



(11) **EP 2 175 197 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**14.04.2010 Patentblatt 2010/15**

(51) Int Cl.:  
**F23G 7/06 (2006.01) F23G 5/50 (2006.01)**  
**F23G 5/16 (2006.01) F23C 13/06 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **09170299.3**

(22) Anmeldetag: **15.09.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**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 SE SI SK SM TR**

(72) Erfinder:  
• **Wanner, Dr. Michael**  
**63814, Mainaschaff (DE)**  
• **Nickel, Dipl.-Ing. Herbert**  
**63505, Langenselbold (DE)**

(30) Priorität: **07.10.2008 DE 102008037418**

(74) Vertreter: **Meyer-Dulheuer, Karl-Hermann**  
**Dr. Meyer- Dulheuer & Partner**  
**Patentanwaltskanzlei**  
**Mainzer-Landstrasse 69-71**  
**60329 Frankfurt am Main (DE)**

(71) Anmelder: **Reitcat GmbH**  
**63571 Geinhausen (DE)**

(54) **Verfahren zur Reinigung von Abgasen durch generative Nachverbrennung**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Reinigung von sauerstofffreien Abgasen durch generative Nachverbrennung, wobei die Abgase Anteile an brennbaren Bestandteilen von bis zu 100% aufweisen und der Energieinhalt der Abgase direkt zur Erhitzung der Abgase eingesetzt wird. Es beinhaltet die Schritte Zuführen der zu reinigenden Abgase; Ausgleichen von Druck- und Mengenschwankungen in den zu reinigenden Abgasen; Mischen eines ersten Gasstroms, bestehend aus den zu reinigenden Abgasen, derart mit einem zweiten Gasstrom, bestehend aus Erdgas, wobei die zugemischte Menge an Erdgas abhängig ist vom Gehalt der brennbaren Bestandteile in den Abgasen und ausreichend ist, um eine stabile Verbrennung zu gewährleisten; Einleiten der gemischten Gasströme und eines dritten Gasstroms bestehend aus Verbrennungsluft in einen Brenner wenigstens einer Brennkammer; Verbrennung der vereinigten Gasströme in der Brennkammer bei so hohen Temperaturen, dass unerwünschte, brennbare Gasbestandteile durch Oxidation entfernt werden, wobei die bei der Oxidation aus dem Energieinhalt der Abgase gewonnene Wärmeenergie direkt zur Erhitzung der Abgase eingesetzt wird; Katalytische Reinigung der oxidierten Abgase zur Umsetzung darin verbliebener Verunreinigungen in einer katalytischen Reinigungsstufe am Ausgang der Brennkammer und Einleiten von Kühlluft in die Brennkammer zum Einstellen der erforderlichen Temperatur für die katalytische Reinigung in der katalytischen Reinigungsstufe.

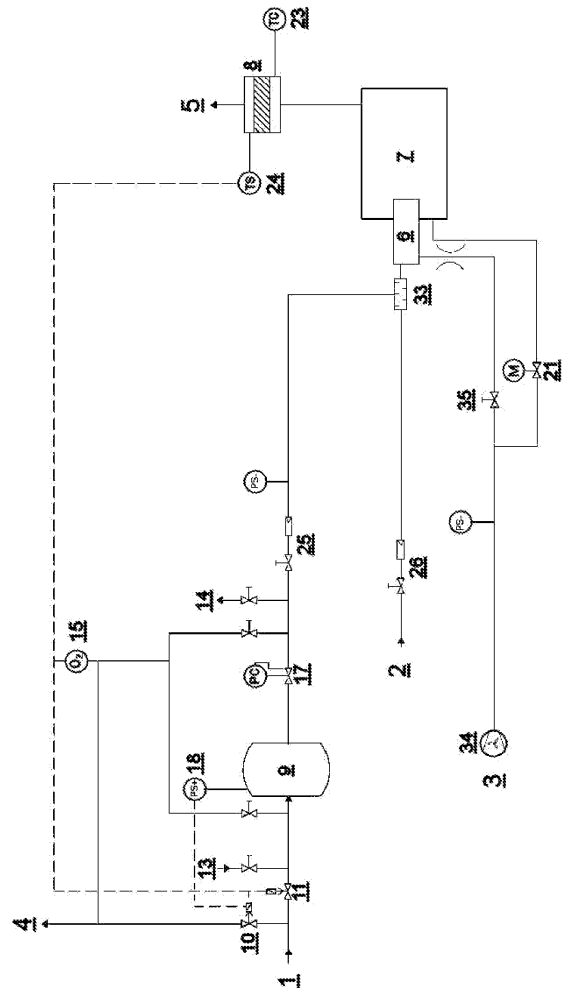


FIG. 1

EP 2 175 197 A2

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reinigung von Abgasen durch generative Nachverbrennung. Ein sauerstoffreies Abgas mit brennbaren Verunreinigungen, wie es beispielsweise in Härtereien anfällt, wird dabei ohne vorherige Erhitzung oder Wärmetausch in einer Brennkammer verbrannt und das resultierende Abgas anschließend in einer katalytischen Reinigungsstufe nachgereinigt. Ferner wird eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens vorgestellt.

**[0002]** Im Stand der Technik ist zur Reinigung von Abgasen, die brennbare Verunreinigungen wie Kohlenwasserstoffe oder Wasserstoff enthalten, eine Reihe von Verfahren bekannt. Im Sinne dieser Anmeldung ist unter dem Begriff "Abgas" nicht nur das Abgas einer Verbrennung, sondern auch eine schadstoffbeladene Abluft aus Anlagen zu verstehen.

**[0003]** Das einfachste Verfahren ist die Verbrennung in einer Fackel. Hierbei werden die zu reinigenden Abgase einer offenen Flamme zugeführt und die zündfähigen Bestandteile dort verbrannt. Dieses Verfahren zeichnet sich durch eine einfache und kostengünstige Vorrichtung aus, die bei der Inbetriebnahme schnell Betriebsbereitschaft erreicht. Allerdings stehen dem die Nachteile gegenüber, dass das Abgas zündfähig sein muss, das Verfahren nicht regelbar ist und die Einhaltung der Grenzwerte für Schadstoffe im Abgas nicht immer gewährleistet ist.

**[0004]** Eine Verbesserung des Verfahrens stellt das als Thermische Nachverbrennung (TNV) bekannte Verfahren dar. Hierbei werden die Abgase je nach der Zusammensetzung der zu entfernenden Bestandteile auf Temperaturen von 750-1000 °C erhitzt und in einer Brennkammer verbrannt. Zur Einhaltung der Vorschriften des Explosionsschutzes müssen die Abgase dazu vorher mit soviel Luft verdünnt werden, dass eine Konzentration der brennbaren Bestandteile von unter 25% der unteren Explosionsgrenze sichergestellt wird. Da die Verbrennung in einem einfachen Brenner erfolgt, handelt es sich auch bei der TNV um ein Verfahren mit einer einfachen Vorrichtung. Die Kohlenwasserstoffe des Abgases werden sicher umgesetzt und die Grenzwerte für Schadstoffe im Abgas damit zuverlässig eingehalten. Auch bei diesem System wird die Betriebsbereitschaft schnell erreicht. Die TNV hat jedoch das Manko eines sehr hohen Energieverbrauchs, da durch die große Menge an zugesetzter Luft eine erheblich größere Gasmenge als das ursprüngliche Abgas auf sehr hohe Temperaturen zu erhitzen ist. Durch nachgeschaltete Wärmetauscher, die das Abgas wiederum vor Eintritt in den Brennraum vorheizen können, kann der Wirkungsgrad zwar verbessert werden, da die Vorheizung aber nur so hoch erfolgen darf, dass noch keine Reaktion im Wärmetauscher erfolgt, ist trotzdem noch ein erheblicher Energiebedarf aufzuwenden. Ebenso sind die Herstellungskosten einer TNV Anlage höher, da aufgrund der hohen Prozesstemperaturen höhere Materialkosten anfallen (z.

B. für hochtemperaturfeste Stähle). Zusätzlich ergibt sich ein größerer Aufwand durch die Notwendigkeit des Einsatzes von explosionsgeschützten Armaturen.

**[0005]** Beispielhaft für die unzähligen in der Fach- und Patentreiliteratur beschriebenen thermischen Nachverbrennungsanlagen seien hier DE 2 026 237 A1 und WO 87/05090 A1 genannt. In DE 2 026 237 A1 wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zum thermischen Nachverbrennen von Abluft aus Industrieanlagen beschrieben, bei dem die Abluft vorzugsweise unter erhöhtem Druck durch einen oder mehrere Wärmetauscher vorgeheizt wird, anschließend in eine Brennkammer eingeleitet wird, dort zunächst einen weiteren Wärmetauscher durchströmt und dann in einem Brenner verbrannt wird. Die heißen Verbrennungsgase passieren die Wärmetauscher anschließend in umgekehrter Reihenfolge, bevor sie ins Freie entlassen werden. Ein Teil der verbrannten Abgasmenge wird in der Brennkammer zurückgeleitet, um den Umsetzungsgrad der Verunreinigungen zu erhöhen. In WO 87/05090 A1 wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zum thermischen Verbrennen von oxidierbaren Bestandteilen in einem Prozessgas offengelegt, das sich dadurch auszeichnet, dass das Abgas durch einen Wärmetauscher, der vom gereinigten Abgas durchströmt wird, vorgeheizt und anschließend mittels eines Brenners in einem Brennraum wird, wobei dem zu reinigenden Abgas vor dem Eintritt in die Nachverbrennungsvorrichtung neben der benötigten Frischluft auch eine solche Menge an gereinigtem Abgas zugeführt wird, dass die Konzentration an oxidierbaren Bestandteilen im eintretenden Gasstrom konstant gehalten wird.

**[0006]** Eine Weiterentwicklung der TNV ist die Katalytische Nachverbrennung (KNV). Hierbei wird durch den Einsatz einer katalytischen Reinigungsstufe die für den sicheren Umsatz der Kohlenwasserstoffe benötigte Temperatur abgesenkt. Abhängig von den zu entfernenden Abgasbestandteilen und dem eingesetzten Katalysator wird das zu reinigende Abgas mit Hilfe von Wärmetauschern und gegebenenfalls einer Zusatzheizung oder eines Zusatzbrenners auf 250-400 °C erhitzt. Auch hier muss zur Einhaltung der Vorschriften des Explosionsschutzes wieder eine Verdünnung der zugeführten Abgase mit Luft auf eine Konzentration der brennbaren Bestandteile von unter 25% der unteren Explosionsgrenze erfolgen. Die Vorteile der KNV sind dieselben wie die der TNV, wobei der Energieeinsatz deutlich geringer ist. Durch nachgeschaltete Wärmetauscher und Rückgewinnung der Reaktionswärme kann sogar ein autothermer Betrieb der Anlage erreicht werden. Nachteilig ist jedoch, dass die erzeugten Abluftmengen genauso hoch sind wie bei der TNV, wodurch gerade bei zu erwartenden Konzentrationsspitzen von Kohlenwasserstoffen im Abgas ein recht hoher Energieeinsatz nötig ist. Zudem ist ein autothermer Betrieb nur ab mittleren Kohlenwasserstoffkonzentrationen möglich. Darunter ist eine Stützfeuerungsmit zusätzlichen Abgasen oder eine Zusatzheizung nötig. Ein weiterer Nachteil ist die Empfindlichkeit des Katalysators gegen bestimmte Katalysatorgifte, wie

z. B. Halogene, Silikone, Phosphor, Schwefel und Schwermetalle, die sicher aus dem zu reinigenden Abgas ausgeschlossen sein müssen. Ferner ist der Umsetzungsgrad an dem Katalysatorbett etwas geringer als bei der TNV.

**[0007]** Die Regenerative Nachverbrennung (RNV) stellt eine TNV oder KNV mit einer "integrierten" Wärmerückgewinnung dar. Dabei wird der Wärmeinhalt des gereinigten Abgases in einer Wärmespeichermasse, die sich direkt in der Oxidationszone befindet, gespeichert und steht damit dem Oxidationsprozess unmittelbar zur Verfügung. In der Regel werden dafür keramische Füllkörper-Schüttungen verwendet, die bei geringem Druckverlust einen guten Wirkungsgrad des Wärmeübergangs ermöglichen. Im Fall der thermischen Nachverbrennung ist die Schüttung mit inertem Schüttgut gefüllt, während die katalytische Nachverbrennungsanlage mit einer entsprechenden Katalysatorfüllung beschickt ist. Mindestens zwei solcher Schüttungen werden im zyklischen Wechsel betrieben, wobei die eine heiße Schüttung zur Vorwärmung des Abgases von diesem durchströmt wird und dabei abkühlt und die zweite kalte Schüttung durch die Oxidation der Abgase aufgeheizt wird. Der Sauerstoff in der Kühlluft, die im Katalysator zugeführt wird, nimmt hierbei an der Reaktion teil. Durch die gute Wärmerückgewinnung innerhalb der Anlage kann bei katalytischen Systemen schon bei geringen Konzentrationen an Kohlenwasserstoffen eine autotherme Betriebsweise erzielt werden. Dieser Vorteil ist allerdings mit einem hohen apparativen Aufwand mit entsprechend großem Platzbedarf verbunden. Zudem bedingt der Einsatz von Ventilen, die heiße Gase sperren, einen erhöhten Wartungsaufwand. Aufgrund der langen Aufheizzeit, die die Wärmespeicher benötigen, wird die Betriebsbereitschaft einer solchen Anlage nur langsam erreicht. Daher sind diese Anlagen für einen sporadischen oder kurzzeitigen Einsatz ungeeignet und nur im Dauerbetrieb sinnvoll einsetzbar.

**[0008]** Ein Beispiel für die Regenerative Nachverbrennung findet sich in der DE 196 11 226 C1, wo eine Vorrichtung zur thermischen Abgasbehandlung, insbesondere von oxidierbaren Schwelgasen, vorgestellt wird, die eine Regeneratoreinheit umfasst mit mindestens zwei Regeneratoren mit jeweils einem Wärmespeicher und einer zwischen den Regeneratoren angeordneten Heizzone sowie eine Pufferzelle. Der zu reinigende Abgasstrom ist abwechselnd jeweils von einer Seite einer Reihenanzahl von zumindest zwei Regeneratoren zu- und abführbar, wobei das während der Umschaltvorgänge ungerichtet in den Regeneratoren verbleibende Abgas in einer Pufferzelle, die vom gereinigten Abgasstrom erwärmt wird, zwischengelagert wird und nach Abschluss des Umschaltvorganges dem Eingangsstrom wieder beigemischt wird.

**[0009]** Aus den geschilderten Nachteilen der im Stand der Technik bekannten Abgas- und Abluftreinigungsverfahren ergibt sich die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein Verfahren zur Abgasreinigung zur Verfü-

gung zu stellen, das bei kompakter Bauweise mit geringem Platzbedarf unter möglichst geringem Energieeinsatz eine Reinigung von sauerstofffreien Abgasen mit sehr hohen Konzentrationen an brennbaren Bestandteilen ermöglicht, wie sie beispielsweise in Abgasen von Härtereien anfallen. Die Konzentration an brennbaren Bestandteilen kann bei diesen bis zu 100 Vol.-% betragen. Im Sinne der Erfindung sind unter sauerstofffreien Abgasen solche Abgase zu verstehen, die keinen Sauerstoff enthalten, was durch eine permanente Sauerstoffanalyse sichergestellt wird.

**[0010]** Gelöst wird die Aufgabe durch das erfindungsgemäße Verfahren zur Reinigung von sauerstofffreien Abgasen durch generative Nachverbrennung, wobei die Abgase Anteile an brennbaren Bestandteilen von bis zu 100% aufweisen und der Energieinhalt der Abgase direkt zur Erhitzung der Abgase eingesetzt wird, beinhaltend die Schritte

- a. Zuführen der zu reinigenden Abgase;
- b. Ausgleichen von Druck- und Mengenschwankungen in den zu reinigenden Abgasen;
- c. Mischen eines ersten Gasstroms, bestehend aus den zu reinigenden Abgasen, derart mit einem zweiten Gasstrom, bestehend aus Erdgas, wobei die zugemischte Menge an Erdgas abhängig ist vom Gehalt der brennbaren Bestandteile in den Abgasen und ausreichend ist, um eine stabile Verbrennung zu gewährleisten;
- d. Einleiten der gemischten Gasströme und eines dritten Gasstroms bestehend aus Verbrennungsluft in einen Brenner wenigstens einer Brennkammer;
- e. Verbrennung der vereinigten Gasströme in der Brennkammer bei so hohen Temperaturen, dass unerwünschte, brennbare Gasbestandteile durch Oxidation entfernt werden, wobei die bei der Oxidation aus dem Energieinhalt der Abgase gewonnene Wärmeenergie direkt zur Erhitzung der Abgase eingesetzt wird;
- f. Katalytische Reinigung der oxidierten Abgase zur Umsetzung darin verbliebener Verunreinigungen in einer katalytischen Reinigungsstufe am Ausgang der Brennkammer;
- g. Einleiten von Kühlluft in die Brennkammer zum Einstellen der erforderlichen Temperatur für die katalytische Reinigung in der katalytischen Reinigungsstufe.

**[0011]** Die zu behandelnden Abgase können zu 100 Vol.-% aus brennbaren Bestandteilen bestehen, enthalten in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung jedoch mindestens 0 Vol.-%, bevorzugt mindestens 10 Vol.-%, besonders bevorzugt mindestens 20 Vol.-% brennbare Anteile.

**[0012]** Ist der Anteil der brennbaren Gase im Abgas kleiner als 100 Vol.-%, so werden die Abgase vor der Verbrennung im Brenner mit Erdgas vermischt, um die Oxidation zu fördern. Die Menge des zugemischten Erd-

gases ist dabei abhängig vom Gehalt der brennbaren Anteile im Abgas.

**[0013]** Besonders bevorzugt erfolgt die Zumischung des Erdgases mittels einer automatischen Regelung, die sicherstellt, dass im Brennraum eine Temperatur aufrecht erhalten wird, die hoch genug für die nachfolgende katalytische Reinigungsstufe ist. Ebenso erfolgt bevorzugt eine automatische Regelung der Kühlluftzufuhr in den Brennraum, über die die Temperatur unterhalb des Maximums gehalten werden kann, das der maximalen Arbeitstemperatur des Katalysators entspricht.

**[0014]** Die Flammentemperatur des Brenners wird bevorzugt im Bereich von 600-1200 °C, besonders bevorzugt im Bereich von 800-1000 °C, gehalten. Die katalytische Reinigungsstufe wird bevorzugt bei 300-650 °C, besonders bevorzugt bei 400-530 °C betrieben.

**[0015]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Regelung der Erdgaszufuhr in den Brenner in Abhängigkeit von der Temperatur in der Brennkammer und/oder der Temperatur am Eintritt in den Katalysator. Sinkt bei konstanter Zufuhr von Verbrennungsluft und Kühlluft die Temperatur im Brennraum oder am Katalysatoreintritt ab, so wird die Erdgaszufuhr erhöht, weil weniger brennbare Bestandteile im Abgas vorhanden sind. Steigt die Temperatur an, wird entsprechend weniger Erdgas zugemischt.

**[0016]** Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, die im Fließschema in Fig. 1 mit ihren wesentlichen Funktionselementen dargestellt ist, zeichnet sich dadurch aus, dass sie eine Abgaszufuhrleitung (1), eine Erdgaszufuhrleitung (2), eine Luftzufuhrleitung (3), eine oder mehrere Brennkammern (7) mit einem daran angeschlossenen Brenner (6), eine am Ausgang der Brennkammer installierte katalytische Reinigungsstufe (8) und Überwachungseinrichtungen für den Ablauf der Verbrennung aufweist.

**[0017]** In einer bevorzugten Ausführungsvariante ist zur Erhöhung der Sicherheit in der Gaszufuhrleitung für Erdgas und das Abgas jeweils eine eigene Sicherheitsstrecke vorgesehen.

**[0018]** Die Abgaszufuhrleitung ist besonders bevorzugt mit einem Gaspufferbehälter (9) ausgestattet, damit Druck- und Volumenstromschwankungen im zu reinigenden Abgasstrom ausgeglichen werden können und nicht auf den Brenner (6) übertragen werden. Dadurch wird eine gleichmäßigere Verbrennung gewährleistet.

**[0019]** In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltungsform werden die Erdgaszufuhrleitung (2) und die Abgaszufuhrleitung (1) vor Eintritt in den Brenner in einer Mischkammer (33) zusammengeführt. Dadurch kann die Vermischung auch bei höheren Inertgasanteilen im Abgas sichergestellt werden.

**[0020]** In einer weiteren Ausführungsform ist der Brenner ein Gebläsebrenner mit zwei Brenngaseingängen. Dadurch können das zu reinigende Abgas und das Erdgas auch unvermischt dem Brenner zugeführt und erst unmittelbar im Brenner vermischt werden.

**[0021]** Die Verbrennungsluftzufuhr ist bevorzugt über

einen Ventilator (im Luftgebläse (34)) und/oder über ein Ventil (35) regelbar. Je nach benötigter Durchflussmenge erfolgt die Regelung über ein Ventil oder bei höheren Durchsätzen über einen Ventilator. Zur Feinabstimmung sind gegebenenfalls beide regelbar.

**[0022]** Die Überwachungseinrichtungen sind besonders bevorzugt in eine Gesamtsteuerung mit Messwertaufnehmern integriert. Auf diese Weise wird eine effiziente zentrale Steuerung und Überwachung ermöglicht.

**[0023]** Die Bestandteile der Vorrichtung sind bevorzugt als Einzelmodule getrennt transportierbar und am Einsatzort mit verbindenden Rohrleitungen und Anschlüssen zur Gesamtanlage aufbaubar. Dazu sind die verbindenden Rohrleitungen entsprechend bevorzugt mit einem Schnellkupplungssystem ausgestattet.

**[0024]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die gesamte Vorrichtung als kompakte Einheit im Aufbauzustand transportierbar. Dadurch ist es möglich, die Abgasreinigungsanlage schnell einsatzbereit zu machen und bei Bedarf an eine Abgas erzeugende Anlage anzuschließen. Durch die kompakte Bauweise kann dies auch bei beengten Platzverhältnissen erfolgen.

**[0025]** Durch die modulare Bauweise können in weiteren Ausführungsformen auch mehrere Abgas erzeugende Anlagen mit ihren Abgaszufuhrleitungen (1) an einen entsprechend dimensionierten Brenner (6) angeschlossen werden. Ferner können auch die Abgase mehrerer Brennkammern (7) einer entsprechend dimensionierten gemeinsamen katalytischen Reinigungsstufe (8) zugeführt werden. Dadurch lässt sich das Anlagenkonzept flexibel den örtlichen Gegebenheiten anpassen und durch gemeinsam genutzte Anlagenteile weiterer Platz einsparen.

**[0026]** Bei den im Stand der Technik beschriebenen Verfahren muss in der Regel aus Gründen des Explosionsschutzes eine Verdünnung der zu reinigenden Abgase mit Luft auf eine Konzentration der brennbaren Bestandteile von unter 25% der unteren Explosionsgrenze erfolgen. Dadurch bedingt müssen sehr große Mengen an Gasen transportiert und erhitzt werden. Diese Verfahren sind daher für Abgase mit sehr hohen Anteilen an brennbaren Gasen eher ungeeignet. Die vorliegende Erfindung ist im Gegensatz dazu besonders auf solche Abgase mit hohen Anteilen an brennbaren Gasen von bis zu 100% ausgerichtet. Solche Abgase kommen z. B. in Härtereien in der metallbearbeitenden Industrie vor, die Werkstücke unter Ausschluss von Luft unter Einsatz von Kohlenwasserstoffen in geschlossenen Öfen härten. Eine Abgasreinigung solcher Abgase findet derzeit noch nicht statt.

**[0027]** Durch die Beschränkung auf derartige sauerstofffreie Abgase und den Verzicht auf eine Vorerwärmung der Abgase, sind die Anforderungen an den Explosionsschutz wesentlich geringer. Die zu transportierenden Gasmengen bleiben vorteilhaft klein und die Erhitzung der Abgase auf die in der katalytischen Reinigungsstufe (8) benötigten Temperaturen erfolgt überwiegend durch die aufgrund der hohen Konzentrationen an

brennbaren Gasbestandteilen hohe Verbrennungswärme des Abgases. Luft wird hierfür nur in annähernd stöchiometrischer Menge für die Verbrennung zugeführt. Sinkt der Anteil der brennbaren Bestandteile im Abgas, so wird bei Bedarf Erdgas zugemischt, um konstante Verbrennungstemperaturen zu gewährleisten. Der wesentliche Unterschied zu den bekannten Verfahren mit Wärmerückgewinnung liegt darin, dass der Energieinhalt des Abgases direkt zur Erwärmung genutzt wird. Daher wird das Verfahren der vorliegenden Erfindung auch im Gegensatz zur regenerativen Nachverbrennung als "Generative Nachverbrennung" (GNV) bezeichnet.

**[0028]** Im Brenner (6) werden alle unter den gegebenen Bedingungen brennbaren Abgase verbrannt. Dadurch werden etwa 98% der Verunreinigungen aus dem Abgas entfernt. Zur weiteren Reinigung schließt sich dann eine katalytische Reinigungsstufe (8) an. Durch eine geregelte Beimischung von Kühlluft in den Brennraum wird die Prozesstemperatur für die nachfolgende katalytische Reinigung eingestellt. Daher ist es möglich, die Flammentemperatur im Brenner bei so hohen Temperaturen zu halten, dass schon dort ein Großteil der Verunreinigungen verbrennt. Die katalytische Nachreinigung sorgt dann für eine vollständige Umsetzung der Kohlenwasserstoffe, die im Brenner nicht bzw. unvollständig umgesetzt wurden. Nach Verlassen der Katalysatorstufe über den Auslass (5) kann das gereinigte Abgas über Wärmetauscher (in den Zeichnungen nicht dargestellt) abgekühlt werden und die dabei zurück gewonnene Energie über Thermalöl und/oder Dampf anderen Prozessen zur Verfügung gestellt werden, da sie nicht für die Vorheizung der zu reinigenden Abgase benötigt wird.

**[0029]** Durch das beschriebene Verfahren ergeben sich mehrere Vorteile: Es ermöglicht sehr kompakte Anlagen wegen der kleinen Volumenströme, da die Beimischung von Luft zum Abgas entfällt. Die Luft wird erst dem Brenner zugeführt, so dass vorher kein zündfähiges Gemisch vorliegt. Daher gibt es nur geringe Anforderungen an den Explosionsschutz. Ferner ergeben sich dadurch geringe Anlagenkosten, geringer Energieverbrauch und geringe Wartungskosten. Die Betriebsbereitschaft der Anlage kann innerhalb weniger Minuten hergestellt werden. Die GNV arbeitet unabhängig von der Konzentration der Kohlenwasserstoffe im Abgas.

**[0030]** Im Folgenden soll das vorgestellte Verfahren anhand des Fließschemas einer Anlage in vorteilhafter Ausgestaltung in Fig. 2 näher erläutert werden.

**[0031]** Über die Abgaszufuhrleitung (1) gelangt das mit brennbaren Bestandteilen beladene Abgas über das Magnetventil (11) in den Gaspufferbehälter (9). Die Abgaszufuhrleitung (1) besitzt in diesem Ausführungsbeispiel einen Durchmesser von 25 mm. Das Abgas hat eine maximale Temperatur von ca. 50 °C und einen Druck von ca. 1,3 bar. Um sicher zu stellen, dass kein Sauerstoff im Abgas vorhanden ist, wird eine permanente Sauerstoffanalyse (15) durchgeführt. Der Gaspuffer (9) dient dem Ausgleich von Druck- und Mengenschwankungen im Abgas. Eine Drucküberwachung mittels PS+ Druck-

schalter (18) am Gaspufferbehälter (9) sorgt dafür, dass ab dem Erreichen eines gewissen Mindestdrucks durch das Öffnen des Magnetventils (12) das zu reinigende Abgas dem Brenner (6) zugeführt wird. Bei Überschreiten eines Maximaldruckes wird der Überdruck dadurch abgebaut, dass das Magnetventil (10) geöffnet und das Abgas direkt durch den Notauslass über Dach (4) abgeleitet wird. Die entsprechende Auslassleitung ist mit einem Rückschlagventil (16) gesichert. Da der Gaspufferbehälter (9) beim ersten Anfahren der Anlage nach dem Aufbau noch mit Luft gefüllt ist, ist vor dem Gaspufferbehälter (9) eine Spülgaszufuhrleitung (13) mit manuellem Einlassventil für ein sauerstoffreies Spülgas, in der Regel Stickstoff, angebracht. Der entsprechende Spülgasauslass (14) mit manuellem Auslassventil ist nach dem manuellen Druckregelventil (17) hinter dem Magnetventil (12), das der Gewährleistung konstanter Druckbedingungen für den Brenner (6) dient, angeordnet. Somit kann man beim ersten Anfahren der Anlage vor der Einleitung des zu reinigenden Abgases zunächst manuell eine Spülung des Gaspufferbehälters (9) und seiner Zu- und Ableitungen durchführen, um die Sauerstofffreiheit und damit den Explosionsschutz herzustellen.

**[0032]** Vor der Einspeisung in den Brenner (6) wird der Gasdruck über einen Druckminderer (25) reduziert und konstant gehalten. Vor dem Eintritt in den Brenner (6) erfolgt eine Vermischung mit einer Menge an Erdgas, die ausreichend ist, um eine stabile Verbrennung zu gewährleisten. Vor der Vermischung, die je nach enthaltenen Gasen und durchgesetzten Volumenströmen entweder in einer Mischkammer (33) oder direkt durch eine Rohrzusammenführung erfolgen kann, durchlaufen beide Gasstränge jeweils eine eigene Sicherheitsarmaturenstrecke, die aus einem Druckschalter und aus Redundanzgründen zwei Magnetventilen (27, 28 und 29, 30) besteht.

**[0033]** Die in die Mischkammer (33) oder den Brenner (6) eingelassenen Gasmengen werden durch Motorventile (19, 20) kontrolliert, die bei der Abgasstrecke mittels der Druckschalter PS- (31) und PS+ (32) und bei der Erdgasstrecke über den Temperaturregler (23), der am Eingang der katalytischen Reinigungsstufe (8) angeordnet ist, angesteuert werden. Das Motorventil (19) sorgt so zusätzlich dafür, dass der Druck konstant im Bereich, der an den Druckschaltern (31) und (32) eingestellt ist, gehalten wird. Besonders beim Öffnen der Magnetventile (27, 28) können so Spitzen im Energieeintrag in den Brenner vermieden werden. Eine entsprechende Sicherheitsschaltung gestattet die Öffnung der Magnetventile (27, 28) nur, wenn sich das Motorventil (19) in seiner Minimalposition befindet.

**[0034]** Die für die Verbrennung der Abgase (Oxidation der Verunreinigungen) notwendige Verbrennungsluft wird über die Luftzufuhrleitung (3) zudosiert. Am Ventil (35) wird die Luftmenge so eingestellt, dass sie den Sauerstoff in annähernd stöchiometrischer Menge für die Verbrennung des auslegungsgemäß zu erwartenden Gasgemisches aus Erdgas und Abgas liefert. Ist die An-

lage für größere Durchsätze ausgelegt, so kann alternativ oder in Ergänzung dazu die Regelung der Luftzufuhr auch über den Ventilator des Luftgebläses (34) erfolgen. Über das Motorventil (21) erfolgt eine automatisch geregelte Zufuhr von Kühlluft in die Brennkammer (7). Der Temperaturregler (23), der die Eingangstemperatur an der katalytischen Reinigungsstufe (8) misst, steuert entsprechend die Motorventile (20, 21), um eine stabile Verbrennung und die benötigte Eintrittstemperatur für den Katalysator zu gewährleisten. Zur zusätzlichen Überwachung des Brenners ist in der Brennkammer (7) der Temperaturschalter (22) angebracht, der die Temperatur im Brennerrohr vor der Vermischung mit der Kühlluft misst.

**[0035]** Bei der Verbrennung im Brenner (6) werden bereits ca. 98% der Verunreinigungen aus dem Abgas entfernt. Zur vollständigen Umsetzung der verbliebenen Verunreinigungen schließt sich an die Brennkammer (7) die katalytischen Reinigungsstufe (8) an. Das gereinigte Abgas verlässt die Anlage über den Auslass (5), der einen Durchmesser von 200 mm aufweist, bei einem maximalen Druck von ca. 1,05 bar und einer maximalen Temperatur von ca. 530 °C. Daran kann sich entweder direkt ein Schornstein anschließen oder ein oder mehrere Wärmetauscher für die Rückgewinnung der Wärmeenergie für andere Prozesse, was nicht in der Zeichnung gezeigt wird.

**[0036]** Der Regelvorgang durch den Temperaturregler (23) erfolgt folgendermaßen: Bei der Inbetriebnahme der Anlage wird am Ventil (35) die für die stöchiometrische Verbrennung der Abgas-Erdgas-Mischung berechnete Luftmenge eingestellt. Das Motorventil (21) wird so eingestellt, dass eine Mindestluftmenge in den Brenner (6) gelangt. Anschließend werden die Magnetventile (29, 30) der Sicherheitsstrecke geöffnet und die Anlage zunächst im Standby Modus mit Erdgas betrieben. Das Motorventil (20) ist dementsprechend ganz geöffnet. Liegt am Gaspufferbehälter (9) der vorgegebene Mindestdruck an und hat die Temperatur am Eingang der katalytischen Reinigungsstufe (8) ihren Mindestwert erreicht, so werden die Magnetventile (27, 28) der Abgasstrecke geöffnet und die Anlage arbeitet im Entsorgungsbetrieb. Bei zunächst unveränderter Luftzufuhr wird vom Temperaturregler (23) das Motorventil (20) gedrosselt, um die Eintrittstemperatur am Katalysator im vorgesehenen Bereich zu halten. Erreicht das Motorventil (20) seine Minimalstellung und die Temperatur in der Brennkammer (7) ist immer noch zu hoch, dann steuert der Temperaturregler (23) auch das Motorventil (21) an und öffnet damit die Kühlluftzufuhr in die Brennkammer (7). Sinkt der Gehalt an brennbaren Bestandteilen im Abgas und damit die Temperatur in der Brennkammer ab, drosselt der Temperaturregler (23) das Motorventil (20) wieder und öffnet gegebenenfalls die Erdgaszufuhr über Motorventil (20) weiter. Als Sicherheitsfunktion ist am Ausgang der katalytischen Reinigungsstufe (8) der Temperaturschalter (24) angebracht, der die maximale Betriebstemperatur des Katalysators überwacht. Wird diese Temperatur überschritten, löst der Temperaturschalter (24) die Not-

abschaltung der Anlage aus, indem die Magnetventile (11, 12) geschlossen werden und das Magnetventil (10) geöffnet wird. Das Abgas wird dann sicher durch den Notauslass über Dach (4) abgeleitet.

**[0037]** Bei dem in der katalytischen Reinigungsstufe (8) eingesetzten Katalysator handelt es sich um einen Oxidationskatalysator, der in diesem Beispiel aus einem 1:1 Gemisch von Palladium und Platin besteht, das in einer Menge von 40 g/ft<sup>3</sup> auf einen Träger aus Cordierit Waben mit 100 cpsi aufgebracht ist.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Reinigung von sauerstofffreien Abgasen durch generative Nachverbrennung, wobei die Abgase Anteile an brennbaren Bestandteilen von bis zu 100% aufweisen und der Energieinhalt der Abgase direkt zur Erhitzung der Abgase eingesetzt wird, beinhaltend die Schritte:
  - a. Zuführen der zu reinigenden Abgase;
  - b. Ausgleichen von Druck- und Mengenschwankungen in den zu reinigenden Abgasen;
  - c. Mischen eines ersten Gasstroms, bestehend aus den zu reinigenden Abgasen, derart mit einem zweiten Gasstrom, bestehend aus Erdgas, wobei die zugemischte Menge an Erdgas abhängig ist vom Gehalt der brennbaren Bestandteile in den Abgasen und ausreichend ist, um eine stabile Verbrennung zu gewährleisten;
  - d. Einleiten der gemischten Gasströme und eines dritten Gasstroms bestehend aus Verbrennungsluft in einen Brenner (6) wenigstens einer Brennkammer (7);
  - e. Verbrennung der vereinigten Gasströme in der Brennkammer (7) bei so hohen Temperaturen, dass unerwünschte, brennbare Gasbestandteile durch Oxidation entfernt werden, wobei die bei der Oxidation aus dem Energieinhalt der Abgase gewonnene Wärmeenergie direkt zur Erhitzung der Abgase eingesetzt wird;
  - f. Katalytische Reinigung der oxidierten Abgase zur Umsetzung darin verbliebener Verunreinigungen in einer katalytischen Reinigungsstufe (8) am Ausgang der Brennkammer (7);
  - g. Einleiten von Kühlluft in die Brennkammer (7) zum Einstellen der erforderlichen Temperatur für die katalytische Reinigung in der katalytischen Reinigungsstufe (8).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zu behandelnden Abgase mindestens 0 Vol.-%, bevorzugt mindestens 10 Vol.-%, besonders bevorzugt mindestens 20 Vol.-% brennbare Anteile enthalten.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zufuhr von Erdgas in den Brenner zur Aufrechterhaltung einer Verbrennungstemperatur, die für die nachfolgende katalytische Reinigung ausreichend ist, automatisch geregelt wird.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zufuhr von Kühlluft zur Einstellung der für die katalytische Reinigung erforderlichen Temperatur automatisch geregelt wird.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flammentemperatur des Brenners zwischen 600 °C und 1200 °C, bevorzugt zwischen 800 °C und 1000 °C beträgt.
6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperatur in der katalytischen Reinigungsstufe zwischen 300 °C und 650 °C beträgt.
7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerung der Zufuhr von Erdgas in den Brenner in Abhängigkeit von der Temperatur in der Brennkammer und/oder der Temperatur am Eintritt in den Katalysator geregelt wird.
8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine Abgaszufuhrleitung, eine Erdgaszufuhrleitung, eine Luftzufuhrleitung, eine oder mehrere Brennkammern mit einem daran angeschlossenen Brenner, eine am Ausgang der Brennkammer installierte katalytische Reinigungsstufe und Überwachungseinrichtungen für den Ablauf der Verbrennung aufweist.
9. Vorrichtung nach den Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Gaszufuhrleitung für Erdgas und das Abgas jeweils eine Sicherheitsstrecke vorgesehen ist.
10. Vorrichtung nach den Anspruch 8 und 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abgaszufuhrleitung mit einem Gaspufferbehälter ausgestattet ist.
11. Vorrichtung nach den Ansprüchen 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Erdgaszufuhrleitung und die Abgaszufuhrleitung vor Eintritt in den Brenner in einer Mischkammer zusammengeführt werden.
12. Vorrichtung nach den Ansprüchen 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brenner ein Gebläsebrenner mit zwei Brenngaseingängen ist.
13. Vorrichtung nach den Ansprüchen 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zufuhr der Verbrennungsluft über einen Ventilator und/oder über ein Ventil regelbar ist.
14. Vorrichtung nach den Ansprüchen 8 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Überwachungseinrichtungen in eine Gesamtsteuerung mit Messwertaufnehmern integriert sind.
15. Vorrichtung nach den Ansprüchen 8 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die verbindenden Rohrleitungen mit einem Schnellkupplungssystem ausgestattet sind.
16. Vorrichtung nach den Ansprüchen 8 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bestandteile der Vorrichtung als Einzelmodule getrennt transportierbar sind und am Einsatzort mit verbindenden Rohrleitungen und Anschlüssen zur Gesamtanlage aufbau-  
bar sind.
17. Vorrichtung nach den Ansprüchen 8 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gesamte Vorrichtung als kompakte Einheit im Aufbauzustand transportierbar ist.
18. Vorrichtung nach den Ansprüchen 8 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gesamtanlage mehrere Abgaszufuhrleitungen umfasst, die einer gemeinsamen Brennkammer mit Brenner zugeführt werden.
19. Vorrichtung nach den Ansprüchen 8 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gesamtanlage mehrere Brennkammern mit Brenner umfasst, deren Abgase einer gemeinsamen katalytischen Reinigungsstufe zugeführt werden.

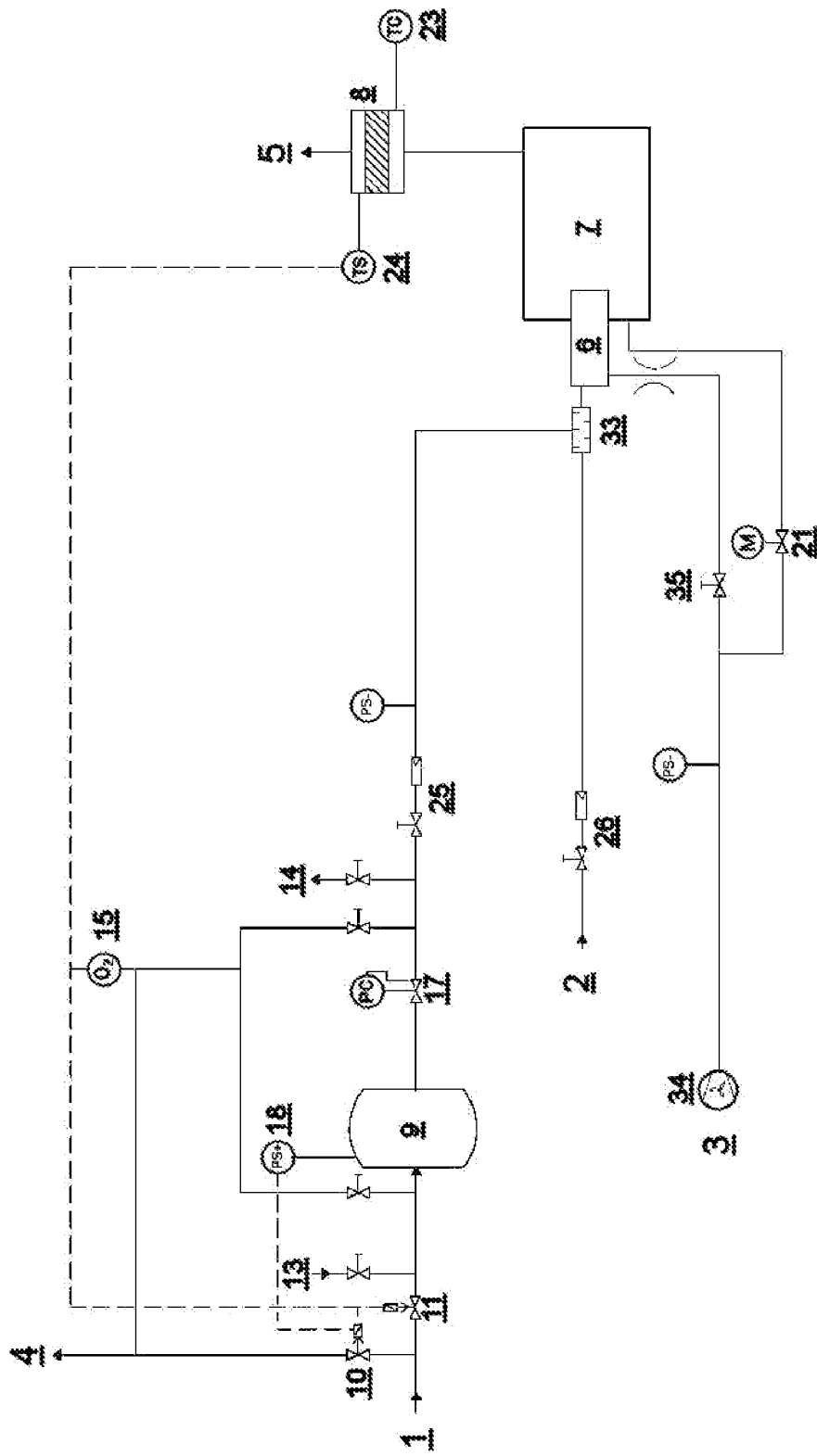


FIG. 1

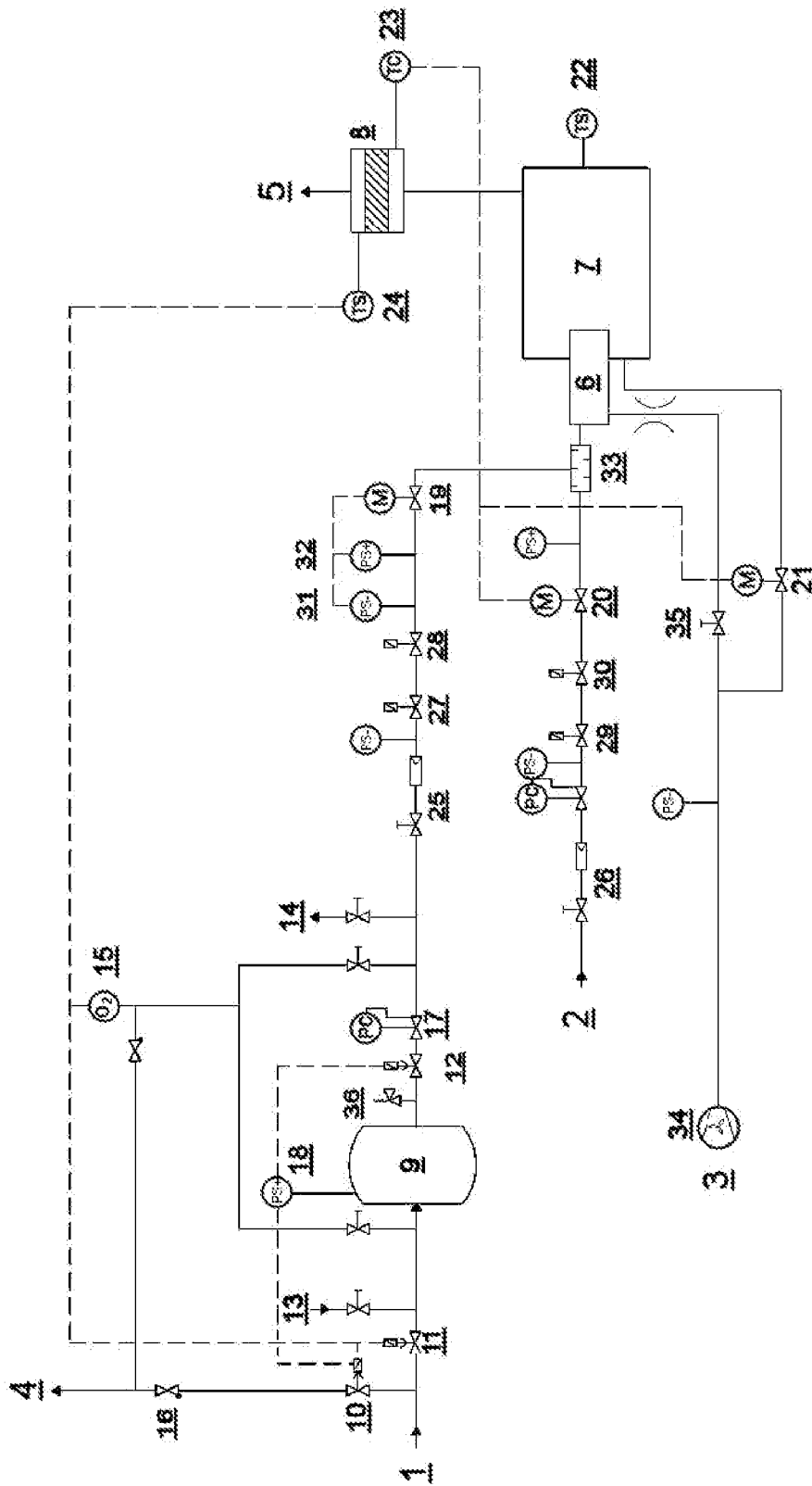


Fig. 2

**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**

- DE 2026237 A1 [0005]
- WO 8705090 A1 [0005]
- DE 19611226 C1 [0008]