleinerer Kegel 6 auf Säulen 7 angeordnet, dessen Spitze nach oben zeigt und dessen größter Durchmesser einen für den Durchtritt der Kugeln 5 ausreichenden Abstand von der Wand des trichterförmigen Auslaufs 2 aufweist. Bei der für große Leistungsreaktoren vorgesehenen Durchströmung der Kugelschüttung von oben nach unten, wird nicht nur der trichterförmige Auslauf 2 des Core-Behälters 1 sondern auch der vorgeschlagene Kegel 6 aus Graphit-Blöcken aufgebaut, die zahlreiche senkrechte Kanäle für den Durchtritt des Kühlmediums aufweisen. Die Spitze des Kegels 6 sollte aus kernphysikalischen Gründen etwa mit der Höhe des trichterförmigen Auslaufs 2 abschließen.

Die Fig. 2 und 3 zeigen einen rotations-symmetrischen Körper 8 mit einem rhombusähnlichen Längsschnitt, der mit zahlreichen radialen Stegen auf dem trichterförmigen Auslauf 2 des Core-Behälters 1 ruht. Zur Erleichterung der Darstellung ist dieser Körper von dem trichterförmigen Auslauf 2 getrennt dargestellt. Tatsächlich kann er zusammen mit diesem trichterförmigen Auslauf 2 aufgebaut werden. Zwischen den radialen Stegen 9, die die tragende Verbindung zum trichterförmigen Auslauf 2 herstellen, sind zahlreiche tunnelartige Kanäle 10 angeordnet, die für den Abfluß der Kugeln zur Mitte hin sorgen. Um die Darstellung nicht unübersichtlich zu gestalten, sind einige für den störungsfreien Abfluß der Kugeln notwendige Teile weggelassen. Vor den radialen Stegen 9 und zwar zwischen den Öffnungen zu den tunnelartigen Kanälen 10 müssen jeweils dachförmige Körper angeordnet sein, damit keine Kugeln oder Bruchstücke von Kugeln zwischen dem

Körper **8** und dem trichterförmigen Auslauf **2** des Core-Behälters **1** liegen bleiben können. Es liegt im Rahmen der Erfindung, wenn der rotations-symmetrische Körper **8** mit dem rhombusähnlichen Längsschnitt keine Kanäle **10** aufweist, sondern diese Kanäle in nicht dargestellter Weise in dem trichterförmigen Auslauf angeordnet sind.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

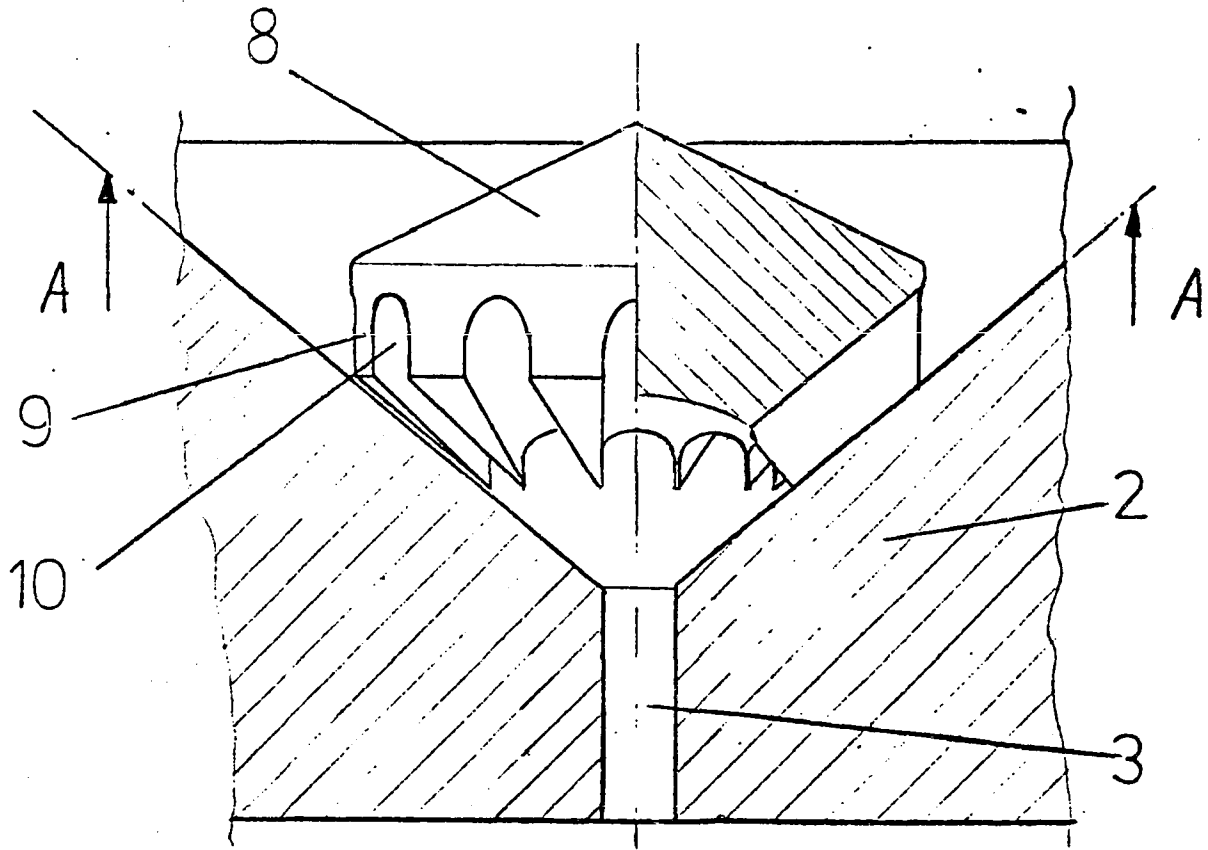


Fig. 2

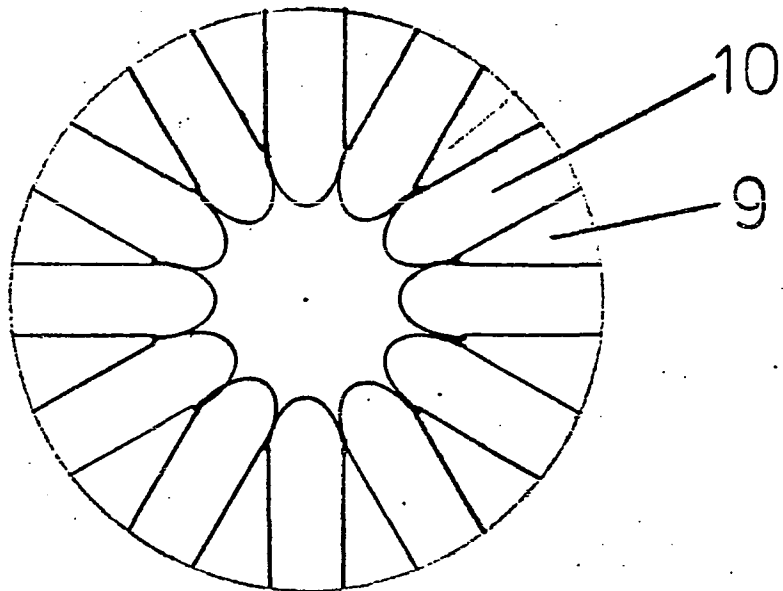


Fig. 3