

(12) **PATENTCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 410/95

(51) Int.Cl.<sup>6</sup> : **B01D 53/86**  
F23G 7/06

(22) Anmeldetag: 8. 3.1995

(42) Beginn der Patentdauer: 15.12.1998

(45) Ausgabetag: 26. 7.1999

(30) Priorität:

10. 3.1994 DE 4408674 beansprucht.  
6. 3.1995 DE 19508807 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:

EP 0387417A1 DE 4420224A1  
VDI BERICHT 525; 1985 DÜSSELDORF; SCHEUER ET AL.  
"DIE BEDEUTUNG DER KATALYTISCHEN UND THERMISCHEN  
ABGASREINIGUNGSVERFAHREN - EIN VERGLEICH MIT ANDEREN  
VERFAHREN." S. 75-89

(73) Patentinhaber:

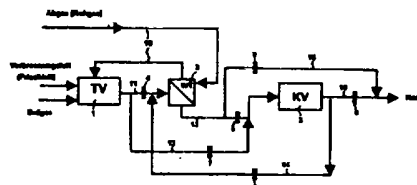
MANNESMANN AKTIENGESELLSCHAFT  
D-40213 DÜSSELDORF (DE).

(72) Erfinder:

DAUN MANFRED DR.ING.  
KAAST (DE).  
BADMERT JOACHIM DIPL.ING.  
ESSEN (DE).  
BIRR REINHARD DR.ING.  
MEERBUSCH (DE).

(54) **VERFAHREN UND ANLAGE ZUR VERBRENNUNG VON ABGASEN**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbrennung von brennbaren Bestandteile enthaltenden Abgasen, insbesondere von bei der Naßoxidation von Klärschlamm anfallenden Rohgasen, bei dem die Abgase zumindest zeitweilig in einer thermischen Verbrennungsstufe oxidiert werden. Erfindungsgemäß gehen die Abgase nach Durchlaufen der thermischen Verbrennungsstufe und vor dem Abführen ins Freie durch den Katalysator einer katalytischen Verbrennungsstufe, wobei die Oxidation der Abgase ganz oder teilweise in der katalytischen Verbrennungsstufe stattfindet. Die Erfindung betrifft ferner eine Anlage zur Durchführung des Verfahrens.



Bei der heutigen Entsorgung von beispielsweise in kommunalen Kläranlagen anfallenden Klärschläm-  
men werden neben der thermischen Verbrennung, die eine kostenintensive und aufwendige Abgasbehand-  
lung benötigt, zur Oxidation der organischen Inhaltsstoffe die sogenannten Naßoxidationsverfahren einge-  
setzt, die im unterkritischen und überkritischen Bereich betrieben werden können. Die naßoxidierten  
5 Klärschlämme enthalten neben festen und flüssigen auch gasförmige Anteile, die abgetrennt und weiterbe-  
handelt werden müssen, um umweltschädliche Bestandteile zu entfernen oder in unschädliche umzuwan-  
deln, bevor das gereinigte Angas unter Einhaltung der gesetzlich festgelegten Grenzwerte an die Umwelt  
abgegeben werden kann. Oft sind es dabei Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid CO, die aus dem Abgas  
entfernt werden müssen. Der Betreiber einer Entsorgungsanlage hat zu gewährleisten, daß die Schadstoff-  
10 konzentrationen in den abgeführten gereinigten Abgasen (Reingasen) jederzeit unterhalb der zulässigen  
Grenzwerte liegen. Bei den Schadstoffen in den Abgasen der Klärschlammentsorgung z.B. mittels Naßoxi-  
dation handelt es sich im wesentlichen um Kohlenmonoxid CO und Kohlenwasserstoffe.

Ein bekanntes Verfahren zur Beseitigung der umweltschädlichen Bestandteile der Abgase ist die  
thermische Verbrennung. Dabei werden die Abgase unter Zugabe von Verbrennungsluft in einer dafür  
15 vorgesehenen Brennkammer verbrannt. Die zur Verbrennung der organischen Verbindungen und des  
Kohlenmonoxids erforderliche Temperatur von ca. 800 °C wird üblicherweise durch das Verbrennen eines  
zusätzlichen Brennstoffs, beispielsweise Erdgas, erzeugt, da der Heizwert der Abgase in der Regel nicht  
ausreicht, um eine selbsttätige thermische Verbrennung zu gewährleisten.

Nachteilig bei der thermischen Verbrennung ist die für ein vollständiges Ausbrennen der Abgase  
20 erforderliche hohe Verbrennungstemperatur in der Brennkammer, die durch den Einsatz eines Zusatzbrenn-  
stoffs aufrechterhalten werden muß, was wiederum mit einem hohen Energieverbrauch und entsprechenden  
Kosten verbunden ist. Vorteilhaft ist allerdings, daß betriebliche Schwankungen des Abgasheizwertes durch  
die Regelung der Brennstoffzufuhr nahezu ohne Zeitverzögerung kompensiert werden können.

Ein anderes bekanntes Verfahren zur Oxidation der umweltschädlichen Abgasinhaltsstoffe ist die  
25 katalytische Verbrennung. Hierzu durchströmt das zu behandelnde Abgas einen auf eine Temperatur  
zwischen 350 °C und 450 °C erhitzten Katalysator mit großer spezifischer Oberfläche. Die Schadstoffe  
verbrennen dabei unter Abgabe von Wärme an der Oberfläche des Katalysators, der die Oxidation in Gang  
setzt, ohne selbst an ihr teilzunehmen. Der Einsatz des Katalysators bedingt eine Herabsetzung der für die  
Reaktion erforderlichen Aktivierungsenergie. Die Folge ist ein um fast die Hälfte niedrigere Reaktionstempe-  
30 ratur als bei der thermischen Verbrennung. Zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung der Reaktionstempe-  
ratur des Katalysators ist auch bei der katalytischen Verbrennung zumindest zeitweilig eine zusätzliche  
Heizung erforderlich, beispielsweise in der Anfahrphase oder bei zu geringem Heizwert der zu verbrennen-  
den Abgase, was üblicherweise durch Verbrennen eines Zusatzbrennstoffs z.B. mit einem dafür vorgesehe-  
nen Brenner im Eingangsbereich des Katalysators erfolgt.

Dabei ist es von Nachteil, daß sich der Katalysator aufgrund seiner relativ großen Ausdehnung und  
35 Porosität nur langsam auf Reaktionstemperatur bringen läßt. Die Anfahrphase der katalytischen Verbren-  
nungseinrichtung benötigt also relativ viel Zeit, in der keine Oxidation der Abgase stattfindet und der  
Verbrennungsprozeß folglich unterbrochen ist. Dieselbe Situation liegt bei Unterschreiten der Mindestreak-  
tionstemperatur des Katalysators vor. In diesem Fall muß der Verbrennungsprozeß unterbrochen und durch  
40 eine Zusatzheizung die Katalysatortemperatur wieder auf Reaktionstemperatur gebracht werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Verbrennung von Abgasen, insbesondere von bei der  
Naßoxidation von Klärschlamm in einem Tiefschachtreaktor anfallenden Rohgasen, sowie eine Anlage zur  
Durchführung des Verfahrens anzugeben, mit dem die Abgase bei möglichst geringem Energieaufwand  
gemessen am Abgasaufkommen unter allen Betriebsbedingungen vollständig ausgebrannt werden, ohne  
45 den Verbrennungsprozeß zeitweilig zu unterbrechen. Dabei soll trotzdem gewährleistet sein, daß die  
umweltschädlichen Bestandteile der ins Freie abgegebenen Abgase zu jeder Zeit unterhalb der zulässigen  
Grenzwerte liegen. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, die Verfügbarkeit der Verbrennungseinrich-  
tung bei möglichst geringem Anlagenaufwand zu verbessern.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der gattungsgemäßen Art mit den Merkmalen des Patentan-  
50 spruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen dieses Verfahrens sind in den Unteransprüchen 2 bis 10  
näher gekennzeichnet. Eine Anlage zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens weist die Merk-  
male des Patentanspruchs 11 auf und ist durch die Merkmale der Unteransprüche 12 bis 14 in vorteilhafter  
Weise ausgestaltbar.

Die Erfindung sieht vor, daß die Abgase nach Durchlaufen des Brennraums der thermischen Verbren-  
55 nungsstufe und vor dem Abführen der behandelten Abgase ins Freie den Katalysator einer katalytischen  
Verbrennungsstufe durchlaufen, wobei die Oxidation der Abgase zumindest in den Phasen konstanter  
Betriebsbedingungen ganz oder überwiegend in der katalytischen Verbrennungsstufe stattfindet. Hierdurch  
wird auch in Phasen, in denen die Oxidation der Abgase ausschließlich oder überwiegend in der

thermischen Verbrennungsstufe erfolgt, sichergestellt, daß die katalytische Verbrennungsstufe auf Betriebstemperatur bleibt oder gebracht wird, ohne daß hierzu eine separate Heizeinrichtung erforderlich ist.

Zweckmäßigerweise werden unterhalb einer vorgegebenen Betriebstemperatur des Katalysators der katalytischen Verbrennungsstufe die Abgase in der thermischen Verbrennungsstufe vollständig ausgebrannt. Weiterhin ist es vorteilhaft, daß bei Erreichen der vorgegebenen Betriebstemperatur der katalytischen Verbrennungsstufe die thermische Verbrennung heruntergefahren oder abgeschaltet wird und die Abgase nach Durchlaufen der katalytischen Verbrennungsstufe zur Aufheizung der der katalytischen Verbrennungsstufe eingangsseitig zugeführten Abgase verwendet werden, bevor sie über den Kamin ins Freie abgeführt werden. Auf diese Weise wird die Oxidation der Abgase mit einem geringstmöglichen Verbrauch an Zusatzbrennstoff und damit Energieaufwand betrieben, ohne den Verbrennungsprozeß zeitweilig unterbrechen zu müssen, um den Katalysator der katalytischen Verbrennungsstufe auf die erforderliche Reaktionstemperatur aufzuheizen. Gleichzeitig ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren gewährleistet, daß die umweltschädlichen brennbaren Bestandteile unabhängig von der Konstanz der Betriebsbedingungen (insbesondere Abgasheizwert, Katalysatortemperatur) zu jeder Zeit nahezu vollständig verbrannt werden, so daß es zu keiner Überschreitung der zulässigen Grenzwerte kommt. Durch das vollständige Ausbrennen der Abgase in der thermischen Oxidationsstufe, beispielsweise in der Anfahrphase, und die damit verbundene hohe Temperatur der verbrannten Abgase ist es vorteilhafter Weise möglich, den Katalysator der katalytischen Verbrennungsstufe besonders schnell auf Betriebstemperatur zu erhitzen, wodurch sich die Verfügbarkeit der relativ trägen katalytischen Verbrennungsstufe deutlich verbessert.

Besonders vorteilhaft im Hinblick auf die Reduzierung des zusätzlichen Brennstoffeinsatzes ist die Aufheizung der der katalytischen Verbrennungsstufe eingangsseitig zugeführten Abgase in einem Wärmetauscher mittels indirektem Wärmeaustausch durch die die katalytische Verbrennungsstufe ausgangsseitig verlassenden heißen Abgase auf eine der vorgegebenen Betriebstemperatur der katalytischen Verbrennungsstufe entsprechende Temperatur. Dadurch ist es insbesondere nach Abschaltung der thermischen Verbrennung möglich, bei ausreichendem Heizwert der Abgase den Verbrennungsprozeß ohne Zusatzenergie selbsttätig aufrechtzuerhalten.

Hinsichtlich der Steuerung und Kontrolle des erfindungsgemäßen Verfahrens hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Betriebstemperatur der katalytischen Verbrennungsstufe durch eine Temperaturmeßeinrichtung über die Austrittstemperatur der die katalytischen Verbrennungsstufe verlassenden Abgase zu erfassen und die thermische Verbrennungsstufe bei Unterschreiten der vorgegebenen Betriebstemperatur der katalytischen Verbrennungsstufe anhand der Meßsignale der Temperaturmeßeinrichtung durch eine Schalteinrichtung einzuschalten, was nahezu ohne Zeitverzögerung möglich ist. Dadurch wird unter allen Bedingungen zu jedem Zeitpunkt auf einfachste Art und Weise ein vollständiger Ausbrand der Abgase gewährleistet.

Um bei zu hohem Heizwert der Abgase eine Beschädigung des Katalysators zu vermeiden, ist es gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, bei Überschreiten einer vorgegebenen maximalen Betriebstemperatur der katalytischen Verbrennungsstufe den Abgasen vor der Verbrennung zusätzlich Frischluft zuzugeben und dabei die Frischluftzugabe vorzugsweise im Brennraum der thermischen Verbrennungsstufe, insbesondere mittels der für die thermische Verbrennungsstufe vorgesehenen Einrichtung zur Zuführung von Verbrennungsluft vorzunehmen. Zur Verbesserung des Energieeinsatzes werden die dem Brennraum der thermischen Verbrennungsstufe eingangsseitig zugeführten Abgase durch die die thermische Verbrennungsstufe ausgangsseitig verlassenden Abgase in einem Wärmetauscher mittels indirektem Wärmeaustausch aufgeheizt.

Besonders vorteilhaft ist es, die der thermischen Verbrennungsstufe und die der katalytischen Verbrennungsstufe eingangsseitig zugeführten Abgase in dem selben Wärmetauscher aufzuheizen, so daß nicht für jede der beiden Verbrennungsstufen ein separater Wärmetauscher erforderlich ist.

Eine im Rahmen der Erfindung vorgesehene Anlage zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist so ausgebildet, daß der thermischen Verbrennungseinrichtung eine einen Katalysator enthaltende katalytische Verbrennungseinrichtung nachgeschaltet ist, wobei die beiden Verbrennungseinrichtungen und der Wärmetauscher durch verschleißbare fördertechnische Verbindungen so miteinander verbunden sind, daß der Wärmetauscher zur Vorheizung des zu oxidierenden Abgases der thermischen und/oder der katalytischen Verbrennungseinrichtung vorschaltbar ist. Bei den verschleißbaren fördertechnischen Verbindungen handelt es sich zweckmäßigerweise um mit Ventilen verschleißbare Rohrleitungen. Mit Vorteil wird eine mit einer Temperaturmeßeinrichtung verbundene vorzugsweise elektronische Steuereinrichtung zum Öffnen und Schließen der Ventile, zum An- und Abschalten der thermischen Verbrennungseinrichtung und zur Steuerung einer zusätzlichen Frischluftzuführung zum Abgas bei Überschreiten der vorgegebenen maximalen Betriebstemperatur des Katalysators der katalytischen Verbrennungseinrichtung vorgesehen, so daß die Anlage auch automatisch betrieben werden kann.

Bei einer bevorzugten Anlage ist es vorgesehen, daß der Wärmetauscher mit seiner vom aufzuheizen-  
den Medium durchströmbaren Seite in die Abgaszuleitung zum Brennraum und heizmediumseitig in die  
den Brennraum und den Eingang der katalytischen Verbrennungseinrichtung verbindende Rohrleitung  
(Wärmetauscherzuleitung mit Ventil und die Zuleitung mit Ventil) fest eingeschaltet ist. Zusätzlich werden  
5 der Brennraum ausgangsseitig und die katalytische Verbrennungseinrichtung eingangsseitig über eine  
absperrbare Bypassleitung fest verbunden. Darüberhinaus ist die katalytische Verbrennungseinrichtung  
ausgangsseitig über eine absperrbare Rückführleitung mit dem heizmediumseitigen Eingang des Wärme-  
tauschers verbunden. Die Abgabe des oxidierten Abgases erfolgt so, daß der heizmediumseitige Ausgang  
des Wärmetauschers über eine absperrbare erste Ableitung und die katalytische Verbrennungseinrichtung  
10 ausgangsseitig über eine absperrbare zweite Ableitung fest mit dem Kamin verbunden sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die Anlage zur Durchführung des Verfahrens werden nachfolgend  
beispielhaft anhand eines schematischen Fließschemas sowie eines schematischen Schaltbildes näher  
beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 ein schematisches Fließschema des Abgasverbrennungsverfahrens und  
15 Fig. 2 schematisch die Zusammenschaltung der einzelnen Elemente der Abgasverbrennungsanlage.

In Fig. 1 sind drei Betriebszustände des Verfahrens schematisch in einem Fließschema dargestellt. Bei  
der Verbrennung von brennbaren Anteile enthaltenden Abgasen, insbesondere von bei der Naßoxidation von  
Klärschlamm in einem Tiefschachtreaktor nach Abtrennung der festen und flüssigen Anteile anfallenden  
Rohgasen, wird das Abgas vorher in einem Wärmetauscher aufgeheizt. Anschließend erfolgt die Oxidation  
20 in der thermischen und/oder katalytischen Verbrennungsstufe (TV und/oder KV), bevor das heiße Reingas  
unter Abkühlung nach einem weiteren Durchlaufen des Wärmetauschers über einen Kamin in die Atmo-  
sphäre abgeführt wird.

Wie Fig. 1 im einzelnen erkennen läßt, wird das Abgas (Rohgas) während des Anfahrens der  
Verbrennungsanlage (Strich-Punkt-Linie) dem für das aufzuheizende Medium vorgesehenen Eingang des  
25 Wärmetauschers zugeführt. Das Rohgas, das z.B. aus der in einem Tiefschachtreaktor durchgeführten  
Naßoxidation von Klärschlamm stammt, kann im Einzelfall noch genügend Sauerstoff für eine vollständige  
Oxidation enthalten; anderenfalls erfolgt eine entsprechende Sauerstoffzufuhr z. B. in Form von Frischluft.  
Im Wärmetauscher erfolgt Aufheizung des Abgases auf ca. 500 °C. Das vorgeheizte Abgas gelangt  
anschließend in den Brennraum der thermischen Verbrennungsstufe TV. Mittels eines Brennersystems wird  
30 ebenfalls in den Brennraum geleiteter Zusatzbrennstoff unter Zugabe von Verbrennungsluft zusammen mit  
dem Abgas verbrannt. Im Ausführungsbeispiel ist der Zusatzbrennstoff Erdgas, das sich durch eine  
rückstandsarme Verbrennung auszeichnet. Die Zusatzheizung des Brennraums führt dem zu reinigenden,  
vorgeheizten Abgas so viel Wärmeenergie zu, daß dieses die erforderliche Zündtemperatur erreicht. Je  
nach Art und Menge der Schadstoffe läuft die Verbrennung der Abgase bei Temperaturen zwischen 700 °C  
35 und 900 °C ab. Über die Brennstoffzufuhr werden betriebliche Schwankungen insbesondere des Abgasheiz-  
wertes und der Abgasmenge ausgeglichen und die Brennraumtemperatur geregelt. Nach einer gewissen  
Verweilzeit im Brennraum ist das Abgas nahezu vollständig ausgebrannt, wobei z.B. gemäß der deutschen  
Vorschrift TA Luft bei einer Verbrennungstemperatur von 900 °C die Verweilzeit eine Dauer von 0,3s nicht  
unterschreiten darf. Das verbrannte heiße Abgas wird anschließend dem heizmediumseitigen Eingang des  
40 Wärmetauschers zugeführt, durchläuft unter Abkühlung den Wärmetauscher und danach die katalytische  
Verbrennungsstufe KV, wo das Abgas eine weitere Abkühlung erfährt. Der vom heißen Abgas durchströmte  
Katalysator der katalytischen Verbrennungsstufe KV, die im Ausführungsbeispiel selbst über keinerlei  
Vorheizeinrichtung verfügt, wird auf diesem Wege in relativ kurzer Zeit auf Reaktionstemperatur erwärmt.  
Das gereinigte Abgas gelangt nach der katalytischen Verbrennungsstufe KV über einen Kamin ins Freie.  
45 Um eine Überhitzung des Katalysators sicher zu vermeiden, kann es im Bedarfsfall zweckmäßig sein, einen  
Teilstrom des heißen Abgases durch ein Bypass-Leitung an der katalytischen Verbrennungsstufe vorbei ins  
Freie zu leiten.

Bei Erreichen der Anspringtemperatur des Katalysators der katalytischen Verbrennungsstufe KV wird  
die Zuführung von Zusatzbrennstoff und Verbrennungsluft abgeschaltet. Das ungereinigte vorgeheizte  
50 Abgas wird nach Durchlaufen des Brennraums, wie Fig. 1 - durchgezogene Linie - erkennen läßt, der  
katalytischen Verbrennungsstufe KV direkt zugeführt und an der Oberfläche des Katalysators oxidiert. Die  
Anspringtemperatur des Katalysators, die mit der Zündtemperatur der brennbaren Bestandteile bei der  
thermischen Verbrennung vergleichbar ist, liegt zwischen 200 °C und 300 °C. Durch die exotherm verlaufen-  
de Verbrennung stellt sich im Katalysator ein Temperaturprofil ein. Das heiße gereinigte Abgas wird hinter  
55 der katalytischen Verbrennungsstufe KV über den Wärmetauscher und den Kamin ins Freie abgeführt. Bei  
ausreichendem Heizwert der zu oxidierenden Abgase wird von den oxidierten, heißen Abgasen eine solche  
Wärmemenge an den Wärmetauscher abgegeben, daß die vorzuheizenden Abgase auf eine der vorgegebenen  
Betriebstemperatur der katalytischen Verbrennungsstufe KV entsprechende Temperatur aufgeheizt

werden, so daß keine Zusatzheizung erforderlich ist. Bei zu großem Heizwert der Abgase wird zur Kühlung zusätzliche Brennluft (Frischluff) zugegeben, und zwar zweckmäßigerweise mittels der für die thermische Verbrennungsstufe TV vorgesehenen Einrichtung zur Zuführung von Verbrennungsluft. Unterschreitet die Betriebstemperatur des Katalysators der katalytischen Verbrennungsstufe KV einen vorgegebenen Wert,

5 wird die thermische Verbrennungsstufe TV eingeschaltet und hochgefahren.

Die Steuerung der thermischen Verbrennungsstufe TV erfolgt im Ausführungsbeispiel anhand einer nicht dargestellten Temperaturmessung der Abgase am Ausgang der katalytischen Verbrennungsstufe KV. Mittels Steuerimpulsen einer elektronischen Steuerung wird die thermische Verbrennungsstufe TV veranlaßt, je nach Bedarf die Verbrennung durchzuführen und/ oder Frischluft zuzugeben. Das Verfahren kann dabei

10 so betrieben werden, daß bei Betrieb der thermischen Verbrennungsstufe TV immer ein vollständiges Ausbrennen der Abgase erfolgt. Alternativ ist es aber auch möglich, einen Teil der Abgase in der thermischen Verbrennungsstufe TV und den restlichen Teil in der katalytischen Verbrennungsstufe KV zu oxidieren. Schließlich ist es im Ausführungsbeispiel z. B. beim Abfahren der Gesamtanlage vorgesehen-

15 direkt zum Kamin und ins Freie abzuführen.

Fig. 2 zeigt eine Anlage zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Das Ausführungsbeispiel der Anlage umfaßt eine thermische Verbrennungseinrichtung TV mit einem Brennraum 1, einem Wärmetauscher 2 und einer katalytischen Verbrennungseinrichtung KV, die über Rohrleitungen miteinander fest verbunden sind, wobei die Verbindungs- und Ableitungsrohre durch Ventile 4-9 absperbar ausgeführt sind.

20 Der für das aufzuheizende Medium vorgesehene Eingang und Ausgang des Wärmetauschers 2 sind in eine Abgaszuleitung 10 zum Brennraum 1 der thermischen Verbrennungseinrichtung TV fest eingeschaltet. Im Brennraum 1 ist ein Brenner (nicht dargestellt) angeordnet, der eine regelbare Brennstoffversorgung (z.B. Erdgas) und eine regelbare Verbrennungsluftzuführung aufweist. Ausgangsseitig ist der Brennraum 1 mit dem heizmediumseitigen Eingang des Wärmetauschers 2 durch eine Wärmetauscherzuleitung 11, in

25 der das Absperrventil 4 eingesetzt ist, verbunden. Zwischen dem heizmediumseitigen Ausgang des Wärmetauschers 2 und dem Eingang der katalytischen Verbrennungseinrichtung KV ist eine Zuleitung 12 mit Ventil 5 angeordnet. Eine absperbare Bypassleitung 13 (Ventil 7) verbindet den Ausgang des Brennraums 1 direkt mit dem Eingang der katalytischen Verbrennungseinrichtung KV, während der Ausgang der katalytischen Verbrennungseinrichtung KV über eine Rückführleitung 14 (Absperrventil 8)

30 direkt mit dem heizmediumseitigen Eingang des Wärmetauschers 2 fest verbunden ist. Das Heizmedium des Wärmetauschers 2 ist über eine absperbare Ableitung 15 (Ventil 9) direkt zum Kamin abführbar. Außerdem ist der Kamin über die zweite durch das Ventil 6 absperbare Ableitung 16 mit dem Ausgang der katalytischen Verbrennungseinrichtung KV verbunden.

Zur Steuerung der Anlage ist eine mit einer Temperaturmeßeinrichtung verbundene Steuereinrichtung

35 (beide nicht dargestellt) zum Öffnen und Schließen der Ventile 4-9, zum An- und Abschalten der thermischen Verbrennungseinrichtung TV und zur Steuerung einer zusätzlichen Frischluftzuführung zum Abgas bei Überschreiten der vorgegebenen maximalen Betriebstemperatur des Katalysators 3 der katalytischen Verbrennungseinrichtung KV vorgesehen.

Beim Betrieb der Anlage werden durch die Steuereinrichtung während des Anfahrvorganges die

40 Absperrventile 7, 8 und 9 geschlossen und die Ventile 4, 5 und 6 geöffnet; im Bedarfsfall kann das Ventil auch teilweise geöffnet bleiben, um einen Teilstrom des Abgases durch die Ableitung 15 zu leiten. Das Abgas wird mittels eines Verdichters (nicht dargestellt) durch die Abgaszuleitung 10 über den Wärmetauscher 2, in dem das Abgas vorgewärmt wird, in den Brennraum 1 geleitet und dort zusammen mit dem Erdgas-Luft-Gemisch, das über den Brenner zugeführt wird, vollständig ausgebrannt. Das heiße Abgas wird

45 dann über die Wärmetauscherzuleitung 11, den Wärmetauscher 2, die Zuleitung 12, die katalytische Verbrennungseinrichtung KV und den Kamin ins Freie abgeführt. Das den Wärmetauscher 2 und den Katalysator 3 der katalytischen Verbrennungseinrichtung KV durchströmende heiße Abgas wird beim Durchgang abgekühlt, wobei der Katalysator 3 der katalytischen Verbrennungseinrichtung KV stetig bis auf Betriebstemperatur erwärmt wird.

Bei Erreichen der Betriebstemperatur des Katalysators 3 werden durch die Steuereinrichtung die Ventile

50 4, 5 und 6 geschlossen, die thermische Verbrennungseinrichtung TV abgeschaltet und die Ventile 7, 8 und 9 anschließend geöffnet. Jetzt gelangt das Abgas über die Abgaszuleitung 10, den Wärmetauscher 2 den Brennraum 1 und die Bypassleitung 7 zur katalytischen Verbrennungseinrichtung KV, wo es an der Oberfläche des Katalysators 3 unter Wärmeabgabe verbrannt wird. Da die direkte Verbindung zum Kamin durch das geschlossene Ventil 6 versperrt ist, strömt das heiße Abgas über die Rückführleitung 14, durch den Wärmetauscher 2 (unter Wärmeabgabe) und die Ableitung 15 zum Kamin und von dort ins Freie.

55

Bei ausreichendem Heizwert des insbesondere aus einer Naßoxidationsstufe der Verbrennung zugeführten Abgases erfolgt durch den Wärmetausch im Wärmetauscher 2 eine ausreichende Vorheizung des zu

oxidierenden Abgases, so daß keine zusätzliche Aufheizung erforderlich ist. Bei zu großem Heizwert des Abgases kann es dagegen zu einem unzulässigen Aufheizen des Katalysators 3 kommen. Überschreitet die Temperatur des Katalysators 3 der katalytischen Verbrennungseinrichtung KV einen maximal vorgegebenen Wert, so wird, um eine Überhitzung des Katalysators 3 zu verhindern, dem Abgas Frischluft zugegeben, zweckmäßigerweise mittels der für die thermische Verbrennungseinrichtung TV vorgesehenen Einrichtung zur Zuführung von Verbrennungsluft. Die Zugabe erfolgt temperaturabhängig mittels der Steuereinrichtung, wenn diese von der Temperaturmeßeinrichtung entsprechende Temperatursignale empfängt, wobei die Betriebstemperatur des Katalysators 3 indirekt über die Austrittstemperatur der die katalytische Verbrennungseinrichtung KV verlassenden Abgase bestimmt wird.

Bei Unterschreiten der Betriebstemperatur des Katalysators 3 wird auf vollständiges thermisches Verbrennen umgeschaltet. Die Ventilstellungen der Ventile 4-9 sind dabei mit denen während des Anfahrvorganges identisch. Alternativ ist es allerdings auch möglich, bei Unterschreiten der Betriebstemperatur des Katalysators 3 während des Verbrennungsprozesses keine Umschaltung wie oben beschrieben vorzunehmen, sondern lediglich eine teilweise Verbrennung der Abgase in der thermischen Verbrennungseinrichtung TV und damit eine Vorheizung des Abgases für die katalytische Verbrennungseinrichtung KV durchzuführen. Die weitere Verbrennung erfolgt dann in der katalytischen Verbrennungseinrichtung KV.

Der Katalysator 3 der katalytischen Verbrennungseinrichtung KV, ist zweckmäßigerweise als Dreischicht-Katalysator ausgebildet, wobei die erste Schicht zur Adsorption von Schwermetallen dient, die den Katalysator ansonsten vergiften würden. In der zweiten Schicht wird das CO zu CO<sub>2</sub> oxidiert, während die dritte Schicht zur Oxidation der Kohlenwasserstoffe dient.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbrennung von brennbare Bestandteile enthaltenden Abgasen, insbesondere von bei der Naßoxidation von Klärschlamm anfallenden Rohgasen, bei dem die Abgase zumindest zeitweilig in einer thermischen Verbrennungsstufe unter Zufuhr von Zusatzbrennstoff oxidiert und über einen Kamin ins Freie abgeführt werden,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Abgase nach Durchlaufen des Brennraums der thermischen Verbrennungsstufe und vor dem Abführen der behandelten Abgase ins Freie den Katalysator einer katalytischen Verbrennungsstufe durchlaufen, wobei die Oxidation der Abgase zumindest in den Phasen konstanter Betriebsbedingungen ganz oder überwiegend in der katalytischen Verbrennungsstufe stattfindet.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß unterhalb einer vorgegebenen Betriebstemperatur des Katalysators der katalytischen Verbrennungsstufe die Abgase in der thermischen Verbrennungsstufe vollständig ausgebrannt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß bei Erreichen der vorgegebenen Betriebstemperatur der katalytischen Verbrennungsstufe die thermische Verbrennung heruntergefahren oder abgeschaltet wird und die Abgase nach Durchlaufen der katalytischen Verbrennungsstufe zur Aufheizung der der katalytischen Verbrennungsstufe eingangsseitig zugeführten Abgase verwendet werden, bevor sie über den Kamin ins Freie abgeführt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die der katalytischen Verbrennungsstufe eingangsseitig zugeführten Abgase in einem Wärmetauscher mittels indirektem Wärmeaustausch durch die die katalytische Verbrennungsstufe ausgangssseitig verlassenden heißen Abgase auf eine der vorgegebenen Betriebstemperatur der katalytischen Verbrennungsstufe entsprechende Temperatur aufgeheizt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Betriebstemperatur der katalytischen Verbrennungsstufe durch eine Temperaturmeßeinrichtung über die Austrittstemperatur der die katalytische Verbrennungsstufe verlassenden Abgase erfaßt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die thermische Verbrennungsstufe bei Unterschreiten der vorgegebenen Betriebstemperatur der  
katalytischen Verbrennungsstufe durch eine Schalteinrichtung anhand der Meßsignale der Temperatur-  
meßeinrichtung eingeschaltet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß bei Überschreiten einer vorgegebenen maximalen Betriebstemperatur der katalytischen Verbren-  
nungsstufe, insbesondere bei einem zu hohen Heizwert der Abgase, den Abgasen vor der Verbrennung  
zusätzlich Brennluft (Frischlufte) zugegeben wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Frischluftzugabe im Brennraum der thermischen Verbrennungsstufe, insbesondere mittels der  
für die thermische Verbrennungsstufe vorgesehenen Einrichtung zur Zuführung von Verbrennungsluft  
erfolgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die der thermischen Verbrennungsstufe eingangsseitig zugeführten Abgase durch die die thermi-  
sche Verbrennungsstufe ausgangsseitig verlassenden Abgase in einem Wärmetauscher mittels indirek-  
tem Wärmeaustausch aufgeheizt werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die der thermischen Verbrennungsstufe und die der katalytischen Verbrennungsstufe eingangssei-  
tig zugeführten Abgase in dem gleichen Wärmetauscher aufgeheizt werden.
11. Anlage zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einer thermischen Verbrennungseinrich-  
tung (TV), in der ein direkt beheizter Brennraum (1) mit einem Brenner, der eine regelbare Brennstoff-  
versorgung und eine regelbare Luftzuführung aufweist, ausgebildet ist, und mit einem Wärmetauscher  
(2) zur Vorwärmung des zu verbrennenden Abgases,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der thermischen Verbrennungseinrichtung (TV) eine einen Katalysator (3) enthaltende katalytische  
Verbrennungseinrichtung (KV) nachgeschaltet ist, wobei die beiden Verbrennungseinrichtungen (KV,  
TV) und der Wärmetauscher (2) durch verschleißbare fördertechnische Verbindungen so miteinander  
verbunden sind, daß der Wärmetauscher (2) zur Vorheizung des zu oxidierenden Abgases der  
thermischen und/oder der katalytischen Verbrennungseinrichtung (TV und/oder KV) vorschaltbar ist.
12. Anlage nach Anspruch 11,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die verschleißbaren fördertechnischen Verbindungen mit Ventilen (4 - 9) verschleißbare Rohrleitun-  
gen sind.
13. Anlage nach Anspruch 12,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß eine mit einer Temperaturmeßeinrichtung verbundene Steuereinrichtung vorgesehen ist zum Öffnen  
und Schließen der Ventile (4 - 9), zum An- und Abschalten der thermischen Verbrennungseinrichtung  
(TV) und zur Steuerung einer zusätzlichen Frischluftzuführung zum Abgas bei Überschreiten der  
vorgegebenen maximalen Betriebstemperatur des Katalysators der katalytischen Verbrennungseinrich-  
tung (KV).
14. Anlage nach einem der Ansprüche 11 bis 13,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der Wärmetauscher (2) mit seiner vom aufzuheizenden Medium durchströmbaren Seite in die  
Abgaszuleitung (10) zum Brennraum (1) und heizmediumseitig in die den Brennraum (1) und den  
Eingang der katalytischen Verbrennungseinrichtung (KV) verbindende Rohrleitung (Wärmetauscherzu-

## AT 405 377 B

leitung 11 mit Ventil 5 und die Zuleitung 12 mit Ventil 6) fest eingeschaltet ist,  
daß der Brennraum (1) ausgangsseitig und die katalytische Verbrennungseinrichtung (KV) eingangssei-  
tig zusätzlich über eine absperrbare (Ventil 7) Bypassleitung (13) fest verbunden sind,  
daß die katalytische Verbrennungseinrichtung (KV) ausgangsseitig über eine absperrbare (Ventil 8)  
5 Rückführleitung (14) fest mit dem heizmediumseitigen Eingang des Wärmetauschers (2) verbunden ist,  
daß der heizmediumseitige Ausgang des Wärmetauschers (2) über eine absperrbare (Ventil 9) erste  
Ableitung (15) und die katalytische Verbrennungseinrichtung (KV) ausgangsseitig über eine absperrbare  
zweite Ableitung (16, Ventil (7)) fest mit dem Kamin verbunden sind.

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen



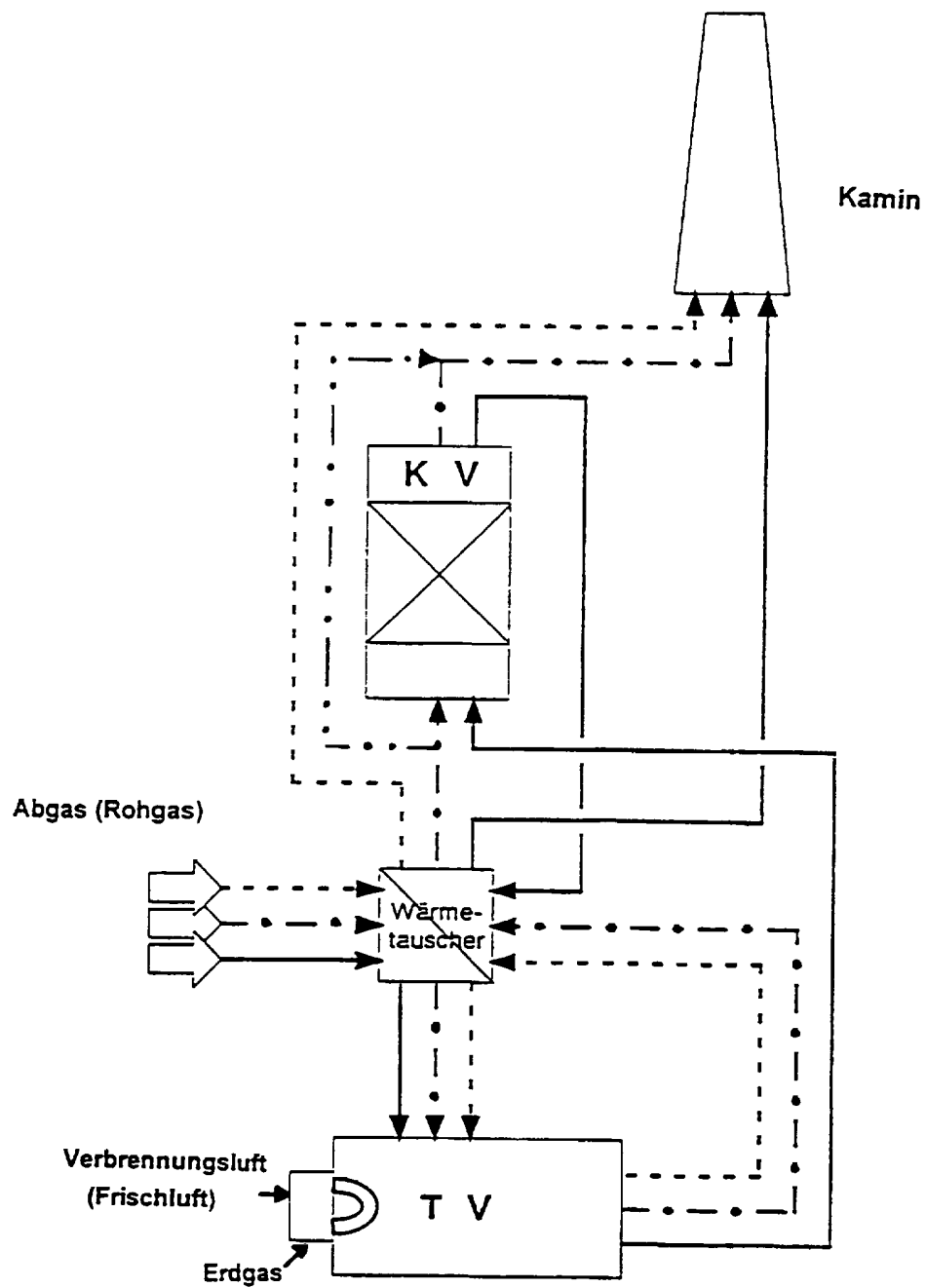


Fig. 1

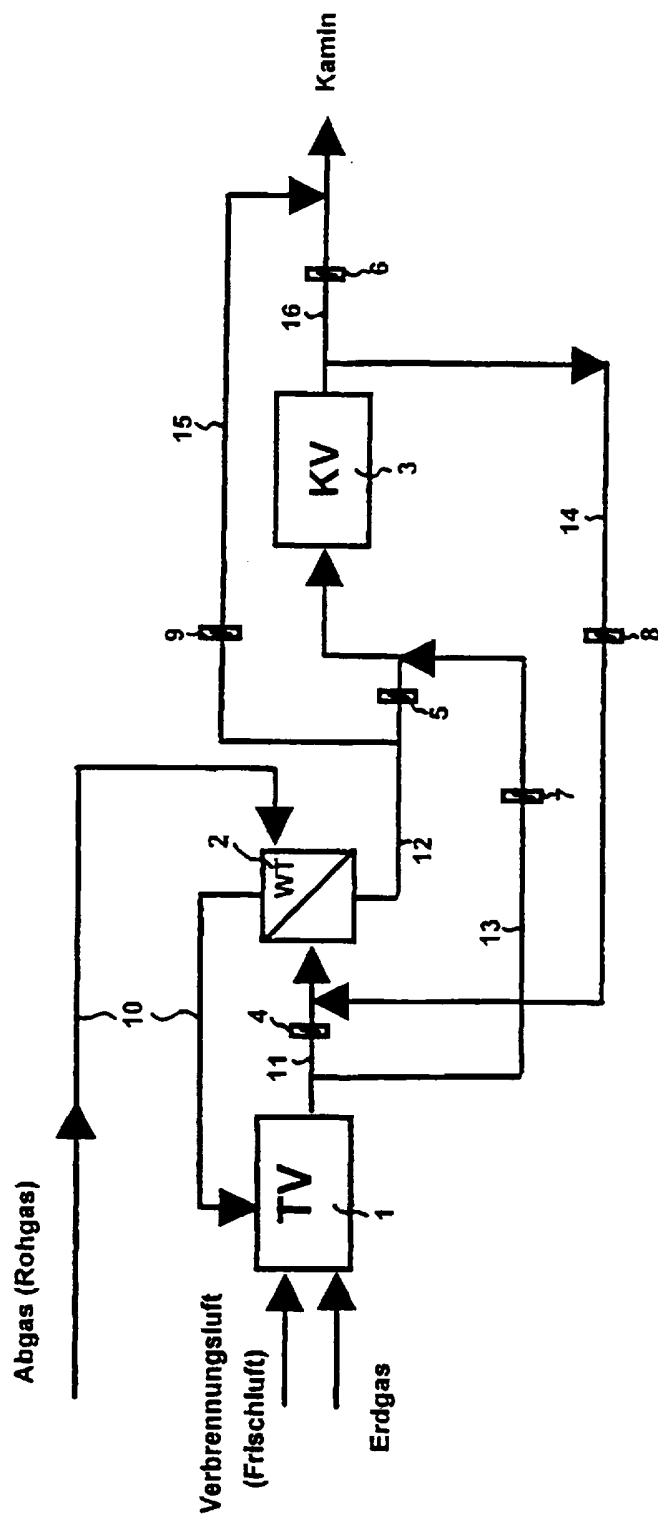


Fig. 2