

⑤

Int. Cl. 2:

G 21 D 9/00

⑱ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

G 21 D 1/04

DEUTSCHES PATENTAMT



DE 28 26 315 A 1

⑪

Offenlegungsschrift 28 26 315

⑲

Aktenzeichen: P 28 26 315.2-33

⑳

Anmeldetag: 15. 6. 78

㉓

Offenlegungstag: 20. 12. 79

⑳

Unionspriorität:

⑳ ㉑ ㉒

13. 6. 78 Schweiz 6420-78

⑤

Bezeichnung: Kernreaktoranlage zum Erzeugen von Prozesswärme

⑦

Anmelder: Gebrüder Sulzer AG, Winterthur (Schweiz)

⑦

Vertreter: Marsch, H., Dipl.-Ing.; Sparing, K., Dipl.-Ing.; Pat.-Anwälte,
4000 Düsseldorf

⑦

Erfinder: Weber, Max, Dipl.-Ing. ETH, Wiesendangen (Schweiz)

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

DE 28 26 315 A 1

Patentansprüche

- 1) Anlage zum Erzeugen von Prozesswärme mit einem, mindestens einen Kernreaktor und einen Wärmeübertrager aufweisenden primären Mediumkreislauf, dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmeübertrager sekundärausgangseitig mit einem mechanisch angetriebenen Kompressor verbunden ist, in dem ein im Wärmeübertrager vorgewärmtes, gasförmiges Medium auf die gewünschte Temperatur verdichtet wird.
2. Anlage nach Anspruch 1, wobei der Kernreaktor als gasgekühlter Hochtemperaturreaktor ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, dass im Primärkreislauf in Strömungsrichtung des Gases zwischen dem Kernreaktor und dem Wärmeübertrager eine Turbine und zwischen dem Wärmeübertrager und dem Kernreaktor ein Verdichter angeordnet sind.
3. Anlage nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass im Primärkreislauf in Strömungsrichtung des Gases zwischen dem Wärmeübertrager und dem Verdichter ein Kühler vorgesehen ist.
4. Anlage nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass im Primärkreislauf in Strömungsrichtung des Gases zwischen dem Wärmeübertrager und dem Kühler die Primärseite und zwischen dem Verdichter und dem Reaktor die Sekundärseite eines Rekuperators eingeschaltet sind.
5. Anlage nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass von der Turbine abgegebene Leistung zum Antrieb des Verdichters verwendet wird.
6. Anlage nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass an der Turbine freigesetzte Leistung zum Antrieb des Kompressors verwendet wird.

7. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass am Ausgang des Kompressors ein Prozesswärmeübertrager angeschlossen ist.
8. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des Prozesswärmeübertragers mit dem Eingang des Wärmeübertragers durch eine Expansionsmaschine zu einem geschlossenen Sekundärkreis verbunden ist.
9. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass im Sekundärkreislauf zwischen dem Prozesswärmeübertrager und der Expansionsmaschine ein Sekundärkreiskühler angeordnet ist.
10. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Sekundärkühler den Erhitzer eines besonderen Kreisprozesses, vorzugsweise eines Dampfkraftprozesses bildet.
11. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 7 und 9, 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmeübertrager sekundärseitig mit einer Zuleitung für Prozessmedium verbunden ist.
12. Anlage nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass am Austritt des Kompressors ein Reaktionsraum und an diesem eine Expansionsmaschine angeschlossen ist.
13. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass primärseitig - parallel zum Wärmeübertrager - eine Kühlgas führende Schleife mit einer weiteren Turbine, einem weiteren Kühler und einem weiteren Verdichter angeordnet ist.
14. Anlage nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die weitere Turbine und/oder der weitere Verdichter der Turbine nach- bzw. dem Verdichter vorgeschaltet ist.
15. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Verdichter und/oder der Kompressor mit Zwischenkühlern versehen sind.

16. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmeübertrager sekundärseitig mindestens zwei getrennte Strompfade für die am Prozess teilnehmenden Medien, von denen mindestens eines gasförmig ist, aufweist und dass diese Strompfade spätestens im Reaktionsraum zusammengeführt sind.
17. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die gasführenden Innenräume des Kompressors als Reaktionsraum ausgebildet sind.
18. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass im Reaktionsraum Katalysatoren angeordnet sind.
19. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktionsraum einen statischen Mischer aus vorzugsweise keramischem Material aufweist, der oberflächlich mindestens einen Katalysator trägt.
20. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die heisses Medium führenden Innenräume und Schaufeln des Verdichters und des Kompressors durch verdichtetes und zurückgekühltes Medium derselben Art gekühlt wird.

Gebrüder Sulzer, Aktiengesellschaft, Winterthur/Schweiz

Kernreaktoranlage zum Erzeugen von Prozesswärme

Die Erfindung betrifft eine Anlage nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Es sind Studien im Gange mit dem Ziel, die bei über 900° C anfallende Wärme von gasgekühlten Hochtemperatur-Kernreaktoren zur Durchführung chemischer Prozesse einzusetzen. Sicherheitsgründe zwingen dazu, das Prozessmedium durch mindestens einen Wärmeübertrager vom Reaktorkühlgas zu trennen. Der heutige Stand der Technik erlaubt, Wärmeübertrager für den Temperaturbereich 900 bis 950° C zu bauen, es ergeben sich jedoch Schwierigkeiten aus dem Umstand, dass die heute bekannten, für so hohe Temperaturen geeigneten Werkstoffe als Legierungsbestandteile Kobalt aufweisen, das durch Neutronenbestrahlung im Reaktor aktiviert werden kann. Bei den heutigen Sicherheitsbetrachtungen wird nämlich davon ausgegangen, dass Korrosionserscheinungen an den mit den Primärkühlmitteln in Berührung stehenden Flächen nicht völlig ausgeschlossen werden können. Es muss daher damit gerechnet werden, dass bei Verwendung kobalthaltigen Materials im Primärkreislauf geringste Mengen von kobalthaltigen Korrosionsprodukten mit dem Kühlgas durch den Reaktor zirkulieren würden, was zur Kontamination des Kühlgases führen müsste.

Es ist nun Aufgabe der Erfindung, das anstehende Problem zu lösen, d.h. zur Durchführung chemischer Prozesse Wärme hoher Temperatur bereitzustellen, wobei Kernreaktorwärme verfügbar ist, die aber lediglich über Wärmeübertrager, die primärseitig keine kobalthaltigen Materialien aufweisen, dem Primärkreislauf des Reaktors entnommen werden darf. Erfindungsgemäss geschieht dies nach dem Kennzeichen des Anspruchs 1.

Durch die Wärmeübertragung bei tieferer Temperatur und das anschliessende Hochpumpen der übertragenen Wärme tritt anstelle eines thermisch hochbelasteten Wärmeübertragers ein thermisch hochbelasteter Verdichter. Ein solcher ist leichter ausführbar, da seine mit dem heissen Gas in Berührung kommenden Oberflächen gekühlt werden können, was beim Wärmeübertrager nicht machbar ist.

Ein weiterer Vorteil der Anlage besteht darin, dass die Temperatur des Sekundärmediums, je nach den angewandten Druckverhältnissen, höher getrieben werden kann als die des Reaktorkühlgases.

Bei der Anlage nach Anspruch 2 wird durch die Gasturbine im Primärkreislauf mechanische oder elektrische Energie erzeugt, um - unterstützt durch die Energieabgabe der Expansionsmaschine - den Kompressor anzutreiben. Durch passende Bemessung der beiden Strömungsmaschinen im Primärkreislauf kann sodann auf ein besonderes Umwälzgebläse für das Reaktorkühlgas verzichtet werden.

Durch die Anordnung eines Kühlers im Primärkreislauf gemäss Anspruch 3 kann der Verdichter kleiner gebaut werden. Der Kühler kann überdies die Funktion eines Notkühlers erfüllen.

Der Rekuperator nach Anspruch 4 bringt eine Verbesserung der Wärmeausbeute der Anlage, da - bei sonst gleichen Verhältnissen - im Kühler weniger Wärme abzuführen ist.

Die Massnahme nach Anspruch 5 gestattet, auf dem Markt befindliche Gasturbinen-Verdichter-Gruppen einzusetzen.

Der direkte Antrieb nach Anspruch 6 erlaubt die Drehzahl der beiden Strömungsmaschinen unabhängig von der Netzfrequenz zu wählen.

Anspruch 7 bringt eine zweite Trennung zwischen dem Reaktorkühlgas und dem Prozessmedium, was aus Sicherheitsgründen erwünscht sein kann. Er bringt aber auch Vorteile, wenn mindestens eines

der Prozessmedien in flüssigem Zustand vorliegt.

Die Expansionsmaschine nach Anspruch 8 gestattet, einen erheblichen Teil der zum Antrieb des Kompressors aufgewendeten Energie zurückzugewinnen.

Ein Sekundärkreiskühler nach Anspruch 9 gestattet auf einen Kühler im Primärkreis zu verzichten, was zu einer Vereinfachung der im Containment untergebrachten Anlage führen kann.

Mit der Massnahme nach Anspruch 10 lässt sich die durch den Sekundärkühler ausgekoppelte Wärme mit hohem Wirkungsgrad nutzen.

Wird gemäss Anspruch 11 das Prozessmedium als Sekundärmedium verwendet, so ergeben sich sekundärseitig des Wärmeübertragers erhebliche Einsparungen.

Durch die Schaltung nach Anspruch 12 wird die im Prozessgas enthaltene Druckenergie zurückgewonnen.

Durch die zusätzliche Schleife nach Anspruch 13 kann die Energiebilanz der Strömungsmaschinen optimiert, d.h. die Kühlverluste können minimiert werden.

Die Schaltung nach Anspruch 14 gestattet für die weitere Turbine bzw. den weiteren Verdichter Maschinen mit kleinen Druckverhältnissen vorzusehen.

Zwischenkühler nach Anspruch 15 ergeben einen besseren Gesamtwärmehaushalt. Die Kühlwärme kann gegebenenfalls an passenden Stellen der Anlage weiter verwendet werden.

Die Massnahme nach Anspruch 17 gestattet ohne besonderen Reaktionsraum auszukommen oder diesen klein zu halten. Die intensive Vermischung des Prozessmediums im Kompressor fördert die Reaktionsgeschwindigkeit.

Nach Anspruch 18 wird durch das Anbringen von Katalysatoren im Reaktionsraum die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht, sodass

der Reaktionsraum klein gehalten werden kann.

Auch durch die Massnahme nach Anspruch 19 wird die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht.

Nach Anspruch 20 wird durch Kühlung der Strömungsmaschinen mit einem Zweigstrom des darin geführten Mediums gestattet, den wärmebeaufschlagten Flächen einen Kühlgasschleier vorzulegen.

Die Erfindung wird nun an mehreren, in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel mit einem Hochtemperaturreaktor als Wärmequelle.

Fig. 2 stellt ein vereinfachtes Temperatur-Entropie-Diagramm dar für die in der Anlage nach Fig. 1 zirkulierenden Gasströme.

Fig. 3 zeigt eine gegenüber Fig. 1 vereinfachte Anlage mit einem Hochtemperaturreaktor.

Fig. 4 stellt eine weitere Anlage dar, mit der zusätzlicher Strom produziert wird.

Fig. 5 zeigt das Schema einer optimierten Anlage mit einem primärseitigen Zweigstrom.

Fig. 6 zeigt eine Anlage, bei der, ausgehend von verhältnismässig tiefen Temperaturen im Primärkreislauf, erheblich höhere Prozesstemperaturen erreicht werden.

Fig. 7 stellt das Schema eines Sekundärkreises mit zwei parallelen Sekundär-Strompfaden im Wärmeübertrager dar.

Bei der Anlage nach Fig. 1 ist ein Hochtemperaturreaktor 1 mit einer Gasturbine 2, der Primärseite eines Wärmeübertragers 3, der Primärseite eines Rekuperators 4, einem Kühler 5, einem Verdichter 6 und der Sekundärseite des Rekuperators 4, in dieser Reihenfolge, zu einem Primär-Gaskreislauf zusammengeschaltet. Der Wärmeübertrager 3 ist sodann sekundärseitig mit einem Kompressor 10, einem Prozesswärmeübertrager 11 und einer Expansionsmaschine 12, in dieser Reihenfolge, zu einem Sekundärkreis

verbunden. Die Turbine 2 und der Kompressor 10 sitzen zusammen mit einer elektrischen Maschine 15, die als Motor oder als Generator arbeiten kann, auf einer gemeinsamen Welle 16, und analog sind der Verdichter 6 und die Expansionsmaschine 12 mit einer weiteren elektrischen Maschine 17 mechanisch verbunden.

Im Betrieb der Anlage strömt aus dem Hochtemperaturreaktor 1 Helium von 950°C in die Turbine 2, in der es unter Arbeitsleistung auf eine Temperatur von 750°C entspannt wird. Im an die Turbine 2 anschliessenden Wärmeübertrager 3 wird das Helium auf 550°C gekühlt; eine weitere Abkühlung findet sodann im Rekuperator 4 statt auf 150°C . Nach Rückkühlung im Kühler 5 auf etwa 20°C erfolgt eine Verdichtung im Verdichter 6, die zu einer Austrittstemperatur von etwa 110°C führt. Im Rekuperator 4 erfolgt eine weitere Temperaturerhöhung auf etwa 500°C , worauf im Reaktor das Kühlgas wiederum auf 950°C erhitzt wird. Im Sekundärkreislauf tritt das Sekundärmedium mit einer Temperatur von 500°C in den Wärmeübertrager 3 ein, verlässt ihn mit einer Temperatur von 700°C um durch Verdichtung im Kompressor 10 auf 900°C erwärmt zu werden. Mit dieser Temperatur tritt das Sekundärgas in den Prozesswärmeübertrager 11, in welchem es auf nicht näher dargestellte Weise Wärme im Intervall $900 - 600^{\circ}\text{C}$ an ein Prozessmedium abgibt. Anschliessend wird das Sekundärmedium in der Expansionsmaschine 12 auf die Temperatur von 500°C expandiert, worauf es in den Wärmeübertrager 3 zurückströmt.

Durch die gewählte Schaltung kann der gesamte Primärkreislauf mit kobaltfreien Werkstoffen ausgeführt werden. Die das Helium höherer Temperatur führender Teile der Turbine 2 werden dabei auf konventionelle, nicht näher dargestellte Weise mit Helium tieferer Temperatur oder durch ein Drittmedium gekühlt.

Im Sekundärkreislauf, der durch den Wärmeübertrager vom Reaktor getrennt ist, ist es zulässig, Legierungskomponenten anzuwenden, die bei Neutronenbestrahlung aktiviert werden könnten. Der Kompressor 10 lässt sich überdies analog zum Verdichter 6 durch

gekühltes Sekundärmedium oder durch ein drittes Kühlmedium kühlen.

Je nach den Anforderungen des Betriebes lassen sich die Strömungsmaschinen 2, 10, 6, 12 und elektrischen Maschinen 15, 17 in anderer Art als gezeigt kombinieren. Grundsätzlich lässt sich auch jede Strömungsmaschine mit einer eigenen elektrischen Maschine kuppeln.

Im Temperatur (T)-Enthalpie (S)-Diagramm nach Fig. 2 stellt der ausgezogene, geschlossene Linienzug A-B-C-D-E-F-G-A den Temperatur- und Enthalpieverlauf des Reaktorkühlgases im Primärkreis dar. A entspricht dabei dem Austrittszustand aus dem Reaktor. Die Strecke A-B wird in der Turbine 2 zurückgelegt, wobei der Druck vom Niveau p_1 auf das Niveau p_2 sinkt. Die Strecke B-C entspricht der Abkühlung im Wärmeübertrager 3, der Abschnitt C-D der Kühlung im Rekuperator 4, der Abschnitt D-E der Kühlung im Kühler 5. Die Strecke E-F entspricht der Verdichtung im Verdichter 6, der Abschnitt F-G der Wärmeaufnahme auf der Sekundärseite des Rekuperators 4 und schliesslich der Abschnitt G-A der Wärmeaufnahme im Kernreaktor 1.

Der dick ausgezogene, geschlossene Linienzug H-J-K-L-H entspricht dem Temperatur- und Enthalpieverlauf im Sekundärkreis. H stellt den Zustand am sekundärseitigen Eintritt des Wärmeübertragers 3 dar. Der Abschnitt H-J entspricht der Wärmeaufnahme im Wärmeübertrager 3. Die Strecke J-K zeigt die Verdichtung im Kompressor 10, die zu der für die chemische Reaktion nötigen Temperatur (K) führt. Die Strecke K-L entspricht der Wärmeabgabe im Prozesswärmeübertrager 11 und L-H stellt schliesslich die Expansion in der Expansionsmaschine 12 dar.

Beim Diagramm nach Fig. 2 ist angenommen worden, am Wärmeübertrager 3 herrsche primär- und sekundärseitig derselbe Druck p_2 . Obschon das zur einfachsten Konstruktion des Wärmeübertragers 3 führt, ist diese Bedingung zur Verwirklichung der Erfindung keineswegs notwendig.

Das Diagramm nach Fig. 2 ist für den Fall gezeichnet, dass im Primär- und im Sekundärkreislauf dieselben Mengenströme fließen. Das ist ebenfalls nicht notwendig. Im Gegenteil kann es vorteilhaft sein, die Mengenströme stark ungleich zu wählen. Auch können die Druckverhältnisse $p_1 : p_2$ und $p_3 : p_2$ primär- bzw. sekundärseitig anders sein als dargestellt. So kann es zweckmässig sein, im Sinne des punktiert eingetragenen Linienzuges H'-J'-K'-L'-H' sekundärseitig das Druckverhältnis ($p_4 : p_2$) und die umgewälzte Gasmenge höher zu wählen als primärseitig, um am Prozesswärmeübertrager 11 die Temperaturspanne von K-L auf K'-L' zu verkleinern.

Die Anlage nach Fig. 3 ist gegenüber derjenigen nach Fig. 1 vereinfacht, indem dort im Primärkreislauf weder ein Rekuperator 4 noch ein Kühler 5 vorgesehen sind. Abhängig von der am Prozesswärmeübertrager 11 auftretenden Temperaturspanne (K-L) ist die Energiebilanz der vier Strömungsmaschinen 2, 6, 10, 12, die hier auf einer gemeinsamen Welle sitzen, ausgeglichen, positiv oder negativ. Negativ wird sie, wenn die Temperaturspanne K-L am Prozesswärmeübertrager 11 klein ist. In diesem Fall muss über die elektrische Maschine 19, beispielsweise aus dem Netz, Energie an die Strömungsmaschinen abgegeben werden. Selbstverständlich können auch bei einer Anlage nach Fig. 3 die Strömungsmaschinen beliebig miteinander und mit als Motoren und/oder Generatoren laufenden elektrischen Maschinen verbunden werden.

In der Schaltung nach Fig. 4 wird bei kleiner Temperaturspanne am Prozesswärmeübertrager 11 die Energiebilanz der Strömungsmaschinen 2, 6, 10, 12 verbessert, indem die Temperaturspanne zwischen dem Austritt aus dem Kompressor 10 und dem Eintritt in die Expansionsmaschine erhöht wird. Dies geschieht durch einen dem Prozesswärmeübertrager 11 nachgeschalteten Sekundärkreis Kühler 20, der gleichzeitig Dampferzeuger in einem Dampfkreisprozess mit einer Dampfturbine 21, einem Kondensator 22 und einer Speisepumpe 23 bildet. Durch diese Schaltung wird nicht nur die Bilanz der Strömungsmaschinen 2, 6, 10, 12

verbessert, sondern überdies durch einen an der Dampfturbine 21 angekuppelten Generator 25 Strom erzeugt, der zum Ausgleich der Bilanz der Strömungsmaschinen 2, 6, 10 und 12 verwendet werden kann.

Gegenüber der Schaltung nach Fig. 1 hat die Schaltung nach Fig. 4 den Vorteil, dass der den Reaktor berührende und daher mit höheren Auflagen belastete Primärkreislauf einfacher ist.

Die Anlagenschaltung nach Fig. 5 ist von der Anlage nach Fig. 1 abgeleitet. Sie unterscheidet sich von dieser dadurch, dass an der Turbine 2 eine Niederdruckstufe für einen Teilstrom des Gases vorgesehen ist, in welcher dieser Teilstrom auf etwa jene Temperatur expandiert wird, die am primärseitigen Ausgang des Wärmeübertragers 3 herrscht. Der Austrittsstutzen der Niederdruckstufe 30 ist über die Primärseite eines Niederdruckrekuperators 31 und einen Kühler 32 mit einem Vorverdichter 33 verbunden, der das Gas auf das Druckniveau fördert, das am Eingang des Kühlers⁵ herrscht. Der Austrittsstutzen des Vorverdichters 33 ist sodann mit dem Eintrittsstutzen des Kühlers 5 verbunden.

Die Sekundärseite des Niederdruckrekuperators 31 ist parallel zur Sekundärseite des Rekuperators 4 zwischen den Ausgangsstutzen des Verdichters 6 und dem Eingang des Reaktors 1 geschaltet.

Die Schaltung nach Fig. 5 gewährt bei kleiner Temperaturspanne am Prozesswärmeübertrager einen Ausgleich der Energiebilanz der Strömungsmaschinen, ohne dass ein zusätzlicher Dampfprozess benötigt würde. Dabei wird allerdings ein Teil des Reaktorkühl-gases am Wärmeübertrager 3 vorbeigeleitet.

Die in Fig. 6 dargestellte Schaltung ist dann angebracht, wenn die Kühlgastemperatur am Austritt aus dem Reaktor so tief liegt, dass das Gas ohne vorherige Expansion in den Wärmeübertrager 3 eingespeist werden darf. Der Primärkreislauf wird dabei im wesentlichen gebildet durch das Zusammenschalten des Reaktors

1, der Primärseite des Wärmeübertragers 3 und eines Umwälzgebläses 40.

Da zum Antrieb des Umwälzgebläses 40 und der Strömungsmaschinen 10 und 12 im Sekundärkreislauf mechanische Energie benötigt wird, kann, wie in Fig. 6 gezeigt, parallel zum Wärmeübertrager 3 und zum Umwälzgebläse 40 eine zusätzliche Wärmekraftanlage vorgesehen sein, die eine Gasturbine 45, einen Kühler 46 und einen Verdichter 47 umfasst, wobei der Verdichter 47 mit der Turbine 45 und einem Generator 48 zusammen auf gleicher Welle sitzen. Die Gasturbinengruppe 45...48 kann so ausgelegt sein, dass ihre Leistung den Energiebedarf der sekundärseitigen Strömungsmaschinen 10, 12 und des Umwälzgebläses 40 deckt.

Je nach den am Kühler 46 auftretenden Temperaturen kann die dort übertragene Wärme, z.B. in einem nicht gezeichneten Dampfprozess oder in einem Heiznetz weiterverwendet werden.

In der Anlageschaltung nach Fig. 7 entspricht der Primärkreislauf der bei der Behandlung von Fig. 6 besprochenen, einfacheren Variante, wobei die Strömungsmaschinen des Sekundärsystems mit Netzenergie betrieben werden.

Im Unterschied zu den bisherigen Ausführungsbeispielen weist hier der Wärmeübertrager 3 sekundärseitig zwei parallele Strömungskanäle 50 und 51 auf, die am Austritt des Wärmeübertragers 3 mit Drosselorganen 52 bzw. 53 versehen sind und hierauf vereinigt zum Kompressor 10 führen. Zwischen dem Kompressor 10 und der Expansionsmaschine 12 ist ein Reaktionsraum 13 eingeschaltet, der mit statischen Mischelementen 14 ausgerüstet ist. Diese statischen Mischelemente 14 bestehen aus einer Keramikstruktur, auf deren Oberfläche Katalysatoren aufgebracht sind.

In Fig. 7 ist überdies angedeutet, wie die Kühlung des Kompressors und der Expansionsmaschine 12 erfolgen kann. Am Austritt des Reaktionsraumes 13 ist ein Kühler 55 angeschlossen, dessen

Ausgang über ein Hilfsgebläse 56 mit Kühlmediumstutzen 57, 58 des Kompressors 10, sowie mit einem Kühlmediumstutzen 59 der Expansionsmaschine 12 verbunden ist.

Im Betrieb der Anlage wird jedem der beiden Strömungskanäle 50, 51 eine Reaktionskomponente zugeführt, wobei mindestens die eine davon gasförmig ist. Durch die Drosselorgane 52, 53 werden die Mengenströme der beiden Komponenten eingestellt. Nach der Mischung strömen sie in den Kompressor 10, wo unter dem Einfluss der steigenden Temperatur und der intensiven Durchmischung die chemische Reaktion eingeleitet wird. Im Reaktionsraum 13 wird sodann unter dem Einfluss der Katalysatoren die Reaktion zu Ende geführt. Während der Hauptteil der Reaktionsprodukte über die Expansionsmaschine 12 direkt abströmt, gelangt ein Zweigstrom über den Kühler 55 und den Hilfsverdichter 56, dem gegebenenfalls ein weiterer Kühler nachgeschaltet sein kann, zu den Kühlstutzen (57, 58 und 59) des Kompressors 10 und der Expansionsmaschine 12.

Selbstverständlich kann die Vermischung der beiden Komponenten statt vor dem Kompressor 10 auch nach diesem, bzw. erst innerhalb des Reaktionsraums 13, stattfinden.

Die in den Ausführungsbeispielen jeweils gruppierten Merkmale lassen sich auch in anderen Kombinationen vereinen.

Der Prozesswärmeübertrager 11 kann einen beheizten Reaktionsraum bilden; die Reaktion kann aber auch erst stromunterhalb des Prozesswärmeübertragers 11 eingeleitet werden.

Zusammenfassung

Hochtemperatur-Kernenergieanlagen eignen sich als Wärmequelle für die Durchführung endothermer, chemischer Prozesse. Zur Trennung des Reaktorkühlgases und des Prozessmediums oder eines weiteren, wärmeübertragenden Mediums ist dabei ein Wärmeübertrager notwendig, der wegen der an ihm auftretenden, hohen Temperatur Probleme aufwirft.

Nach der Erfindung wird Wärme eines Kernreaktors bei tieferer als Prozesstemperatur auf ein sekundäres Gas, gegebenenfalls das Prozessgas, übertragen und dieses sodann auf die gewünschte Temperatur komprimiert, wobei die Kompressionsenergie vorzugsweise vom selben Kernreaktor stammt.

Ausgewählte Fig. 1

2826315

NACH -T

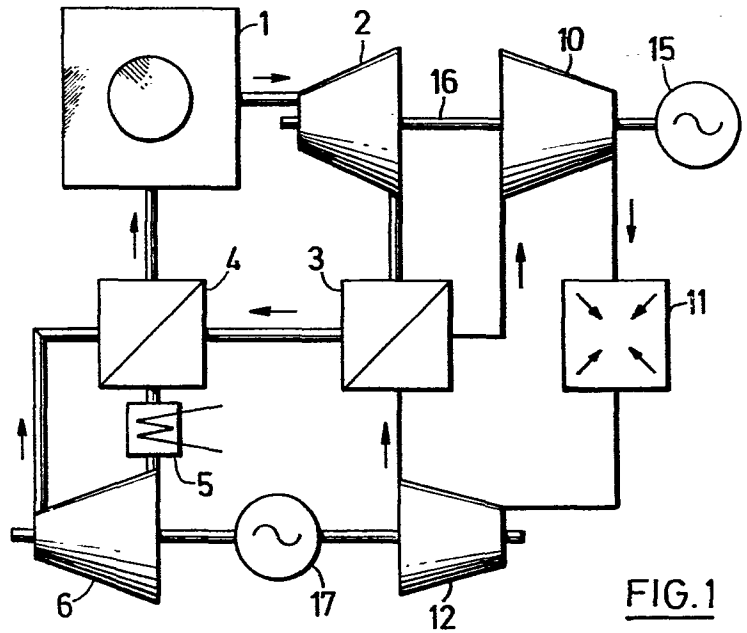


FIG. 1

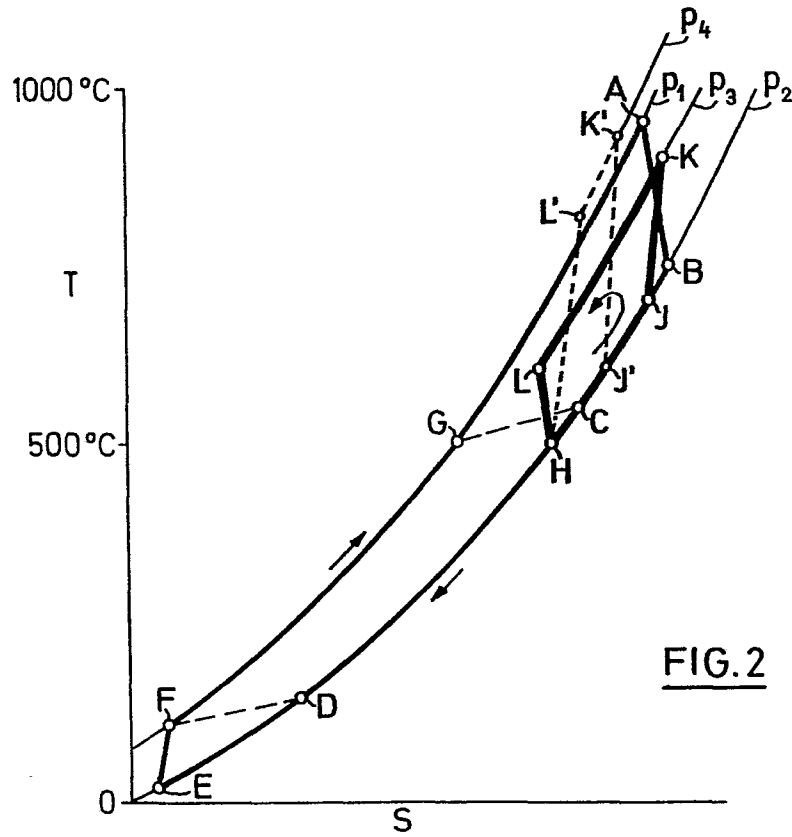


FIG. 2

2826315

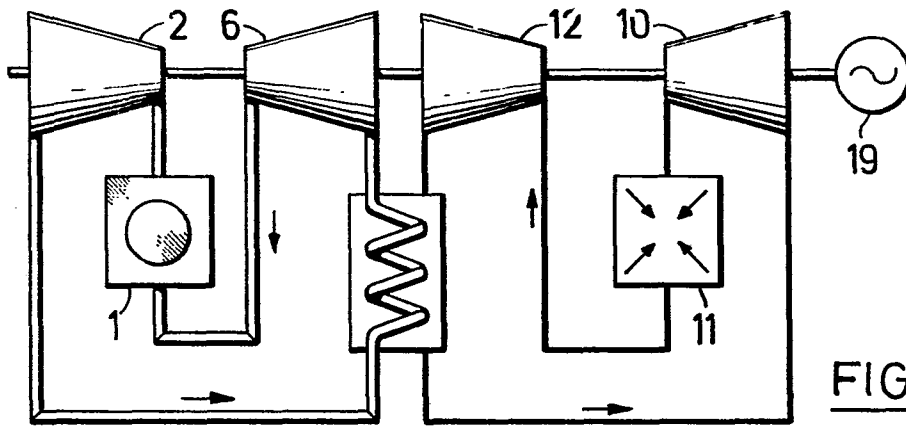


FIG. 3

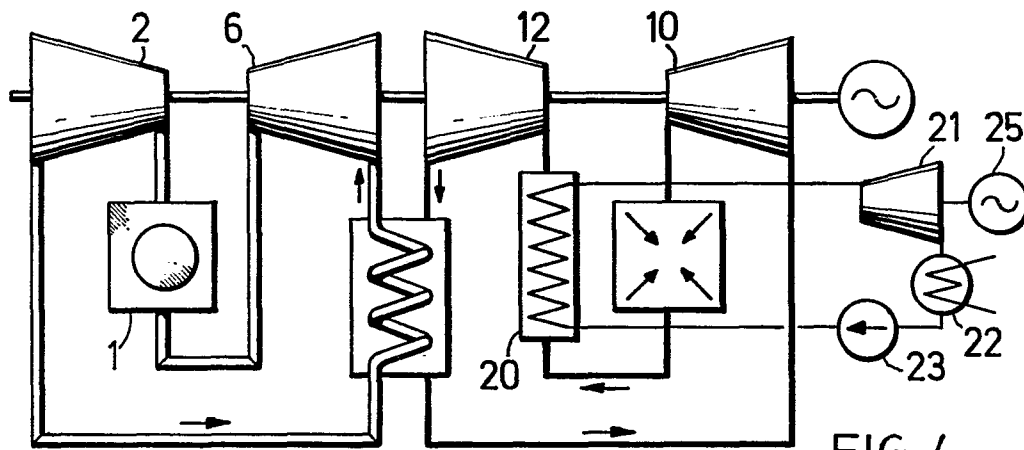


FIG. 4

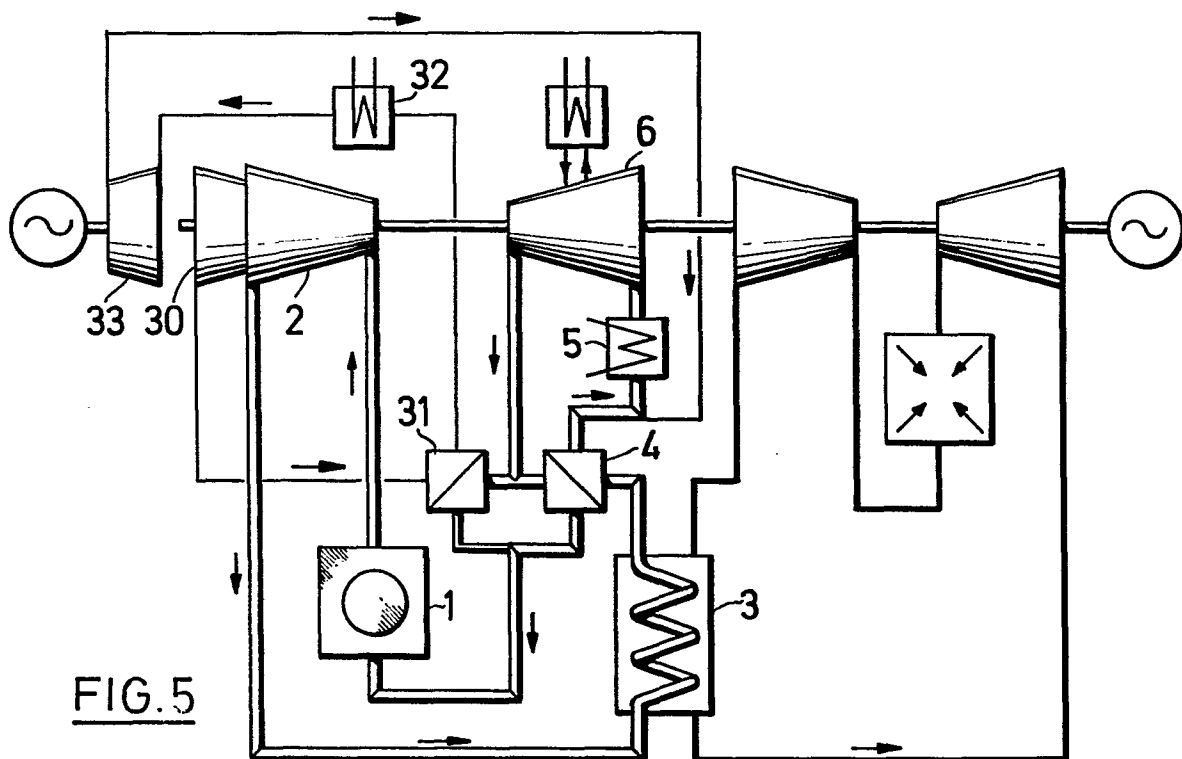


FIG. 5

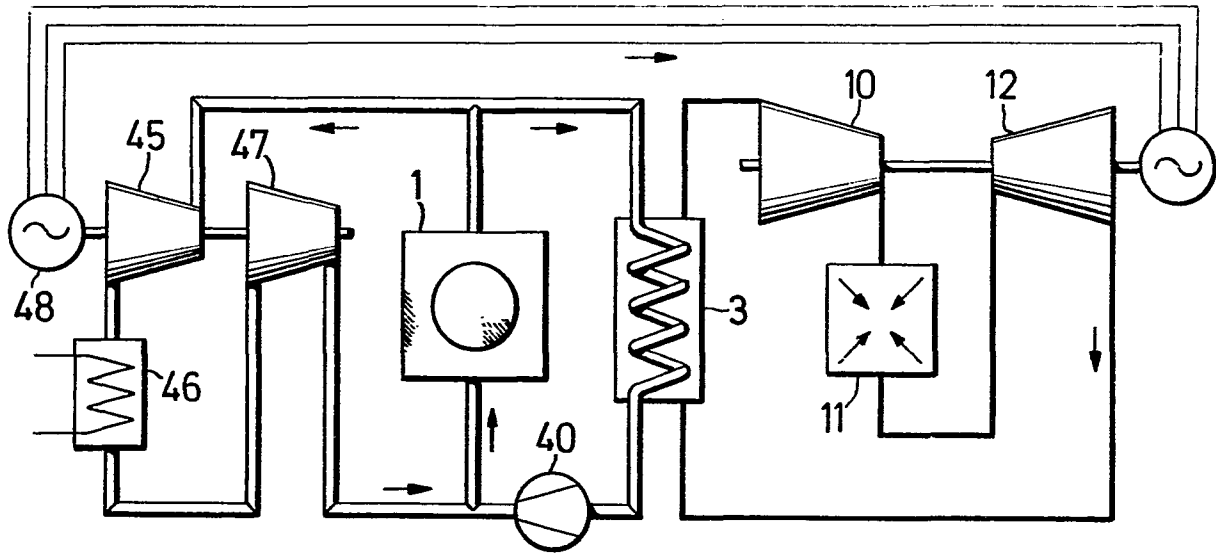


FIG. 6

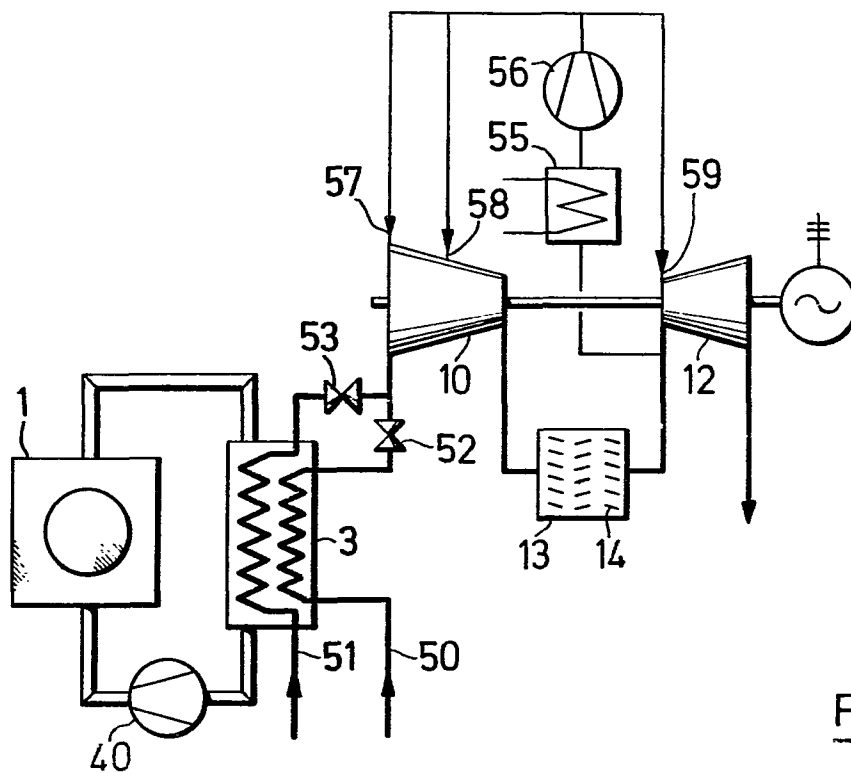


FIG. 7