

⑲ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑪ DE 3047961 C2

⑤① Int. Cl. 3:
G21 C 7/08

⑳ Aktenzeichen: P 30 47 961.9-33
㉑ Anmeldetag: 19. 12. 80
㉒ Offenlegungstag: 1. 7. 82
㉓ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 10. 1. 85

DE 3047961 C2

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

⑦③ Patentinhaber:

Hochtemperatur-Reaktorbau GmbH, 4600 Dortmund,
DE

⑦⑦ Erfinder:

Presser, Wolfgang, Dr., 6830 Schwetzingen, DE;
Charzewski von, Cornelia, Dr., 6803
Edingen-Neckarhausen, DE

⑤⑤ Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene
Druckschriften nach § 44 PatG:

CH 5 08 966
US 41 48 685

⑤④ Verfahren zum Regeln und Abschalten eines gasgekühlten Hochtemperaturreaktors mit einer Schüttung
kugelförmiger Brennelemente

DE 3047961 C2

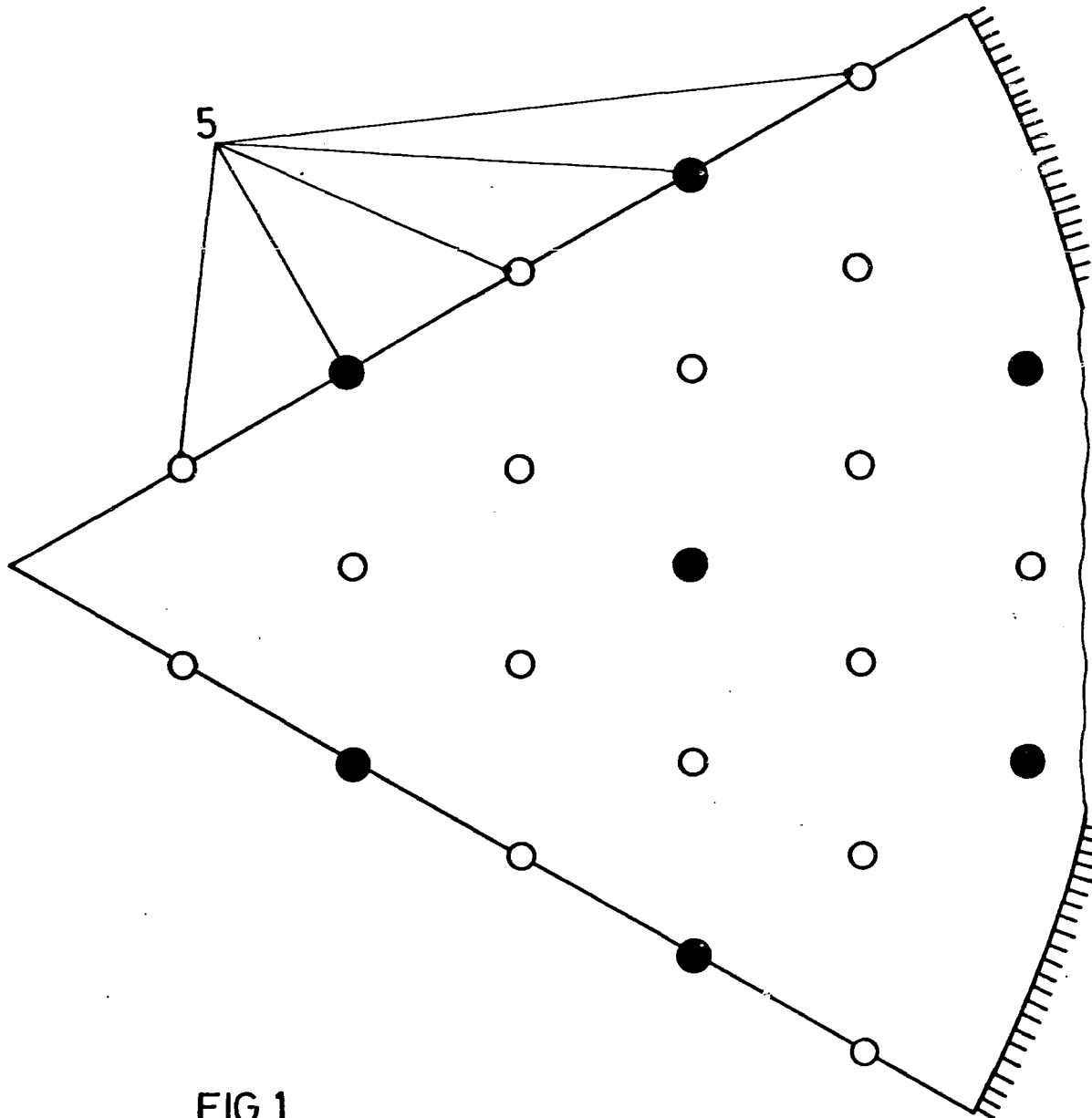


FIG. 1

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Regeln und Abschalten eines gasgekühlten Hochtemperaturreaktors mit einer Schüttung kugelförmiger Brennelemente, die von oben nach unten von Kühlgas durchströmt wird und deren Brennelemente nach einmaligem Durchlaufen der Schüttung den gewünschten Endabbrand erreicht haben, mit einem die Schüttung umgebenden Decken-, Boden- und Seitenreflektor, wobei zwischen dem Deckenreflektor und der Oberfläche der Schüttung ein Hohlraum vorgesehen ist, und mit einer Vielzahl von aus dem Deckenreflektor bis zu einer vorbestimmten Tiefe in den von den Reflektoren umschlossenen Raum einfahrbaren Absorberstäben, die zum Regeln der Leistung, vorübergehenden Schnellabschalten und Langzeitabschalten des Hochtemperaturreaktors dienen, wobei für das Regeln der Leistung des Hochtemperaturreaktors jeweils eine aus gleichgestalteten Absorberstäben bestehende Teilmenge der Absorberstäbe in den Hohlraum eingefahren wird, während die übrigen Absorberstäbe in ihrer oberen Endstellung in dem Deckenreflektor gehalten werden, dadurch gekennzeichnet, daß je nach der aufgenommenen Bestrahlungsdosis die für das Regeln der Leistung eingesetzten Absorberstäbe (5) gegen gleichgestaltete, in der Endstellung (6) befindliche Absorberstäbe (5) ausgetauscht werden, daß für das vorübergehende Schnellabschalten die für das Regeln der Leistung eingesetzten Absorberstäbe (5) auf gleiche vorgegebene Tiefe in die Brennelementenschüttung (1) eingefahren werden und daß zum Langzeitabschalten sämtliche Absorberstäbe (5) in die Brennelementenschüttung (1) eingebracht werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilmenge 25 bis 50% aller Absorberstäbe (5) ausmacht.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln und Abschalten eines gasgekühlten Hochtemperaturreaktors mit einer Schüttung kugelförmiger Brennelemente, die von oben nach unten von Kühlgas durchströmt wird und deren Brennelemente nach einmaligem Durchlaufen der Schüttung den gewünschten Endabbrand erreicht haben, mit einem die Schüttung umgebenden Decken-, Boden- und Seitenreflektor, wobei zwischen dem Deckenreflektor und der Oberfläche der Schüttung ein Hohlraum vorgesehen ist, und mit einer Vielzahl von aus dem Deckenreflektor bis zu einer vorbestimmten Tiefe in den von den Reflektoren umschlossenen Raum einfahrbaren Absorberstäben, die zum Regeln der Leistung, vorübergehenden Schnellabschalten und Langzeitabschalten des Hochtemperaturreaktors dienen, wobei für das Regeln der Leistung des Hochtemperaturreaktors jeweils eine aus gleichgestalteten Absorberstäben bestehende Teilmenge der Absorberstäbe in den Hohlraum eingefahren wird, während die übrigen Absorberstäbe in ihrer oberen Endstellung in dem Deckenreflektor gehalten werden. Ein derartiges Verfahren ist aus der US-PS 41 48 685 bekannt.

Als vorübergehendes Schnellabschalten des Reaktors wird die Maßnahme bezeichnet, bei der durch schnelles Herabsetzen der Reaktivität der Reaktor unterkritisch

gemacht und für einen kurzen Zeitraum (ca. 30 Minuten) in diesem Zustand gehalten wird.

Der in der US-PS 41 48 685 beschriebene Hochtemperaturreaktor mit einer Schüttung kugelförmiger Brennelemente, die den Reaktorkern nur einmal durchlaufen, verfügt über ein Regelsystem und zwei voneinander unabhängige Abschaltssysteme. Das erste Abschaltssystem dient dem Langzeitabschalten und besteht aus Absorberstäben, die in die Schüttung eingebracht werden. Das zweite Abschaltssystem, mit dem das vorübergehende Schnellabschalten des Reaktors erfolgt, wird aus Absorberstäben gebildet, die im Deckenreflektor und in dem Hohlraum zwischen Deckenreflektor und Brennelementeschüttung bewegt werden. Die Absorberstäbe dieses Systems haben eine andere Querschnittsform und bestehen aus anderem Material als die Absorberstäbe des ersten Abschaltsystems. Beide Systeme sind zudem mit verschiedenen Antrieben ausgerüstet. Das Regelsystem umfaßt in Bohrungen des Seitenreflektors einfahrbare Absorberstäbe (Reflektorstäbe genannt). Weiterhin können einige ausgewählte Absorberstäbe des zweiten Abschaltsystems zusätzlich auch Regelaufgaben übernehmen, falls die Wirksamkeit der Reflektorstäbe allein nicht ausreicht. Für diese Regelaufgaben (Leistungsregelung) wird eine ausgewählte Teilmenge der Absorberstäbe des zweiten Abschaltsystems in den Hohlraum eingefahren, während die übrigen Stäbe dieses Systems sowie die Absorberstäbe des ersten Abschaltsystems in ihrer oberen Endstellung in dem Deckenreflektor bleiben. Die bei der Regelung zum Einsatz kommenden Absorberstäbe des zweiten Abschaltsystems können nicht aus beliebigen Positionen des Stabträgers ausgewählt werden, da die für eine Schnellabschaltung erforderliche Abschaltreaktivität in jedem Fall von dem zweiten Abschaltssystem erbracht werden muß. Ein Austausch dieser Absorberstäbe gegen beliebige andere ist daher nicht ohne weiteres möglich.

Zum Stand der Technik gehört es, bei Druckwasser-Kernreaktoren die Absorberstäbe einer Gruppe gegen gleichgestaltete Stäbe einer anderen Gruppe auszutauschen (CH-PS 5 08 966). Die Absorberstäbe der einen Gruppe dienen der Leistungsregelung; sie sind im allgemeinen nur in den oberen Bereich des Kernes eingefahren. Die Absorberstäbe der zweiten Gruppe, die fast über die gesamte Höhe des Kernes einfahren, haben die Aufgabe, instationäre Xenon- und Samariumvergiftungen zu kompensieren. Der Austausch von Stäben der beiden Gruppen verfolgt den Zweck, die Folgen verschiedenen örtlichen Abbrands zumindest zu mildern.

Wegen des großen Reaktivitätseffekts von absorbierendem Material im Hohlraum und im Deckenreflektor von Kernreaktoren mit einmaligem Brennelementdurchlauf genügt es, zum Regeln der Leistung des Reaktors Absorberstäbe im Bereich des Deckenreflektors und im oberen Teil des Hohlraums zu verfahren; ein Eintauchen in die Brennelementeschüttung ist normalerweise nicht erforderlich. Bei dieser Fahrweise sind die Absorberstäbe dem hohen Fluß an thermischen und schnellen Neutronen ausgesetzt, der in dem Hohlraum und im unteren Teil des Deckenreflektors herrscht, dies führt zu einer Werkstoffversprödung. Die mit längerer Betriebsdauer fortschreitende Werkstoffversprödung übt einen wesentlichen Einfluß auf die Standzeit der Absorberstäbe aus.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, das eingangs beschriebene Verfahren dahingehend zu verbessern, daß die Standzeit der Absorberstäbe verlängert

gert wird.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß je nach der aufgenommenen Bestrahlungsdosis die für das Regeln der Leistung eingesetzten Absorberstäbe gegen gleichgestaltete, in der Endstellung befindliche Absorberstäbe ausgetauscht werden, daß für das vorübergehende Schnellabschalten die für das Regeln der Leistung eingesetzten Absorberstäbe auf gleiche vorgegebene Tiefe in die Brennelementschüttung eingefahren werden und daß zum Langzeitabschalten sämtliche Absorberstäbe in die Brennelementschüttung eingebracht werden.

Gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren wird nur ein Teil der Absorberstäbe bei Leistungsregelungsvorgängen dem hohen thermischen Neutronenfluß ausgesetzt; der andere Teil bleibt in dem Deckenreflektor und ist somit weitgehend vor Neutronenbestrahlung geschützt. Durch das Austauschen der gleichgestalteten Absorberstäbe läßt sich die mittlere Dosisbelastung für die Gesamtheit aller Absorberstäbe während der gesamten Betriebsdauer vergleichmäßigen und der schädigende Einfluß auf den Werkstoff der Absorberstäbe reduzieren. Dies wiederum führt zu einer wesentlichen Verlängerung der Standzeit der Absorberstäbe.

Für das vorübergehende Schnellabschalten werden die zum Regeln der Leistung eingesetzten Absorberstäbe verwendet, die auf gleiche vorgegebene Tiefe in die Brennelementschüttung eingefahren werden. Hierdurch geht man den Schwierigkeiten aus dem Wege, die sich einstellen würden, wenn zwei Gruppen von Absorberstäben, nämlich die zur Leistungsregelung eingesetzte Teilmenge und die Gruppe der in der oberen Endstellung verharrenden Stäbe, aus unterschiedlichen Ausgangsstellungen heraus auf gleiche Einfahrtiefe gebracht werden müßten.

Zum Langzeitabschalten werden sämtliche Absorberstäbe eingesetzt und in die Brennelementschüttung eingebracht.

Aus Berechnungen ergab sich, daß in den für das vorübergehende Schnellabschalten relevanten Einfahrtiefen eine Hälfte der Absorberstäbe bereits etwa 80% der Wirksamkeit der Gesamtheit der Stäbe erbringt. Wird für diese Gruppe von Absorberstäben ein etwas größerer Einfahrtiefen gewählt, so kann die zum vorübergehenden Schnellabschalten erforderliche Reaktivität mit dieser Gruppe erreicht werden.

Das Einfahren der zweiten, in der oberen Endstellung befindlichen Stabgruppe im Falle eines Langzeitabschaltens kann von Hand vorgenommen werden.

Der Einsatz nur einer Teilmenge der Absorberstäbe zur Leistungsregelung und zum vorübergehenden Schnellabschalten hat zur Folge, daß diese Stäbe nach längerem Vollastbetrieb zur Bindung der für Lastwechselfahren erforderlichen Überschußreaktivität eine Normalstellung einnehmen, die ca. 30–40 cm tiefer liegt als bei einer Fahrweise mit allen Absorberstäben. Die Stabspitzen können sich dabei etwa in Höhe der Oberfläche der Brennelementschüttung befinden. Der Hub für das vorübergehende Schnellabschalten mit einer Teilmenge braucht nur ca. 30 cm größer zu sein als der bei Einsatz aller Absorberstäbe erforderliche Hub.

Die für die Leistungsregelung verwendete Teilmenge der Absorberstäbe kann vorteilhafterweise 25 bis 50% der Gesamtmenge der Absorberstäbe ausmachen. Bei der halben Anzahl der eingefahrenen Stäbe erhöht sich der maximale thermische Neutronenfluß im Bereich des Deckenreflektors um etwa 10% gegenüber dem Fluß bei allen eingefahrenen Absorberstäben. Die in ihrer

oberen Endstellung (ca. 50 cm oberhalb der Unterkante des Deckenreflektors) befindlichen Absorberstäbe erhalten bei einer eingefahrenen Teilmenge von 50% der Stäbe nur noch ungefähr 50% der maximalen Neutronenstrahlung. Dabei schwächt sich der thermische Neutronenfluß weniger ab als der schnelle Fluß.

Anhand zweier Beispiele und zweier Figuren soll die Erfindung im folgenden näher erläutert werden. Das erste Beispiel ist in den Fig. 1 und 2 dargestellt, wobei die Fig. 1 einen Ausschnitt aus dem Stabraster eines Hochtemperaturreaktors zeigt, bei dem das erfindungsgemäße Verfahren angewandt wird, und die Fig. 2 einen Längsschnitt dieses Ausschnittes wiedergibt. Im zweiten Beispiel wird die vorübergehende Schnellabschaltung eines Hochtemperaturreaktors betrachtet.

Der im ersten Beispiel beschriebene Hochtemperaturreaktor, dessen Kern von einer Schüttung 1 kugelförmiger Brennelemente 2 gebildet wird, hat eine Leistung von 1637 MW_{th}. Seine Beschickung erfolgt nach dem Prinzip des einmaligen Brennelementdurchlaufs. Die Schüttung 1, die von oben nach unten von Kühlgas durchströmt wird, ist von einem Deckenreflektor 3 sowie von einem (nicht dargestellten) zylindrischen Seitenreflektor und einem Bodenreflektor umgeben. Zwischen dem Deckenreflektor 3 und der Oberfläche der Schüttung 1 befindet sich ein Hohlraum 4.

Der Radius des Reaktorkerns beträgt 4,15 m. Der Deckenreflektor 3 weist eine Dicke von 2 m auf und der Hohlraum 4 eine Höhe von 1 m. Die kugelförmigen Brennelemente 2 besitzen einen Durchmesser von 6 cm; sie enthalten im Mittel 10,343 g Thorium und 10,285 g Uran mit 93%iger Anreicherung. Der Füllfaktor der Schüttung 1 ist 0,61.

Die Abschalt- und Regeleinrichtung umfaßt 108 Absorberstäbe 5, die in dem Deckenreflektor 3 angeordnet sind und unmittelbar in die Schüttung 1 eingefahren werden können. Außerdem verfügt dieser Hochtemperaturreaktor noch über 42 Absorberstäbe, die in der Wandung des Seitenreflektors bewegt werden können. Die Absorberstäbe 5 können bis zu einer oberen Endstellung 6 in dem Deckenreflektor 3 zurückgezogen werden.

In der Fig. 1 ist das Stabraster der 108 Absorberstäbe 5 ausschnittsweise dargestellt. Zum Langzeitabschalten des Hochtemperaturreaktors werden sämtliche Stäbe 5 bis zu einer vorgegebenen Tiefe in die Schüttung 1 eingefahren. Für die Leistungsregelung wird jedoch nur eine Teilmenge der Absorberstäbe 5 eingesetzt. Die gegenwärtig die Teilmenge bildenden Stäbe 5 sind in der Fig. 1 durch schwarz ausgefüllte Kreise kenntlich gemacht. Die übrigen Absorberstäbe, die sich in ihrer oberen Endstellung 6 befinden, sind als unausgefüllte Kreise dargestellt. Um eine gleichmäßige Dosisbelastung aller Absorberstäbe 5 nach längerer Betriebszeit zu erreichen, werden die Stäbe gegeneinander ausgetauscht.

Bei dem gewählten Ausführungsbeispiel wird die Teilmenge von 30 Absorberstäben gebildet. Diese haben eine Wirksamkeit von 4,8% $\Delta K/K$, wenn sie bis zur Oberfläche der Brennelementschüttung 1 eingefahren sind (die Gesamtheit aller Absorberstäbe 5 würde bei gleicher Einfahrtiefe eine Wirksamkeit von ca. 7% $\Delta K/K$ erbringen). Dies ist in beiden Fällen mehr als für eine Verminderung der Leistung von 100% auf 35% erforderlich ist.

Berechnungen zufolge wird die für einen Lastwechsel 100%–35% erforderliche Reaktivität von 2,6% $\Delta K/K$ von den 30 Absorberstäben der Teilmenge dann erbracht, wenn diese Stäbe 15 cm in den Hohlraum 4 ein-

gefahren sind (bezogen auf die Unterkante des Deckenreflektors 3). Würden alle 108 Absorberstäbe 5 zu diesem Lastwechselvorgang eingesetzt, so wäre ihre Einfahrtiefe 0 cm. Der thermische Neutronenfluß ($E \leq 1,9$ eV) ist bei beiden Fahrweisen im Bereich der Stabspitzen etwa gleich und beträgt ca. $0,19 \times 10^{15}$ ($1/\text{cm}^2\text{sec}$).

Ein weiterer Vergleich der beiden Fahrweisen zeigt, daß sich bei der Lastregelung mit 30 Absorberstäben pro Zeiteinheit im Bereich der Stabspitzen eine thermische Dosisbelastung der Gesamtheit aller Stäbe 5 ergibt, die ca. die Hälfte der bei der 108-Bank-Fahrweise auftretenden Belastung beträgt. Bei der schnellen Neutronendosis fällt der Vergleich noch günstiger aus: sie ist pro Zeiteinheit bei der 30-Bank-Fahrweise um etwa einen Faktor 3 geringer als bei der 108-Bank-Fahrweise.

Sofern man die Absorberstäbe gemeinsam bewegt, bietet die Verwendung von nur 30 Absorberstäben zur Leistungsregelung einen weiteren Vorteil bei der Festlegung der Schrittweite beim Verfahren der Absorberstäbe. Da der maximale Reaktivitätshub bei der 30-Bank geringer ist als bei der 108-Bank, kann die Mindestschrittweite entsprechend größer gewählt werden.

Im zweiten Beispiel wird das vorübergehende Schnellabschalten bei einem Hochtemperaturreaktor mit kugelförmigen Brennelementen betrachtet, der einen Kernradius von 4,87 m besitzt und eine Leistung von 2250 MW_{th} hat. Die keramischen Einbauten gleichen denen des im ersten Beispiel beschriebenen Reaktors; der Deckenreflektor weist eine Dicke von 2 m auf und der Hohlraum eine Höhe von 1 m.

Die Abschalt- und Regeleinrichtung umfaßt 150 Absorberstäbe, die auf einem Dreieckraster in dem Deckenreflektor angeordnet sind. Zusätzlich sind noch 48 Reflektorstäbe vorhanden, die in der Wandung des Seitenreflektors bewegt und grundsätzlich bei der Schnellabschaltung mit voll eingefahren werden.

Als Abschaltreaktivität muß zunächst eine Störfallreaktivität durch Wassereinbruch von $2,2\% \Delta K/K$ in Rechnung gesetzt werden. Unter Berücksichtigung des Temperatenausgleichs von Vollast auf Nullast und Abkühlung des Reaktorkerns um etwa 300° einschließlich eines Unsicherheitszuschlags von 10% und einer Mindestunterkritikalität von $0,5\% \Delta K/K$ ergibt sich ein maximaler Abschaltbedarf von $6,0\% \Delta K/K$.

Die erforderliche Stabwirksamkeit beträgt $7,5\% \Delta K/K$, bei welchem Wert bereits der Ausfall der zwei wirksamsten Stäbe sowie ein 10%iger Unsicherheitsabzug berücksichtigt ist. Von dieser Stabwirksamkeit werden $0,8\% \Delta K/K$ von den 48 Reflektorstäben aufgebracht, so daß die Absorberstäbe für die Schnellabschaltung noch $6,7\% \Delta K/K$ aufbringen müssen.

Würden nun alle 150 Absorberstäbe für die Leistungsregelung benutzt, so befänden sich die Spitzen dieser Stäbe nach längerem Vollastbetrieb vor der Schnellabschaltung auf einer Tiefe von 60 cm in dem Hohlraum, von der Unterkante des Deckenreflektors aus gerechnet. Der erforderliche Abschaltshub würde 175 cm betragen. Nach der Schnellabschaltung wären die Stabspitzen daher 135 cm in die Brennelementschüttung eingefahren. Wird dagegen die Hälfte der Absorberstäbe zur Leistungsregelung sowie zur Schnellabschaltung eingesetzt, so sind diese Stäbe vor der Schnellabschaltung 100 cm tief in den Hohlraum eingefahren, berühren also die Oberfläche der Schüttung. Der nunmehr erforderliche Abschaltshub beträgt 200 cm, so daß die Stabspitzen nach der Schnellabschaltung 200 cm tief in die Brennelementschüttung eingetaucht sind.

Wird die bei einem Wassereinbruch erforderliche Störfallreaktivität durch eine besondere Abschaltprozedur bereitgestellt, so beträgt der maximale Bedarf für ein »normales« vorübergehendes Schnellabschalten nur $3,5\% \Delta K/K$, für das etwa $4,5\% \Delta K/K$ Stabwirksamkeit zu fordern sind. Nach Abzug der Wirksamkeit der Reflektorstäbe sind von den Absorberstäben noch $3,7\% \Delta K/K$ aufzubringen. Würden alle 150 Absorberstäbe für die Schnellabschaltung benutzt, so ergäbe sich ein Abschaltshub von 125 cm, so daß die Stabspitzen 85 cm tief in die Brennelementschüttung eintauchen würden. Für den Einsatz von 75 Absorberstäben wurde ein Abschaltshub von 119 cm ermittelt, und die Einfahrtiefe dieser Stäbe in die Schüttung beträgt somit 119 cm. Bei einer Schnellabschaltung mit der Hälfte der Absorberstäbe brauchen in diesem Fall die Stäbe also nur 34 cm tiefer in die Schüttung einzufahren als bei Verwendung aller Absorberstäbe.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

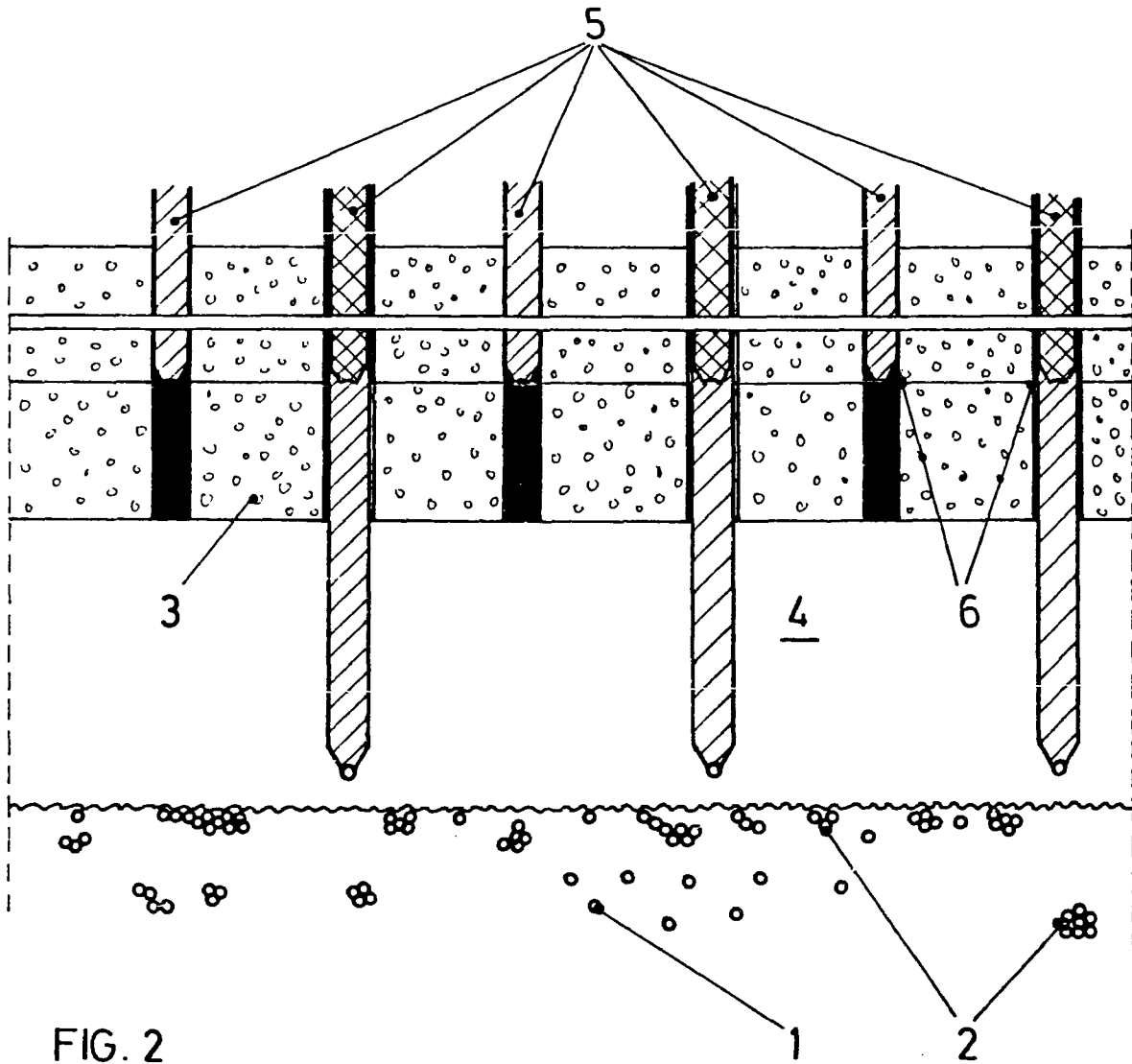


FIG. 2