

(19)



(11)

EP 2 912 374 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
30.11.2016 Patentblatt 2016/48

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

(21) Anmeldenummer: **13824103.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2013/200253

(22) Anmeldetag: **28.10.2013**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2014/067519 (08.05.2014 Gazette 2014/19)

(54) VERFAHREN ZUM ERZEUGEN VON WASSERDAMPF

METHOD FOR PRODUCING STEAM

PROCÉDÉ DE PRODUCTION DE VAPEUR D'EAU

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

- **STILL, Martin**
90480 Nürnberg (DE)
- **TRIMIS, Dimosthenis**
90762 Fürth (DE)
- **VENZKE, Holger**
90408 Nürnberg (DE)

(30) Priorität: **29.10.2012 DE 102012219755**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.09.2015 Patentblatt 2015/36

(74) Vertreter: **ThyssenKrupp Intellectual Property GmbH**
ThyssenKrupp Allee 1
45143 Essen (DE)

(73) Patentinhaber: **ThyssenKrupp Marine Systems GmbH**
24143 Kiel (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 0 197 555 DE-A1- 10 243 250
DE-C- 168 037 US-A- 2 299 849
US-A1- 2010 224 363 US-B1- 7 128 624

(72) Erfinder:
• **VOSS, Stefan**
01129 Dresden (DE)

EP 2 912 374 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf, bei dem Wasserstoff und Sauerstoff unter Zugabe von flüssigem Wasser in einer Brennkammer verbrannt werden. Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens sowie ein Unterseeboot mit einer solchen Vorrichtung.

[0002] Es ist allgemein bekannt, Wasserdampf durch Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff zu erzeugen. Zum Stand der Technik gehört es auch, zur Erzeugung zusätzlichen Wasserdampfs in die Brennkammer, in der die Verbrennung des Wasserstoffs mit dem Sauerstoff abläuft, Wasser außerhalb der eigentlichen Verbrennungszone einzubringen und so dort zu verdampfen.

[0003] Die adiabate Flammentemperatur ist bei der stöchiometrischen Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff vergleichsweise hoch. Dies kann dazu führen, dass ein Teil des bei der Verbrennung erzeugten Wasserdampfs außerhalb der Wasserstoff-Sauerstoff-Flamme wieder zu Wasserstoff und Sauerstoff dissoziiert, wobei die so gebildeten Wasserstoff- und Sauerstoffmoleküle teilweise nicht mehr am Verbrennungsvorgang teilnehmen. Das bei der Verbrennung entstehende Produktgas enthält dann neben Wasserdampf auch Wasserstoff und Sauerstoff. Wasserdampf höchster Reinheit lässt sich nur mit einer aufwändigen Nachbehandlung des Produktgases, beispielsweise in Form einer katalytischen Nachverbrennung erzeugen. Des Weiteren sind mit der hohen adiabaten Flammentemperatur bei der Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff hohe Anforderungen an die in der Brennkammer eingesetzten Materialien bzw. Bauteile verbunden. So ist die Außenwandung der Brennkammer in aufwändiger Weise vor der in der Brennkammer herrschenden hohen Temperatur zu schützen. Eine direkte Anordnung von Zündeinrichtungen und Messsensoren in der Brennkammer ist aufgrund der hohen Temperatur in der Brennkammer in der Regel nicht möglich. Auch das Einbringen des Wassers in die Brennkammer erweist sich bei der bislang bekannten Vorgehensweise als problematisch. So kann das in die Brennkammer eingebrachte Wasser bei dem in der Brennkammer ablaufenden Oxidationsprozess aufgrund einer damit verbundenen Herabsetzung der Flammentemperatur zu Kettenabbruchreaktionen führen.

[0004] Aus der US 7 128 624 B1 ist ein Antriebssystem für ein Unterwasserfahrzeug bekannt. Das System enthält eine Wasserstoffversorgung, eine Sauerstoffversorgung sowie eine Brennkammer.

[0005] Aus der DE 102 43 250 A1 ist ein Verfahren und ein 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 hei-

ßen Reaktionsgase, das sich durch eine hohe Reinheit des erzeugten Wasserdampfes auszeichnet, bekannt.

[0006] Aus der EP 0 197 555 A2 ist ein Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf in einem Dampferzeuger bekannt, bei dem man in einer Heißgasreaktionskammer Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasserdampf reagieren lässt, bei dem man in der Wand der Heißgasreaktionskammer Wasser erwärmt und bei dem man das erwärmte Wasser in die heißen Reaktionsgase einspritzt.

[0007] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Erzeugung von überhitztem Wasserdampf höchster Reinheit durch Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff zur Verfügung zu stellen, bei dem die geschilderten Probleme der bislang bekannten Verfahren dieser Art nicht auftreten. Ferner ist es Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens zu schaffen.

[0008] Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen und mit einer Vorrichtung zur Erzeugung von Wasserdampf mit den in Anspruch 6 angegebenen Merkmalen. Vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens und der Vorrichtung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie der Zeichnung. Hierbei können gemäß der Erfindung die in den Unteransprüchen 2 bis 5 angegebenen Merkmale jeweils für sich, aber auch in technisch sinnvoller Kombination das Verfahren nach Anspruch 1 und die in den Unteransprüchen 7 bis 12 angegebenen Merkmale jeweils alleine oder miteinander kombiniert die Vorrichtung nach Anspruch 6 weiter ausgestalten.

[0009] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf werden Wasserstoff und Sauerstoff unter Zugabe von Wasser in einer Brennkammer verbrannt. Der Wasserstoff und der Sauerstoff werden im Verbrennungsprozess zweckmäßigerweise in einem stöchiometrischen Mengenverhältnis zugeführt. Bevorzugt wird der Wasserstoff von dem Sauerstoff räumlich getrennt in die Brennkammer eingebracht.

[0010] Die Grundidee der Erfindung ist es, flüssiges Wasser in einem gemeinsamen Volumenstrom mit dem Sauerstoff in die Brennkammer einzuleiten. Anders als bislang üblich wird das flüssige Wasser demnach nicht in der Nachverbrennungszone der Wasserstoff-Sauerstoff-Flamme, sondern in der Vorwärm- und Verbrennungszone der Brennkammer zusammen mit dem Sauerstoff eingebracht. Aufgrund dieser Einleitung des Wassers in die Brennkammer wird die adiabate Flammentemperatur in der Brennkammer gegenüber der bislang üblichen Verbrennungsprozessführung lokal herabgesetzt. So beträgt die Reaktionstemperatur in der Brennkammer bei dem erfindungsgemäßen Verfahren etwa 950 bis 1.050 ° C. Vorteilhafterweise findet bei dieser Reaktionstemperatur keine Dissoziation des bei der Verbrennung erzeugten Wasserdampfs statt, sodass bei dem erfindungsgemäßen Verfahren keine freien Wasserstoff- und Sauerstoffmoleküle entstehen und somit Wasserdampf höchster Reinheit erzeugt werden kann.

Die Außenwandung der Brennkammer sowie die in der Brennkammer angeordneten Bauteile bzw. Bauteilgruppen sind bei dem erfindungsgemäßen Verfahren einer deutlich geringeren thermischen Belastung ausgesetzt. Dies ermöglicht es, Zündeinrichtungen und Messsensoren gegebenenfalls direkt in der Brennkammer anzuordnen. Weiter vorteilhaft liegt die Reaktionstemperatur oberhalb der Temperatur, in der es zu Kettenabbruchreaktionen eines Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisches kommt. Insofern ist auch in dieser Hinsicht eine störungsfreie Prozessführung gewährleistet.

[0011] In vorteilhafter Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dem in der Brennkammer erzeugten Wasserdampf ausgangsseitig der Brennkammer zusätzliches flüssiges Wasser hinzuzufügen. Mit dieser Maßnahme wird die Möglichkeit geschaffen, die Wasserdampfmenge und vor allem die Temperatur des erzeugten Wasserdampfes einzustellen. Die Temperaturregelung erfolgt dabei typischerweise über die Menge des dem Wasserdampf zugeführten flüssigen Wassers, das aufgrund der Temperatur des bereits vorhandenen Wasserdampfes ebenfalls verdampft. Durch die Zugabe des zusätzlichen Wassers weist der Wasserdampf gegenüber dem vor der Zugabe des zusätzlichen flüssigen Wassers vorhandenen Wasserdampf eine geringere Temperatur auf. Anders als bei den bislang bekannten Verfahren zur Wasserdampferzeugung durch die Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff lassen sich auf diese Weise Wasserdampftemperaturen verwirklichen, die in einem Bereich unterhalb von 200 ° C liegen.

[0012] Obwohl die bei dem erfindungsgemäßen Verfahren in der Brennkammer herrschenden Reaktionstemperaturen vergleichsweise niedrig sind, ist bevorzugt vorgesehen, die Brennkammer an ihrer Außenseite zu kühlen, um so die von der Außenwandung der Brennkammer aufgenommene Wärme abzuführen. Besonders vorteilhaft wird hierbei das zu verdampfende Wasser zuvor zur Kühlung der Außenwandung der Brennkammer verwendet. D. h. bevorzugt wird Wasser, welches zur Bildung eines Kühlstroms an der Außenseite der Brennkammer entlanggeführt wird, anschließend, nachdem es Wärme von der Außenwandung der Brennkammer aufgenommen hat, in einem gemeinsamen Volumenstrom mit dem Sauerstoff in die Brennkammer geleitet und/oder ausgangsseitig der Brennkammer dem in der Brennkammer erzeugten Wasserdampf hinzugefügt. Demnach ist das Wasser, bevor es zusammen mit dem Sauerstoff in die Brennkammer eingeleitet wird bzw. dem in der Brennkammer erzeugten Wasserdampf ausgangsseitig der Brennkammer hinzugefügt wird, vorteilhafterweise bereits vorgewärmt.

[0013] Zweckmäßigerweise wird das Wasser mit dem Sauerstoff homogen vermischt in die Brennkammer eingeleitet. So ist bevorzugt vorgesehen, dass das der Brennkammer zugeführte Wasser vor Einleitung in die Brennkammer mittels des Sauerstoffstroms zerstäubt wird. Der dabei entstehende Sauerstoff-Wasser-Nebel

wird dann in die Brennkammer eingeleitet. Die Zerstäubung des Wassers bewirkt eine Verbesserung des Wärmeaustausches zwischen der Wasserstoff-Sauerstoff-Flamme und dem Wasser und damit einhergehend eine Beschleunigung des Verdampfungsprozesses dieses Wassers.

[0014] Mit der Zielsetzung, den Wärmeaustausch zwischen dem in der Brennkammer erzeugten Wasserdampf und dem diesem Wasserdampf ausgangsseitig der Brennkammer hinzugefügten flüssigen Wasser zu verbessern und eine schnelle Verdampfung des flüssigen Wassers zu bewirken, ist in ähnlicher Weise vorgesehen, vorzugsweise auch das dem in der Brennkammer erzeugten Wasserdampf hinzugefügte flüssige Wasser zu zerstäuben, wobei hierzu der Wasserdampfstrom als Treibgas verwendet wird.

[0015] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung von Wasserdampf weist eine Brennkammer mit einem Wasserstoffeinlass und einem Sauerstoffeinlass auf. Der Wasserstoffeinlass und der Sauerstoffeinlass münden bevorzugt voneinander beabstandet in die Brennkammer. Um in die Brennkammer flüssiges Wasser in einem gemeinsamen Volumenstrom mit dem Sauerstoff einleiten zu können, ist der Sauerstoffeinlass ausgangsseitig über eine absperzbare Zufuhrleitung mit einer Wasserquelle verbunden. D. h., neben einer von einer Sauerstoffquelle zu dem Sauerstoffeinlass führenden Zufuhrleitung ist an dem Sauerstoffeinlass eine weitere, von einer Wasserquelle kommende Zufuhrleitung angeschlossen.

[0016] Zur Ableitung des durch die Verbrennung des Wasserstoffs mit dem Sauerstoff und durch Verdampfung des flüssigen Wassers erzeugten Wasserdampfes ist an der Brennkammer ein Wasserdampfauslass angeordnet. Bevorzugt mündet dieser Wasserdampfauslass ausgangsseitig der Brennkammer in eine Mischkammer, welche auch einen Wassereinlass für flüssiges Wasser aufweist. Demnach ist abströmseitig der Brennkammer ein Raum angeordnet, in den der Wasserdampf von der Brennkammer direkt überströmen kann, wo der Wasserdampf dann mit weiterem Wasserdampf vermischt wird, der von verdampfendem flüssigen Wasser gebildet wird, welches über den Wassereinlass in die Mischkammer geleitet wird. Zweckmäßigerweise kann eine Steuerung vorgesehen sein, mit der die über den Wassereinlass in die Mischkammer eingeleitete Wassermenge steuerbar ist, wodurch sich dann auch die Temperatur des in der erfindungsgemäßen Vorrichtung erzeugten Wasserdampfes steuern lässt.

[0017] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Wasserstoffeinlass an der Brennkammer konzentrisch um den Sauerstoffeinlass herum angeordnet. Hierbei kann der Wasserstoffeinlass ringförmig ausgebildet sein oder, wie es bevorzugt vorgesehen ist, von einer Vielzahl von Wasserstoffeinlassöffnungen gebildet werden, die ringförmig mit radialem Abstand zu dem Sauerstoffeinlass um diesen herum angeordnet sind. Dieser radiale Abstand des Sauerstoff-

inlasses von dem Wasserstoffeinlass sowie vorzugsweise auch ein Abstand in Ausströmrichtung des Sauerstoffeinlasses zwischen dem Sauerstoffeinlass und dem Wasserstoffeinlass verhindern vorteilhaft einen Wärmeübergang von der Wasserstoff-Sauerstoff-Flamme auf den Sauerstoffeinlass, sodass der Sauerstoffeinlass vor einer übermäßigen thermischen Belastung geschützt ist.

[0018] Prinzipiell können an der Mischkammer ein Einlass zur Einleitung des von der Brennkammer kommenden Wasserdampfs und ein weiterer Einlass zur Einleitung des zusätzlichen flüssigen Wassers ausgebildet sein. Bevorzugt ist allerdings vorgesehen, dass der Wasserdampfauslass der Brennkammer auch den Wassereinlass der Mischkammer bildet. Dementsprechend weist die Mischkammer vorzugsweise lediglich einen Strömungseinlass auf, welcher von dem Wasserdampfauslass der Brennkammer gebildet wird, wobei in dem Strömungsweg durch diesen Wasserdampfauslass eine von der Wasserquelle kommende Zuführleitung mündet, über die flüssiges Wasser in den Wasserdampfauslass und von dort in die Mischkammer strömen kann.

[0019] Zweckmäßigerweise ist der Wasserdampfauslass derart ausgebildet, dass das ihm zugeführte Wasser in ihm zerstäubt wird. Vorteilhaft handelt es sich daher bei dem Wasserdampfauslass um eine Düse, wobei bevorzugt vorgesehen ist, dass der Wasserdampfauslass als eine kritische Düse ausgebildet ist. Die Verwendung einer kritischen Düse als Wasserdampfauslass der Brennkammer hat den Vorteil, dass sich mit dieser ein konstanter Wasserdampfstrom in die Mischkammer verwirklichen lässt. Ein weiterer Vorteil der Verwendung der kritischen Düse als Wasserdampfauslass der Brennkammer bzw. als Wasserdampfeinlass der Mischkammer ist darin zu sehen, dass die Brennkammer hierdurch von Druckschwankungen, die gegebenenfalls in der erfindungsgemäßen Vorrichtung nachgeschalteten Vorrichtungen bzw. Anlagen auftreten können, entkoppelt wird.

[0020] Zur Unterstützung des Verdampfungsprozesses des ausgangsseitig der Brennkammer dem dort erzeugten Wasserdampf hinzugefügten flüssigen Wassers sowie zur Unterstützung der Vermischung des in der Brennkammer erzeugten Wasserdampfs mit dem in der Mischkammer erzeugten Wasserdampf und zur Verhinderung lokaler Temperaturunterschiede in der Mischkammer, ist die Mischkammer vorzugsweise mit einem porösen Material gefüllt. Bei diesem porösen Material kann es sich vorteilhaft um ein Drahtgestrick handeln, welches aufgrund der darin ausgebildeten Maschen eine vergleichsweise große poröse und somit gasdurchlässige Oberfläche bildet.

[0021] Um die Außenwandung der Brennkammer während der darin ablaufenden Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff vor einer zu großen Wärmebeanspruchung zu schützen, ist zweckmäßigerweise an der Außenwandung der Brennkammer zumindest ein mit einer Wasserquelle strömungsverbundener Kühlwasserkanal ausgebildet. Besonders vorteilhaft ist dieser Kühlwasserkanal abströmseitig mit dem Sauerstoffein-

lass der Brennkammer und/oder mit dem Wasserdampfauslass der Brennkammer strömungsverbunden. Insofern bildet der Kühlwasserkanal bei dieser Ausgestaltung einen Teil der Zuführleitung von der Wasserquelle zu dem Sauerstoffeinlass der Brennkammer und einen Teil der Zuführleitung von der Wasserquelle zu dem Wasserdampfauslass der Brennkammer bzw. dem Wasserdampfeinlass der Mischkammer.

[0022] Als weitere vorteilhafte Maßnahme zum Schutz der Außenwandung der Brennkammer sowie zum Schutz deren Sauerstoffeinlasses und Wasserdampfeinlasses können in der Brennkammer Wärmedämmstoffe, insbesondere Wärmedämmplatten angeordnet sein. Die von diesen Wärmedämmplatten aufgenommene Wärme kann dann über den zumindest einen an der Außenwandung der Brennkammer angeordneten Kühlwasserkanal von der Brennkammer abgeführt werden.

[0023] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf und mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung hierfür ist es möglich, überhitzten Wasserdampf mit geringer Temperatur nahe der Satt-dampflinie zu erzeugen. Überhitzter Wasserdampf in diesem Temperaturbereich wird zum Regenerieren der in Unterseebooten vorgesehenen CO₂-Bindeeinrichtungen, die dort zum Binden des in der Luft im Inneren des Unterseeboots enthaltenen CO₂ dienen, eingesetzt. Daher eignet sich die erfindungsgemäße Vorrichtung auch in besonderem Maße zum Einsatz in einem Unterseeboot. Insofern betrifft die Erfindung auch ein Unterseeboot, welches eine Vorrichtung zur Erzeugung von Wasserdampf mit den oben beschriebenen Merkmalen aufweist.

[0024] Nachfolgend ist die Erfindung anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 schematisch sehr stark vereinfacht eine Vorrichtung zur Erzeugung von Wasserdampf,

Fig. 2 in einem Längsschnitt eine Ausgestaltung der Vorrichtung nach Fig. 1,

Fig. 3 eine Einzelheit A aus Fig. 1,

Fig. 4 eine Einzelheit B aus Fig. 1 in einem Halbschnitt und

Fig. 5 in einer Prinzipdarstellung den Ablauf eines Verfahrens zur Erzeugung von Wasserdampf.

[0025] Die in Fig. 1 sowie die in Fig. 2 dargestellte Vorrichtung zur Erzeugung von Wasserdampf weist eine Brennkammer 2 auf, in welcher gasförmiger Wasserstoff H_{2(g)} und gasförmiger Sauerstoff O_{2(g)} verbrannt werden, wobei als Produktgas Wasserdampf H₂O_(g) entsteht. Die Brennkammer 2 wird von einem im Wesentlichen zylindrischen Gehäuse 4 gebildet, dessen offene Stirnseiten von Endplatten 6 und 8 verschlossen sind.

[0026] An der Endplatte 6 sind ein Sauerstoffeinlass und ein Wasserstoffeinlass ausgebildet (Fig. 3). Der Sauerstoffeinlass wird von einer Düse 10 gebildet, die an der Endplatte 6 zentral angeordnet ist. Den Wasserstoffeinlass in die Brennkammer 2 bilden zwölf Wasserstoffeinlassöffnungen 12, die mit radialem Abstand zu der Düse 10 ringförmig um diese herum ausgebildet sind. An der der Brennkammer 2 zugewandten Seite ist an der Endplatte 6 eine kegelförmige Vertiefung 14 ausgebildet. An dem spitz zulaufenden Ende dieser Vertiefung 14 mündet die Düse 10.

[0027] Über die Düse 10 als Sauerstoffeinlass wird neben dem Sauerstoff $O_{2(g)}$ auch flüssiges Wasser $H_2O_{(fl)}$ in die Brennkammer 2 eingeleitet. Hierzu sind an der Düse 10 eingangsseitig ein Anschluss 16 zum Anschluss einer von einer Sauerstoffquelle kommenden Zuführleitung und ein Anschluss 18 zum Anschluss einer von einer Wasserquelle kommenden Zuführleitung ausgebildet. Auf die Darstellung der Sauerstoffquelle, der Wasserquelle und der Zuführleitungen ist aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit verzichtet worden.

[0028] Das Gehäuse 4 sowie die Endplatte 6 sind an ihrer der Brennkammer 2 zugewandten Innenseite mit Wärmedämmplatten 20 verkleidet. Durch die Endplatte 6 ist ein Zünder 22 einer elektrischen Zündeinrichtung in das Innere der Brennkammer 2 geführt, die dort zum Erzeugen einer Wasserstoff-Sauerstoff-Flamme dient.

[0029] An der Endplatte 8 ist zentral ein Wasserdampfauslass 24 angeordnet. Dieser Wasserdampfauslass 24 wird von einer kritischen Düse gebildet. Mit radialem Abstand um den Wasserdampfauslass 24 herum sind an der Endplatte 8 mehrere Entlastungsbohrungen 26 angeordnet. Der Wasserdampfeinlass 24 mündet in einer Mischkammer 28. Diese Mischkammer 28 wird von einem im Wesentlichen zylindrischen Gehäuse 30 gebildet, welches an der Endplatte 8 an der von der Brennkammer 2 abgewandten Seite angeflanscht ist. An dem Gehäuse 30 ist an einem von der Endplatte 8 abgewandten Ende ein Auslass 32 ausgebildet. In der Mischkammer 28 sind in dem Strömungspfad von dem Wasserstoffauslass 24, der einen Wasserstoffeinlass in die Mischkammer 28 bildet, und dem Auslass 32 hintereinander mehrere Segmente 34 aus einem porösen Material, wie z. B. Drahtgestrick, angeordnet.

[0030] An der Außenseite des die Brennkammer 2 bildenden Gehäuses 4 ist eine sich schraubenförmig um den Umfang des Gehäuses 4 windende Nut 36 ausgebildet. Die Nut 36 dient zur Aufnahme eines Kühlwasserkanals in Form einer Leitung 38. Anströmseitig ist die Leitung 38 mit einer in der Zeichnung nicht dargestellten Wasserquelle verbunden. Abströmseitig der Leitung 38 besteht eine in der Zeichnung ebenfalls nicht dargestellte Strömungsverbindung zwischen der Leitung 38 und der Düse 10 sowie zwischen der Leitung 38 und dem an der Endplatte 8 ausgebildeten Wasserdampfauslass 24, wobei ein Teil dieser Leitungsverbindung von einer an der Endplatte 8 ausgebildeten Bohrung 40 (Fig. 4) gebildet wird, die von der Außenseite der Endplatte 8 radial nach

innen verläuft und in den Wasserdampfauslass 24 mündet.

[0031] Der Verfahrensablauf bei Einsatz der in der Zeichnung dargestellten Vorrichtung ist wie folgt:

Zur Erzeugung von Wasserdampf $H_2O_{(g)}$ wird der Brennkammer 2 voneinander räumlich getrennt Wasserstoff $H_{2(g)}$ und Sauerstoff $O_{2(g)}$ im stöchiometrischen Verhältnis zugeführt. Die Einleitung des Wasserstoffs $H_{2(g)}$ erfolgt über die Wasserstoffeinlassöffnungen 12, während der Sauerstoff $O_{2(g)}$ über die Düse 10 in die Brennkammer 2 eingeleitet wird. In der Brennkammer 2 wird das Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch mittels des Zünders 22 gezündet, woraufhin es unter Bildung einer Wasser-Sauerstoff-Flamme verbrennt und als Produktgas reiner Wasserdampf $H_2O_{(g)}$ erzeugt wird.

[0032] Während der Verbrennung des Wasserstoffs $H_{2(g)}$ mit dem Sauerstoff $O_{2(g)}$ wird die Brennkammer 2 mittels durch die Leitung 38 fließenden Wassers $H_2O_{(fl)}$ gekühlt. Ein Teil dieses Wassers $H_2O_{(fl)}$ wird dem Sauerstoffstrom in der Düse 10 zugeführt, von wo es zerstäubt mit dem Sauerstoff $O_{2(g)}$ in die Brennkammer 2 gelangt. Dort verdampft das Wasser $H_2O_{(fl)}$ zu zusätzlichem Wasserdampf $H_2O_{(g)}$. Durch das mit dem Sauerstoff $O_{2(g)}$ in die Brennkammer 2 eingeleitete Wasser $H_2O_{(fl)}$ beträgt die Reaktionstemperatur in der Brennkammer 2 lediglich 950 bis 1.050°C.

[0033] Über den Wasserdampfauslass 24 gelangt der Wasserdampf $H_2O_{(g)}$ von der Brennkammer 2 in die Mischkammer 28, wobei dem Wasserdampfstrom in dem Wasserdampfauslass 24 ein weiterer Teil des zur Kühlung der Brennkammer 2 durch die Leitung 28 fließenden Wassers $H_2O_{(fl)}$ hinzugefügt wird und so in die Mischkammer 28 gelangt. Zuvor wird dieses Wasser $H_2O_{(fl)}$ von dem durch den Wasserauslass 24 fließenden Wasserdampfstrom zerstäubt. Aufgrund der Temperatur des Wasserdampfs $H_2O_{(g)}$ verdampft auch das flüssige Wasser $H_2O_{(fl)}$ zu Wasserdampf $H_2O_{(g)}$, wobei dem Wasserdampf $H_2O_{(g)}$ aber aufgrund der Vermengung mit dem flüssigen Wasser $H_2O_{(fl)}$ Wärme entzogen wird. Auf diese Weise lässt sich die Temperatur des Wasserdampfs $H_2O_{(g)}$ in Abhängigkeit von der dem Wasserdampf $H_2O_{(g)}$ zugeführten Menge an flüssigem Wasser $H_2O_{(fl)}$ in der Mischkammer 28 in einem weiten Bereich steuern.

[0034] Der erzeugte Wasserdampf $H_2O_{(g)}$ verlässt die Mischkammer 28 durch den Auslass 32, wo er für verschiedenste Anwendungen zur Verfügung steht. Zuvor wird er in der Mischkammer 28 hinsichtlich seiner Temperatur homogenisiert, indem er die in der Mischkammer 28 befindlichen porösen Segmente 34 durchströmt.

Bezugszeichenliste

[0035]

2 - Brennkammer

- 4 - Gehäuse
- 6 - Endplatte
- 8 - Endplatte
- 10 - Düse
- 12 - Wasserstoffeinlassöffnung
- 14 - Vertiefung
- 16 - Anschluss
- 18 - Anschluss
- 20 - Wärmedämmplatte
- 22 - Zünder
- 24 - Wasserdampfauslass
- 26 - Entlastungsbohrung
- 28 - Mischkammer
- 30 - Gehäuse
- 32 - Auslass
- 34 - Segment
- 36 - Nut
- 38 - Leitung
- 40 - Bohrung
- H_{2(g)} - Wasserstoff
- H_{2O_(fl)} - Wasser
- H_{2O_(g)} - Wasserdampf
- O_{2(g)} - Sauerstoff

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf (H_{2O_(g)}), bei dem Wasserstoff (H_{2(g)}) und Sauerstoff (O_{2(g)}) unter Zugabe von Wasser (H_{2O_(fl)}) in einer Brennkammer (2) verbrannt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Wasser (H_{2O_(fl)}) flüssig in einem gemeinsamen Volumenstrom mit dem Sauerstoff (O_{2(g)}) in die Brennkammer (2) geleitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem in der Brennkammer (2) erzeugten Wasserdampf (H_{2O_(g)}) ausgangsseitig der Brennkammer (2) zusätzliches flüssiges Wasser (H_{2O_(fl)}) hinzugefügt wird.
3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu verdampfendes flüssiges Wasser (H_{2O_(fl)}) zuvor zur Kühlung der Außenwandung der Brennkammer (2) verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das der Brennkammer (2) zugeführte Wasser (H_{2O_(fl)}) vor Einleitung in die Brennkammer (2) mittels des Sauerstoffstroms zerstäubt wird.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 2 und 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das dem in der Brennkammer (2) erzeugten Wasserdampf (H_{2O_(g)}) ausgangsseitig der Brennkammer (2) hinzugefügte Wasser (H_{2O_(fl)}) mittels des Wasserdampfstroms zerstäubt

wird.

6. Vorrichtung zur Erzeugung von Wasserdampf H_{2O_(g)} mit einer Brennkammer (2), welcher einen Wasserstoffeinlass und einen Sauerstoffeinlass (10) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sauerstoffeinlass (10) eingangsseitig über eine absperrbare Zuführleitung mit einer Wasserquelle verbunden ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** ausgangsseitig der Brennkammer (2) ein Wasserdampfauslass (24) in eine Mischkammer (28) mündet, welche einen Wassereinlass aufweist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wasserstoffeinlass an der Brennkammer (2) konzentrisch um den Sauerstoffeinlass (10) herum angeordnet ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder nach den Ansprüchen 7 und 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wasserdampfauslass (24) der Brennkammer (2) den Wassereinlass der Mischkammer (28) bildet.
10. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder nach den Ansprüchen 7 und 8 oder nach den Ansprüchen 7, 8 und 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wasserdampfauslass (24) als eine kritische Düse ausgebildet ist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mischkammer (28) mit einem porösen Material gefüllt ist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** an einer Außenwandung der Brennkammer (2) zumindest ein mit einer Wasserquelle strömungsverbundener Kühlwasserkanal ausgebildet ist, welcher abströmseitig mit dem Sauerstoffeinlass (10) in der Brennkammer (2) und/oder mit dem Wasserdampfauslass (24) der Brennkammer (2) strömungsverbunden ist.
13. Unterseeboot, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine Vorrichtung zur Erzeugung von Wasserdampf (H_{2O_(g)}) mit den in den Ansprüchen 6 bis 12 angegebenen Merkmalen aufweist.

Claims

1. Method for generating water vapor (H_{2O_(g)}), in which hydrogen (H_{2(g)}) and oxygen (O_{2(g)}) are combusted in a combustion chamber (2) while adding water (H_{2O_(fl)}), **characterized in that** the water (H_{2O_(fl)}) in a liquid state is directed into the combustion chamber (2) in a common volume flow with the oxygen (O_{2(g)}).

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** additional liquid water ($H_2O_{(fl)}$) is added on the outlet side of the combustion chamber (2) to the water vapor ($H_2O_{(g)}$) which is generated in the combustion chamber (2). 5
3. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** liquid water ($H_2O_{(fl)}$) which is to be evaporated is used in advance for cooling the outer wall of the combustion chamber (2). 10
4. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the water ($H_2O_{(fl)}$) which is fed to the combustion chamber (2) is atomized by means of the oxygen stream before introduction into the combustion chamber (2). 15
5. Method according to Claims 2 and 4, **characterized in that** the water ($H_2O_{(fl)}$) which is added on the outlet side of the combustion chamber (2) to the water vapor ($H_2O_{(g)}$) which is generated in the combustion chamber (2) is atomized by means of the water vapor stream. 20
6. Apparatus for generating water vapor ($H_2O_{(g)}$), featuring a combustion chamber (2) which has a hydrogen inlet and an oxygen inlet (10), **characterized in that** the oxygen inlet (10) is connected on the inlet side to a water source via a feed pipe which can be shut off. 25 30
7. Apparatus according to Claim 6, **characterized in that** on the outlet side of the combustion chamber (2) a water vapor outlet (24) opens into a mixing chamber (28) which has a water inlet. 35
8. Apparatus according to one of Claims 6 or 7, **characterized in that** the hydrogen inlet is arranged on the combustion chamber (2) concentrically around the oxygen inlet (10). 40
9. Apparatus according to Claim 7 or according to Claims 7 and 8, **characterized in that** the water vapor outlet (24) of the combustion chamber (2) forms the water inlet of the mixing chamber (28). 45
10. Apparatus according to Claim 7 or according to Claims 7 and 8 or according to Claims 7, 8 and 9, **characterized in that** the water vapor outlet (24) is designed as a critical nozzle. 50
11. Apparatus according to one of Claims 7 to 10, **characterized in that** the mixing chamber (28) is filled with a porous material. 55
12. Apparatus according to one of Claims 6 to 11, **characterized in that** at least one cooling water passage, which is fluidically connected to a water source, is

formed on an outer wall of the combustion chamber (2), and on the outflow side is fluidically connected to the oxygen inlet (10) in the combustion chamber (2) and/or to the water vapor outlet (24) of the combustion chamber (2).

13. Submarine, **characterized in that** it has an apparatus for generating water vapor ($H_2O_{(g)}$) having the features which are disclosed in Claims 6 to 12.

Revendications

1. Procédé de production de vapeur d'eau ($H_2O_{(g)}$), dans lequel on brûle dans une chambre de combustion (2) de l'hydrogène ($H_{2(g)}$) et de l'oxygène ($O_{2(g)}$) avec addition d'eau ($H_2O_{(l)}$), **caractérisé en ce que** l'on conduit l'eau ($H_2O_{(l)}$) à l'état liquide dans la chambre de combustion (2) dans un flux volumique commun avec l'oxygène ($O_{2(g)}$).
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'on ajoute à la vapeur d'eau ($H_2O_{(g)}$) produite dans la chambre de combustion (2), à la sortie de la chambre de combustion (2), de l'eau liquide supplémentaire ($H_2O_{(l)}$).
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on utilise de l'eau liquide à vaporiser ($H_2O_{(l)}$) au préalable pour le refroidissement de la paroi extérieure de la chambre de combustion (2).
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on pulvérise l'eau ($H_2O_{(l)}$) fournie à la chambre de combustion (2) avant son introduction dans la chambre de combustion (2) au moyen du courant d'oxygène.
5. Procédé selon les revendications 2 et 4, caractérisé en ce l'on pulvérise l'eau ($H_2O_{(l)}$) ajoutée à la sortie de la chambre de combustion (2) à la vapeur d'eau ($H_2O_{(g)}$) produite dans la chambre de combustion (2) au moyen du courant de vapeur d'eau.
6. Dispositif de production de vapeur d'eau ($H_2O_{(g)}$) avec une chambre de combustion (2), qui présente un orifice d'entrée d'hydrogène et un orifice d'entrée d'oxygène (10), **caractérisé en ce que** l'orifice d'entrée d'oxygène (10) est raccordé à l'entrée, au moyen d'une conduite d'alimentation pouvant être fermée, à une source d'eau.
7. Dispositif selon la revendication 6, **caractérisé en ce qu'à** la sortie de la chambre de combustion (2), un orifice de sortie de vapeur d'eau (24) débouche dans une chambre de mélange (28), qui présente un orifice d'entrée d'eau.

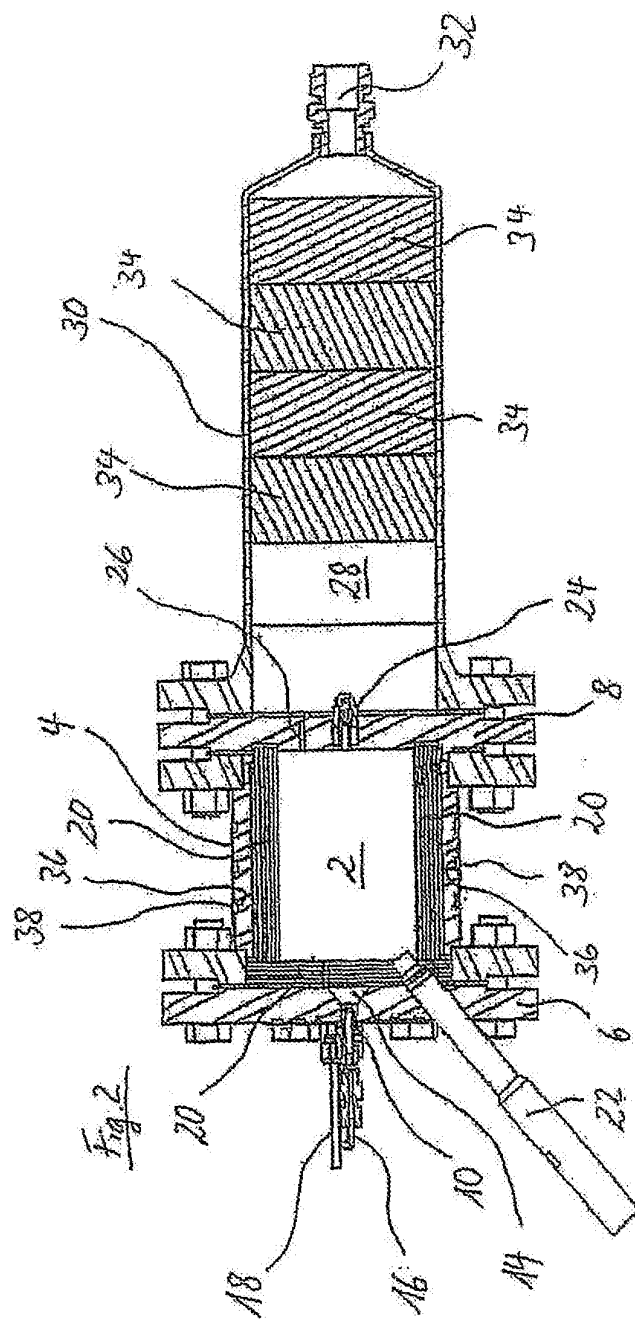
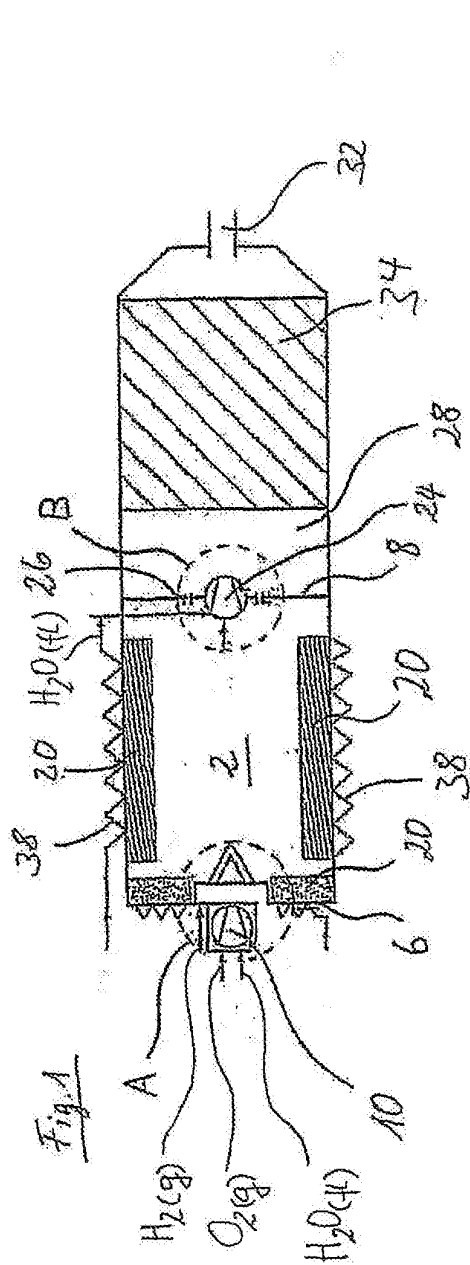
8. Dispositif selon une des revendications 6 ou 7, **caractérisé en ce que** l'orifice d'entrée d'hydrogène à la chambre de combustion (2) est disposé de façon concentrique autour de l'orifice d'entrée d'oxygène (10). 5
9. Dispositif selon la revendication 7 ou selon les revendications 7 et 8, **caractérisé en ce que** l'orifice de sortie de vapeur d'eau (24) de la chambre de combustion (2) forme l'orifice d'entrée d'eau de la chambre de mélange (28). 10
10. Dispositif selon la revendication 7 ou selon les revendications 7 et 8 ou selon les revendications 7, 8 et 9, **caractérisé en ce que** l'orifice de sortie de vapeur d'eau (24) est formé par un ajutage critique. 15
11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, **caractérisé en ce que** la chambre de mélange (28) est remplie d'un matériau poreux. 20
12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 11, **caractérisé en ce qu'**au moins un canal d'eau de refroidissement raccordé en relation d'écoulement à une source d'eau est formé sur une paroi extérieure de la chambre de combustion (2), lequel est raccordé en relation d'écoulement côté aval à l'orifice d'entrée d'oxygène (10) dans la chambre de combustion (2) et/ou à l'orifice de sortie de vapeur d'eau (24) de la chambre de combustion (2). 25 30
13. Sous-marin, **caractérisé en ce qu'**il présente un dispositif de production de vapeur d'eau ($H_2O_{(g)}$) avec les caractéristiques indiquées dans les revendications 6 à 12. 35

40

45

50

55



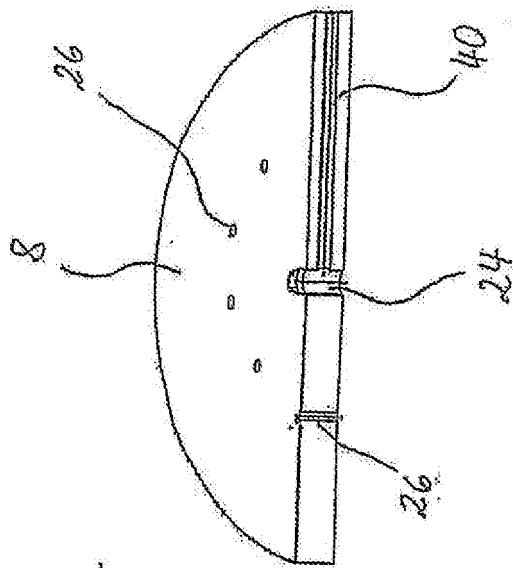


Fig. 4

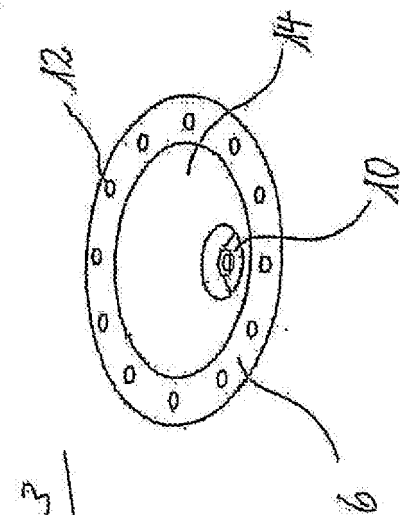


Fig. 3

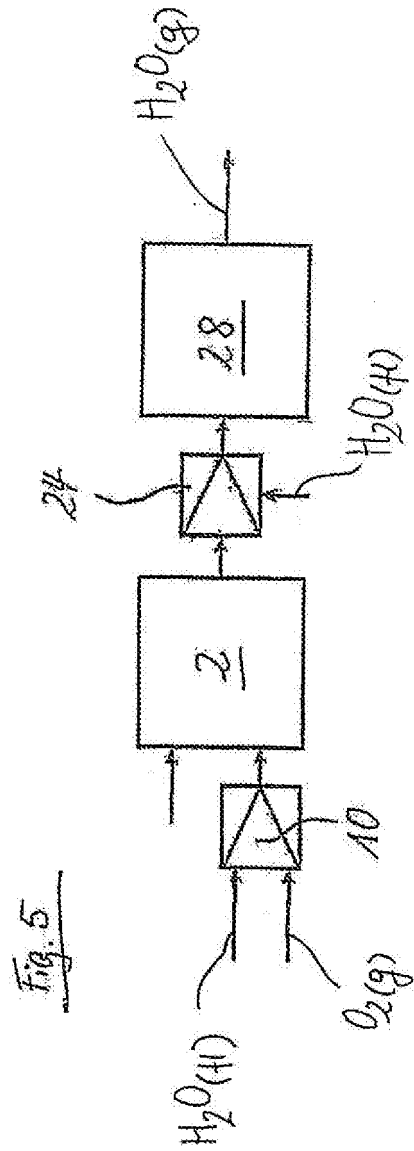


Fig. 5

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 7128624 B1 [0004]
- DE 10243250 A1 [0005]
- EP 0197555 A2 [0006]