

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑪ DE 2738729 C2

⑥ Int. Cl. 4:  
G21 C 1/00  
G 21 C 1/22

⑳ Aktenzeichen: P 27 38 729.7-33  
㉑ Anmeldetag: 27. 8. 77  
㉒ Offenlegungstag: 8. 3. 79  
㉓ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 25. 7. 85

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

㉔ Patentinhaber:  
Hochtemperatur-Reaktorbau GmbH, 4600 Dortmund,  
DE

㉕ Erfinder:  
Brandes, Siegfried, Dipl.-Ing. Dr., 6905 Schriesheim,  
DE

⑤⑥ Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene  
Druckschriften nach § 44 PatG:

DE-PS 10 34 784  
DE-AS 15 64 986  
DE-OS 26 31 237  
AT 2 55 593  
FR 80 481

»Journal of Nuclear Energy«, Bd. 20, Teil A/B, 1966,  
S. 739;

⑤④ Vorrichtung zum Aufbau einer Randzone aus reinen Graphitkugeln um die Betriebselementschüttung eines Hochtemperaturreaktors

DE 2738729 C2

DE 2738729 C2

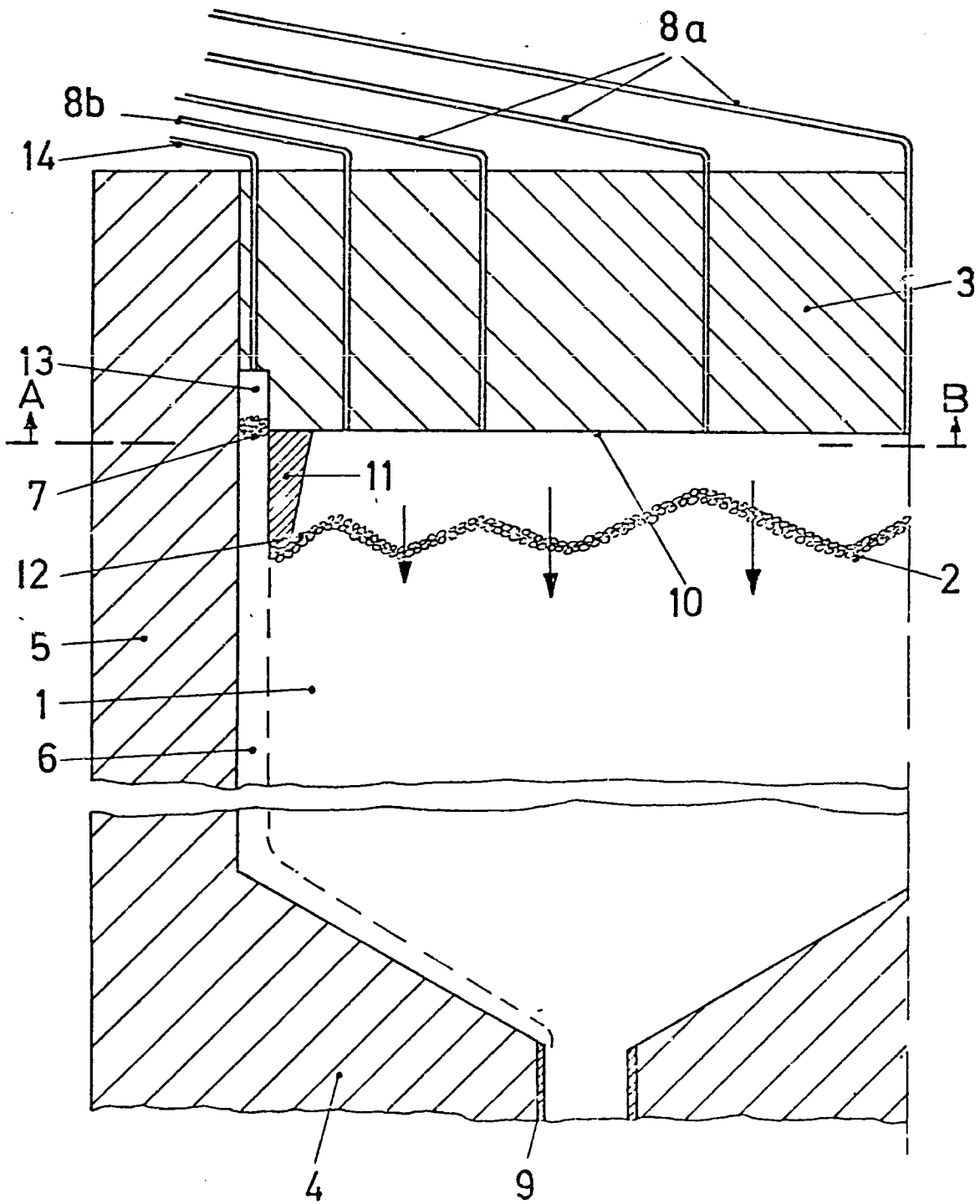


FIG. 1

## Patentansprüche:

1. Vorrichtung zum Aufbau einer Randzone aus reinen Graphitkugeln um die Betriebselementenschüttung eines Hochtemperaturreaktors, die von oben nach unten von Kühlgas durchströmt wird und von einem Deckenreflektor, einem zylindrischen Seitenreflektor und einem Bodenreflektor umgeben ist, wobei der Seitenreflektor aus einem festen Reflektormantel und der genannten Randzone aus reinen Graphitkugeln besteht, für die in dem Deckenreflektor getrennte Zuführungsrohre vorgesehen sind, die aber gemeinsam mit den Betriebselementen am Boden des Reaktorkerns abgezogen werden, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung der Randzone (6) an der Unterkante (10) des Deckenreflektors (3) eine ringförmige, bis an die Oberfläche (12) der Schüttung (1) reichende Schüttungs-Trennung (11) derart angebracht ist, daß zwischen dem festen Reflektormantel (5) und der Schüttungs-Trennung (11) ein ringartiger Spalt (13) gebildet wird, in den die Graphitelemente (7) der Randzone (6) eingegeben werden und der sich bis in den Deckenreflektor (3) hinein fortsetzt, und daß die mittlere Oberfläche der Randzone (6) über der mittleren Oberfläche der Schüttung (1) der Betriebselemente (2), vorzugsweise innerhalb des in dem Deckenreflektor (3) befindlichen Teiles des ringartigen Spaltes (13), liegt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schüttungs-Trennung (11) aus massivem Graphit besteht.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in dem über der Randzone (6) befindlichen Teil des ringartigen Spaltes (13) eine Reihe von Kugelfühlern (15) installiert ist.

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Aufbau einer Randzone aus reinen Graphitkugeln um die Betriebselementenschüttung eines Hochtemperaturreaktors, die von oben nach unten von Kühlgas durchströmt wird und von einem Deckenreflektor, einem zylindrischen Seitenreflektor und einem Bodenreflektor umgeben ist, wobei der Seitenreflektor aus einem festen Reflektormantel und der genannten Randzone aus reinen Graphitkugeln besteht, für die in dem Deckenreflektor getrennte Zuführungsrohre vorgesehen sind, die aber gemeinsam mit den Betriebselementen am Boden des Reaktorkerns abgezogen werden.

Kernreaktoren mit einer Schüttung von kugelförmigen Betriebselementen (Kugelhaufenreaktoren) ermöglichen eine kontinuierliche Erneuerung des festen Brennstoffes und eine kontinuierliche Entfernung des erschöpften Brennstoffes. Die Betriebselemente (Brenn-, Absorber- und Graphitelemente) bleiben dabei während des Betriebs im Reaktor im wesentlichen in Ruhe, da sie nicht durch den nach unten gerichteten Kühlgasstrom aufgewirbelt werden. Durch eine entsprechend ausgebildete Abzugsvorrichtung am Boden des Reaktorkerns werden die kugelförmigen Betriebselemente aus dem Reaktorkern abgezogen, während die Zugabe von frischen Betriebselementen von oben durch eine Anzahl von Zuführungsrohren erfolgt.

Ein derartiges Beschickungsverfahren ermöglicht einen einfachen und wirtschaftlichen Betrieb des Kernre-

aktors; den größten Vorteil bringt dieses Verfahren bei Kernreaktoren, deren Betriebselemente den Reaktorkern nur einmal durchlaufen.

Im allgemeinen ist die Schüttung eines Kugelhaufenreaktors von einem aus Graphit bestehenden Deckenreflektor, Bodenreflektor und zylindrischem Seitenreflektor umgeben. Nach längerem Betrieb oder bei einer hohen Leistungsdichte im Reaktorkern bereits nach kürzerer Zeit treten in dem zylindrischen Seitenreflektor Strahlenschäden auf, die zum Abbröckeln von kernnahen Teilen des Seitenreflektors und ggf. zu einer Stilllegung des Reaktorbetriebes führen können. Vor allem der mit der Leistungsdichte gekoppelte schnelle Neutronenfluß ruft Dimensionsänderungen in dem Graphit hervor; zunächst tritt ein Schrumpfen auf, nach einer gewissen Zeit dann wieder Ausdehnung, die über den ursprünglichen Zustand hinaus anhält. Die dabei entstehenden Spannungen können zu Rissen im Graphit führen. Der Seitenreflektor soll jedoch Standzeiten bis zu 35 Vollastjahren erreichen. Besonders hoch ist die Strahlenbelastung des Seitenreflektors bei einem Kugelhaufenreaktor mit einmaligem Durchlauf der kugelförmigen Betriebselemente.

Es sind bereits Kugelhaufenreaktoren entwickelt worden, bei denen durch eine besondere Ausbildung des Seitenreflektors ein vorzeitiges Stilllegen des Reaktorbetriebes vermieden wird. So ist in der deutschen Patentschrift 10 34 784 ein Kernreaktor beschrieben, dessen Reflektormantel aus einer Aufschüttung von gleichmäßig geformten neutronenreflektierenden Körpern besteht, die im wesentlichen die gleiche Gestalt besitzen wie die Brennelemente. Zwischen dem Reflektormantel und den Brennelementen befindet sich noch eine Zone aus ebenfalls aufgeschütteten Brutelementen.

Aus der deutschen Auslegeschrift 15 64 986 ist ein weiterer Kernreaktor bekannt, dessen von einer Aufschüttung von Kugeln bestehender Kern seitlich von einem Reflektor umgeben ist, der ebenfalls aus einer Aufschüttung von Kugeln besteht.

Stand der Technik ist es auch, den Reflektormantel eines Kugelhaufenreaktors nur teilweise als Kugelschüttung auszubilden, und zwar den Teil des Reflektors, der unmittelbar an die Schüttung der Brennelemente angrenzt. Kernreaktoren mit einem so gestalteten Seitenreflektor sind in der deutschen Offenlegungsschrift 26 31 237 sowie in dem »Journal of Nuclear Energy«, Bd. 20, Teil A/B, Jahrgang 1966, auf Seite 739 beschrieben.

Aus der französischen Zusatzpatentschrift 80 481 ist ein weiterer Kugelhaufenreaktor mit einer aus Graphitkugeln aufgeschütteten Randzone bekannt, dessen Kern jedoch nicht von oben nach unten, sondern in dazu senkrechter Richtung von dem Kühlgas durchströmt wird. Die Graphitkugeln der Randzone sind wesentlich kleiner als die Brennelemente der Schüttung, und sie haben die Aufgabe, zwischen den Brennelementen vorgesehene Kugeln aus Moderatormaterial, deren Durchmesser noch kleiner ist als der der Graphitkugeln, am Eindringen in die Gasdurchtrittsöffnungen zu hindern.

Aus der österreichischen Patentschrift 2 55 593 ist ein Kernreaktor bekannt, dessen seitliche Reflektorwände ebenfalls aus einer Aufschüttung von kugelförmigen Graphitelementen bestehen. Diese fließen kontinuierlich durch den Reaktorkern und werden laufend durch neue Graphitkugeln ersetzt, so daß die gefährdete Teil des Seitenreflektors ständig ausgewechselt wird. Die Graphitkugeln werden gemeinsam mit den kugelförmigen Brennelementen aus dem Reaktorkern abgezogen,

während ihre Zugabe durch gesonderte Zuführungsrohre erfolgt.

Um eine günstigere Vermischung des in der Randzone nicht aufgeheizten Kühlgases mit dem übrigen Kühlgas zu erreichen, soll die Randzone so schmal wie möglich ausgebildet sein. Zur Beschickung selbst einer schmalen Randzone ist aber eine größere Anzahl von zusätzlichen Zuführungsrohren erforderlich, wenn eine gleichmäßige, rosettenfreie Ausbildung der Randzone erzielt werden soll. Dies ist notwendig, um unerwünschte

Effekte in der Leistungsverteilung zu vermeiden. Eine gleichmäßige Ausbildung der Randzone wird bei dem genannten Kernreaktor mit Hilfe einer ringartigen Blende erreicht, die in die Kugelschüttung eintaucht und eine scharfe Trennung der Randzone von dem übrigen Kern bewirkt. Die Blende ist an einem den Reaktorkern nach oben abschließenden Deckel befestigt, der die Aufgabe hat, das Abheben der Brennstoffkugeln zu unterbinden (das Kühlgas strömt bei diesem Kernreaktor von unten nach oben durch die Schüttung der Brennstoffkugeln). Der Einbau dieser Blende in die Schüttung wirkt sich jedoch sehr nachteilig auf das Kugelfließen aus. Der aktive Teil der Kugelschüttung darf möglichst nicht gestört werden. Auch muß die Blende sehr schmal ausgebildet sein, so daß zu ihrer Herstellung nur metallische Werkstoffe in Frage kommen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung anzugeben, die es gestattet, mit einer geringen Anzahl von Zuführungsrohren eine gleichmäßige Ausbildung der Randzone zu erreichen, ohne daß das Fließen der kugelförmigen Betriebselemente in dem aktiven Kernbereich beeinträchtigt wird.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß zur Bildung der Randzone an der Unterkante des Deckenreflektors eine ringförmige, bis an die Oberfläche der Schüttung reichende Schüttungs-Trennung derart angebracht ist, daß zwischen dem festen Reflektormantel und der Schüttungs-Trennung ein ringartiger Spalt gebildet wird, in den die Graphitelemente der Randzone eingegeben werden und der sich bis in den Deckenreflektor hinein fortsetzt, und daß die mittlere Oberfläche der Randzone über der mittleren Oberfläche der Schüttung der Betriebselemente, vorzugsweise innerhalb des in dem Deckenreflektor befindlichen Teiles des ringartigen Spaltes, liegt.

Da die Oberfläche der Schüttung der Betriebselemente nur bis an das untere Ende der Schüttungs-Trennung reicht, kann der aktive Teil des Kugelhaufens nicht durch die Schüttungs-Trennung gestört werden. Diese kann zudem massiver ausgebildet werden. Mit Hilfe der Schüttungs-Trennung ist es möglich, eine rosettenfreie, schmale Randzone aus reinen Graphitkugeln aufzubauen, die von oben durch Zuführungsrohre zugegeben werden. Bei der Beschickung bildet sich unter jedem Zuführungsrohr längs des ringartigen Spaltes ein Schüttkegel aus. Die Anzahl der Zuführungsrohre wird dadurch klein gehalten, daß der ringartige Spalt bis in den Deckenreflektor hinein ausgedehnt ist, so daß sich entsprechend hohe Schüttkegel ausbilden können. Der Abstand zwischen den einzelnen Zuführungsrohren richtet sich danach, wie hoch die Graphitkugeln der Randzone in dem in dem Seitenreflektor befindlichen Spalt gezogen sind. Es muß lediglich gewährleistet sein, daß der tiefste Punkt der Randzonen-Oberfläche nicht unterhalb der Unterkante der Schüttungs-Trennung liegt. Um in der Randzone, die auf diese Weise die Schüttung der Betriebselemente überragt, die Erzeugung von Leistung auszuschließen, sind in der Randzone

nur reine Graphitelemente vorzusehen.

Unter Verwendung nur weniger Zuführungsrohre für die Graphitelemente der Randzone ist es bei einem Kernreaktor mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich, die Randzone schmal zu halten (ca. 25 cm dick) und eine Rosettenbildung zu vermeiden, so daß der Einfluß der Randzone auf die Temperaturverteilung des Kühlgases nur gering bleibt. Das Kaltgasstrahlenproblem ist somit wesentlich herabgesetzt.

Vorzugsweise wird die Schüttungs-Trennung aus Graphit hergestellt; metallische Einbauten würden die Wirkung von Absorberstäben beeinträchtigen, die bei einigen Reaktortypen zur Schnellabschaltung oberhalb der Schüttung der Betriebselemente bewegbar sind. Die Schüttungs-Trennung kann massiv ausgebildet sein, da sie nicht in den Kugelhaufen hineinragt.

Es ist zweckmäßig, in dem über der Randzone befindlichen Teil des ringartigen Spaltes eine Reihe von Kugelfühlern zu installieren, um den Stand der Graphitelemente in der Randzone kontrollieren zu können. Die Kugelfühler können z. B. aus unten verschlossenen, mit Graphitgranulat gefüllten Rohren bestehen, die von oben über ein Seil oder eine Stange aus der Oberfläche der Randzone abgesenkt werden. Aus der erreichten Tiefe läßt sich die Höhe der Kugeloberfläche abmessen und die Beschickung der Randzone einstellen.

Bei einem Kugelhaufenreaktor, der mit Hilfe von direkt in den Kugelhaufen einfahrbaren Absorberstäben abgeschaltet und geregelt wird, bietet eine Randzone aus reinen Graphitelementen neben dem Schutz des Seitenreflektors vor einer zu hohen Dosis schneller Neutronen noch einen weiteren Vorteil. Sie ermöglicht es, daß der äußere Ring der in einem bestimmten Raster angeordneten Absorberstäbe näher an den Seitenreflektor herangebracht werden kann, wodurch sich die Wirksamkeit des Absorberstabensystems erhöhen läßt bzw. die Anzahl der Absorberstäbe bei gleichbleibender Gesamtwirksamkeit reduziert werden kann.

Normalerweise ist wegen der Belastung des Seitenreflektors durch die Einfahrkräfte der Stäbe ein Abstand zwischen den Absorberstäben des äußeren Ringes und dem Seitenreflektor von 50 cm einzuhalten, wenn dieser Ring voll besetzt ist und voll eingefahren werden soll. Durch die Reflektorwirkung einerseits und das höhere  $K_{\infty}$  des äußeren Bereichs des Kugelhaufens andererseits ist der Einfluß der im äußeren Ring angeordneten Absorberstäbe sehr hoch. So finden sich hier die maximal wirksamen Absorberstäbe, die bei Ausfall Abschaltreaktivitätsverluste von 2 bis 5 Nile verursachen würden. Kann der äußere Ring der Absorberstäbe näher an den Seitenreflektor geführt werden, so nimmt einerseits die Gesamtwirkung an Abschaltreaktivität bei gleichbleibender Anzahl von Absorberschäden zu, andererseits verringert sich die Wirksamkeit jedes dieser »maximalen« Stäbe, was eine weitere Steigerung der Effektivität des Absorberstabensystems bewirkt. Bei einer Randzone aus Graphitkugeln von 30 cm Stärke kann das Abschaltstabensystem ohne weiteres auf 20 cm an die Randzone herangebracht werden, wodurch sich die Abschaltwirksamkeit um etwa 20% steigern läßt; gleichzeitig sinkt die Wirksamkeit jedes »maximalen« Stabes auf Werte unter 1 Nile.

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung schematisch dargestellt, und zwar zeigt

Fig. 1 einen Längsschnitt durch einen mit der Vorrichtung ausgestatteten Kernreaktor.

Fig. 2 einen Schnitt nach der Linie A-B der Fig. 1.

Bei dem dargestellten Kernreaktor handelt es sich um eine Anlage von 3000 MW<sub>th</sub> Leistung mit einer Leistungsdichte von 5,5 MW/m<sup>3</sup>. Der Kern dieses Reaktors besteht aus einer Schüttung 1 aus kugelförmigen Betriebselementen 2, die von einem Deckenreflektor 3, einem Bodenreflektor 4 und einem zylindrischen Seitenreflektor umgeben ist. Letzterer umfaßt einen festen Reflektormantel 5 und eine Randzone 6, die aus einer Schüttung von reinen Graphitkugeln 7 besteht. Die Randzone 6 befindet sich zwischen der Schüttung 1 und dem festen Reflektormantel 5. Sie hat die Aufgabe, den Reflektormantel 5 vor einer zu hohen Strahlendosis zu schützen.

Die Schüttung 1, also der aktive Kern des Reaktors, setzt sich aus einer inneren und einer diese umgebenden ringartigen äußeren Zone zusammen, die sich hinsichtlich ihres Brennstoffgehaltes unterscheiden. Die kugelförmigen Betriebselemente 2 werden der inneren und der äußeren Kernzone durch 46 Zuführungsrohre 8 zugegeben; die Zuführungsrohre 8a dienen der Beschickung der inneren Zone, und die Zuführungsrohre 8b sind für die äußere Zone vorgesehen. Am Boden der Schüttung 1 ist im Bodenreflektor 4 ein Abzugsrohr 9 installiert, durch das sowohl die kugelförmigen Betriebselemente 2 als auch die Graphitkugeln 7 der Randzone 6 aus dem Reaktorkern abgezogen werden.

Um die Randzone 6 schmal ausbilden zu können (bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ca. 25 cm dick), ist an der Unterkante 10 des Deckenreflektors 3 eine ringförmige Schüttungs-Trennung 11 aus massivem Graphit angebracht, die bis zu der Oberfläche 12 der Schüttung 1 reicht. Zusammen mit dem festen Reflektormantel 5 begrenzt die Schüttungs-Trennung 11 einen ringartigen Spalt 13, der sich bis in den Deckenreflektor 3 hinein erstreckt. In diesen Spalt münden von oben neun Zuführungsrohre 14, durch die die Randzone 6 mit den Graphitkugeln 7 beschickt wird.

Mit Hilfe einer Anzahl von Kugelfühlern 15, die oben in dem ringartigen Spalt 13 installiert sind, läßt sich der Stand der Graphitkugeln 7 in der Randzone 6 kontrollieren. Die Beschickung der Randzone 6 wird so eingestellt, daß sich die Graphitkugeln 7 bis in den im Deckenreflektor 3 befindlichen Teil des ringartigen Spaltes 13 hineinziehen, so daß die mittlere Oberfläche der Randzone 6 über der mittleren Oberfläche der Schüttung 1 liegt. Auf diese Weise wird eine rosettenartige Ausbildung der Randzone 6 verhindert, obwohl zur Beschickung der Randzone 6 nur neun Zuführungsrohre eingesetzt werden.

Die Schüttung 1 wird von oben nach unten von Kühlgas durchströmt, wie durch Pfeile angedeutet ist (die Zu- und Abführung des Kühlgases ist nicht weiter dargestellt).

---

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

55

60

65

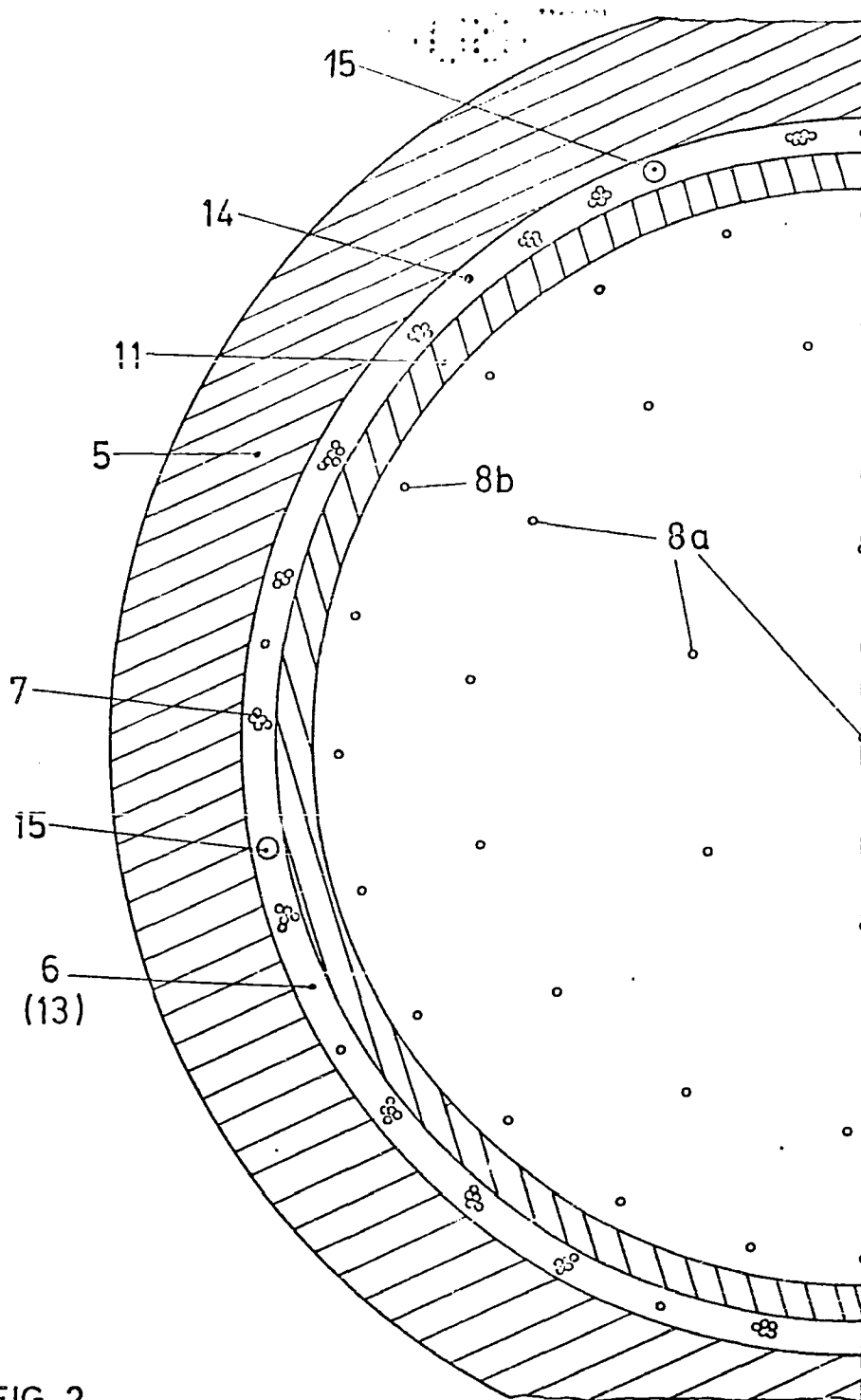


FIG. 2