



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 253 944 A5

4(51) B 01 D 53/34

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) AP B 01 D / 295 429 8

(22) 21.10.86

(44) 10.02.88

(31) 86200087.4

(32) 21.01.86

(33) EP

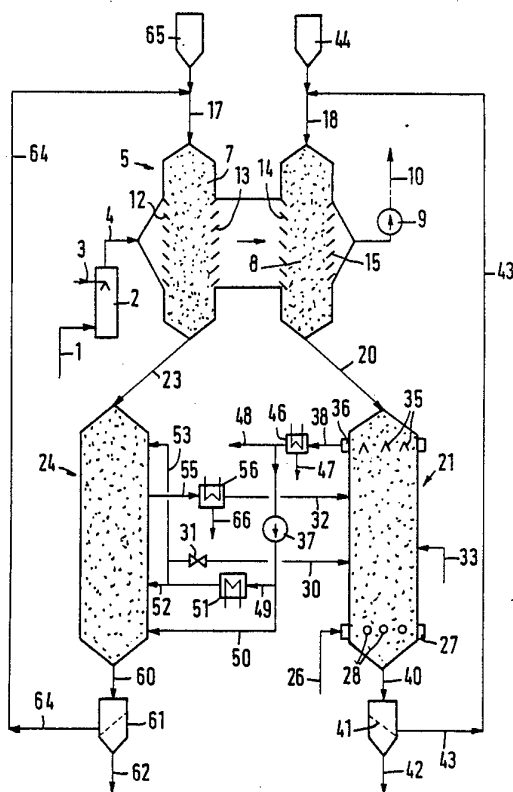
(71) siehe (73)

(72) Menig, Harald, Prof. Dipl.-Ing., DE; Storp, Klaus, Dr., DE; Wirth, Johann, Dr., AT; Rittinger, Günter, DE; Hohmann, Volker, DE

(73) Laboratorium für Adsorptionstechnik GmbH, 6000 Frankfurt (Main) 80, DE

(54) Verfahren zum Entfernen von Stickstoffoxiden und Schwefeloxiden aus einem Abgas

(57) Stickstoffoxide (NO_x) und Schwefeloxide werden aus einem Sauerstoff und Wasserdampf enthaltenden Abgas, das man bei Temperaturen von 40 bis 120 °C mit aktivem Aluminiumoxid und Aktivkohle als Katalysatoren in Kontakt bringt, entfernt. Das Aluminiumoxid bindet vor allem die Stickstoffoxide und die Aktivkohle die Schwefeloxide, dabei entsteht Schwefelsäure auf der Aktivkohle. Zum Regenerieren der beladenen Katalysatoren wird Reduktionsgas verwendet. Man leitet das Abgas zuerst über aktives Aluminiumoxid (7), wobei man die Stickstoffoxide weitgehend und gleichzeitig einen Teil der Schwefeloxide entfernt, anschließend wird das teilgereinigte, Sauerstoff und Wasserdampf enthaltende Abgas über die Aktivkohle (8) geleitet. Das beladene Aluminiumoxid wird in einer Al_2O_3 -Regeneration (24) und getrennt davon wird die beladene Aktivkohle in einer Aktivkohle-Regeneration (21) regeneriert, wobei man der Aktivkohle-Regeneration wasserstoffhaltiges Reduktionsgas (26) zuführt und bei einer höchsten Temperatur von 400 bis 550 °C den Schwefel und die schwefelhaltigen Verbindungen von der Aktivkohle entfernt. Aus der Aktivkohle-Regeneration wird ein Schwefelverbindungen enthaltendes Reduktionsgas (38) abgezogen, das man in die Al_2O_3 -Regeneration leitet. Mit dem Schwefelverbindungen enthaltenden Reduktionsgas wird bei höchsten Temperaturen von 200 bis 400 °C die Beladung des Aluminiumoxids zu Schwefel und Stickstoff reduziert und die Beladung desorbiert. Ein schwefelhaltiges Desorptionsgas wird abgeleitet und kann nach Ausscheiden von Schwefel der Aktivkohle-Regeneration (21) zugeführt werden. Figur



Patentansprüche:

1. Verfahren zum Entfernen von Stickstoffoxiden (NO_x) und Schwefeloxiden aus einem Sauerstoff und Wasserdampf enthaltenden Abgas, das man bei Temperaturen von 40 bis 120°C mit aktivem Aluminiumoxid und Aktivkohle als Katalysatoren in Kontakt bringt, wobei das Aluminiumoxid vor allem die Stickstoffoxide bindet und die Aktivkohle die Schwefeloxide entfernt und sie als Schwefelsäure bindet und wobei man zum Regenerieren der beladenen Katalysatoren Reduktionsgas verwendet, **dadurch gekennzeichnet**, daß man das Abgas zuerst über aktives Aluminiumoxid leitet und dabei die Stickstoffoxide weitgehend und gleichzeitig einen Teil der Schwefeloxide entfernt und anschließend das teilgereinigte, Sauerstoff und Wasserdampf enthaltende Abgas über die Aktivkohle leitet, daß man das beladene Aluminiumoxid in einer Al_2O_3 -Regeneration und getrennt davon die beladene Aktivkohle in einer Aktivkohle-Regeneration regeneriert, wobei man der Aktivkohle-Regeneration wasserstoffhaltiges Reduktionsgas zuführt, bei einer höchsten Temperatur von 400 bis 550°C den Schwefel und die schwefelhaltigen Verbindungen von der Aktivkohle entfernt und aus der Aktivkohle-Regeneration ein Schwefelverbindungen enthaltendes Reduktionsgas abzieht, das man in die Al_2O_3 -Regeneration leitet, mit dem Schwefelverbindungen enthaltenden Reduktionsgas bei höchsten Temperaturen von 200 bis 400°C die Beladung des Aluminiumoxids zu Schwefel und Stickstoff reduziert und die Beladung desorbiert, und schwefelhaltiges Desorptionsgas ableitet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß man das schwefelhaltige Desorptionsgas kühlt, den dabei auskondensierenden flüssigen Schwefel abzieht und das Desorptionsgas mindestens teilweise in die Aktivkohle-Regeneration leitet.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß man das Schwefelverbindungen enthaltende Reduktionsgas aus der Aktivkohle-Regeneration kühlt, wasserhaltiges Kondensat abtrennt und mindestens einen Teilstrom des gekühlten Reduktionsgases auf 300 bis 500°C erhitzt, bevor man es in die Al_2O_3 -Regeneration leitet.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder einem der folgenden, **dadurch gekennzeichnet**, daß man zumindest in der Anfahrphase einen Teilstrom des Schwefelverbindungen enthaltenden Reduktionsgases aus der Aktivkohle-Regeneration auf 300 bis 500°C erhitzt und in die Aktivkohle-Regeneration zurückleitet.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder einem der folgenden, **dadurch gekennzeichnet**, daß man einen Teilstrom des auf 300 bis 500°C erhitzten, Schwefelverbindungen enthaltenden Reduktionsgases im Gleichstrom mit dem in die Al_2O_3 -Regeneration zufließenden Aluminiumoxid führt.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Entfernen von Stickstoffoxiden (NO_x) und Schwefeloxiden aus einem Sauerstoff und Wasserdampf enthaltenden Abgas, das man bei Temperaturen von 40 bis 120°C mit aktivem Aluminiumoxid und Aktivkohle als Katalysatoren in Kontakt bringt, wobei das Aluminiumoxid vor allem die Stickstoffoxide bindet und die Aktivkohle die Schwefeloxide entfernt und sie als Schwefelsäure bindet und wobei man zum Regenerieren der beladenen Katalysatoren Reduktionsgas verwendet.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Ein bekanntes Verfahren zum Entfernen von Schwefeloxiden aus Abgas, insbesondere Rauchgas, mit Hilfe von Aktivkohle ist in der DE-ÖS 3407884 beschrieben. Die Regenerierung der Aktivkohle, die sich während des Reinigungsbetriebs mit Schwefelsäure belädt, erfolgt durch schwefelhaltiges Reduktionsgas (H_2S und/oder CS_2 und/oder COS). Dabei entsteht Elementarschwefel, der teilweise gewonnen wird.

In der DE-OS 3426913 wird die gleichzeitige Entfernung von Stickstoffoxiden und Schwefeloxiden aus einem Sauerstoff und Wasserdampf enthaltenden Gas beschrieben, wobei man das Gas über einen kombinierten Katalysator leitet, der im wesentlichen aus aktivem Aluminiumoxid und Aktivkohle besteht. Die Regenerierung des kombinierten Katalysators erfolgt in einer einzigen Regenerationszone bevorzugt durch Zufuhr von Wasserstoff, der aber auch ganz oder teilweise durch Kohlenwasserstoffe ersetzt sein kann. In der Regenerationszone erzeugt man dabei ein schwefelhaltiges Reduktionsgas (H_2S und/ oder CS_2 und/oder COS), welches die Beladung des kombinierten Katalysators zu Stickstoff und Elementarschwefel reduziert. Dieser Schwefel wird auch hierbei teilweise gewonnen.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die Bereitstellung eines verbesserten Verfahrens zur Entfernung von Stickoxiden und Schwefeloxiden aus Abgasen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das bekannte Verfahren der DE-OS 3407884 und das Verfahren der DE-OS 3426913 weiterzuentwickeln. Dabei soll die Reinigungsleistung und die Regenerierung einerseits des aktiven Aluminiumoxids und andererseits der Aktivkohle möglichst unabhängig voneinander reguliert werden können. Beim eingangs genannten Verfahren geschieht dies erfindungsgemäß dadurch, daß man das Abgas zuerst über aktives Aluminiumoxid leitet und dabei die Stickstoffoxide weitgehend und gleichzeitig einen Teil der Schwefeloxide entfernt und anschließend das teilgereinigte, Sauerstoff und Wasserdampf enthaltende Abgas über die Aktivkohle leitet, daß man das beladene Aluminiumoxid in einer Al_2O_3 -Regeneration und getrennt davon die beladene Aktivkohle in einer Aktivkohle-Regeneration regeneriert, wobei man der Aktivkohle-Regeneration wasserstoffhaltiges Reduktionsgas zuführt, bei einer höchsten Temperatur von 400 bis 550°C den Schwefel und die schwefelhaltigen Verbindungen von der Aktivkohle entfernt und aus der Aktivkohle-Regeneration ein Schwefelverbindungen enthaltendes Reduktionsgas abzieht, das man in die Al_2O_3 -Regeneration leitet, mit dem Schwefelverbindungen enthaltenden Reduktionsgas bei höchsten Temperaturen von 200 bis 400°C die Beladung des Aluminiumoxids zu Schwefel und Stickstoff reduziert und die Beladung desorbiert, und schwefelhaltiges Desorptionsgas ableitet.

Wenn man das Verfahren für die Reinigung von Rauchgas anwendet, empfiehlt es sich, das NO_x -haltige Gas mit einer Temperatur von etwa 40 bis 80°C und einer relativen Wasserdampfsättigung von 35 bis 90% zunächst über das aktive Aluminiumoxid zu leiten. Der Sauerstoffgehalt der Rauchgase ist im allgemeinen ausreichend, um spätestens im Bereich des Aktivkohle-Katalysators SO_2 zu SO_3 zu oxidieren, damit durch Umsetzung mit dem gleichzeitig vorhandenen Wasserdampf Schwefelsäure entstehen kann.

Es empfiehlt sich, für das Verfahren ein aktives Aluminiumoxid mit einer Körnung von etwa 2 bis 5 mm, einer Rütteldichte von 700 bis 800 g/l und einer BET-Oberfläche, bestimmt über die N_2 -Isotherme bei $-196^\circ C$, von 200 bis 380 m^2/g zu verwenden. Die Aktivkohle weist vorzugsweise eine BET-Oberfläche von mindestens 1000 m^2/g , ein Mikroporenvolumen von 0,5 bis 0,7 m^3/g und ein Makroporenvolumen von 0,45 bis 0,60 cm^3/g auf. Grundsätzlich ist körnige oder geformte Aktivkohle geeignet, wobei man die Korngröße, je nachdem, ob man mit Festbett, Wirbelbett oder z. B. mit Rutschbett arbeiten will, entsprechend wählt. Diese Auswahl wird vor allem auch den zulässigen Druckverlust des zu reinigenden Abgases berücksichtigen. Für Festbett- und Rutschbett-Adsorber hat sich eine zylindrische Formkohle mit etwa 4 mm Durchmesser bewährt.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren zieht man aus der Al_2O_3 -Regeneration ein schwefelhaltiges Desorptionsgas ab. Vorzugsweise kühlt man dieses Desorptionsgas und entfernt den auskondensierenden flüssigen Schwefel. Das verbleibende Desorptionsgas, das noch restliches H_2S enthält, leitet man zweckmäßigerweise mindestens zum Teil in die Aktivkohle-Regeneration. Dadurch wird der Kreislauf des in der Aktivkohle-Regeneration erzeugten H_2S geschlossen.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird in der Al_2O_3 -Regeneration das auf dem Katalysator bevorzugt in Form von Sauerstoffsäuren des Stickstoffs abgeschiedene NO_x zu elementarem Stickstoff und die abgeschiedene Schwefelsäure zu elementarem Schwefel umgesetzt. Der Schwefel wird durch Desorption gewonnen, wobei in der Al_2O_3 -Regeneration praktisch kein Schwefel zur Erzeugung von H_2S (oder CS_2 bzw. COS) verbraucht wird, da man dieses H_2S allein oder im Gemisch mit COS oder CS_2 mit geeigneter Temperatur aus der Aktivkohle-Regeneration heranzuführt. In der Aktivkohle-Regeneration wird im wesentlichen nur die abgeschiedene Schwefelsäure mittels H_2S , das auch ganz oder teilweise durch CS_2 oder COS ersetzt sein kann, zu Elementarschwefel umgesetzt. Stickstoffoxide scheiden sich auf der Aktivkohle praktisch nicht ab. Der in der Regeneration auf der Aktivkohle entstandene Schwefel wird dann mit Reduktionsgas, insbesondere Wasserstoff oder auch Kohlenwasserstoffen, in einer exothermen Reaktion zu H_2S hydriert und bei Verwendung von Kohlenwasserstoffen auch teilweise zu COS und SC_2 umgesetzt. Eine Desorption von elementarem Schwefel erfolgt in der Aktivkohle-Regeneration nicht. In die Zone der H_2S -Erzeugung kann, falls notwendig, Schwefeldampf eingespeist werden, wobei man insbesondere den Schwefel verwendet, der beim Kühlen des Desorptionsgases aus der Al_2O_3 -Regeneration anfällt.

Es ist zweckmäßig, wenn man zumindest in der Anfahrphase der Regeneration einen Teilstrom des Schwefelverbindungen enthaltenden Reduktionsgases aus der Aktivkohle-Regeneration auf 300 bis 500°C erhitzt und in die Aktivkohle-Regeneration zurückleitet, um die Temperaturen auf ausreichendes Niveau zu bringen.

Zusätzliche Erläuterungen über die Umsetzungen und die dabei ablaufenden Reaktionen in der Aktivkohle-Regeneration sind in der DE-OS 3407884 enthalten.

Weitere Einzelheiten des Verfahrens werden mit Hilfe der Zeichnung erläutert.

Sauerstoffhaltiges, weitgehend entstaubtes Abgas tritt durch die Leitung 1 in einen Einspritzkühler 2 ein. Bei dem Abgas handelt es sich üblicherweise um ein Rauchgas aus einem Kraftwerk oder einer anderen Großfeuerungsanlage. Im Einspritzkühler 2 wird Wasser aus der Leitung 3 verdunstet, so daß das Abgas in der Leitung 4 eine relative Wasserdampfsättigung von 35 bis 90% aufweist. Die Temperatur des Abgases in der Leitung 4 liegt im Bereich von 40 bis 120°C und vorzugsweise 50 bis 80°C. In der Reinigungsanlage 5 wird das Abgas, das Stickstoffoxide (NO_x) und Schwefeloxide, insbesondere SO_2 , enthält, zunächst durch die Schüttung eines ersten Katalysators 7 und anschließend durch die Schüttung eines zweiten Katalysators 8 geleitet. Gereinigtes Gas zieht unter der Wirkung des Gebläses 9 durch die Leitung 10 zum Kamin ab.

Beim ersten Katalysator 7 handelt es sich um körniges Aluminiumoxid, das zwischen jalousieartigen, gasdurchlässigen Wänden 12, 13 angeordnet ist und ein langsam nach unten wanderndes Rutschbett bildet. Der zweite Katalysator 8, bei dem es sich um körnige Aktivkohle handelt, ist ebenfalls als Rutschbett zwischen gasdurchlässigen Wänden 14, 15 angeordnet. Regeneriertes und teilweise auch frisches Aluminiumoxid läuft durch die Leitung 17 zu, die körnige Aktivkohle kommt aus der Leitung 18. Der Al_2O_3 -Katalysator 7 bildet vor allem die Stickstoffoxide und daneben auch einen gewissen Anteil der im Abgas vorhandenen Schwefeloxide. In den Aktivkohle-Katalysator 8 tritt ein bereits von Stickstoffoxiden befreites Abgas ein, welchem beim Durchströmen der Aktivkohleschüttung die Schwefeloxide entzogen werden. Unter der katalytischen Wirkung der Aktivkohle wird dabei SO_2 mit dem vorhandenen Sauerstoff zu SO_3 oxidiert, welches mit dem ebenfalls vorhandenen Wasserdampf zu Schwefelsäure umgewandelt wird. Auf diese Weise belädt sich die Aktivkohle mit H_2SO_4 , das beim Regenerieren der Aktivkohle wieder entfernt werden muß. Hierzu wird die beladene Aktivkohle durch die Leitung 20 kontinuierlich der Aktivkohle-Regeneration 21 zugeführt. Gleichzeitig wird das mit adsorbierten Stickstoffoxiden und daraus entstandenen Säuren sowie H_2SO_4 beladene Aluminiumoxid des ersten Katalysators 7 kontinuierlich durch die Leitung 23 in die Al_2O_3 -Regeneration 24 geleitet. Die Apparatur der Aktivkohle-Regeneration 21 und der Al_2O_3 -Regeneration 24 ist im wesentlichen ein Schacht mit Zufuhr- und Ableitungseinrichtungen für Gase. Die von der Beladung zu befreienden Katalysatoren bewegen sich in dem Schacht kontinuierlich als Schüttung nach unten, während Reduktionsgase durch sie hindurchströmen.

Im vorliegenden Fall wird davon ausgegangen, daß man der Aktivkohle-Regeneration 21 in der Nähe des unteren Endes des Schachtes durch die Leitung 26 Wasserstoff etwa von Umgebungstemperatur zuführt. An die Stelle des Wasserstoffs können auch Kohlenwasserstoffe, z. B. CH_4 oder technische, wasserstoffhaltige Gase, treten. Um den Wasserstoff in die Aktivkohle-Schüttung hinein möglichst gleichmäßig zu verteilen, ist eine Ringleitung 27 vorgesehen, von welcher mehrere Einzeldüsen 28 ausgehen, die verteilt im Schacht münden. Der Wasserstoff aus den Düsen 28 kühlt zunächst die regenerierte Aktivkohle beim Aufwärtsströmen, wobei er auf die Regenerationstemperaturen, die etwa bei 400°C beginnen, aufgeheizt wird. Sodann kommt der Wasserstoff mit körniger Aktivkohle in Kontakt, die durch vorausgegangene Reduktion mit Elementarschwefel beladen ist, wobei der Schwefel entfernt und H_2S gebildet wird. Dieses H_2S wandelt weiter oben die Schwefelsäure der aus der Leitung 20 herangeführten beladenen Aktivkohle in Elementarschwefel und Wasser um.

Da die ablaufenden Reaktionen exotherm sind, bilden sich in der Aktivkohle-Regeneration höchste Temperaturen von 400 bis 550°C aus, die vor allem im mittleren Bereich des Regenerationsschachtes herrschen. Falls es notwendig ist, was vor allem in der Anfahrphase der Regenerationsanlage der Fall sein kann, wird der Regeneration 21 heißes, H_2S -reiches Gas über die Leitung 30 durch das geöffnete Ventil 31 zugeführt. Der Regeneration 21 wird oberhalb der Mitte des Schachtes zusätzlich durch die Leitung 32 schwefelhaltiges Desorptionsgas aufgegeben. Da eine große Menge an H_2S nötig ist, um sämtliches H_2SO_4 der Aktivkohle-Beladung in Elementarschwefel und Wasser umzuwandeln und genügend H_2S für die Al_2O_3 -Regeneration zur Verfügung zu haben, ist das Einleiten von zusätzlichem Schwefeldampf aus einem nicht dargestellten Verdampfer durch die Leitung 33 möglich.

Aus dem oberen Bereich der Regeneration 21 wird über nach unten offene Schächte 35, die mit einer Ringleitung 36 in Verbindung stehen, unter der Wirkung des Gebläses 37 durch die Leitung 38 ein Schwefelverbindungen enthaltendes Reduktionsgas abgezogen. Dieses Reduktionsgas enthält vor allem H_2S , wenn man der Regeneration 21 durch die Leitung 26 Wasserstoff zuführt. Verwendet man statt des Wasserstoffs jedoch Kohlenwasserstoffe, z. B. CH_4 , so bilden sich in der Regeneration zum Teil auch CS_2 und COS , welche die Schwefelsäure der Aktivkohle-Beladung ebenfalls zu Elementarschwefel umwandeln und diesen Elementarschwefel ablösen. Regenerierte Aktivkohle verläßt die Regeneration 21 durch die Leitung 4 und wird zunächst einem Sieb 41 zugeführt, um Staub und Feinkorn etwa mit Korngrößen von höchstens 2 mm abzutrennen und in der Leitung 42 zu entfernen. Die regenerierte körnige Aktivkohle gelangt auf dem Transportweg 43 zur Wiederverwendung zurück zur Leitung 18, wobei frische Aktivkohle in der benötigten Menge aus dem Vorratsbehälter 44 zugeführt wird. Das Reduktionsgas der Leitung 38 enthält auch noch Wasserdampf, deshalb wird das Gas zunächst durch den Kühler 46 geleitet, wobei sich wasserhaltiges Kondensat bildet, das man in der Leitung 47 abzieht. Einen Teilstrom des Gases aus dem Kühler 46 entfernt man durch die Leitung 48 aus dem Verfahren, um den aus dem abgeschiedenen Stickstoffoxiden gebildeten Stickstoff auszuschleusen. Die Hauptmenge des Reduktionsgases wird durch das Gebläse 37 weitergefördert und in zwei Teilströme in die Leitungen 49 und 50 aufgeteilt. Das Reduktionsgas der Leitung 50, das Temperaturen im Bereich von 20 bis 60°C aufweist, wird in den unteren Bereich der Al_2O_3 -Regeneration 24 hinein verteilt und strömt dort aufwärts durch die Aluminiumoxid-Schüttung, die von dem Gas zunächst gekühlt wird. Das Gas der Leitung 49 wird im Erhitzer 51 auf Temperaturen von etwa 300 bis 500°C erhitzt und zum Teil durch die Leitung 52 unterhalb der Mitte des Schachtes in die Regeneration 24 geleitet. Einen zweiten Teilstrom des heißen Regenerationsgases führt man durch die Leitung 53 dem oberen Bereich der Regeneration 24 zu. Die Regeneration 24 weist etwas oberhalb der Mitte eine Absaugleitung 55 auf, die zu einem Kühler 56 führt. Deshalb strömen die Gase der Leitungen 50 und 52 im Gegenstrom zu der sich nach unten bewegenden Aluminiumoxid-Schüttung aufwärts bis zur Absaugleitung 55, wogegen das heiße Reduktionsgas aus der Leitung 53 in der Regeneration 24 im Gleichstrom mit dem Aluminiumoxid abwärts strömt und ebenfalls in die Ableitung 55 gelangt. Das H_2S -reiche Reduktionsgas wandelt die Beladung des Aluminiumoxids, die aus Stickstoffoxiden, Sauerstoffsäuren des Stickstoffs und Schwefelsäure besteht, zu Stickstoff und Schwefel um, die beide in das Desorptionsgas der Absaugleitung 55 gelangen. Durch die exothermen Reaktionen in der Regeneration 24 treten dort höchste Temperaturen bis 400°C auf und schließlich verläßt ein gekühltes und von der Beladung befreites Aluminiumoxid in der Leitung 60 die Regeneration. In einer Siebeinrichtung 61 wird Feinkorn etwa von höchstens 2 mm Korngröße und Staub abgetrennt und in der Leitung 62 abgeleitet. Das körnige, regenerierte Aluminiumoxid gelangt auf dem Transportweg 64 zur Leitung 17, wobei aus dem Vorratsbehälter 65 frischer Al_2O_3 -Katalysator in der benötigten Menge zugeführt wird.

Das Desorptionsgas der Leitung 55 wird im Kühler 56 so weit gekühlt, daß der dampfförmige Schwefel weitgehend kondensiert und flüssig in der Leitung 66 abgezogen werden kann. Falls nötig, kann ein Teil dieses Schwefels durch die Leitung 33 in die Aktivkohle-Regeneration 21 eingespeist werden. Das verbleibende Desorptionsgas führt man in der bereits beschriebenen Weise durch die Leitung 32 in die Regeneration 21.

Um die zeichnerische Darstellung des Verfahrens einfacher und übersichtlicher zu machen, wurde darauf verzichtet, bei den Mündungen der Leitungen 30; 32; 50; 52 und 53 zugehörige Verteileinrichtungen an und in der zugehörigen Regeneration darzustellen. Diese Verteileinrichtungen bestehen zweckmäßigerweise jeweils aus einer Ringleitung und im Regenerationsschacht mündenden Einzeldüsen, wie das für die Wasserstoff-Zufuhrleitung 26 mit der zugehörigen

Ringleitung 27 und den Einzeldüsen 28 dargestellt ist. Ferner gehören zur Absaugleitung 55 in der Regeneration befindliche Schächte sowie eine Ringleitung, wie das zusammen mit der Regeneration 21 durch die Schächte 35 und die Ringleitung 36 dargestellt ist. Diese Einzelheiten der apparativen Ausgestaltung sind dem Fachmann aber geläufig.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird nachstehend an einem Beispiel näher erläutert.

Beispiel:

In einer der Zeichnung entsprechenden Versuchsanlage wird durch die Leitung 1 ein Rauchgas in einer Menge von 400 Nm³/h und mit einer Temperatur von 130°C in den Verdampfungskühler 2 geleitet. Das Rauchgas hat folgende Zusammensetzung:

N ₂	74,6Vol.-%
CO ₂	13,25Vol.-%
H ₂ O	7,15Vol.-%
O ₂	5,0Vol.-%

Pro Nm³ trockenes Gas sind darin als Verunreinigungen 3300 mg SO₂ und 800 mg NO_x (als NO₂ gerechnet) enthalten. Das Rauchgas der Leitung 4 ist auf 65°C gekühlt, sein Wasserdampfgehalt entspricht einem Taupunkt von 50°C.

Pro Stunde laufen durch das Bett 7 22 kg Al₂O₃-Katalysator und durch das Bett 8 2 kg Aktivkohle-Katalysator. Der Al₂O₃-Katalysator besteht aus Kügelchen von 3 bis 5 mm Durchmesser mit einer Rütteldichte von 660 g/l und einer Oberfläche nach BET von 280 m²/g. Die Aktivkohle ist eine zylindrische Formkohle mit 4 mm Durchmesser, einer BET-Oberfläche von 1250 m²/g und einer Rütteldichte von 380 g/l. Durch den Al₂O₃-Katalysator werden aus dem Rauchgas 96% der Stickstoffoxide und etwa die Hälfte des SO₂ entfernt, das restliche SO₂ wird am Aktivkohle-Katalysator gebunden. Der Gesamtabsciedeград für SO₂ beträgt 98%.

Die Ströme, die in die beiden Regenerationen 21 und 24 eingeleitet sowie aus und zwischen diesen abgezogen werden, sind folgende:

Leitung	Menge pro Stunde	Temperatur (°C)
Wasserstoff durch Leitung 26	2 Nm ³	etwa 20
Desorptionsgas durch Leitung 32	etwa 69 Nm ³	120
Reduktionsgas in Leitung 38	etwa 71 Nm ³	140
Abgas in Leitung 48	150 l	40
Reduktionsgas in Leitung 50	25 Nm ³	40
Reduktionsgas in Leitung 52	20 Nm ³	350
Reduktionsgas in Leitung 53	25 Nm ³	350
Desorptionsgas in Leitung 55	etwa 70 Nm ³	etwa 240
Schwefel in Leitung 66	0,62 kg	120

In der Aktivkohle-Regeneration 21 liegt die Temperatur im Bereich unterhalb der Schächte 35 bei etwa 150°C, die höchste Temperatur, die etwa in der Mitte der Regeneration erreicht wird, beträgt 480°C. In der Al₂O₃-Regeneration 24 wird etwa in der Mitte eine höchste Temperatur von 300°C erreicht. Im Gas der Leitungen 32 und 38 reichert sich der Stickstoff auf eine Konzentration von etwa 50% an.

