

⑤

Int. Cl. 2:

G 21 C 17-06

⑱ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT

1  
8  
7

DE 23 14 650 P 3

①

# Auslegeschrift 23 14 650

②

Aktenzeichen: P 23 14 650.1-33

③

Anmeldetag: 23. 3. 73

④

Offenlegungstag: 3. 10. 74

⑤

Bekanntmachungstag: 20. 2. 75

⑥

Unionspriorität:

⑦ ⑧ ⑨ —

⑩

Bezeichnung: Verfahren und Einrichtung zur Auffindung defekter Brennstäbe

⑪

Anmelder: Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München

⑫

Erfinder: ABmann, Helmut, Dipl.-Phys. Dr.; Janson, Walter; 8520 Erlangen;  
Stehle, Heinz, Dipl.-Phys. Dr., 8520 Marloffstein;  
Wahode, Peter, Dipl.-Ing., 8500 Nürnberg

⑬

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DT-OS 20 61 304

DT-OS 21 16 995

DT-OS 21 37 641

3

2

ZEICHNUNGEN BLATT 1

Nummer: 23 14 650  
Int. Cl.: G 21 C 17-06  
Auslegetag: 20. Februar 1975

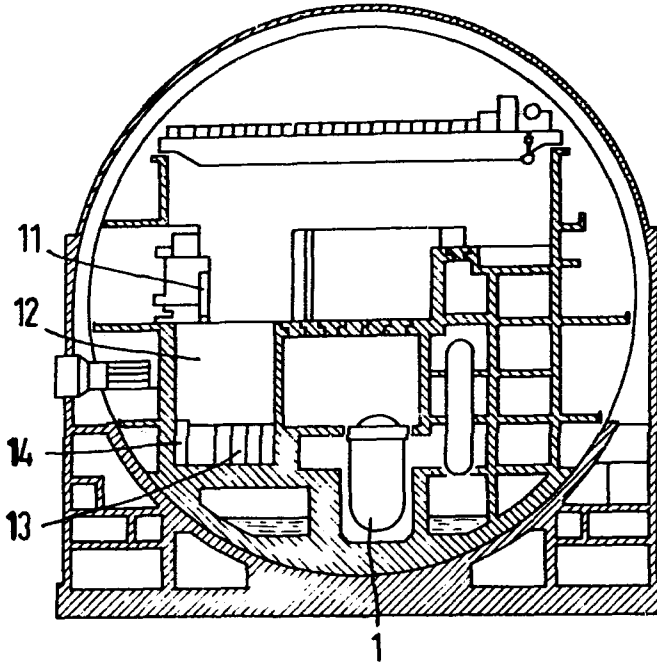


Fig. 1

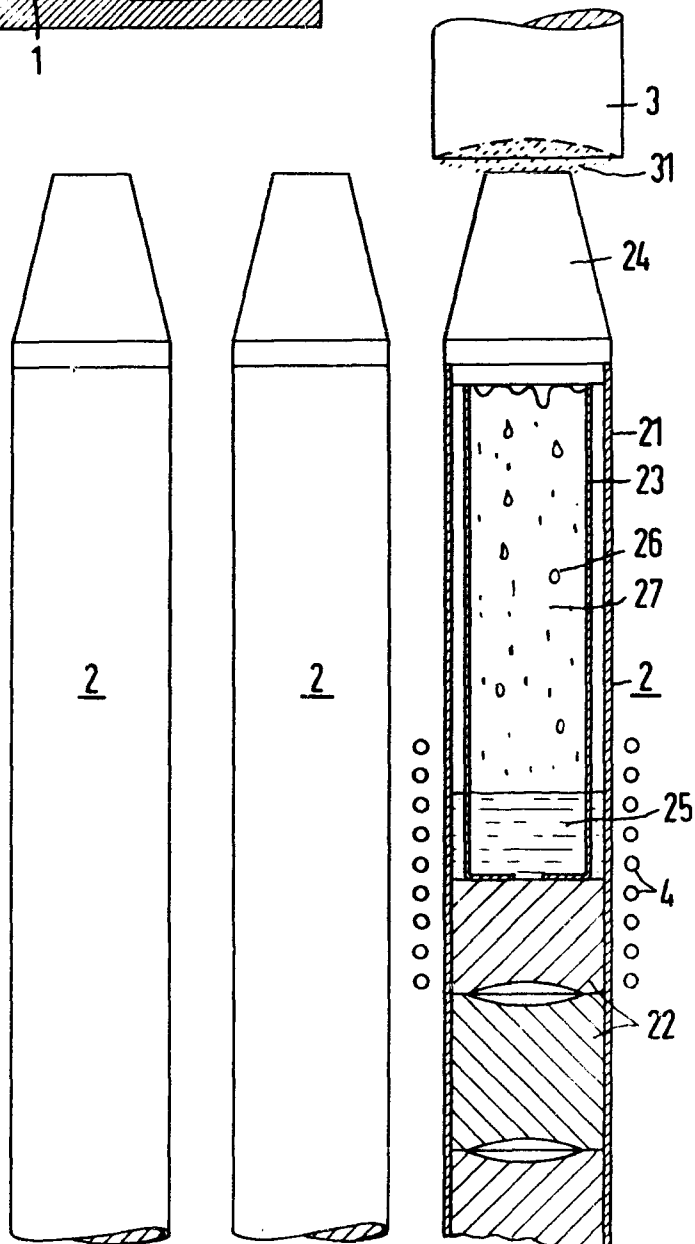


Fig. 2

## Patentansprüche:

1. Verfahren zur Auffindung eines defekten Hüllrohres eines Brennstabes im Verband kompletter Brennelemente wassergekühlter Kernreaktoren, dadurch gekennzeichnet, daß das Hüllrohr in der Nähe einer zugänglichen Endkappe erwärmt wird, wodurch das im defekten Hüllrohr befindliche Wasser erhitzt und die Dampfblasen- oder Kondensatbildung mit Hilfe des Ultraschall-Impuls-Echo-Verfahrens an der Endkappe ermittelt wird.

2. Verfahren zur Auffindung eines defekten Hüllrohres eines Brennstabes im Verband kompletter Brennelemente wassergekühlter Kernreaktoren, dadurch gekennzeichnet, daß das Hüllrohr in der Nähe einer zugänglichen Endkappe mit vorgegebener Heizleistung erwärmt wird, wodurch das im defekten Hüllrohr befindliche Wasser erhitzt und durch Messung des zeitlichen Temperaturverlaufes an der Endkappe ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Wasser bis zum Siedepunkt erhitzt wird.

4. Verfahren zur Auffindung eines defekten Hüllrohres eines Brennstabes im Verband kompletter Brennelemente wassergekühlter Kernreaktoren, dadurch gekennzeichnet, daß das Hüllrohr in der Nähe einer zugänglichen Endkappe mit vorgegebener Heizleistung erwärmt wird, wodurch das im defekten Hüllrohr befindliche Wasser erhitzt und die Kühlleistung zur Konstanthaltung der Endkappentemperatur als Indiz für eingedrungenes Wasser benutzt wird.

5. Einrichtung zur Durchführung der Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Erwärmung durch einen Hochfrequenz-Induktor erfolgt.

6. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Induktor intermittierend betrieben wird, und die Erfassung der Meßwerte in den Heizpausen erfolgt.

7. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel zum Erwärmen sowie die Ultraschall- oder Temperaturmeßeinrichtungen zu einem rohrförmigen Gebilde zusammengebaut sind, das bis zur Anlage an die Endkappe über den Brennstab aufschiebbar ist.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Raum zwischen dem Brennstab und dem rohrförmigen Gebilde durch eine an letzterem angebrachte Luftzuführung wasserfrei gehalten ist.

9. Einrichtung nach den Ansprüchen 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktionsspule durch schraubenförmige Schlitzung eines Endes des rohrförmigen Gebildes und wasserbeständige elektrische Isolierung desselben gebildet ist.

Die vorliegende Erfindung betrifft Verfahren zur Auffindung eines defekten Hüllrohres eines Brennstabes im Verband kompletter Brennelemente wassergekühlter Kernreaktoren sowie Einrichtungen zur Durchführung dieser Verfahren.

Kernreaktorbrennstäbe bilden die kleinste Einheit beim Aufbau eines Reaktorkernes von wassergekühlten Kernreaktoren. Sie enthalten den Kernbrennstoff zumeist in tablettenförmiger Gestalt und geben die ihm entstehende Kernspaltungswärme an das umgebende Kühlwasser ab. Es ist dabei von größter Wichtigkeit, daß in das Kühlwasser möglichst keine radioaktiven Stoffe übertreten. Dies wird zunächst dadurch erreicht, daß die Brennstäbe so aufgebaut sind, daß ein beiderseits mit Endkappen gasdicht verschweißtes Hüllrohr den Kernbrennstoff umgibt und ihn sowie die ihm entstehenden Spaltprodukte von einer direkten Berührung mit dem Kühlwasser abschirmt.

Während eines längeren Reaktorbetriebes kann es jedoch nicht völlig ausgeschlossen werden, daß vereinzelte Brennstäbe undicht werden, so daß Kühlwasser eindringen und eventuell auch radioaktive Stoffe austreten können. Die bei jeder Kernreaktoranlage vorhandenen Wasserreinigungsanlagen sind so ausgelegt, daß sie auch eine gewisse Menge von radioaktiven Stoffen aus dem Kühlwasserkreislauf herausnehmen können. Wird die Radioaktivität jedoch so hoch, daß diese Anlagen überfordert sind, so bleibt nichts anderes übrig, als den Kern bei Stillstandszeiten auf schadhafte Brennelemente bzw. Brennstäbe zu untersuchen.

Diese Untersuchung kann zunächst allein optisch dadurch erfolgen, daß die aus dem Reaktorkern üblicherweise unter Wasser entnommenen Brennelemente mit Hilfe einer Unterwasserfernsehkamera inspiziert werden. Mit dieser Methode lassen sich vornehmlich stark defekte Brennstäbe auffinden, vorzugsweise solche, die sich in den äußeren Reihen der Brennelemente befinden. Brennstäbe, die sich im Inneren eines Brennelementes befinden, lassen sich auf diesem Wege nur sehr schwer optisch kontrollieren. Hinzu kommt noch, daß es auch wichtig ist, welche Kernbrennstäbe als defekt zu identifizieren, die nur kleine Undichtigkeiten aufweisen, die äußerlich durch rein optische Betrachtung nicht feststellbar sind.

Es ist in diesem Zusammenhang bereits vorgeschlagen worden, die Brennstäbe im Inneren mit Zusatzeinrichtungen zu versehen, die beim Eintreten von Wasser eine solche Veränderung erfahren, daß diese von außen, z. B. auf magnetischem Wege, festgestellt werden kann (s. die deutschen Offenlegungsschriften 2 061 304, 2 116 995 und 2 137 641). Derartige Einrichtungen verteuern jedoch die Gestehungskosten der Brennstäbe und können selbstverständlich auch für sich wiederum mit Störungsquellen behaftet sein.

Es stellte sich daher die Aufgabe, Verfahren zu finden, mit dessen Hilfe es möglich ist, den Wassereintrich in defekten Brennstäben festzustellen, die keine besonderen diesbezüglichen Einbauten aufweisen. Besonders wichtig ist es, daß eine derartige Untersuchung am kompletten Brennelement vorgenommen werden kann. Der für das Zerlegen und wieder Montieren bestrahlter Brennelemente nötige technische Aufwand wäre sehr groß. Bei der vollständigen Demontage und Neuzusammenstellung eines Brennelementes besteht zudem die große Gefahr der Beschädigung einzelner Brennstäbe und der Tragstruktur (Abstandshalter). Außerdem sollten derartige Untersuchungen während der für einen Brennelementwechsel zur Verfügung stehenden Zeit durchgeführt werden können. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen wiederum muß diese Zeit so gering als möglich gehalten werden.

Drei verschiedene Lösungen dieser Aufgabe sind erfindungsgemäß durch die in den kennzeichnenden Tei-

4

23 14 650

3

4

len der Ansprüche 1, 2 bzw. 4 aufgeführten Verfahrensschritte gegeben.

Weitere Einzelheiten der erfindungsgemäßen Verfahren sowie der dazu benötigten Einrichtungen sind in einzelnen nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispielen zu entnehmen, die an Hand der Fig. 1 bis 7 erläutert werden.

Die Fig. 1 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch ein kugelförmiges Reaktorgebäude, wie es für Druckwasserreaktoren üblich ist. Die Brennelemente befinden sich im Druckbehälter 1. Über der Reaktorgrube ist die Lademaschine 11 angeordnet, die auch, wie dargestellt, über das Brennelementbecken 12 verfahrbar ist und dort die aus dem geöffneten Druckbehälter entnommenen Brennelemente absetzt. Zu diesem Zweck ist ein Lagergestell 13 vorgesehen, dessen Konstruktion so bemessen ist, daß die Gesamtheit der dort abgesetzten Brennelemente nicht kritisch werden kann. An der Seite des Lagerbeckens ist die Prüfstation 14 angebracht, in die die zu überprüfenden Brennelemente eingesetzt werden. Mit Hilfe der Lademaschine 11 bzw. einer fernsteuerbaren nicht dargestellten Zusatzeinrichtung können dann die Prüfeinrichtungen auf die zugänglich gemachten Enden der einzelnen Brennstäbe innerhalb des Brennelementverbandes aufgesetzt werden. Dies bedeutet, daß — je nach Brennelementkonstruktion — vorher der Brennelementfuß oder -kopf abgenommen werden muß.

Die Fig. 2 zeigt als Ausschnitt aus einem Brennelement drei nebeneinander angeordnete Brennstäbe 2, von denen der eine im Längsschnitt dargestellt ist. Hieraus ist zu ersehen, daß der Brennstab aus dem Hüllrohr 21, der Endkappe 24 und den Kernbrennstofftablettens 22 besteht. Unterhalb der Endkappe 24 befindet sich in diesem Beispiel eine Stützhülse 23, die die Aufgabe hat, die Festigkeit des Hüllrohres im freien Spaltgassammelraum oberhalb der Tablettens 22 gegenüber dem Kühlmitteldruck zu erhöhen. Für das Funktionieren des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dieses Bauelement jedoch nicht von besonderer Bedeutung. Dieser im Schnitt gezeigte Brennstab sei defekt, so daß Wasser 25 innen eingedrungen ist. Zur Prüfung des Brennstabes wird nun ein Heizelement, z. B. eine Hochfrequenzinduktionsspule 4 über das Brennstabende geschoben und der Brennstab unter Wasser örtlich erwärmt. Dadurch bildet sich Wasserdampf 27 im Raum unterhalb der Endkappe 24 und kondensiert an dieser, da dort die Temperatur infolge Kühlung durch das umgebende Wasser niedriger ist. Der dort kondensierte Wasserdampf wird in Tropfenform 26 wieder nach unten fallen und erneut durch die Hochfrequenzheizung verdampfen. Zur Feststellung dieses Zustandes wird ein an sich bekannter Ultraschallkopf 3 über ein Koppelmittel 31, z. B. Wasser, Kunststoff, Gummi oder Fett, auf die Endkappe 24 aufgesetzt und Ultraschallimpulse in axialer Richtung eingestrahlt. Dabei wird das Echo von der Rückseite der Endkappe, das ist die dem Brennstabinneren zugewandte Seite derselben, durch die Tropfenbildung gestört, so daß sich ein entsprechend gestörtes Echosignal ausbildet. Dieses wird auf einem Oszillographen geschrieben und ergibt ein Bild, wie es in Fig. 3 wiedergegeben ist. Eine weitere Verbesserung dieses Verfahrens kann durch zusätzliche Kühlung der Endkappe, z. B. mit Hilfe eines Peltierelementes erreicht werden. Diese Kühlung unterstützt die Kondensation des Wasserdampfes an der Endkappe und verstärkt somit die Tropfenbildung.

Bei vollständig mit Wasser gefülltem Spaltgassraum

wird das Rückwandecho gleichmaßen von aufsteigenden Dampfblasen gestört.

Zur Durchführung des Verfahrens ist es dabei zweckmäßig, die Ultraschalleinrichtung 3 und das Heizelement 4 zu einer festen Baueinheit zu verbinden, wie es in der später noch zu besprechenden Fig. 6 dargestellt ist.

Eine Variante zu der Vorrichtung nach Fig. 2 ist in Fig. 4 dargestellt. Hier wird das Brennstabende mit einer vorgegebenen Heizleistung (z. B. 300 Watt) erwärmt. Infolge der relativ hohen Verdampfungswärme des Wassers ergibt sich beim Siedepunkt eine Verzögerung des Temperaturanstieges. Die Messung des zeitlichen Temperaturverlaufes an dieser Endkappe bildet somit ein Maß für das Vorhandensein von Wasser im Inneren des Brennstabes.

In der Fig. 5 sind die an einem Modellbrennstab gewonnenen Werte schematisch dargestellt. Auf der Ordinate sind die Temperaturen an der Endkappe 24 aufgetragen. Auf der Abszisse die Zeit in Minuten. Bei einer konstanten Heizleistung ergeben sich die für die verschiedenen Wassergehalte dargestellten Kurven. Hieraus ist zu ersehen, daß bereits bei Spuren von Wasser etwas mehr Zeit für die Erreichung der 100°-Grenze an der Endkappe benötigt wird, als bei völlig wasserfreiem Brennstab. Je mehr Wasser im Brennstab vorhanden ist, desto stärker wird der Temperaturanstieg verzögert, da eine mehr oder weniger große Energiemenge zum Aufheizen des Wassers bis auf Siedetemperatur und zu seiner Verdampfung verbraucht wird.

Das Heizelement 4 und die Temperaturmeßeinrichtung 5 sind in diesem Beispiel (Fig. 4) über ein rohrförmiges Gebilde 42 zu einer starren Prüfeinheit zusammengebaut. Diese muß neben nicht dargestellten Handhabungseinrichtungen über die Leitungen 41 mit der Energiequelle und über die Leitungen 51 mit dem Temperaturregistriergerät verbunden werden. Das rohrförmige Gebilde 42 wird dabei zweckmäßigerweise als Wärmeisoliator ausgebildet, damit das umgebende Wasser durch seine Kühlwirkung die Anzeigergebnisse nicht nachteilig beeinflusst. Beim Einsetzen dieses Gebildes wird im Inneren desselben außerdem ein Luftvolumen verbleiben, das sich beim Aufsetzen auf das Brennstabende bis in die Gegend des Heizelementes 4 erstreckt. Selbstverständlich können grundsätzlich verschiedene Erwärmungsmethoden Verwendung finden. Einer Induktionserwärmung ist praktisch deswegen der Vorzug zu geben, da die Wärme im Werkstück, hier also im Hüllrohr des Brennstabes selbst, erzeugt wird. Da dieses Hüllrohr wiederum sehr dünnwandig ist, seine Wanddicke liegt in der Größenordnung zwischen 0,5 und 2 mm, sollte die Frequenz des verwendeten Induktionsstromes im Hochfrequenzbereich — also etwa 100 kHz und höher — liegen. Bei derartigen Frequenzen kann auch die Zahl der Windungen des Induktors 4 kleiner gehalten werden als bei niedrigeren Frequenzen, was hier unbedingt von Vorteil ist, da die gesamte Prüfeinrichtung jeweils über einen Brennstab geschoben werden muß und die Abstände zwischen den benachbarten Brennstäben lediglich wenige Millimeter betragen.

Selbstverständlich wäre es umgekehrt auch möglich, an Stelle des Temperaturverlaufes an der Endkappe die übertragene Wärmemenge selbst meßtechnisch zu erfassen. Dies kann einerseits dadurch geschehen, daß mit dem Temperaturfühler 5 ein Peltierelement 7 mit seinen elektrischen Anschlüssen 71 kombiniert wird, des-

sen Leitung so steuerbar ist, daß sich an der Endkappe 24 eine konstante Temperatur einstellt. Aus der aufgenommenen Leistung des Peltierelementes kann dann auf das Vorhandensein von Wasser bzw. auch auf dessen Menge im Brennstab geschlossen werden. Andererseits kann bei intermittierendem Betrieb des Heizelementes die Anzahl der bis zum Erreichen einer bestimmten Endkappentemperatur benötigten Heizimpulse automatisch gezählt werden.

Die Fig. 6 zeigt eine weitere Variante zu den Vorrichtungen nach den Fig. 2 und 4. Hier ist die Induktionsspule 4 innerhalb des rohrförmigen Gebildes 42 angeordnet, auch die Hochfrequenzzuführungsleitungen 41 sind innerhalb dieses Gebildes nach oben herausgeführt. In diesem Falle ist es zweckmäßig, Gleitschuhe 43 zur Zentrierung anzubringen, so daß damit eine gleichmäßige Erwärmung des Hüllrohres 21 innerhalb des Induktors 4 gewährleistet ist. Auch hier sind wiederum der Ultraschallmeßkopf 3 sowie die Kühleinrichtung 7 bzw. die Temperaturmeßeinrichtung 5 zu einer Baueinheit vereint. Zur Verbesserung der Wärmeisolation zwischen dem Gebilde 42 und dem Brennstabhüllrohr 21 kann in diesem Beispiel über den Anschlußstutzen 6 Luft eingeblasen werden, die das Wasser restlos aus dem Zwischenraum zwischen Induktor 4 und Brennstab verdrängt. Der dadurch gegebene Vorteil kommt jedem der angegebenen Meßverfahren zugute. Eine O-Ringdichtung 55 sorgt dafür, daß der Raum um den Ultraschallmeßkopf 3 mit Wasser als Koppelmedium gefüllt bleibt.

Wie bereits erwähnt, ist der Abstand zwischen den einzelnen Brennstäben im Brennelementverband sehr gering. Es muß also eine Hezelementkonstruktion gefunden werden, die möglichst wenig Platz beansprucht. Eine derartige Möglichkeit ist für den Fall der Induktionsheizung in der Fig. 7 dargestellt. Hier ist die Induktorspule 81 durch schraubenförmige Schlitzung des

unteren Endes des rohrförmigen Gebildes 8 herausgearbeitet. Wie in den übrigen Beispielen ist selbstverständlich auch hier eine elektrische Isolierung zwischen den einzelnen Induktorteilen, z. B. mit Hilfe eines Kunststoffüberzuges zweckmäßig. Die Induktorzuleitung 83 ist bandförmig und nach oben herausgeführt. Bei den verhältnismäßig geringen Hochfrequenzleistungen kann unter Umständen auf eine besondere Kühlung des Induktors verzichtet werden, über die Isolation ist genügend Wärmeabfuhr an das umgebende Beckenwasser möglich. Der Aufsatz 82 des rohrförmigen Gebildes ist in diesem Beispiel der Endkappenform des jeweiligen Brennstabsystems angepaßt. Wie in dem vorhergehenden Beispiel beschrieben, kann im Inneren zusätzlich die Temperaturmeßeinrichtung sowie die Kühleinrichtung untergebracht werden. Auch kann der Ultraschallmeßkopf baulich mit dieser Einrichtung verbunden sein.

Zur Verringerung der Vorrichtung benötigten Prüfzeit ist es zweckmäßig, die in den Figuren beispielsweise geschilderten Einrichtungen parallel nebeneinander anzuordnen und somit einen großen Teil der Brennstäbe eines Brennelementes gleichzeitig auf Wassereinträge abzutasten. In diesem Falle genügt unter Umständen ein relativer Vergleich der nacheinander abzufragenden Meßwerte, um sofort einen defekten Brennstab zu erkennen. Die bei den erfindungsgemäßen Verfahren notwendige Erwärmung der eventuellen eingedrungenen Feuchtigkeit über die Aufheizung des Hüllrohres kann in speziell gelagerten Fällen über die Nachzerfallswärme der sich in der Nähe der Endkappe befindlichen Brennstofftabletten erzielt werden. Notwendig ist es in diesem Fall, wie bei den verschiedenen Ausführungsbeispielen bereits erwähnt, eine gute Wärmeisolierung des oberen Brennstabteiles durchzuführen.

---

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

---

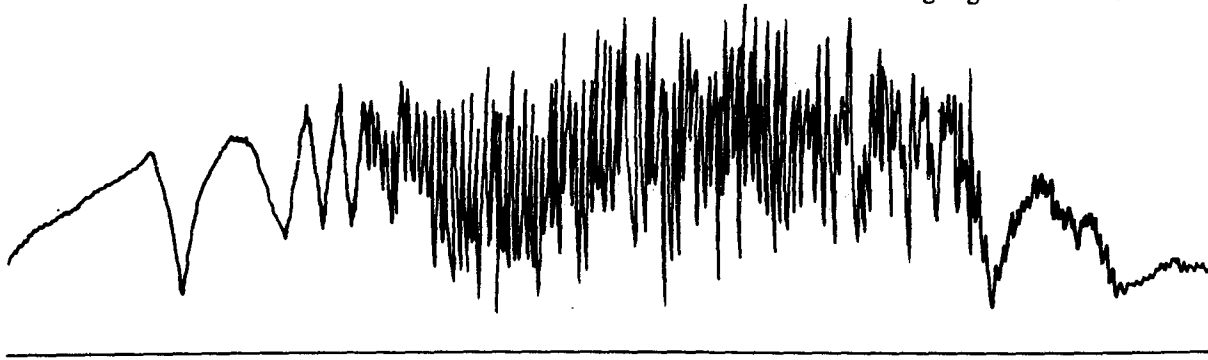


Fig.3

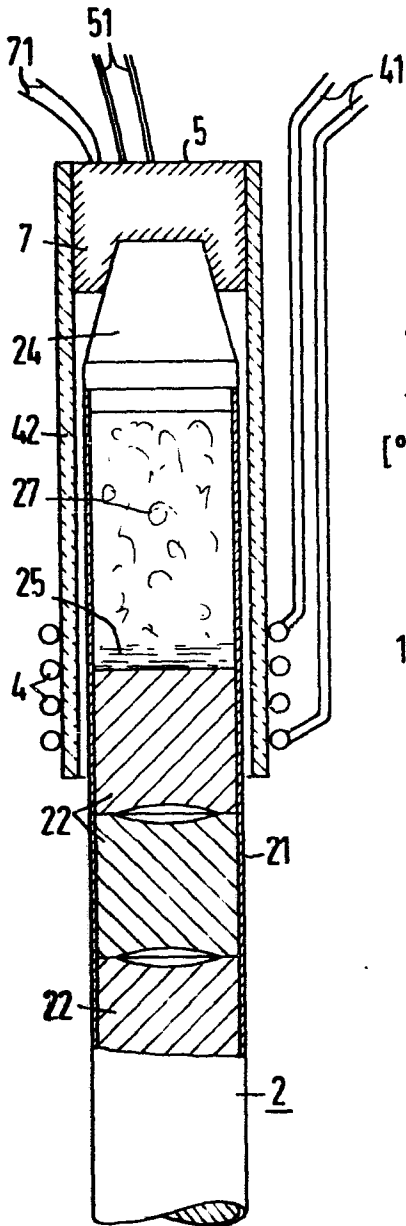


Fig.4

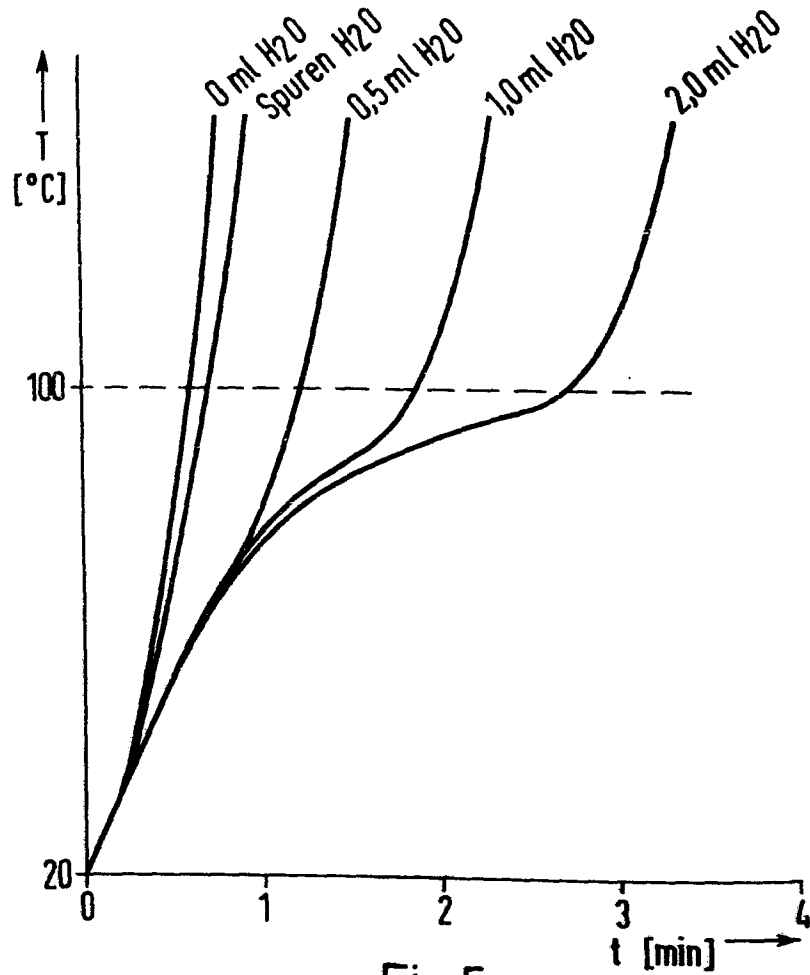


Fig.5

2

Nummer: 23 14 650  
Int. Cl.: G 21 C 17-06  
Auslegetag: 20. Februar 1975

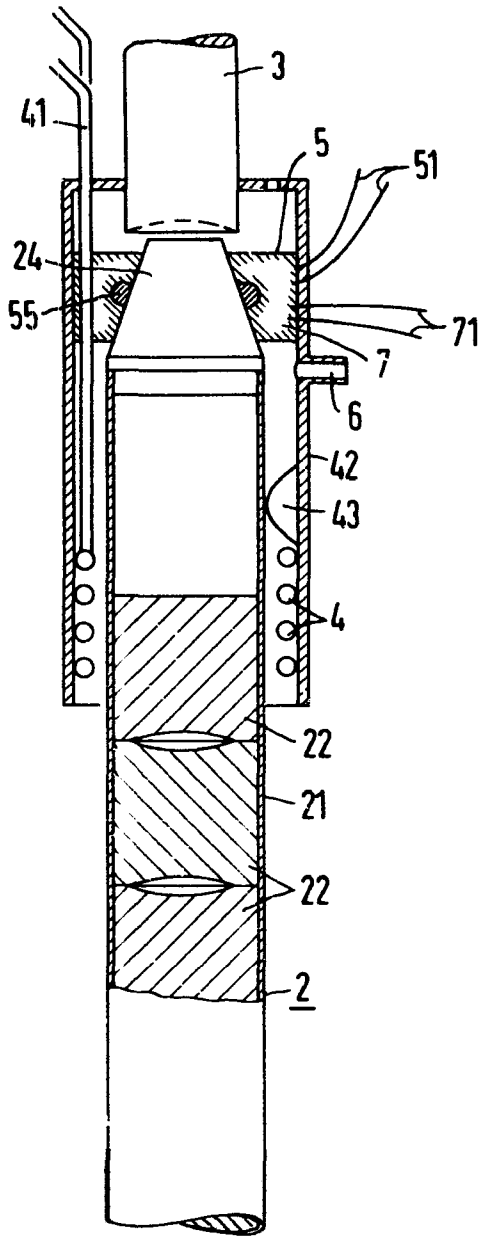


Fig. 6

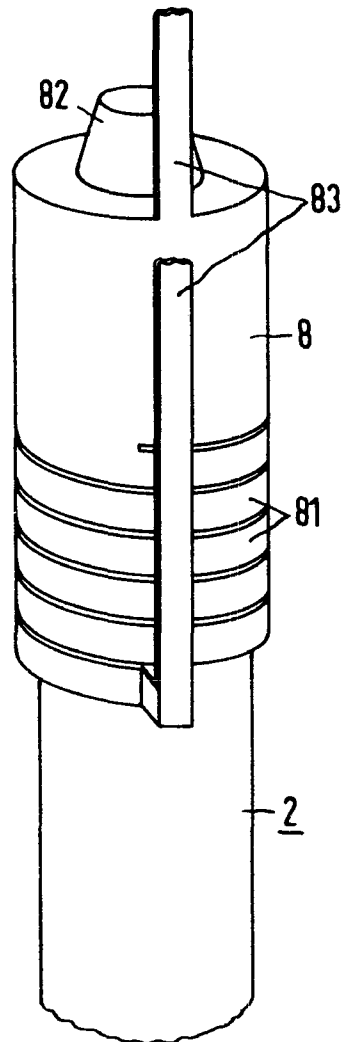


Fig. 7