



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 265 388 A5

4(51) C 01 B 17/02
C 01 B 17/10

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

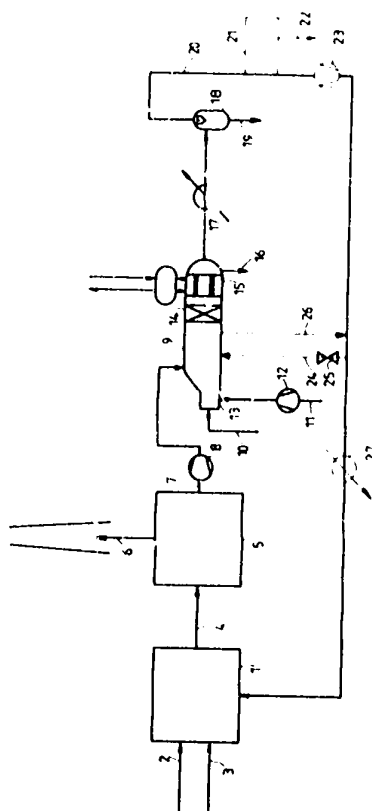
(21)	AP C 01 B / 297 386 2	(22)	10. 12. 86	(44)	01.03.89
(31)	P3544596.3	(32)	17. 12. 85	(33)	DE
	P3628870.5		26.08.86		

(71) siehe (73)
 (72) Linde, Gerhard, Dr.; Heisel, Michael, Dr.; Schliebener, Claus, Dr., DE
 (73) Linde AG, 6200 Wiesbaden, DE
 (74) Internationales Patentbüro Berlin, Wallstraße 23/24, Berlin, 1020, DD

(54) Verfahren zum Gewinnen von Elementarschwefel

(55) verbessertes Verfahren, kostengünstig, geringer apparativer Aufwand

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Gewinnen von Elementarschwefel aus durch Wäsche von bei einer Verbrennung anfallenden SO_2 -haltigen Gasen gewonnenem SO_2 -Reichgas beschrieben. Um ein einfaches Verfahren zur Verfügung zu stellen, das sich in kostengünstiger Weise mit geringem apparativem Aufwand in ein Abgasreinigungs-Gesamtverfahren einfügen läßt, wird vorgeschlagen, daß das SO_2 -Reichgas in Gegenwart eines Reduktionsgases nach Aufheizung unvollständig zu Schwefel und H_2S reduziert wird, der Schwefel durch Abkühlung auskondensiert und abgetrennt wird, das bei der Reduktion entstandene H_2S -haltige Gas verbrannt und dabei gebildetes SO_2 sowie nichtreduziertes SO_2 zur Wäsche zurückgeführt werden. Fig. 1



Patentansprüche:

1. Verfahren zum Gewinnen von Elementarschwefel aus durch Wäsche von bei einer Verbrennung anfallenden SO_2 -haltigen Gasen gewonnenem SO_2 -Reichgas, **dadurch gekennzeichnet**, daß das SO_2 -Reichgas in Gegenwart eines Reduktionsgases nach Aufheizung unvollständig zu Schwefel und H_2S reduziert wird, der Schwefel durch Abkühlung auskondensiert und abgetrennt wird, das bei der Reduktion entstandene H_2S -haltige Gas verbrannt und dabei gebildetes SO_2 sowie nichtreduziertes SO_2 zur Wäsche zurückgeführt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das bei der Reduktion entstandene H_2S -haltige Gas zur Verbrennung zurückgeführt und dort verbrannt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Reduktion des SO_2 -Reichgases Brennstoff in Gegenwart eines sauerstoffhaltigen Gases unterstöchiometrisch verbrannt wird, daß in dem bei der Verbrennung entstehenden Gas, das als Reduktionsgas verwendet wird, ein Verhältnis von Kohlenwasserstoff gerechnet als Cl des Brennstoffes zu SO_2 von etwa 1:2, bezogen auf den Kohlenwasserstoff des Brennstoffes vor der Verbrennung, eingestellt wird, das heiße Reduktionsgas mit dem SO_2 -Reichgas zur SO_2 -Reduktion in Kontakt gebracht und in dem Gas nach der SO_2 -Reduktion ein Verhältnis von Elementarschwefel zu SO_2 zu H_2S von etwa 3:1:2 eingestellt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß maximal 80 Gew.-%, vorzugsweise maximal 67 Gew.-% des SO_2 reduziert werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß nach der Schwefelkondensation und Abtrennung eine Umsetzung des SO_2 und H_2S zu elementarem Schwefel gemäß der Claus-Reaktion durchgeführt, der entstandene Schwefel abgetrennt und das Restgas zur Verbrennung zurückgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß das verbleibende Gas nach der Schwefelabtrennung auf erhöhten Druck gebracht und mindestens 50 Vol.-% zur SO_2 -Reduktion zurückgeführt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß das auf erhöhten Druck gebrachte verbleibende Gas zur unterstöchiometrischen Verbrennung zurückgeführt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß das verbleibende Gas nach der Schwefelabtrennung vor Rückführung zur Verbrennung angewärmt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Anwärmung des verbleibenden Gases durch Ableiten eines Teilstromes des heißen Reduktionsgases durchgeführt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Aufheizung des SO_2 -Reichgases und des Reduktionsgases in Wärmetausch zu heißen Verbrennungsgasen durchgeführt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Reduktion von SO_2 zu Schwefel und H_2S über einem Katalysator durchgeführt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß das SO_2 -Reichgas zur Reduktion über ein quasiisotherm betriebenes Katalysatorbett geleitet und das Katalysatorbett mittels eines Kühlmediums innen gekühlt wird.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Gewinnen von Elementarschwefel aus durch Wäsche von bei einer Verbrennung anfallenden SO_2 -haltigen Gasen gewonnenem SO_2 -Reichgas.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Es gibt eine Reihe von Verfahren zur Umwandlung von SO_2 zu elementarem Schwefel. Sie beruhen im wesentlichen auf zwei Grundverfahren:

Reduktion von SO_2 durch Überleiten über glühenden Koks;

Reduktion von SO_2 durch Zugabe eines H_2 -, CO - und/oder kohlenwasserstoffhaltigen Gases als Reduktionsmittel und Umsetzung in der Gasphase über einem Katalysator.

Die bekannten Verfahren haben jedoch für die Verwendung bei Rauchgasentschwefelungsanlagen die folgenden wesentlichen Nachteile:

Bei Reduktion über glühendem Koks bilden sich viele Nebenprodukte, die durch Verbrennung zersetzt werden müssen (z. B. COS, CS₂) und deshalb entweder in dem Brennraum für die Dampfkessel oder in einem eigenen Ofen verbrannt und für die Rauchgasentschwefelung zurückgeführt werden müssen.

Bei der Reduktion durch Zugabe eines Reduktionsmittels (z. B. Hydrocarbon-Processing, April 1984, Seite 83) ergibt sich das Problem, das eine — wenn auch vereinfachte — Claus-Anlage benötigt wird, um aus dem durch Reduktion gebildeten H₂S durch Umsetzung mit SO₂ Elementarschwefel zu erzeugen. Der apparative Aufwand hierfür ist erheblich.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die Bereitstellung eines verbesserten Verfahrens zum Gewinnen von Elementarschwefel aus durch Wäsche von bei einer Verbrennung anfallenden SO₂-haltigen Gasen gewonnenen SO₂-Reichgas.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein einfaches Verfahren der eingangs genannten Art zur Verfügung zu stellen, das sich in kostengünstiger Weise mit geringem apparativem Aufwand in ein Abgasreinigungs-Gesamtverfahren einfügen läßt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß SO₂-Reichgas in Gegenwart eines Reduktionsgases nach Aufheizung unvollständig zu Schwefel und H₂S reduziert wird, der Schwefel aus beiden Reaktionen durch Abkühlung auskondensiert und abgetrennt wird, das bei der Reduktion entstehende H₂S-haltige Gas verbrennt und dabei gebildetes SO₂ sowie nicht reduziertes SO₂ zur Wäsche zurückgeführt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren bedient sich der Tatsache, daß insbesondere bei einem SO₂-selektiven physikalischen Waschverfahren sowohl der Investitions- wie auch Energieaufwand zur SO₂-Abtrennung nahezu unabhängig von der SO₂-Konzentration im zu reinigenden Gasstrom sind. Damit kann die SO₂-Reduktion zu Elementarschwefel in einem relativ einfachen Reaktor mit sehr unvollständig ablaufender Umsetzung durchgeführt werden, das heißt, im einmaligen Durchgang muß nicht möglichst viel SO₂ zu Elementarschwefel umgesetzt werden. Das verbleibende bzw. nach Verbrennung von H₂S, COS, CS₂ usw. noch dazukommende SO₂ wird als relativ konzentrierte Fraktion zum Rohgas zur physikalischen Wäsche zurückgeführt.

Der bei der Reduktion entstehende Schwefel liegt dampfförmig vor. Zur Abtrennung des Schwefels wird das Reduktionsprodukt abgekühlt, beispielsweise gegen Hochdruckdampf. Die Abkühlung wird auf eine Temperatur unterhalb des Schwefeltaupunktes, bevorzugt etwa 120°C, durchgeführt. Hierbei kondensiert der Elementarschwefel mit hoher Reinheit aus und kann abgezogen werden.

Wesentlich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist, daß auf eine Claus-Anlage verzichtet wird und keine Reaktoren zur Gewinnung von Reduktionsgas, wie insbesondere H₂ oder CO erforderlich sind. Als Reduktionsgas wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren mit Vorteil ein Kohlenwasserstoffgas, wie Erdgas verwendet. Dennoch ist es auch möglich, H₂ oder CO als Reduktionsgas zu verwenden, sollte dieses aus einem anderen Verfahrensschritt zur Verfügung stehen.

Das erfindungsgemäße Verfahren stellt einen verhältnismäßig einfachen, sich in den physikalischen Waschprozeß gut und wirtschaftlich einfügenden Prozeß zur Gewinnung des aus einem zu reinigenden Gasstrom abgetrennten Schwefel in problemlos zu lagernder, transportabler und umweltfreundlicher Form dar.

Das nach der SO₂-Reduktion entstehende Gas hat noch einen erheblichen Brennwert. Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Erfindungsgedankens wird dieses Gas daher zur Verbrennung zurückgeführt und dort verbrannt. Bei dieser Verfahrensführung erhöht sich der Schwefelgehalt des Verbrennungsabgases. Das hat aber bei Anwendung einer physikalischen Wäsche praktisch keinen Einfluß auf diese nachfolgende physikalische Wäsche, da dort im wesentlichen die Gesamtgasmenge von Bedeutung ist, nicht aber die SO₂-Menge von einigen 1000 ppm.

Sollte eine Rückführung zur Verbrennung, aus der das SO₂-haltige Gas stammt, ausnahmsweise nicht erwünscht sein, kann eine Nachverbrennung vorgesehen werden und das Gas anschließend zur SO₂-Wäsche geleitet werden.

Nach einer weiteren äußerst vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zur Reduktion des SO₂-Reichgases Brennstoff in Gegenwart eines sauerstoffhaltigen Gases unterstöchiometrisch verbrannt, in dem bei der Verbrennung entstandenen Gas, das als Reduktionsgas verwendet wird, ein Verhältnis von Kohlenwasserstoff gerechnet als C₁ des Brennstoffes zu SO₂ von etwa 1:2 bezogen auf den Kohlenwasserstoff des Brennstoffes vor der Verbrennung eingestellt, das heiße Reduktionsgas mit dem SO₂-Reichgas zu SO₂-Reduktion in Kontakt gebracht und in dem Gas nach der SO₂-Reduktion ein Verhältnis von Elementarschwefel zu SO₂ zu H₂S von etwa 3:1:2 eingestellt.

Eine Anlage zur Reduktion des SO₂ zu Elementarschwefel besteht somit im wesentlichen aus einem Reaktor, wie einem Clausbrenner mit vergrößerter Reaktionskammer, einem Abhitzekessel und Schwefelkondensator. Im Clausbrenner wird mit Brennstoff, wie Erdgas, Heizöl, eine Temperatur von 700 bis 1000°C eingestellt. Die Verbrennung wird unterstöchiometrisch durchgeführt, so daß nach der Verbrennung noch beispielsweise CH₄, H₂, CO vorhanden ist, und zwar im Verhältnis von CH₄/SO₂ von ungefähr 1/2 bezogen auf das CH₄ vor der Verbrennung, d. h. ohne Zerfall von CH₄ zu H₂ und CO. Das reduzierende Gasgemisch wird in der heißen Zone mit der SO₂-Fraktion aus der Wäsche in Kontakt gebracht. Dabei reagiert das Gemisch zu einer Mischung, in der Schwefel, SO₂ und H₂S typisch im Verhältnis 3/1/2 vertreten sind. Diese Mischung wird sodann nach Schwefelabtrennung zur Verbrennung zurückgeführt.

Wenn 50% des Schwefels, der im Brennstoff zur Verbrennung enthalten ist, in der Schwefelabtrennung gewonnen werden, erhöht sich durch die Rückführung des Gasgemisches aus der Schwefelabtrennung zur Verbrennung die SO₂-Fraktion zur Rauchgaswäsche auf das Doppelte. Als Folge erhöht sich auch der Brennstoffbedarf im Claus-Brenner auf das Doppelte. Dafür wird aber auch im Abhitzekessel die doppelte Dampfmenge erzeugt.

Nach einer anderen vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden maximal 80 Gew.-%, vorzugsweise maximal 67 Gew.-% des SO₂ reduziert. Der nicht umgesetzte Anteil des SO₂ wird als angereicherte Fraktion der Wäsche zugeführt. Dort wird das SO₂ erneut von dem insbesondere physikalisch wirkenden Lösungsmittel aufgenommen und bei einer üblichen Regenerierung (Entspannung, Strippen und/oder Erwärmen) als SO₂-Reichgas freigesetzt.

Als Lösungsmittel kommen dabei alle chemisch und physikalisch wirkenden Waschmittel in Frage, die insbesondere eine hohe Aufnahmefähigkeit für SO₂ aufweisen.

Für den Fall, daß der bei der Abkühlung erzeugte Hochdruckdampf nicht abgenommen werden kann, hat es sich als zweckmäßig erwiesen, wenn nach der Schwefelkondensation und -abtrennung eine Umsetzung des SO_2 und H_2S zu elementarem Schwefel gemäß der Claus-Reaktion durchgeführt wird, der dabei entstandene Schwefel abgetrennt und das Restgas zur Verbrennung zurückgeführt wird. Durch Nachschaltung einer Claus-Anlage beliebiger Art hinter die Schwefelabtrennung ist eine Gewinnung von mehr als 90% des Schwefels in der SO_2 -Fraktion möglich. Dadurch verringern sich die Verbrauchszahlen für Brennstoff im Claus-Brenner, woraus wiederum eine verringerte Dampfproduktion resultiert.

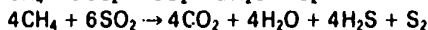
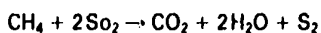
Die Investitionskosten erhöhen sich dabei allerdings durch die zusätzlichen Claus-Reaktoren.

Als weitere alternative Verfahrensführung kann das verbleibende Gas nach der Schwefelabtrennung auf erhöhten Druck gebracht und mindestens 50 Vol.-% zu SO_2 -Reduktion zurückgeführt werden. Hierzu muß nach der Schwefelabtrennung ein heiß ansaugendes Gebläse angeordnet werden. Der größte Teil des Gases wird zweckmäßig zur unterstöchiometrischen Verbrennung im Claus-Brenner zurückgeführt. Dabei werden dann die im Gasgemisch enthaltenen, reduzierenden Komponenten, vorwiegend H_2 und CO , zur SO_2 -Reduktion verwendet. Ein Teilstrom des Gases muß jedoch in jedem Fall zur Verbrennung zurückgeführt werden, da Inertgase wie N_2 und CO_2 ausgeschleust werden müssen, was am besten in der Rauchgaswäsche geschieht.

Um ausfallenden Elementarschwefel in den Rohrleitungen vom Schwefelkondensator zur Verbrennung zu vermeiden, ist überdies vorgesehen, das verbliebene Gas nach der Schwefelabtrennung und vor Rückführung zur Verbrennung anzuvärmen. Dies kann durch externe Wärmequellen, z. B. Dampf aus der Verbrennung erfolgen. Zweckmäßig kann auch ein kleiner Teilstrom des heißen Reduktionsgases aus dem Brenner abgeleitet und dem kühlen Gas aus der Schwefelabtrennung zugemischt werden. Auch eine Beheizung der Rohrleitung ist denkbar. Es ist auch möglich, das kühle Gas im Wärmetausch, insbesondere unter Verwendung von Regeneratoren, zu Produktgas anzuwärmen.

Für die Aufheizung des SO_2 -Reichgases und des Reduktionsgases gilt es neben der Verbrennung von Brennstoff auch die Möglichkeit der Nutzung externer Wärmequellen. So kann die Aufheizung insbesondere im Wärmetausch zu heißen Verbrennungsgasen durchgeführt werden. In diesem Falle ist eine eigene Verbrennung in einem Claus-Brenner nicht erforderlich. Statt dessen wird beispielsweise CH_4 als Reduktionsmittel mit dem SO_2 -Reichgas nach externer Aufheizung gemischt. Entsprechend verringert sich hierdurch der Verbrauch an Brennstoff, wie CH_4 .

Im Reaktor läuft dann die unvollständige Reaktion ab, und zwar beispielsweise gemäß



Zur Beschleunigung der Reduktion von SO_2 zu Elementarschwefel und H_2S kann diese zweckmäßig über einem Katalysator durchgeführt werden. Der Katalysator kann dabei in oder hinter der heißen Zone des Brenners eingesetzt werden. Die stark exotherme Umsetzung des SO_2 erfolgt bei sehr hohen Temperaturen von z. B. 850 bis 1200°C üblicherweise über einem Katalysator auf Al_2O_3 -Basis.

Besonders zweckmäßig ist es dabei, wenn das SO_2 -Reichgas zur Reduktion über ein quasi-isotherm betriebenes Katalysatorbett geleitet und das Katalysatorbett mittels eines Kühlmediums innen gekühlt wird. Diese Ausführungsform bietet den Vorteil, daß über dem Katalysator eine annähernd konstante Temperatur aufrechterhalten wird und die bei der exothermen Reduktion freiwerdende Wärme sofort abgeführt werden kann. Vorteilhaft kann hierbei in Isotherm-Reaktor zur Anwendung gelangen, der nach Art eines gewickelten Rohrbündelwärmtauschers mit Wicklungskernrohr ausgebildet ist. Die gewickelten Rohre dienen dann als Kühlschlangen für das Kühlmedium und das Katalysatorbett ist im Außenraum des Kernrohrs angeordnet. Das erfindungsgemäße Verfahren kann mit besonderem Vorteil als ein Prozeßschritt in einem Abgas-, insbesondere Rauchgasreinigungssystem eingesetzt werden.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung wird nachstehend an einigen Beispielen näher erläutert. In der beiliegenden Zeichnung zeigen:

Fig. 1: Basisvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens mit mehreren alternativen Verfahrensführungen;

Fig. 2: spezielle Ausführungsform mit externer Aufheizung des SO_2 -Reichgases.

Gemäß Fig. 1 werden einem Kraftwerk 1 über Leitung 2 Luft und über Leitung 3 schwefel- und kohlenwasserstoffhaltiger Brennstoff zugeführt. Über Leitung 4 strömen aus dem Kraftwerk 1 4483 kmol/h Rauchgas mit einer Temperatur von 147°C unter einem Druck von 1,05 bar. Das Rauchgas hat folgende Zusammensetzung:

N_2	77,8 mol.-%
O_2	4,9 mol.-%
CO_2	10,0 mol.-%
SO_2	0,1 mol.-%
H_2O	7,2 mol.-%

Das Gas wird einer nur schematisch angedeuteten Rauchgaswäsche 5 zugeführt. In der Wäsche 5 wird das SO_2 -haltige Gas mit einem physikalisch wirkenden Lösungsmittel gewaschen, das sich mit SO_2 belädt. Gereinigtes Gas gelangt über Leitung 6 mit einer Temperatur von 120°C und einem Druck von 1,01 bar in einer Menge von 4475 kmol/h zum Kamin. Dieses Gas weist folgende Zusammensetzung auf:

N_2	78,0 mol.-%
O_2	4,8 mol.-%
CO_2	10,0 mol.-%
H_2O	7,2 mol.-%
SO_2	Spuren.

Das beladene Lösungsmittel wird durch Erwärmen, Strippen und/oder Drucksenkung regeneriert und in der Wäsche 5 wiederverwendet. Bei der Regenerierung fällt in Leitung 7 eine SO₂-reiche Gasfraktion (7 kmol/h) mit einer Temperatur von 30°C und einem Druck von 0,7 bar an. Dieses SO₂-Reichgas hat folgende Zusammensetzung:

N ₂	4,5 mol-%
CO ₂	12,0 mol-%
SO ₂	78,5 mol-%
H ₂ O	5,0 mol-%

Das SO₂-Reichgas in Leitung 7 wird in einem Verdichter 8 auf einen Druck von 1,6 bar gebracht und mit einer Temperatur von 101°C der Reaktionskammer eines Quasi-Claus-Brenners 9 zugeführt.

Über Leitung 10 werden überdies 4,68 kmol/h Erdgas unter einem Druck von 5,5 bar, einer Temperatur von 35°C und folgender Zusammensetzung zugeführt:

N ₂	1,7 mol-%
CH ₄	94,0 mol-%
C ₂ H ₆	3,5 mol-%
C ₃ H ₈	0,1 mol-%
H ₂ O	0,7 mol-%

Das Erdgas wird in Gegenwart von über Leitung 11 herangeführter, in einem Gebläse 12 auf 1,6 bar/72,5°C verdichteter Luft (9 kmol/h) verbrannt. Bei der Verbrennung entsteht in der Zone 13 ein Gasgemisch (1,55 bar, 649°C) folgender Zusammensetzung:

H ₂	29,2 mol-%
N ₂	40,7 mol-%
CO	13,5 mol-%
CO ₂	2,8 mol-%
CH ₄	10,9 mol-%
H ₂ O	2,9 mol-%
C ₂ H ₆ , NH ₃ Spuren	

Dieses Gasgemisch wird mit dem SO₂-Reichgas in Kontakt gebracht. Zur Beschleunigung der Reduktions-Reaktion ist in der Reaktionskammer ein Katalysator 14 angeordnet. Nach dem Katalysator 14 fallen 25 kmol/h umgesetzten Gases mit einer Temperatur von 1079°C und einem Druck von 1,45 bar folgender Zusammensetzung an:

H ₂	2,5 mol-%
N ₂	29,8 mol-%
CO	3,0 mol-%
CO ₂	19,4 mol-%
H ₂ S	8,5 mol-%
SO ₂	1,3 mol-%
COS	
+ CS ₂	0,3 mol-%
Elementarer Schwefel (gerechnet als S ₂)	7,1 mol-%
H ₂ O	28,3 mol-%

Dieses Gasgemisch wird einem Abhitzekessel 15 zugeführt, indem es unter Erzeugung von Hochdruckdampf (20 bis 100 bar) aus Kesselspeisewasser auf 300°C abgekühlt wird. Bei der Abkühlung kondensiert bereits etwa 1 kg/h Elementarschwefel aus, der über Leitung 16 abgezogen wird.

Das Gas aus dem Abhitzekessel 15 wird sodann in einem Wärmetauscher 17 gegen Kesselspeisewasser unter Erzeugung von Niederdruckdampf (2 bis 5 bar) unterhalb des Schwefeltaupunktes auf 120°C abgekühlt. Dabei kondensiert Elementarschwefel aus, der aus einem Abscheider 18 über Leitung 19 in einer Menge von 113 kg/n als Produkt abgetrennt wird.

Das nach der Schwefelabtrennung verbleibende Gas (23 kmol/h, 120°C, 1,2 bar) hat folgende Zusammensetzung:

H ₂	2,5 mol-%
N ₂	32,1 mol-%
CO	3,2 mol-%
CO ₂	20,9 mol-%
H ₂ S	9,1 mol-%
SO ₂	1,5 mol-%
CCS + CS ₂	0,3 mol-%
H ₂ O	30,4 mol-%

Das verbliebene Gas wird über Leitung 20 zum Kraftwerk 1 zurückgeführt und dort zusammen mit dem Brennstoff unterstöchiometrisch verbrannt.

Wie in Figur 1 gestrichelt dargestellt ist, kann das verbliebene Gas auch einer schematisch gezeichneten Claus-Anlage 21 zugeführt werden, aus der über Leitung 22 weiterer Schwefel abgetrennt und als Produkt gewonnen werden kann. Das Restgas der Claus-Anlage wird sodann über Leitung 20 zurück zum Kraftwerk 1 geleitet.

Als weitere Verfahrensmöglichkeit ist gemäß Figur 1 ebenfalls gestrichelt ein heiß ansaugendes Gebläse 23 in Leitung 20 angeordnet, mit dem das Gas auf einen Druck von 1,5 bar gebracht wird. Unter diesem Druck kann sodann über die gestrichelt dargestellte Leitung 24 mit Ventil 25 ein Großteil des verbliebenen Gases direkt zu dem Claus-Brenner zurückgeführt werden. Nur ein kleinerer Teilstrom, beispielsweise 20%, wird in diesem Falle über Leitung 20 zum Kraftwerk zurückgeführt.

Schließlich besteht nach einer ebenfalls gestrichelt dargestellten Variante die Möglichkeit, heißes Reduktionsgas (649°C) über Leitung 26 dem kühleren (120°C) Gas in Leitung 20 zuzumischen, um Verlegungen durch ausfallenden Schwefel in den Rohrleitungen zu verhindern.

Die Anwärmung des kühlen Gases in Leitung 20 kann aber auch mittels einer externen Wärmequelle, schematisch dargestellt durch den gestrichelten Wärmetauscher 27, erfolgen, oder durch Beheizung der Rohrleitung, z. B. mit Dampf.

In Figur 2 ist eine spezielle Verfahrensführung dargestellt, bei der die Aufheizung des SO₂-Reichsgases und Reduktionsgases nicht in einem eigenen Brenner erfolgt. Gleiche Anlagenteile wie in Figur 1 sind mit gleichen Ziffern versehen.

Über Leitung 4 wird Rauchgas aus einem Kraftwerk 1, in dem Brennstoff aus Leitung 3 in Gegenwart von über Leitung 2 herangeführter Luft verbrannt wird, in einer Menge von 500 000 Nm³/h mit einer Temperatur von 41°C und einem Druck von etwa 1,1 bar einer Washkolonne 5 zugeführt. Das Rauchgas hat dabei folgende Zusammensetzung:

N ₂	74 Vol.-%
O ₂	6 Vol.-%
CO ₂	13 Vol.-%
SO ₂	0,1 Vol.-%
H ₂ O	6,9 Vol.-%

Im unteren Kolonnenabschnitt kann eine nichtdargestellte Wasserwäsche stattfinden, wobei Feststoffe und wasserlösliche Verbindungen aus dem Gas entfernt werden. Zudem wird ein Teil des eingebrachten Wasserdampfes auskondensiert und abgeführt und belastet nicht mehr die nachfolgenden Verfahrensschritte.

Im oberen Teil wird die Washkolonne 5 mit 800 t/h regeneriertem, physikalisch wirkendem Lösungsmittel über Leitung 30 beaufschlagt. Das Lösungsmittel nimmt im Gegenstrom zu aufsteigendem Gas aus diesem SO₂ auf und verläßt die Kolonne im unteren Teil über Leitung 28. Über Leitung 6 wird vom Kopf der Washkolonne 5 SO₂-freies Gas mit einer Temperatur von 16°C und einem Druck von 0,97 bar abgezogen. Zur Lösungsmittelrückgewinnung kann dabei eine nicht dargestellte Wasserwäsche im Kopf der Washkolonne 5 stattfinden. Das Reingas hat folgende Zusammensetzung:

N ₂	76,7 Vol.-%
O ₂	6,3 Vol.-%
CO ₂	14,0 Vol.-%
SO ₂	50 ppm
H ₂ O	3,0 Vol.-%

Das beladene Lösungsmittel wird mittels einer in Leitung 28 angeordneten Pumpe 29 nach Anwärmung in einem Wärmetauscher 31 gegen regeneriertes Lösungsmittel einer Regenerierkolonne 32 zugeführt. In die Regenerierkolonne 32 wird das beladene Lösungsmittel über eine Sumpfheizung 33 mit Dampf von z. B. 2 bar angewärmt und das SO₂ aus dem Lösungsmittel ausgetrieben. Das ausgetriebene SO₂ wird in einem Kopfkühler 34 abgekühlt, um Lösungsmittelverluste zu vermeiden. Das regenerierte Lösungsmittel wird vom Sumpf der Regenerierkolonne 33 abgezogen und nach Abkühlung im Wärmetauscher 31 über Leitung 30 wieder auf die Washkolonne aufgegeben.

Über Leitung 7 wird SO₂-Reichgas vom Kopf der Regenerierkolonne abgezogen. Das SO₂-Reichgas enthält 1 100 Nm³/h SO₂.

Nach Verdichtung in einem Kompressor 8 auf 1,5 bar und Anwärmung in einem Wärmetauscher 35 auf etwa 400°C wird dem SO₂-Reichgas über Leitung 36 Methan in einer Menge von 400 Nm³/h zugemischt und das Gemisch einem Reaktor 37 zugeführt. In dem Reaktor 37 findet über einem Katalysator auf Al₂O₃-Basis bei 1 000°C die Reduktion des SO₂ zu Elementarschwefel statt.

Über Leitung 38 wird das Produktgas aus dem Reaktor 37 abgezogen und in einem Kühler 39 durch Erzeugung von 0,3 t/h Hochdruckdampf auf 400°C abgekühlt. In dem Wärmetauscher 35 wird das Produktgas weiter auf eine unterhalb des Schwefeltau punktes liegende Temperatur, z. B. 118°C abgekühlt. In einem Abscheider 18 wird der Produktschwefel abgetrennt. Über Leitung 19 können dann 0,7 t/h Elementarschwefel mit einer Reinheit von 99% abgezogen werden.

Da die Umsetzung nicht vollständig ist, sind im Produktgas noch weitere Schwefelverbindungen neben SO₂, insbesondere H₂S, aber auch COS und CS₂ vorhanden. Über Leitung 20 wird aus dem Abscheider 18 ein Gasstrom abgezogen, der zu etwa 20% aus diesen Schwefelverbindungen besteht. Dieser Gasstrom wird zur Verbrennung zurück zum Kraftwerk 1 geleitet.

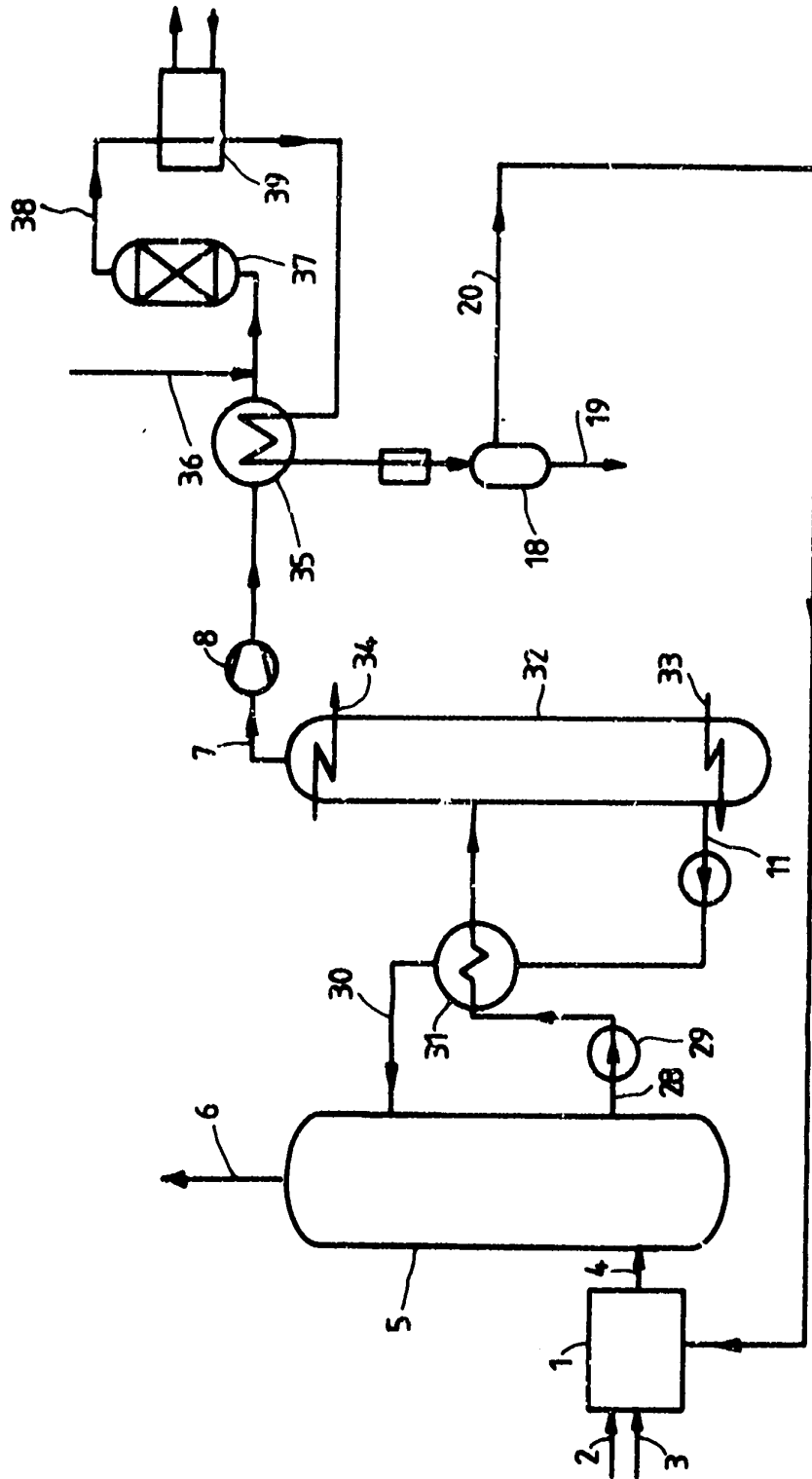


Fig. 2