

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

697 265 B1

(51) Int. Cl.: F22B 1/00 (2006.01)
F23D 14/18 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01378/03

(22) Anmeldedatum: 11.08.2003

(30) Priorität: 17.09.2002 DE 102 43 250.3

(24) Patent erteilt: 31.07.2008

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.07.2008

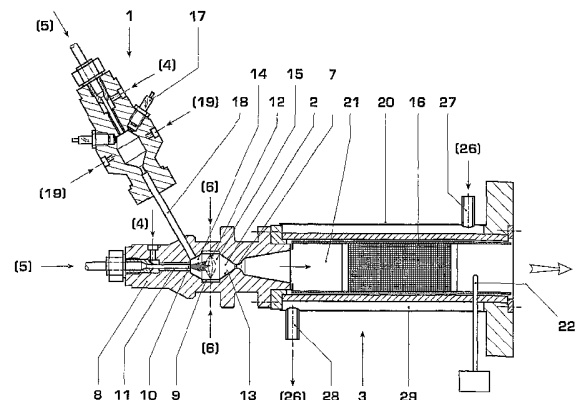
(73) Inhaber:
ALSTOM Technology Ltd, Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden (CH)

(72) Erfinder:
Dr. Timothy Griffin, 5408 Ennetbaden (CH)
Andreas Schlegel, 8057 Zürich (CH)
Dieter Winkler, 79787 Lauchringen (DE)

(54) **Verfahren zum Erzeugen von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf sowie Dampferzeuger.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und einen Dampferzeuger zum Erzeugen von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf, durch Reaktion eines stöchiometrischen Gemischs aus einem Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, und einem Oxidator, insbesondere Sauerstoff, und Eindüsen von Wasser in die heissen Reaktionsgase, das sich durch eine hohe Reinheit des erzeugten Wasserdampfes auszeichnet.

Die Aufgabe, ein Verfahren zum Erzeugen eines Dampfes höchster Reinheit bereitzustellen, wird erfindungsgemäss durch eine zweistufige Verbrennung dergestalt gelöst, dass das in einer ersten Brenn- und Verdampfungsstufe erzeugte Reaktionsgemisch einer katalytischen Nachverbrennung unterzogen wird. Ein Dampferzeuger zeichnet sich dadurch aus, dass stromab der Brenn- und Verdampfungskammer (2) eine katalytische Nachbrennkammer (3) mit einem Durchströmkörper (16) angeordnet ist.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf, durch Reaktion eines stöchiometrischen Gemischs aus einem wasserstoffhaltigen Brennstoff und einem Oxidator in einer Brennkammer und Eindüsen von Wasser in die heissen Reaktionsgase. Die Erfindung betrifft darüber hinaus einen Dampferzeuger zum Erzeugen von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf.

Stand der Technik

[0002] In zahlreichen technischen Anwendungsgebieten besteht ein Erfordernis zur Bereitstellung von Wasserdampf mit unterschiedlichen Temperatur- und Druckparametern.

[0003] Für eine Reihe von Anwendungsfällen in der Medizintechnik, der Lebensmitteltechnologie oder der experimentellen Physik oder Chemie besteht dabei ein Bedürfnis nach der Bereitstellung von Dampf höchster Reinheit innerhalb eines sehr weiten Temperatur- und Druckbereichs. Neben der herkömmlichen Methode der Wasserdampferzeugung durch Sieden und Verdampfen von Wasser mit nachfolgender Überhitzung ist es ausserdem bekannt, ein stöchiometrisches Gemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff in einer Brennkammer zu verbrennen und in das heisse Reaktionsgas Wasser einzudüsen und dabei zu verdampfen. Auf diese Weise kann im Vergleich zu den herkömmlichen Verdampfungsmethoden sehr heisser Dampf bei sehr hohen Drücken innerhalb eines bis zu theoretisch 3000 K und bis zu mehreren 100 bar reichenden Spektrums hergestellt werden.

[0004] Im Hinblick auf die Reinheit des erzeugten Dampfes sind dieser Technologie, wie sie beispielsweise in DE 3 512 947 und DE 3 936 806 offenbart ist, allerdings Grenzen gesetzt. Die Bereitstellung von Dampf höchster Reinheit setzt nach diesem Verfahren eine praktisch vollständige Umsetzung der an der Reaktion beteiligten Ausgangsstoffe Wasserstoff und Sauerstoff voraus. Hierbei wirkt sich jedoch negativ aus, dass in Anbetracht der sehr hohen Reaktionstemperaturen das zusätzliche Wasser direkt in die Brennkammer eingedüst werden muss und dabei zu lokalen Störungen des Verbrennungsvorgangs führt, so dass die Umsetzung der Ausgangsstoffe nicht vollständig abläuft und der erzeugte Dampf noch einen Anteil von 20% bis 30% an nicht umgesetzten Ausgangsstoffen Wasserstoff und Sauerstoff enthält.

[0005] Für zahlreiche Anwendungsfälle, gerade der experimentellen Physik, ist ein so hoher Anteil an Unverbranntem nicht tolerierbar.

[0006] Nun ist es zwar naheliegend, durch besondere Massnahmen der Prozessführung, beispielsweise hinsichtlich der Eindüsung des Wassers in die Heissgase, diesen Quencheffekt etwas abzdämpfen und damit einen höheren Umsetzungsgrad der Oxidationsreaktion zu erreichen.

[0007] Dennoch genügt der erzeugte Dampf in vielen Fällen, beispielsweise für die Untersuchung von Verbrennungsvorgängen unter Dampfatmosfera, nicht den geforderten höchsten Reinheitsgraden, so dass dieser Technologie zahlreiche potentielle Anwendungsgebiete des Einsatzes von Reinstdampf verschlossen bleiben.

Darstellung der Erfindung

[0008] Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Erzeugen von Dampf höchster Reinheit zu schaffen, welches in einem sehr grossen Druck- und Temperaturbereich variiert werden kann.

[0009] Des Weiteren liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen mit geringem investiven Aufwand zu erstellenden Dampferzeuger bereitzustellen, der unter allen Bedingungen eine vollständige Umsetzung des Reaktionsgemischs gewährleistet.

[0010] Erfindungsgemäss wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren und einen Dampferzeuger der in den unabhängigen Ansprüchen 1 und 15 genannten Art. Vorteilhafte Ausführungsformen geben die abhängigen Ansprüche wieder.

[0011] Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, zum Zwecke der Sicherstellung einer vollständigen Umsetzung der Ausgangsstoffe die exotherme Reaktion zur Bereitstellung der Verdampfungs- und Überhitzungswärme als zweistufigen Prozess zu gestalten.

[0012] In vorteilhafter Weise gelingt dies mit Hilfe eines Verfahrens zur Erzeugung von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf, durch exotherme Reaktion eines Brennstoffs und eines Oxidators und anschliessende Kühlung durch Wasserzugabe dadurch, dass das heisse wasserdampfhaltige Reaktionsgemisch stromab der Reaktions- und Verdampfungszone katalytisch nachverbrannt wird.

[0013] In einer bevorzugten Ausführungsart durchströmt das Reaktionsgemisch eine gasdurchlässige Struktur (nachfolgend Durchströmkörper), die mit einer katalytisch wirksamen Oberfläche, beispielsweise Platin, ausgerüstet ist.

[0014] Für die Erzeugung von Reinstwasserdampf sind Sauerstoff der bevorzugte Oxidator und Wasserstoff der bevorzugte Brennstoff. Als ein alternativer Oxidator bietet sich Wasserstoffperoxid an. Dies insbesondere im Hinblick auf solche Einsatzfälle des erzeugten Reinstdampfes, die zuverlässig auch geringste Spuren von Sauerstoff ausschliessen sollen.

[0015] Für solche Anwendungsfälle des erzeugten Dampfes, in denen ein Anteil von Inerten im Dampf zulässig ist, können nach der Erfindung der Brennstoff Wasserstoff vollständig oder teilweise durch gasförmige oder flüssige Kohlenwasserstoffe, insbesondere durch Erdgas, und der Oxidator Sauerstoff durch sauerstoffangereicherte Luft ersetzt werden.

[0016] Zur Überwachung der Funktionsfähigkeit und Wirksamkeit des Verfahrens ist der Stufe der katalytischen Nachverbrennung eine Lambdasonde zur Erfassung des Sauerstoffgehalts nachgeschaltet.

[0017] Ein Dampferzeuger zur Erzeugung von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf, mindestens umfassend eine Brenn- und Verdampfungskammer mit einer Reaktionszone zur exothermen Reaktion eines Brennstoffs und eines Oxidators und einer Verdampfungszone zum Verdampfen und/oder Überhitzen einer in die heissen Reaktionsgase eingedüsten Wassermenge zeichnet sich dadurch aus, dass der Brenn- und Verdampfungskammer eine katalytische Nachbrennkammer nachgeordnet ist.

[0018] In vorzugsweiser Ausgestaltung ist die katalytische Nachbrennkammer als ein zylindrisches Rohr ausgebildet, dessen freier Strömungsquerschnitt in einem Bereich seiner axialen Länge von einem Durchströmkörper mit einer katalytisch wirksamen Oberfläche beaufschlagt ist.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform basiert der Durchströmkörper dabei auf einem geschäumten Metall- oder einem geschäumten Keramikwerkstoff als Substrat.

Alternativ zeigen auch wabenartige oder ähnliche vielzellige Strukturen gute Ergebnisse, sofern sie den durchströmenden Reaktionsgasen genügend wirksame Oberfläche bieten.

Der Katalysator ist dabei als Überzug auf das Substrat aufgebracht oder bei einer porösen Oberfläche desselben darin eingelagert.

[0019] In einer zweckmässigen Ergänzung der Erfindung besteht die Nachbrennkammer aus einem Doppelmantelrohr, welches Kühlkanäle zur indirekten Kühlung mittels eines durchströmenden Fluids besitzt.

Zur Verhinderung der Kondensatbildung an der Kammerwandung hat es sich dabei als zweckmässig erwiesen, ein gasförmiges Kühlmedium einzusetzen.

[0020] Mit Hilfe der Erfindung ist es nunmehr möglich, mit einem vergleichsweise geringen technischen Aufwand Wasserdampf höchster Reinheit, das heisst mit einer Reinheit von über 99,9%, zu erzeugen.

[0021] Die Fähigkeit, ein derart reines Dampfgemisch zu erzeugen in Verbindung mit der hohen Flexibilität des Dampferzeugers im Hinblick auf die Prozessparameter Durchsatz, Temperatur und Druck eröffnen der Technologie des superheissen hochreinen Wasserdampfes neue Einsatzgebiete in Forschung und Technik, beispielsweise die Untersuchung von Verbrennungsvorgängen unter Dampfatmosfera, die Sondermüllbehandlung oder Technologien der emissionsfreien Energieumwandlung.

[0022] Aufgrund seines modularen Aufbaus kann der erfindungsgemässe Dampferzeuger mit geringem apparativen Aufwand an die Erfordernisse unterschiedlicher Einsatzfälle angepasst werden. Er ist wartungsarm und montagefreundlich und zeichnet sich durch einen geringen Investitionsaufwand und niedrige Betriebskosten aus. Er kann sowohl in einem grosstechnischen Rahmen, wie auch für Anwendungen im Labormassstab erstellt werden.

[0023] Neben dem einfachen Aufbau sind auch die hohe Flexibilität im Hinblick auf die Prozess- und Leistungsparameter Durchsatz, Druck und Temperatur und die Verfügbarkeit der Anlage hervorzuheben.

[0024] Der Dampferzeuger eignet sich für einen kontinuierlichen Betrieb, aufgrund seiner kurzen Ansprechzeiten aber insbesondere auch für einen intermittierenden Betrieb, da er innerhalb kürzester Zeit nach der Zündung einen stationären Betriebszustand erreicht. Die Reaktionszeiten auf Änderungen der Prozessparameter sind ausserordentlich kurz.

[0025] Ein weiterer Vorteil ist in der Möglichkeit zu sehen, zur Gasanalyse eine handelsübliche Lambdasonde einzusetzen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0026] Weitere Merkmale, Vorteile und Einzelheiten der Erfindung seien nachfolgend anhand der Zeichnungen erläutert. Es werden nur die für die Erfindung wesentlichen Elemente dargestellt. Gleiche oder einander entsprechende Elemente figurieren unter demselben Bezugszeichen. Hierbei zeigen

Fig. 1 schematische Darstellung eines Dampferzeugers

Fig. 2 Anordnung einer Lambdasonde in der Nachbrennkammer

Fig. 3 Verfahrensschema

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0027] Fig. 1 gibt in stark schematisierter Weise den prinzipiellen Aufbau eines erfindungsgemässen Dampferzeugers wieder, im Wesentlichen bestehend aus den drei modularartig zusammengesetzten Hauptkomponenten Pilotzündkammer (1), Brenn- und Verdampfungskammer (2) mit Reaktionszone (14), Verdampfungszone 15 und Austrittsdüse (7), sowie katalytische Nachbrennkammer (3). Darüber hinaus sind die Zuführeinrichtungen für einen Brennstoff (4), einen Oxidator

(5) und Wasser (6) zu erkennen. Ein Gehäusemantel (8) umschliesst eine im Wesentlichen rotationssymmetrische Brenn- und Verdampfungskammer (2). An einer Stirnseite, welche im Betriebszustand stromauf liegt, weist die Brenn- und Verdampfungskammer (2) konzentrische Einlassöffnungen (10; 11) für den Brennstoff (4) und den Oxidator (5) auf. Eine im Hinblick auf einen stöchiometrischen Verbrennungsvorgang günstige Ausgestaltung der konzentrischen Einlassöffnungen (10; 11) besteht in einer inneren zylindrischen Öffnung (10) für den Oxidator und einer äusseren ringförmigen Öffnung (11) für den Brennstoff.

An einer zweiten, stromabwärts gelegenen Stirnseite besitzt die Reaktions- und Verdampfungskammer (2) einen Dampfauslass mit einer düsenartigen Verjüngung (7).

[0028] In axialem Abstand stromab von der ersten Stirnseite besitzt die Brennkammerwand (13) eine Anzahl von über den Umfang verteilten Eintrittsöffnungen (12) für das zu verdampfende Wasser (6). Die Eintrittsöffnungen (12) können dabei in einer oder in mehreren axialen Ebenen angeordnet sein, wobei in letzterem Falle die Einlassöffnungen (12) unterschiedlicher Ebenen zueinander versetzt angeordnet sein können. Es ist keineswegs zwingend, die Einlassöffnungen (12) senkrecht zum Verlauf der Innenkontur (13) der Verdampfungszone (15) anzuordnen. Um einerseits eine gleichmässige Beladung der heissen Reaktionsgase und eine gute Durchmischung zu erzielen und andererseits eine Kühlwirkung auf die Gehäuseinnenwandung (13) wenigstens in dem Bereich der Verdampfungszone (15) auszuüben, können die Einlassöffnungen (12) sowohl in radialer wie auch in axialer Richtung geneigt die Wandung (13) durchstossen.

Zur Kühlung ist der Gehäusemantel (8) mit Kanälen (9) für ein Kühlmedium ausgestattet. Nach einer günstigen Ausführungsform der Erfindung können diese Kühlkanäle (9), vollständig oder teilweise, von dem in die Brenn- und Verdampfungskammer (2) einzuleitenden Wasser (6) beaufschlagt werden und damit zur Vorwärmung des zu verdampfenden Wassers, gegebenenfalls auch unter Bildung eines Zweiphasengemischs oder bis über den Verdampfungspunkt hinaus, herangezogen werden. Dies erhöht den Wirkungsgrad, indem die abgeführte Wärmeenergie in den Prozess zurückgeführt wird.

[0029] Ausgans der Brenn- und Verdampfungskammer (2) verengt sich der Strömungsquerschnitt zu einer Austrittsdüse (7), in der das abströmende Reaktionsgemisch stark beschleunigt wird, vorzugsweise auf eine Strömungsgeschwindigkeit oberhalb der Schallgeschwindigkeit. Aus dieser Massnahme resultieren verschiedene Wirkungen. Zum einen baut die Drosselstelle (7) den Druck in der Brenn- und Verdampfungskammer (2) auf. Ausserdem wird eine Barriere geschaffen zur Abkopplung der Brenn- und Verdampfungskammer (2) von Druckschwankungen in nachgeschalteten Anlagen, insbesondere dem nachfolgenden Dampfverbraucher, so dass diese nicht die Reaktionszone stören und unter Umständen zu Reaktionsratenschwankungen od.Ä. führen. Und schliesslich fördern die Beschleunigung und die anschliessende Verzögerung die Homogenisierung der Phasen des Reaktionsgemischs.

Zur Nachbrennkammer (3) hin erweitert sich der Strömungsquerschnitt wiederum stetig oder in mehreren Stufen, um das Reaktionsgemisch auf eine für das Passieren des katalytisch wirksamen Durchströmkörpers (16) und die Auslösung einer katalytischen Oxidationsreaktion geeignete Strömungsgeschwindigkeit zu verzögern.

[0030] Die Pilotbrennkammer (1) steht mit der Brenn- und Verdampfungskammer (2) in Verbindung. Sie umfasst Zuführeinrichtungen für den Brennstoff (4) und den Oxidator (5) sowie eine elektrische Zündeinrichtung (17) zum Entzünden des Gemischs sowie eine Lanze (18) zur Einleitung der gezündeten Heissgase in die Reaktionszone (14) der Brenn- und Verdampfungskammer (2). Darüber hinaus beherbergt sie Zuführeinrichtungen für Inerte (19) zur Spülung der Anlage vor dem Anfahren und nach dem Abschalten.

[0031] Die Nachbrennkammer (3) umfasst im Wesentlichen ein rotationssymmetrisches Gehäuse (20) in Form eines Doppelmantelrohrs mit einem den freien Strömungsquerschnitt (21) vollständig beaufschlagenden gasdurchlässigen Durchströmkörper (16) mit katalytisch wirksamer Oberfläche, beispielsweise basierend auf einem Substrat aus geschäumtem Metallwerkstoff mit einer Platinoberfläche.

[0032] Prinzipiell kommen als Katalysator alle den Verbrennungsvorgang fördernden Materialien in Frage, wie Edelmetalle (Pd, Pt, Rh usw.), Metalloxide (MnO_2 , NiO usw.), allein oder in Mischung mit einem Kokatalysator. Obgleich prinzipiell eine Vielzahl an sich bekannter hochtemperaturbeständiger metallischer und keramischer Werkstoffe als Substrat für diesen Einsatzzweck in Frage kommt, werden metallische Werkstoffe den Anforderungen im Hinblick auf Schwingungsreduzierung und Trägereigenschaften für Katalysatoren am besten gerecht. Gute Ergebnisse wurden mit Materialien auf der Basis aluminiumhaltiger oder aluminiumbehandelter Eisen- oder Stahllegierungen erzielt. Enthalten diese Materialien einen genügend hohen Anteil an Aluminium, so bilden sich bei der Oxidation auf der Oberfläche Aluminium-Whisker aus, die eine raue und chemisch aktive Oberfläche entstehen lassen, welche sich sehr gut als Träger für ein katalytisch wirksames Überzugsmaterial eignet. Nach einer alternativen günstigen Ausführungsvariante ist das metallische Substrat ein Stahlgewebe, welches mit einem porösen keramischen Material überzogen ist, das das Katalysatormaterial enthält.

[0033] Die Verbindung des Durchströmkörpers (16) mit der umgebenden Gehäusewandung kann in jeder geeigneten Weise erfolgen. In Abhängigkeit von den konkreten Bedingungen des Anwendungsfalls erschliesst sich dem Fachmann eine Reihe von Möglichkeiten.

[0034] Es hat sich gezeigt, dass durch den sich über den gesamten Querschnitt erstreckenden Strukturkörper (16) Druckwellen gedämpft werden und damit ein zusätzlicher Beitrag geleistet wird, die Auswirkungen von Druckwellen aus nachgeschalteten Anlagen auf die Reaktionszone zu minimieren und Reaktionsratenschwankungen zu unterbinden.

[0035] Zur Überwachung der Funktionstüchtigkeit des Dampferzeugers ist innerhalb der Nachbrennkammer (3) nach dem Durchströmkörper (16) eine Gasanalyseeinrichtung (22) zur Erfassung des Sauerstoffgehalts nachgeordnet. Die Erfindung

gestattet es, hierfür eine kommerziell erhältliche Lambdasonde (22) einzusetzen. Dies ist ein wesentlicher Vorteil, auf eine einfache und bewährte Technologie zurückgreifen zu können. Eine Lambdasonde (22) reagiert aus physikalischen Gründen auf Wasserstoff sensitiver als auf Sauerstoff. Nach der herkömmlichen Technologie verbietet sich daher deren Einsatz, da ein effektiver Überschuss an Sauerstoff von dem vorhandenen Wasserstoff überdeckt würde und somit zu unbrauchbaren Ergebnissen führte.

[0036] Nach einer ersten Ausführungsform für Anwendungsfälle der Bereitstellung von Dampf bei im Wesentlichen Atmosphärendruck ist die Lambdasonde (22) in an sich bekannter Weise im Strömungskanal (21) angeordnet, um von dem strömenden Reaktionsgemisch umspült zu werden.

[0037] Da Lambdasonden nicht für den Einsatz unter Überdruckbedingungen geeignet sind, sieht eine alternative, in Fig. 2 wiedergegebene Ausführungsform vor, in eine Durchgangsöffnung der Gehäusewand (20) der Nachbrennkammer (3) ein Entnahmerohr (23) einzubringen, welches Entnahmerohr (23) zu dem Strömungskanal (21) hin gasdurchlässig ausgebildet ist und ausserhalb des Gehäusemantels (20) über eine Druckentspannungseinrichtung, wie ein Druckreduzierventil (24), mit einer Kammer (25) kommuniziert, welche die Lambdasonde (22) aufnimmt.

[0038] Das Gehäuse (20) der Nachbrennkammer (3) ist indirekt gekühlt. Um an der Innenwandung eine Kondensatbildung zu unterbinden, erfolgt die Mantelkühlung vorzugsweise mit einem gasförmigen Kühlmedium (26), insbesondere Luft, die einen Kühlkanal (29) durchströmt. An geeigneter Stelle sind entsprechende Zu- und Abführstutzen (27; 28) installiert.

[0039] Nachstehend ist die Funktionsweise eines mit Wasserstoff und Sauerstoff betriebenen Dampferzeugers zur Erzeugung von Reinstwasserdampf anhand von Fig. 3 dargelegt.

[0040] In der Reaktionszone (14) findet eine stationäre Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasserdampf statt. Die theoretisch erreichbare Verbrennungstemperatur liegt bei etwa 3000K. Zwecks Kühlung wird demineralisiertes Wasser eingedüst, welches dabei verdampft und überhitzt. Zur Erhöhung der Dampfreinheit werden die nicht umgesetzten Bestandteile des Reaktionsgemischs katalytisch nachverbrannt.

[0041] Ein Sauerstoffstrom (5) und ein Wasserstoffstrom (4) werden im stöchiometrischen Verhältnis in einer inneren Zylinderströmung und in einer äusseren Ringströmung über die Einlassöffnungen (10) und (11) in den stromaufwärtigen Bereich der Brenn- und Verdampfungskammer (2), die Reaktionszone (14), eingedüst.

[0042] Zur Zündung des Dampferzeugers werden je ein Teilstrom des Wasserstoffs und des Sauerstoffs durch die Pilotzündkammer (1) geführt und dort mittels der elektrischen Zündeinrichtung (17) gezündet. Die expandierenden heissen Reaktionsgase entweichen durch die Lanze (18) in die Reaktionszone (14) der Brenn- und Verdampfungskammer (2) und zünden dort das eingeleitete Wasserstoff-/Sauerstoff-Gemisch unter Bildung von hoch erhitztem Wasserdampf. Nach Beendigung des Startvorgangs wird die Pilotzündkammer (1) abgeschaltet.

[0043] Der in der Reaktionszone (14) gebildete, hoch erhitzte, expandierende Wasserdampf wird in der Verdampfungszone (15) durch Eindüsen einer Menge demineralisierten Wassers abgekühlt. Aus dem Verhältnis des Massenstroms an zugesetztem Wasser zu den Massenströmen an eingesetztem Wasserstoff und Sauerstoff resultiert die Temperatur des erzeugten Wasserdampfs. Je weniger Wasser eingedüst wird, desto höher ist die Temperatur des erzeugten Dampfs. Die Menge an zugesetztem Wasser hängt damit von den Anforderungen des Verbrauchers ab, aber auch vom aktiven Temperaturbereich der nachgesetzten katalytisch aktiven Struktur.

[0044] Je nach Verweildauer beträgt der Umsatz in der Reaktionszone (14) etwa 70% bis 80%. Ausgangs der Verdampfungszone (15) liegt demnach ein Gemisch aus Wasserdampf mit Anteilen an nicht umgesetztem Wasserstoff und Sauerstoff und nicht verdampften Wasserpartikeln vor.

[0045] Dieses abströmende Reaktionsgemisch wird ausgangs der Brenn- und Verdampfungskammer (2) in dem sich verengenden Strömungsquerschnitt der Austrittsdüse (7) auf Schallgeschwindigkeit beschleunigt und anschliessend in mehreren Schritten wieder verzögert auf eine für die katalytische Oxidationsreaktion geeignete Strömungsgeschwindigkeit. Die turbulente, ihre Geschwindigkeit variierende Strömung fördert die Verdampfung letzter Wasserpartikel und die Homogenisierung des Reaktionsgemischs. Im weiteren Verlauf wird das weitgehend homogene Gemisch durch den den Strömungsquerschnitt vollständig überdeckenden Durchströmkörper (16), welcher in diesem Falle ein geschäumtes Metalls substrat mit katalytisch aktiver Oberfläche aus Platin ist, geleitet. Durch Kontakt mit den katalytisch wirksamen Oberflächen wird der restliche Anteil an Unverbranntem praktisch vollständig umgesetzt. Bemerkenswert ist, dass dabei aufgrund der exothermen Reaktion nochmals eine Überhitzung des Wasserdampfs eintritt. Die Erfahrung zeigt, dass etwa 3/4% der thermischen Leistung in der Reaktionszone (14) der Brenn- und Verdampfungskammer (2) und etwa 1/4 durch die katalytische Nachverbrennung erbracht werden.

[0046] Die katalytische Nachbrennkammer (3) verlässt ein Reinstdampf in einem Temperaturbereich von 500 K bis 2000 K, einem Druckbereich von 1 bar bis 30 bar und einer Dampfreinheit von über 99,9 Gew.-%. Der durchgesetzte Massenstrom ist ebenfalls sehr flexibel und hängt wesentlich von der gewählten Auslegung der Anlage ab.

[0047] Temperatur, Druck und Durchsatz können unabhängig voneinander eingestellt werden. Ein Hoch- und Herunterfahren der Anlage ist ohne zeitliche Verzögerung möglich. Die Anlage kann sehr kompakt ausgeführt sein und ist damit selbst unter beengten Raumverhältnissen eines Labors einsetzbar.

[0048] Die vorstehenden Darlegungen zu einem Ausführungsbeispiel sind keineswegs in einem einschränkenden Sinne zu verstehen. Im Gegenteil, sie sind instruktiv und als Abriss der Mannigfaltigkeit der Erfindungen im Rahmen der Patentansprüche dieses Schutzbegehrens zu verstehen.

[0049] Insbesondere ist es nicht zwingend erforderlich, dass Reaktions- und Verdampfungskammer einen gemeinsamen Hohlraum innerhalb eines gemeinsamen Gehäuses bilden. Dies ist lediglich zweckmässig. Selbstverständlich ist es denkbar, diese Verfahrensschritte räumlich zu entkoppeln und die Reaktions- und Verdampfungskammer getrennt innerhalb eines gemeinsamen oder innerhalb verschiedener Gehäuse unterzubringen. Ebenso ist es natürlich denkbar, die Funktion der Pilotzündanlage innerhalb der Reaktionskammer zu realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0050]

- 1 Pilotzündkammer
- 2 Brenn- und Verdampfungskammer
- 3 Nachbrennkammer
- 4 Brennstoff
- 5 Oxidator
- 6 Wasser
- 7 Austrittsdüse
- 8 Brennkammergehäuse
- 9 Kühlmittelkanal
- 10 Einlassöffnung für Oxidator
- 11 Einlassöffnung für Brennstoff
- 12 Einlassöffnung für Wasser
- 13 Innenwandung der Brennkammer
- 14 Reaktionszone
- 15 Verdampfungszone
- 16 katalytisch wirksamer Durchströmkörper
- 17 Zündkerze
- 18 Lanze
- 19 Inerte
- 20 Gehäuse der Nachbrennkammer
- 21 Strömungskanal, dessen Strömungsquerschnitt
- 22 Gasanalyseeinrichtung, nämlich Lambdasonde
- 23 Entnahmerohr
- 24 Druckreduzierventil
- 25 Kammer für Lambdasonde
- 26 Kühlmedium für Nachbrennkammer
- 27 Eintrittsstutzen für Kühlmedium
- 28 Austrittsstutzen für Kühlmedium
- 29 Kühlmittelkanal

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf, durch Einleiten eines Brennstoffs und eines Oxidators in einem stöchiometrischen Verhältnis in eine Reaktionszone und deren exotherme Umsetzung, überführen der gebildeten heissen Reaktionsgase in eine Verdampfungszone, Einleiten von Wasser in flüssiger und/oder dampfförmiger Form in die Verdampfungszone, wobei das eingeleitete Wasser unter Durchmischung mit den heissen Reaktionsgasen verdampft und/oder überhitzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionsgase im wasserdampfhaltigen Gemisch katalytisch nachverbrannt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das wasserdampfhaltige Gemisch eine gasdurchlässige Struktur mit einer katalytisch wirksamen Oberfläche durchströmt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die gasdurchlässige Struktur ein geschäumter metallischer oder keramischer Werkstoff ist.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die katalytisch wirksame Oberfläche Platin ist.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das wasserdampfhaltige Gemisch die Verdampfungszone über eine Drosselstelle verlässt und dabei beschleunigt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das wasserdampfhaltige Gemisch auf Schallgeschwindigkeit beschleunigt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Oxidator Sauerstoff ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Oxidator Wasserstoffperoxid ist.
9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennstoff Wasserstoff ist.
10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennstoff ein Kohlenwasserstoff ist.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennstoff Erdgas ist.
12. Wasserdampf, erzeugt gemäss einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch einen Wasserdampfgehalt von mindestens 99,9 Gew.-%, eine Temperatur von bis zu 2000 K und einen Druck von bis zu 30 bar.
13. Verwendung von Wasserdampf gemäss Anspruch 12 als Arbeitsmedium in einem CO₂-emissionsfreien Energieumwandlungsprozess.
14. Verwendung von Wasserdampf gemäss Anspruch 12 zur Sondermüllbehandlung.
15. Dampferzeuger zur Erzeugung von Wasserdampf, insbesondere von Reinstwasserdampf, wenigstens umfassend eine Brenn- und Verdampfungskammer (2) mit einer Reaktionszone (14) zur exothermen Reaktion eines Brennstoffs und eines Oxidators und einer Verdampfungszone (15) zur Verdampfung und/oder Überhitzung einer eingedüsten Wassermenge, eine Zuführeinrichtung für den Brennstoff (4) und den Oxidator (5) in die Reaktionszone (14), eine Zündeinrichtung (1) zur Zündung wenigstens eines Teils des Brennstoff-/Oxidator-Gemischs, eine Zuführeinrichtung (12) für Wasser (6) in die Verdampfungszone (15) sowie eine Austrittsdüse (7) für das wasserdampfhaltige Gemisch, dadurch gekennzeichnet, dass stromab der Reaktions- und Verdampfungskammer (2) eine katalytische Nachbrennkammer (3) zum Nachverbrennen der Reaktionsgase angeordnet ist.
16. Dampferzeuger nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die katalytische Nachbrennkammer (3) als ein in einem Gehäuse (20) angeordneter Strömungskanal (21) ausgebildet ist, dessen freier Strömungsquerschnitt (21) in einem Bereich seiner axialen Länge von einem Durchströmkörper (16) mit einer katalytisch wirksamen Oberfläche beaufschlagt ist.
17. Dampferzeuger nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Strömungskanal (21) der Nachbrennkammer (3) im Wesentlichen zylindrisch ausgebildet ist.
18. Dampferzeuger nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (20) als Doppelmantelrohr ausgebildet ist.
19. Dampferzeuger nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (20) der Nachbrennkammer (3) luftgekühlt ist.
20. Dampferzeuger nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchströmkörper (16) auf einem geschäumten Metall- oder auf einem geschäumten Keramikwerkstoff basiert.
21. Dampferzeuger nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchströmkörper (16) auf einer metallischen oder keramischen Wabenstruktur basiert.
22. Dampferzeuger nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass stromab des Durchströmkörpers eine Gasanalyseeinrichtung (22) angeordnet ist.
23. Dampferzeuger nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb des Strömungskanals (21) eine Lambdasonde (22) als Gasanalyseeinrichtung angeordnet ist.
24. Dampferzeuger nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse der Nachbrennkammer (3) eine Durchgangsöffnung für ein Entnahmerohr (23) aufweist, welches Entnahmerohr (23) zu dem Strömungskanal (21) hin gasdurchlässig ausgebildet ist und ausserhalb des Gehäuses (20) über eine Druckentspannungseinrichtung (24) mit einer Kammer (25) kommuniziert, welche eine Gasanalyseeinrichtung, insbesondere eine Lambdasonde (22), aufnimmt.

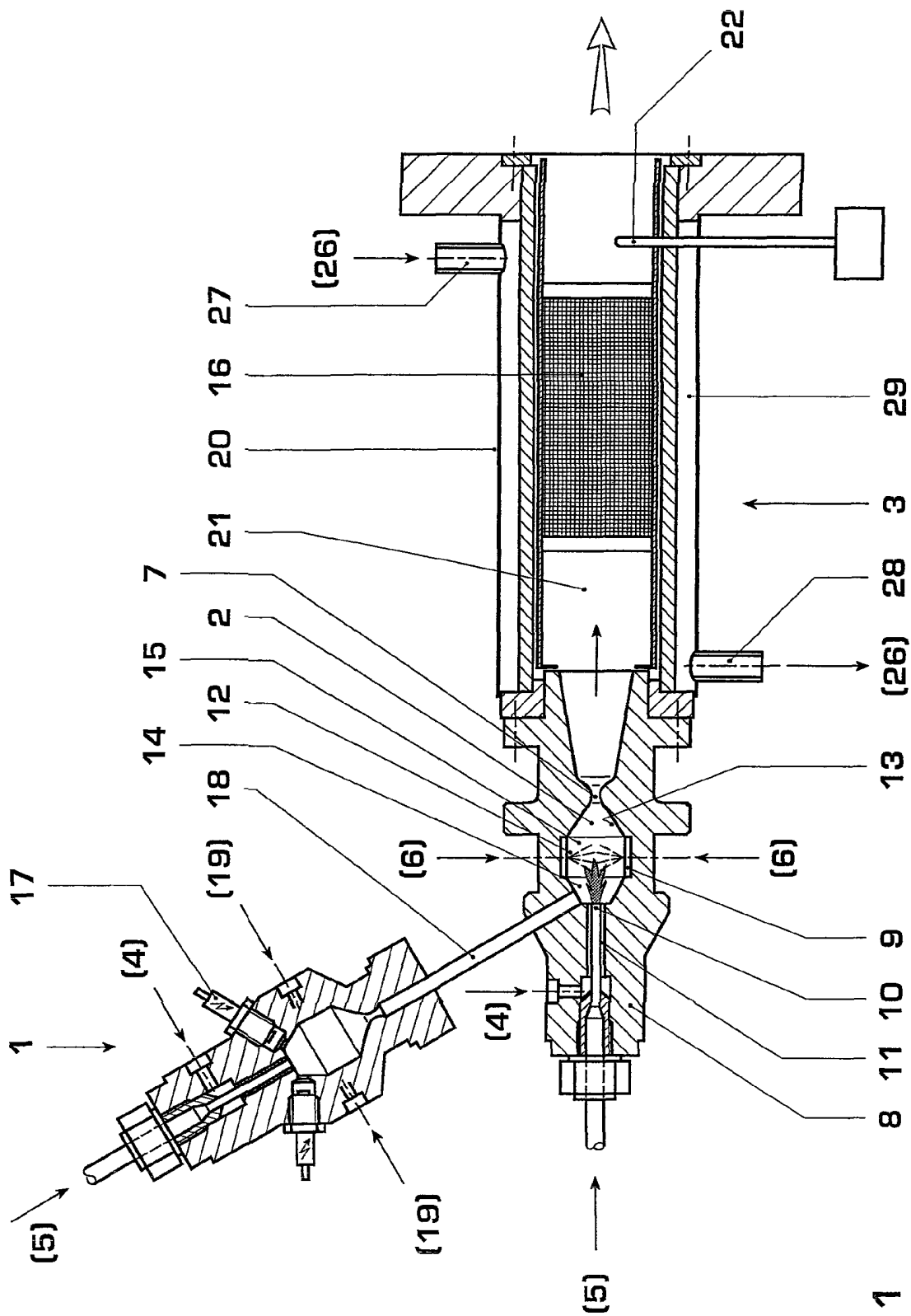


Fig. 1

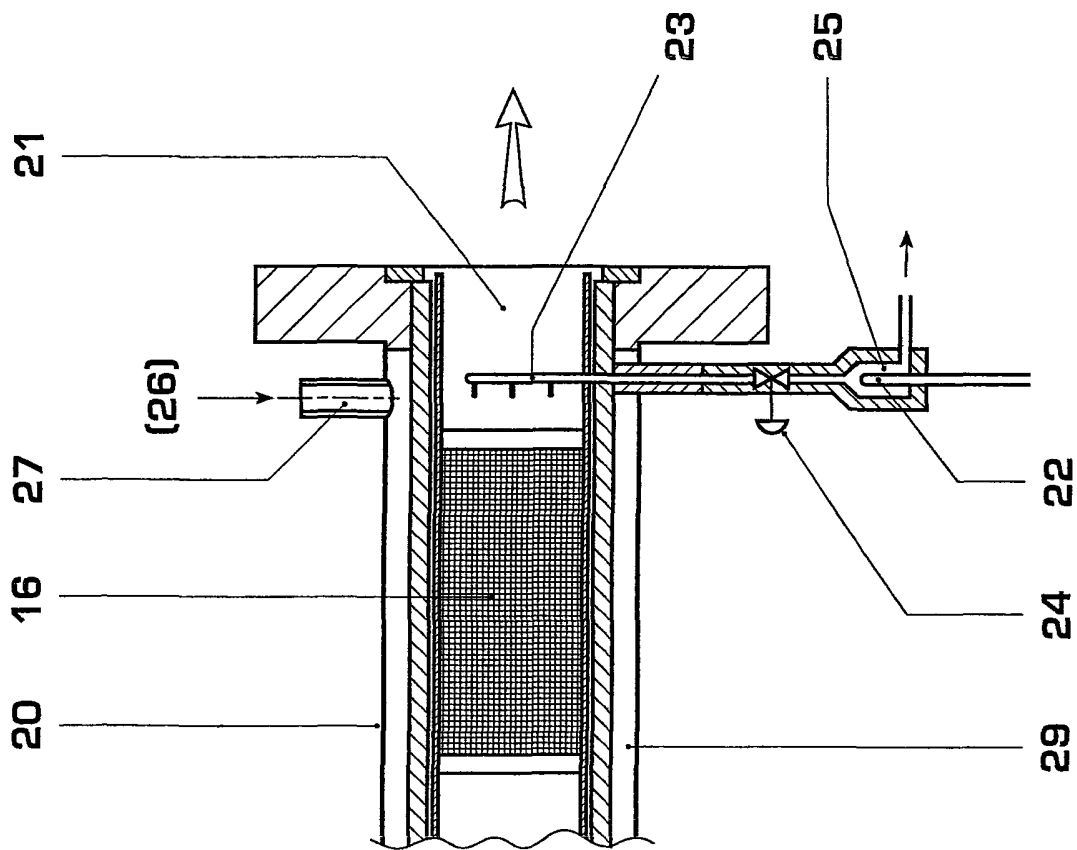


Fig. 2

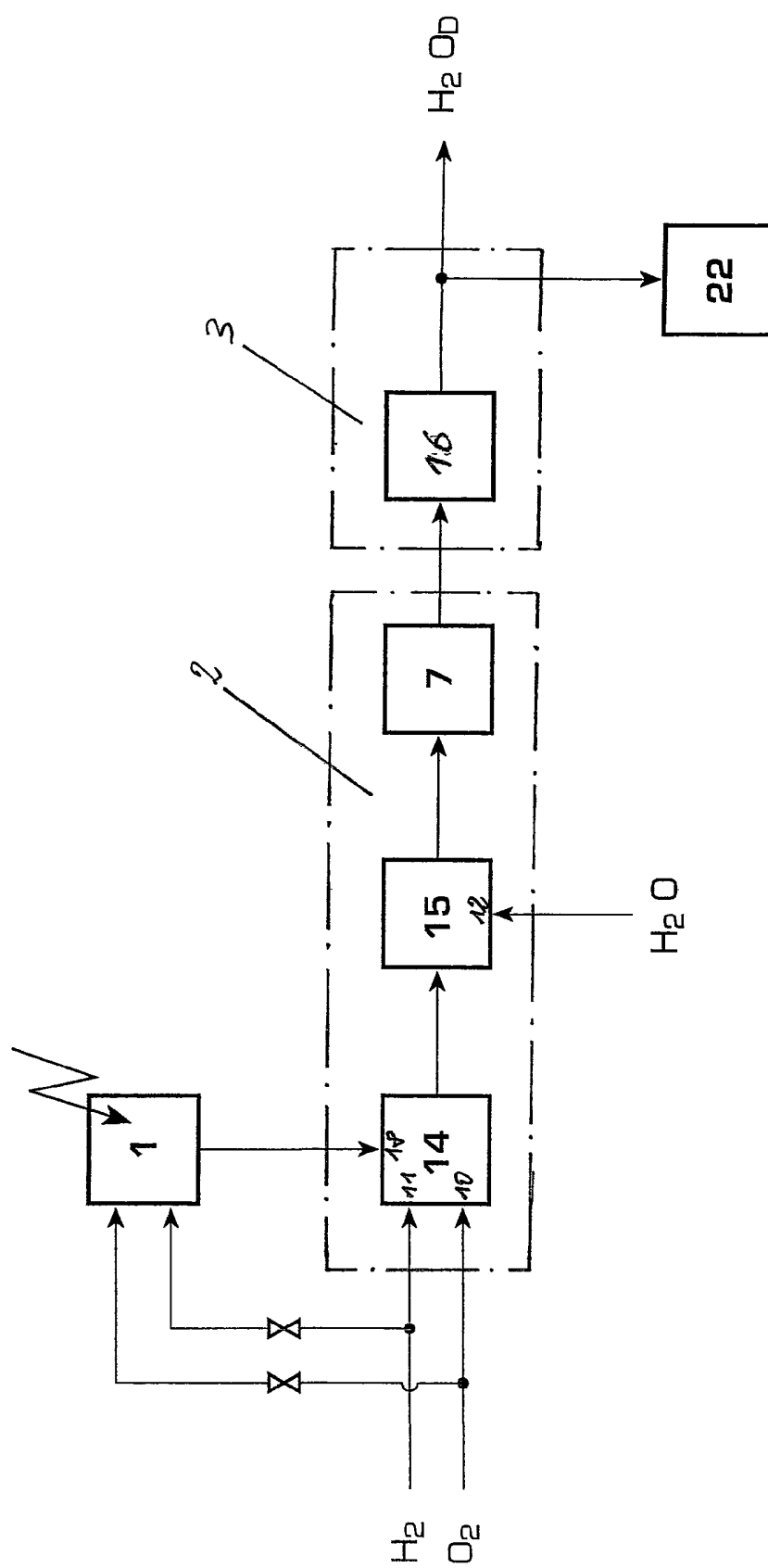


Fig. 3