

⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑪ DE 3101540 C2

⑮ Int. Cl. 3:
G 21 C 19/06
G 21 C 19/08
G 21 F 9/34

⑰ Aktenzeichen: P 31 01 540.9-33
⑱ Anmeldetag: 20. 1. 81
⑲ Offenlegungstag: 5. 8. 82
⑳ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 14. 2. 85

DE 3101540 C 2

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

⑦③ Patentinhaber:

Nukem GmbH, 6450 Hanau, DE

⑦② Erfinder:

Schönfeld, Reinhard, Dipl.-Ing., 6467 Hasselroth, DE;
Jeschar, Rudolf, Prof. Dr.; Tenhumberg, Michael,
Dipl.-Ing., 3380 Goslar, DE

⑤⑥ Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene
Druckschriften nach § 44 PatG:

DE-OS 29 13 540
DE-OS 29 06 629
DE-OS 28 37 839
DE-OS 27 30 729

DE-Z.: »Atom und Strom«, Bd. 26, 1980, S. 97-106;
DE-Z.: »Atomkernenergie/Kerntechnik«, Bd. 35, 1980,
S. 111-122;
US-Z.: »Nuclear Technology«, Bd. 24, Dez. 1974;

⑤④ Vorrichtung zur Lagerung wärmefreisetzender Radionuklidkonfigurationen

DE 3101540 C 2

Diese Patentschrift ersetzt die nach unbeschränkter Aufrechterhaltung
des Patents geänderte Patentschrift vom 14. 02. 1985

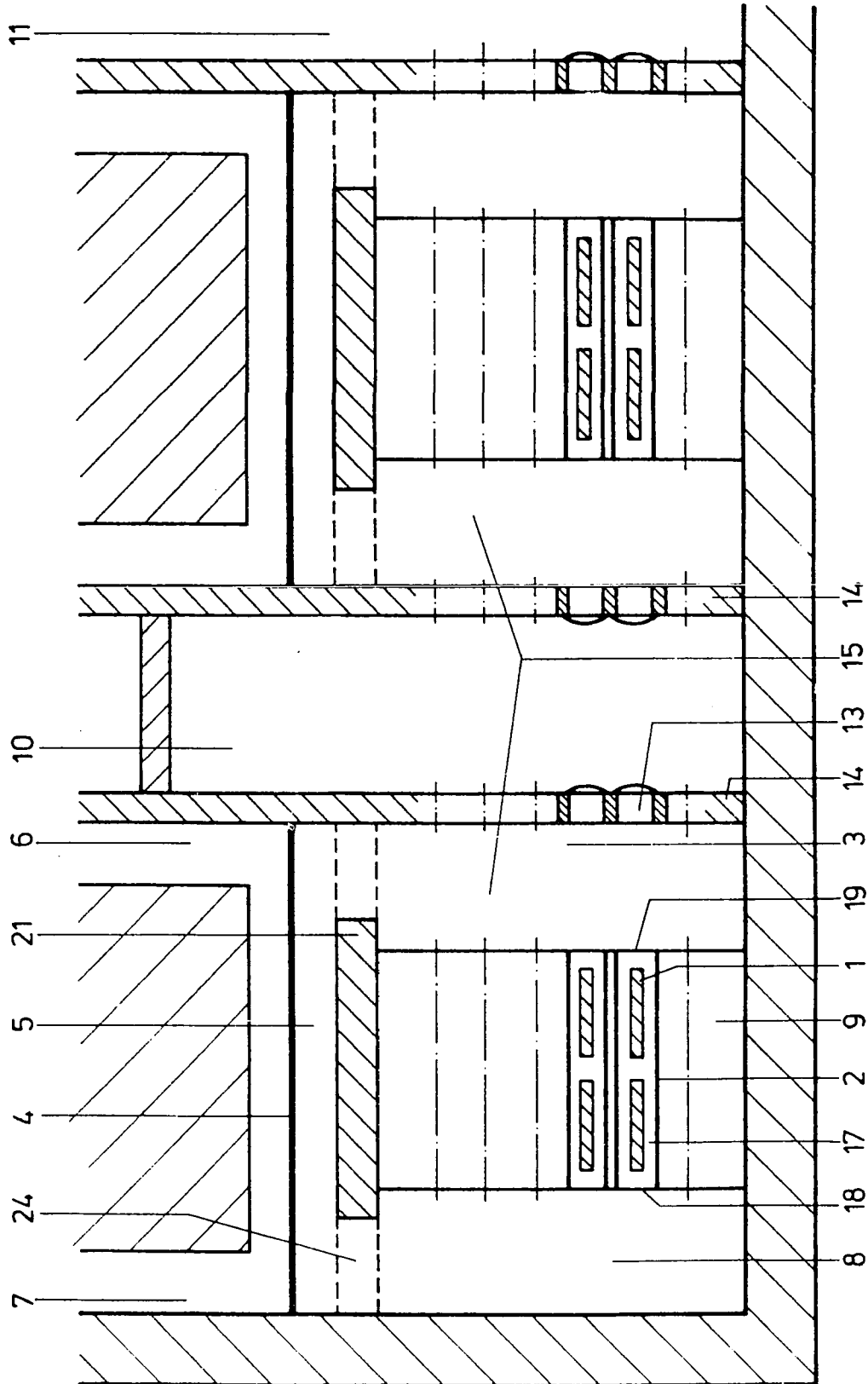


Abb. I

Beschreibung

Gegenstand der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Lagerung wärmefreisetzender Radionuklidkonfigurationen mit einem Gebäude mit darin befindlichen, mit Decken versehenen geschlossenen Lagerzellen, die ein- oder beidseitig eines Beschickungsganges angeordnet sind, die Lagergestelle mit waagrecht oder schräg angeordneten Lagerschächten als Lagerpositionen für die Radionuklidkonfigurationen enthalten und in denen die Radionuklidkonfigurationen durch einen aufgrund natürlicher Konvektion innerhalb der Lagerzellen gebildeten inneren Kühlluftumlauf gekühlt werden, indem die Kühlluft entlang der Radionuklidkonfigurationen strömt, an Wärmetauschern abkühlt und in einem Abtriebskamin zwischen den Wänden der Lagerzellen und den Lagergestellen zu den Einlaßöffnungen der Lagerschächte zurückströmt, und mit einem äußeren Kühlluftumlauf zur Abkühlung der Wärmetauscher.

Eine derartige Vorrichtung ist aus der Zeitschrift »Atom und Strom«, Jahrgang 26 (1980), Heft 4, Seiten 97 bis 106 bekannt.

Radioaktive Stoffe und Radionuklidkonfigurationen, wie z. B. abgebrannte Kernbrennelemente oder verglaster hochradioaktiver Abfall, erzeugen beim Zerfall Wärme, so daß bei ihrer Lagerung eine ständige Kühlung erforderlich ist. Dies setzt voraus, daß das stete Vorhandensein eines Kühlmediums sichergestellt ist und daß keine unzulässigen Aktivitätsmengen mit dem Kühlmedium abgeleitet werden. Diese Forderungen werden beispielsweise durch ein mit Umgebungsluft direkt oder indirekt gekühltes Lager erfüllt.

Für die trockene Zwischenlagerung von wärmefreisetzenden Radionuklidkonfigurationen sind verschiedene Konzeptionen bekannt.

So ist aus der DE-OS 27 30 729 bekannt, die Behälter mit dem radioaktiven Abfall in senkrechten, axial von unten nach oben mit Luft durchströmten Schächten, einzeln oder mehrfach übereinander gestapelt, zu lagern. In der DE-OS 29 06 629 erfolgt die Lagerung in horizontalen, von außen in vertikaler Richtung querangeströmten Schächten, wobei die Behälter einzeln oder mehrfach hintereinander angeordnet sind. In beiden Fällen kann sowohl mit direktem, als auch mit indirektem Kühlsystem gearbeitet werden.

Die DE-OS 28 37 839 beschreibt die Lagerung von Behältern in horizontalen Lagerblöcken mit seitlich angeordneten, in vertikaler Richtung querangeströmten Kühlkörpern. Auch die Lagerung in vertikalen Lagerbehältern mit stirnseitigem Abschirmdeckel, der gleichzeitig als Kühlkörper dient, ist bekannt (Nuclear Technology, Vol. 24, Dez. 1974).

Der Hauptnachteil der in DE-OS 27 30 729 beschriebenen Lagerung besteht in der Kühlung mit seitlich angeordneten Wärmetauschern (Wände) und der dazu erforderlichen Strömungsführung. Die dort aus den vertikal angeordneten Schächten mit maximaler Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit austretende Zellenluft prallt auf die ebene Decke und wird dann horizontal zu den seitlichen Wärmetauschern geführt. Durch eine Prallströmung auf die ebene Decke wird Strömungsenergie vernichtet. Desweiteren wird die horizontale Strömung zu den Wärmetauschern durch das äußere Kraftfeld (Gravitation) nicht begünstigt, da die erwärmte Luft bestrebt ist, nach oben aufzusteigen.

Ein weiterer Nachteil des in der DE-OS 27 30 729 angeführten Konzeptes besteht darin, daß eine eindeu-

tige Zuordnung der aus dem Lagergestellbereich abzuführenden Wärme zu einem der beiden Wärmetauscher nicht möglich ist.

Der Hauptnachteil der in der DE-OS 28 37 839 und in »Nuclear Technology« beschriebenen Vorrichtung besteht darin, daß für den Wärmefluß aus den Lagerbehältern an den Kühlkörper steile Temperaturgradienten erforderlich sind, die zu thermischen Belastungen des Lagergutes führen können. Besonders nachteilig bei der Lagerkonzeption nach der DE-OS 28 37 839 ist, daß der Kühlkörper aus einem massiven, gut wärmeleitenden Stoff besteht, in der Regel aus Metall, wodurch sich sehr hohen Kosten ergeben. Außerdem müssen durch das große Gewicht der Lagerblöcke mit Kühlkörper besondere bautechnische Anforderungen an die Lagergestelle gerichtet werden.

Bei der in der DE-OS 29 06 629 beschriebenen Vorrichtung ist auch der Umstand nachteilig, daß die Umgebungsluft dem Strahlenfeld der radioaktiven Stoffe ohne größere Abschirmungsmaßnahmen ausgesetzt ist.

Bei der gattungsgemäßen Vorrichtung sind die Brennelemente in Stahlbüchsen horizontal übereinander in Lagergestellen gelagert und werden durch vorbeiströmende Luft in Naturkonvektion gekühlt. Die Wärmeabfuhr erfolgt mittels Wärmerohren durch die Gebäudeaußenwand zu einem zweiten Kühlkreislauf. Hierbei erfolgt die Wärmeabfuhr aber seitlich über die Gebäudewand, so daß keine optimale Strömungsführung und Wärmeabfuhr gegeben ist. Außerdem gibt es keine praktischen Erfahrungen über das Verhalten von Wärmerohren im Strahlenfeld.

Bei allen bisher bekannten Vorrichtungen zur Zwischenlagerung wärmeerzeugender Radionuklidkonfigurationen mit indirekter Kühlung infolge freier Konvektionsströmung haben sich also wesentliche Nachteile vor allem hinsichtlich einer optimalen Strömungsführung und damit auch einer optimalen Wärmeabfuhr ergeben.

Es war daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung gemäß Oberbegriff von Anspruch 1 zu schaffen, mit der eine optimale und sichere Wärmeabfuhr gewährleistet sein sollte.

Diese Aufgabe wurde durch die im kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich durch die Maßnahmen der Unteransprüche.

Dabei kann es vorteilhaft sein, für jedes Lagergestell jeweils einen separaten Auftriebs- und Abtriebskamin anzuordnen, oder den Beschickungsgang als gemeinsamen Auftriebs- oder Abtriebskamin für zwei Lagergestelle auszugestalten.

Weiterhin ist es vorteilhaft, die Lagerzellendecke in Richtung des Abtriebskamines zu neigen, wobei sich Winkel von $\leq 15^\circ$ als günstig erwiesen haben.

Durch die Anordnung eines separaten Auftriebskamins, über den die erwärmte Luft der als Wärmetauscher gestalteten Decke der Lagerzelle zugeführt wird, und eines separaten Abtriebskamins wird eine eindeutige Funktionstrennung von Auftriebskamin für das erwärmte Kühlmittel und Abtriebskamin für das an der Decke abgekühlte Kühlmittel erzielt. Sowohl Auftriebskamin als auch Abtriebskamin sind in Richtung des Erdschwerfeldes, d. h. senkrecht ausgerichtet, was besonders günstig im Hinblick auf die Größe der Druckverluste ist und was damit das Temperaturniveau im Lager günstig beeinflusst.

Den Wärmetauscher dort anzuordnen, wo die höchste Lufttemperatur innerhalb des Kühlkreislaufes auf-

tritt, nämlich oberhalb der Lagergestelle, erweist sich aus thermodynamischer Sicht als besonders günstig, da dadurch der thermodynamische Wirkungsgrad des Wärmetauschers am größten ist.

Um die Umgebungsluft beim Durchströmen des Wärmetauschers (Decke) vor dem Einwirken von Direktstrahlung seitens des Lagergutes noch besser zu schützen, können vorteilhafterweise Einbauten unterhalb und seitlich der Decke zur Abschirmung der Strahlung angeordnet werden. Auftriebs- und Abtriebskamin sind dabei konstruktiv so gestaltet, daß Streustrahlungseffekte vermieden werden.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachstehend anhand der schematischen A b b. I bis VI näher erläutert.

Die Vorrichtung besteht aus einer oder mehreren Lagerzellen (15), normalerweise getrennt durch Beschickungsgänge (10), die in einem Gebäude untergebracht sind. In diesen Lagerzellen (15) befinden sich Lagergestelle (9) mit Lagerschächten (2). Mit Lagergut gefüllte Lagerbehälter (1) werden in die leicht geneigten Lagerschächte (2) eingebracht und gegebenenfalls durch diese kontinuierlich hindurchgeschoben. Zur Zentrierung der Lagerbehälter (1) im Lagerschacht (2) dienen normalerweise Abstandshalter (12), die gleichzeitig als Berippung der Behälteroberfläche wirken können. Lagerbehälter (1) und Lagerschächte (2) bilden dabei einen freien Strömungsraum (17) aus, der von der Kühlluft in axialer Richtung durchströmt werden kann. Bei kreisförmigen Lagerbehältern (1) und kreisförmigen Lagerschächten (2) ergibt sich als freier Strömungsquerschnitt ein Ringspalt. Andere geeignete Schachtquerschnitte, z. B. für rechteckige Lagerbehälter, sind möglich. Die Anordnung der Lagerschächte (2) in den Lagergestellen (9) ist beliebig, vornehmlich jedoch horizontal und quadratisch oder hexagonal (A b b. II). Die Kühlluft erwärmt sich auf ihrem Weg durch die freien Strömungsräume (17) entlang der beheizten Lagerbehälter und Lagerschachtoberflächen. Die innenseitige Schachtoberfläche wird dabei sekundär durch Wärmetransport infolge Wärmestrahlung von den Lagerbehälteroberflächen beheizt. Die erwärmte Kühlluft strömt aus dem Lagerschacht (2) in einen senkrechten Auftriebskamin (3) und steigt dort auf.

Bei der Vorrichtung handelt es sich um ein indirekt gekühltes Lager, bei dem die erwärmte Kühlluft zu der leicht in Strömungsrichtung geneigten, als Kühlfläche ausgebildeten Decke (4) geführt wird, entlang der sie sich bis auf die Lagerschachteintrittstemperatur abkühlt. Nach Austritt aus einem längs der Decke (4) angeordneten und von der Decke (4) und das Lagergestell (9) bzw. von Einbauten (21) gebildeten Kühlkanal (5) gelangt die Kühlluft über einen Abtriebskamin (8) wieder zu den Lagerschächten (2). Die Umgebungsluft, die als äußere Kühlluft für die Kühlfläche über die Decke (4) streicht, gelangt über einen Zuluftkanal (7) an die Decke (4), wo sie erwärmt wird. Die so erwärmte Umgebungsluft wird über einen Abluftkanal (6) an die Umgebung zurückgeführt.

Auftriebskamin (3) und Abtriebskamin (8) sind dabei durch Beladeöffnungen (13) enthaltende Begrenzungswände (14) vom Beschickungsgang (10) und gegebenenfalls von einem Entnahmegang (11) abgetrennt.

Wird auf einen kontinuierlichen Lagerbetrieb verzichtet, so entfallen der Entnahmegang (11) und damit die Beladeöffnungen an dieser Begrenzungswand.

Daneben ist es auch möglich, die örtliche Trennung zwischen Auftriebskamin (3) bzw. Abtriebskamin (8)

und Beschickungsgang (10) aufzuheben und den Beschickungsgang direkt als Auftriebskamin (3) bzw. Abtriebskamin auszubilden (A b b. V). In diesem Fall entfallen auch hier die Begrenzungswände (14) mit den Beladeöffnungen (13).

Durch die Neigung der Decke (4) und der Lagerschächte (2), wird für eine eindeutige Richtung der Umluftströmung gesorgt.

Die Vorgabe einer eindeutigen Richtung der Umluftströmung kann auch erreicht werden, wenn die Ausgestaltung der einzelnen Lagerschächte (2) im Lagergestell (9) und des Kühlkanals (5) so erfolgt, daß die Strömungswiderstände für beide Durchströmungsrichtungen unterschiedlich groß sind. Der Strömungswiderstand in der gewünschten Strömungsrichtung muß dabei kleiner sein als derjenige für die entgegengesetzte Richtung. Das erreicht man durch entsprechend geformte Einbauten (20) an den Lagerschachtöffnungen (18, 19).

Die Strömungsrichtung im äußeren Kühlkreislauf kann durch unterschiedliche Höhen des Zuluftkanals (7) und Abluftkanals (6) am Gebäude ebenfalls gewählt werden.

Ein Deckenneigungswinkel von $\leq 15^\circ$ hat sich als vorteilhaft erwiesen. Er ist auch aus bautechnischen Gründen anzustreben, um die Gebäudehöhe nicht höher als notwendig werden zu lassen.

Die Ausstattung der als Wärmetauscher ausgestalteten Decke (4) mit Kühlrippen (22) erweist sich aus thermodynamischen Gesichtspunkten als empfehlenswert. Durch die Vergrößerung der wärmeübertragenden Fläche wird das Temperaturniveau im Lager gesenkt und außerdem wird bei bestimmter Kühlleistung der Raumbedarf für die Decke (4) verkleinert.

Die Abschirmung der Decke (4) durch die Einbauten (21) (z. B. eine eingezogene dicke Betondecke) verhindert eine Direktbestrahlung der im äußeren Kühlkreislauf geführten Umgebungsluft. Staubaktivierung und Bestrahlung anderer Substanzen, die mit der Umgebung in den Wärmetauscher gelangen, wird somit auf minimale Werte begrenzt.

Für die Einbauten (21) werden Materialien verwendet, die vor allem eine Schwächung der Strahlendosis bewirken. Geeignete Materialien sind z. B. Beton, Eisen oder Blei. Die strahlenabschirmenden Einbauten (21) sind beispielsweise als abgehängte Betondecken ausgeführt. Diese Decke (21) kann direkt über dem Lagergestell (9) angeordnet werden. Sie hat im Bereich der Auf- (3) bzw. Abtriebskamine (8) Öffnungen (24), die ein Ein- bzw. Ausströmen der Kühlluft in bzw. aus dem Kühlkanal (5) ermöglichen.

Auftriebs- (3) bzw. Abtriebskamine (8) sind konstruktiv so gestaltet, daß Streustrahlungseffekte vermieden werden, d. h. eine ungehinderte Einstrahlung vom radioaktiven Material in die Auf- (3) bzw. Abtriebskamine (8) und Strahlungsfortpflanzung durch Streuungen an den Begrenzungswänden wird verhindert.

Die Decke (4) aus einem metallischen Werkstoff (z. B. Stahl) herzustellen, erweist sich deshalb als besonders günstig, da Metalle in der Regel sehr gute wärmeleitende Eigenschaften besitzen und damit der Wärmedurchgangswiderstand zwischen innerem und äußerem Kühlkreislauf minimiert wird. Aus dem gleichen Grunde ist es empfehlenswert, die Oberfläche der metallischen Decke (4) einer den Wärmetransport durch Strahlung begünstigenden Behandlung (z. B. Eloxieren, schwarzer Anstrich) zu unterziehen.

Ein Korrosionsschutz (z. B. Verzinken, Eloxieren) bie-

tet die Gewähr, daß die Decke (4) auch über einen längeren Zeitraum den gestellten Anforderungen entspricht.

Die verschließbaren Beladeöffnungen (13) in den Begrenzungswänden (14) erweisen sich deshalb als besonders günstig, da durch sie eine örtliche Trennung zwischen Lagerzelle (15), Beschickungsgang (10) und Entnahmegang (11) möglich ist, was im Hinblick auf eventuelle Interventionsmaßnahmen von großem Vorteil ist.

Querströmungsbehindernde Einbauten (16) innerhalb der Lagergestelle (9) können vorteilhafterweise das Ausbilden eines Wärmestaus am höchsten Punkt des Lagergestells und somit auch die Möglichkeit lokaler heißer Stellen verhindern.

Durch die Aufheizung der Wände der Lagerschächte (2) infolge des Wärmetransports durch Strahlung von der Oberfläche der Lagerbehälter wird die Luft in den Zwischenräumen der Lagergestelle (9) erwärmt und steigt nach oben, wo sie sich im oberen Bereich der Lagergestelle (9) sammelt, womit dort die Möglichkeit eines Wärmestaus besteht.

Um dies zu vermeiden, sind als Einbauten (16) quer angeordnete Bleche in den Zwischenräumen der Lagergestelle (9) angebracht, um die Luft am Aufwärtsströmen zu hindern.

Selbstverständlich läßt sich die erfindungsgemäße Vorrichtung auch mit mehreren hintereinander geschalteten Wärmetauschern als mehrstufiges Wärmetauschersystem ausführen (A b b. VI), wobei die Decke (4) mehrstufig ausgeführt ist.

Dies bedeutet, daß die in der Lagerzelle (15) erzeugte Wärme an der Lagerzellendecke (4) nicht direkt an die Umgebungsluft abgegeben wird, sondern an einen weiteren geschlossenen Kreislauf (23), der dann die Wärme an die Umgebungsluft abgibt.

Patentansprüche:

1. Vorrichtung zur Lagerung wärmefreisetzender Radionuklidkonfigurationen

- mit einem Gebäude mit darin befindlichen, mit Decken versehenen geschlossenen Lagerzellen, die ein- oder beidseitig eines Beschickungsganges angeordnet sind, die Lagergestelle mit waagrecht oder schräg angeordneten Lagerschächten als Lagerpositionen für die Radionuklidkonfigurationen enthalten und in denen die Radionuklidkonfigurationen durch einen aufgrund natürlicher Konvektion innerhalb der Lagerzellen gebildeten inneren Kühlluftumlauf gekühlt werden, indem die Kühlluft entlang der Radionuklidkonfigurationen strömt, an Wärmetauschern abkühlt und in einem Abtriebskamin zwischen den Wänden der Lagerzellen und den Lagergestellen zu den Einlaßöffnungen der Lagerschächte zurückströmt, und
- mit einem äußeren Kühlluftumlauf zur Abkühlung der Wärmetauscher,

dadurch gekennzeichnet,

- daß die Lagerschächte (2) in axialer Richtung von der Kühlluft durchströmt werden,
- daß die Decken (4) der Lagerzellen (15) als Wärmetauscher ausgebildet sind und

- daß innerhalb der Lagerzellen (15) an den Öffnungen (18, 19) der Lagerschächte senkrecht stehende, räumlich und funktionell getrennte Auftriebs- (3) und die Abtriebskamine (8) angeordnet sind, wobei zur Erzwingung einer gerichteten Konvektionsströmung innerhalb der Lagerzellen (15) die Decke (4) oder die Lagerschächte (2) in Richtung des Abtriebskamins (8) geneigt oder die Lagerschächte (2) mit einer Richtung bevorzugenden strömungshindernden Einbauten (20) versehen sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Auftriebs- (3) und Abtriebskamine (8) im Bereich der Lagergestelle (9) gegen diese offen und gegen den Beschickungsgang (10) mit verschließbaren Beladeöffnungen (13) versehen sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Beschickungsgang (10) als Auftriebs- (3) oder Abtriebskamin (8) ausgestaltet ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß für jedes Lagergestell (9) ein Auftriebs- (3) und ein Abtriebskamin (8) vorhanden ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Neigungswinkel der Decke (4) $\leq 15^\circ$ beträgt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Decke (4) der Lagerzellen (15) mit Kühlrippen (22) versehen ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Decke (4) mit strahlungsabschirmenden Einbauten (21) innerhalb der Lagerzellen (15) versehen ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Decke (4) aus einem metallischen Werkstoff besteht.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der metallischen Decke (4) einer korrosionshemmenden und/oder einer die Wärmeabgabe durch Strahlung begünstigenden Behandlung unterzogen ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Decke (4) der Lagerzellen (15) mehrstufig ausgeführt ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der freie Raum zwischen den übereinander angeordneten Lagerschächten (2) querströmungsbehindernde Einbauten (16) enthält.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

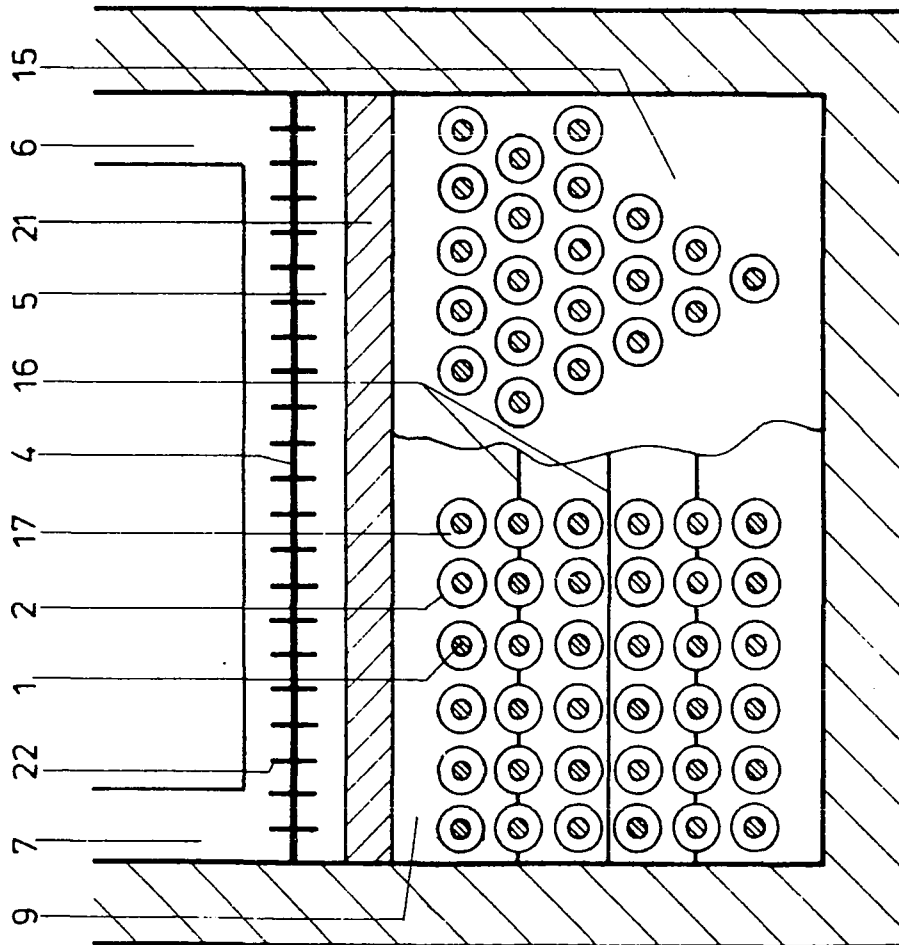


Abb.II

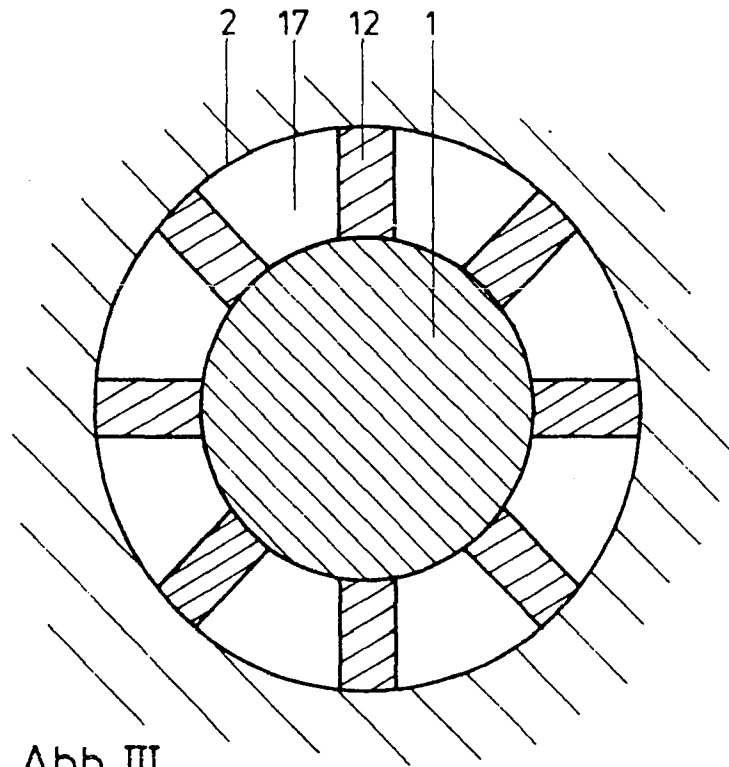


Abb. III

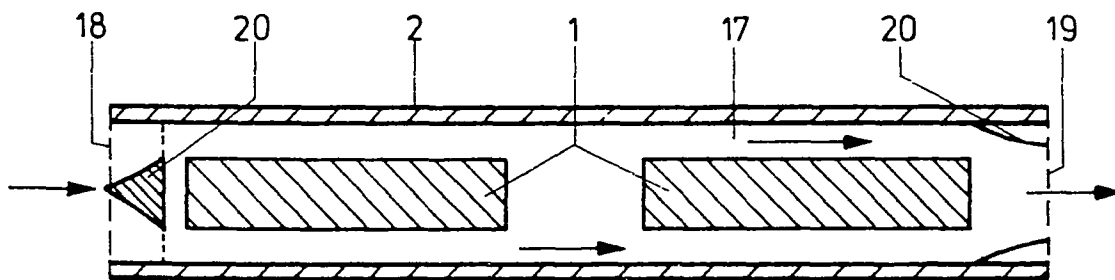


Abb. IV

Abb. III u. IV

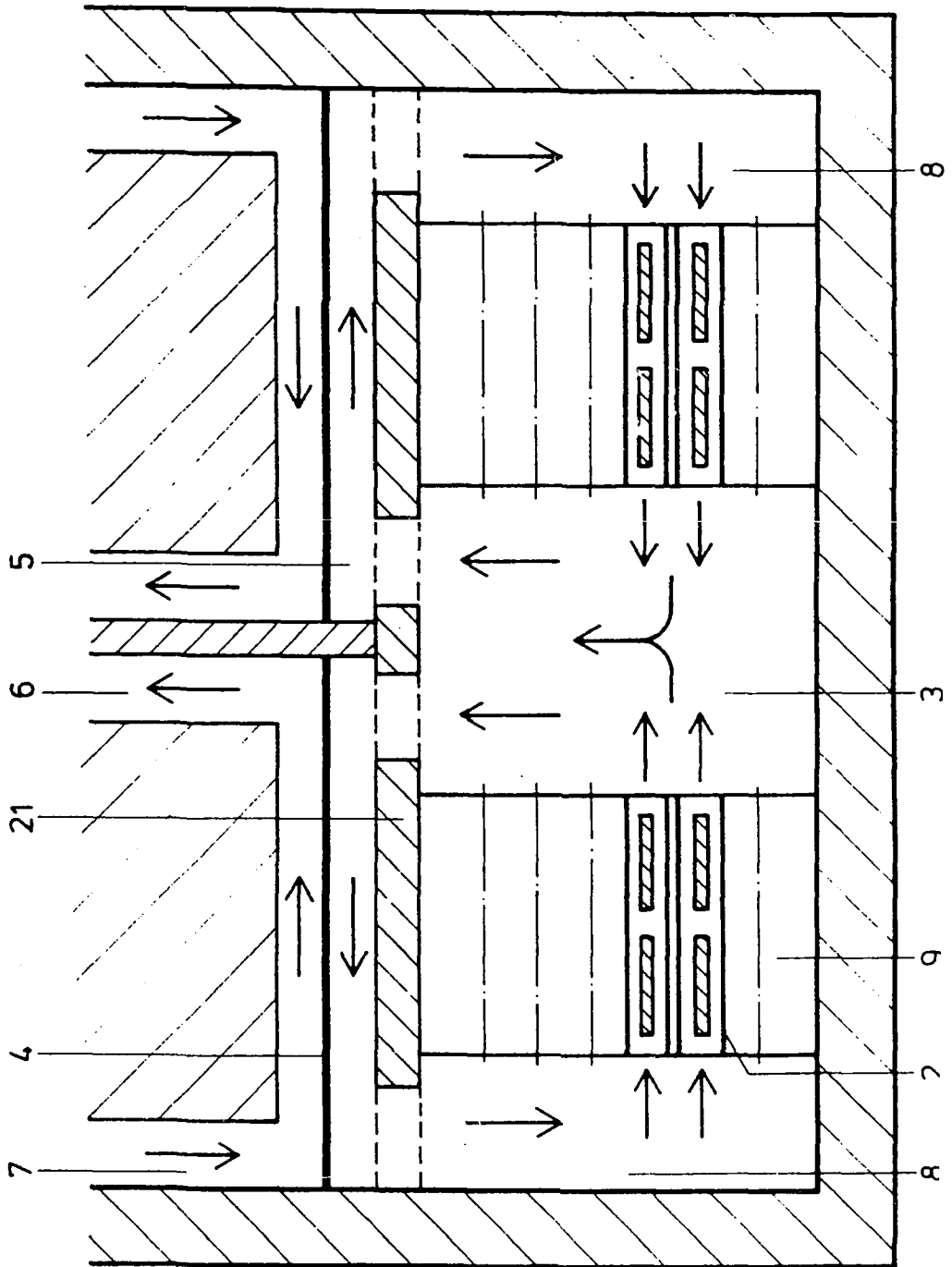


Abb.1

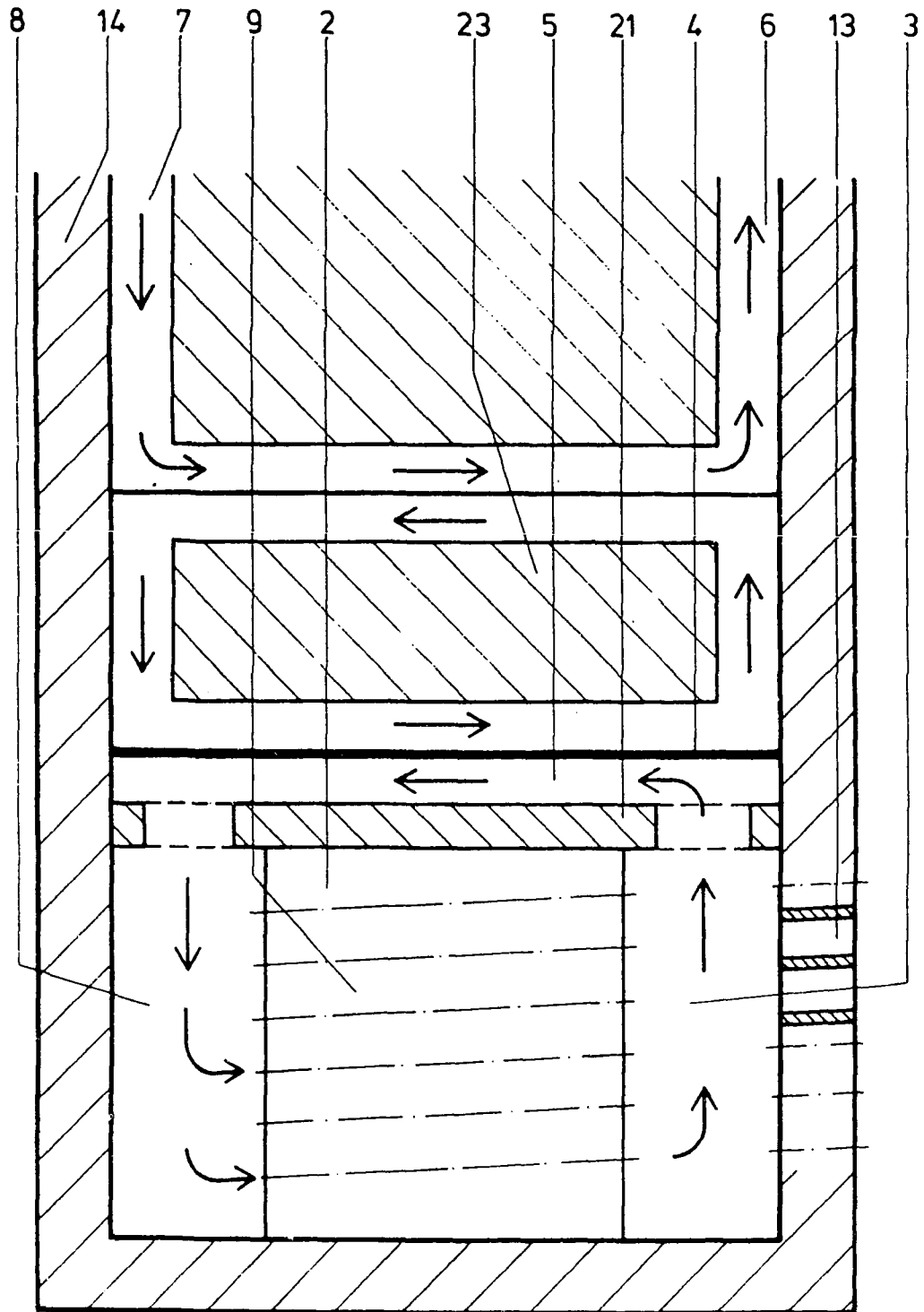


Abb.VI