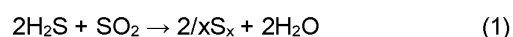


BeschreibungVerfahren und Vorrichtung zur Schwefelgewinnung

- Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gewinnung von Schwefel, bei dem aus einem Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauergas durch Zumischung von Wasser ein mit
- 5 Wasserdampf angereichertes Sauergas gebildet wird, das gemeinsam mit einem sauerstoffreichen Gas und Luft über einen Brenner in einen Claus-Reaktor eingeleitet wird, um unter Ausbildung einer Flamme in einem Claus-Prozess zu einem elementaren Schwefel umfassenden Abstrom umgesetzt zu werden, aus dem elementarer Schwefel abgetrennt wird.
- 10 Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Schwefelgewinnung, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben werden kann.
- Die Gewinnung von elementarem Schwefel aus Schwefelwasserstoff enthaltenem
- 15 Sauergas ist seit vielen Jahren Stand der Technik. Ein derartiges Sauergas fällt etwa bei der Aufbereitung von Erdgas oder Erdöl an. Es umfasst neben den Hauptkomponenten Schwefelwasserstoff und Kohlendioxid typischerweise auch weitere Schwefelverbindungen wie Mercaptane, COS oder CS₂ sowie aromatische Kohlenwasserstoffe, insbesondere Benzol, Toluol und Xylole (kurz BTX).
- 20 Eine für diese Art der Schwefelgewinnung eingesetzte, als SRU (engl. Sulfur Recovery Unit) bezeichnete Vorrichtung umfasst einen Reaktor (Claus-Reaktor), der sich in einen thermischen und einen katalytischen Teil gliedert. Der thermische Teil besteht im Wesentlichen aus einem Ofen (Claus-Ofen), in den das Sauergas sowie ein Sauerstoff
- 25 enthaltendes Oxidationsmittel wie etwa Luft über einen Brenner eingeleitet werden, um unter Ausbildung einer Flamme miteinander zu reagieren, wobei ein Teil des im Sauergas enthaltenen Schwefelwasserstoffs zu Schwefeldioxid verbrennt. An den thermischen Teil des Claus-Reaktors schließt sich der aus zwei bis drei Claus-Stufen bestehende katalytische Teil an, wo das bei der Verbrennung gebildete Schwefeldioxid
- 30 mit Schwefelwasserstoff gemäß



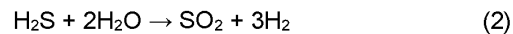
reagiert.

Im Allgemeinen wird bei der Verbrennung im Claus-Ofen ein Drittel des eingesetzten Schwefelwasserstoffs zu Schwefeldioxid umgewandelt, der im katalytischen Teil des Claus-Reaktors mit dem verbliebenen Schwefelwasserstoff vollständig reagiert. Es kann auch ein sehr geringer Überschuss an Schwefelwasserstoff eingestellt werden, um eine Sulfatbildung am Claus-Katalysator zu unterbinden. Der gebildete Schwefel liegt in elementarer Form im Abstrom des katalytischen Teils des Claus-Reaktors in der Gasphase vor, aus der er insbesondere durch Abkühlung im Abtrennteil der SRU auskondensiert wird.

Zur Kapazitätserhöhung kann dem Claus-Ofen ein sauerstoffreiches Gas als Oxidationsmittel zugeführt werden, wobei unter einem sauerstoffreichen Gas ein Gas zu verstehen ist, das einen höheren Sauerstoffgehalt aufweist als atmosphärische Luft; im Extremfall handelt es sich bei dem sauerstoffreichen Gas um technisch reinen Sauerstoff, der zu wenigstens 95% aus Sauerstoff besteht. Entsprechende Verfahren kennt die Fachwelt als Claus-Prozesse mit Sauerstoffanreicherung (engl. Oxygen Enrichment). Aufgrund der erhöhten Sauerstoffmenge und des geringeren Inertgasballasts erlauben es diese Prozesse, im Claus-Ofen, und damit in der SRU mehr Schwefelwasserstoff je Zeiteinheit umzusetzen, als bei der Verwendung von atmosphärischer Luft.

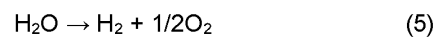
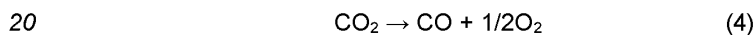
Da die Verminderung des Inertgasballasts zu einem Anstieg der Flammentemperatur führt, wird die Höhe der Sauerstoffanreicherung durch die maximal zulässige Betriebstemperatur des im Claus-Ofen eingesetzten Feuerfestmaterials begrenzt, die typischerweise bei ca. 1400°C liegt. Zur Überwindung dieser Begrenzung schlägt die Patentanmeldung WO2015/176180A1 vor, das eingesetzte Schwefelwasserstoff enthaltende Sauerstoffgas stromaufwärts des Claus-Ofens mit Wasserdampf anzureichern. Durch die Aufnahme von Wärme reduziert der Wasserdampf zum einen die Ofentemperatur, so dass das Oxidationsmittel höher mit Sauerstoff angereichert werden kann. Zum anderen wird ihm von den Autoren die Wirkung zugeschrieben, die Claus-Reaktionen mit einem geringeren Bedarf an molekular zugeführtem Sauerstoff und unter zusätzlicher Wärmeaufnahme ablaufen zu lassen.

Die beschriebene Wirkung könnte durch die reverse Schwefeldioxid-Hydrierung



hervorgerufen werden, die allerdings bei der maximal zulässigen Betriebstemperatur
5 eines Claus-Ofens noch nicht merklich zur Oxidation von Schwefelwasserstoff beiträgt.

Aus dem Stand der Technik, wie er beispielsweise in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2012, Vol. 35, Sulfur, Chapter 6.6.* beschrieben wird, ist es bekannt, einen Teil des eingesetzten Sauerstoffes zusammen mit technisch reinem
10 Sauerstoff in den inneren, als Kern bezeichneten Bereich der gebildeten Flamme einzuleiten, während das übrige Sauerstoffgas zusammen mit Luft in den äußeren, als Mantel bezeichneten Bereich der Flamme eingebracht wird. Die Flamme besteht daher aus einem vergleichsweise kalten Mantel, der die feuerfeste Auskleidung des Claus-Ofens vor der extremen Hitze des Flammenkerns schützt. Aufgrund der hohen
15 Temperaturen entstehen im Flammenkern elementarer Schwefel sowie Sauerstoff über die Zersetzungsreaktionen



Durch die Kombination dieser Technik mit der Lehre aus WO2015/176180A1 ergibt
25 sich ein Claus-Prozess mit hoher Kapazität bei einem deutlich reduzierten Bedarf an elementar zugeführtem Sauerstoff. Besonders dann, wenn ein Sauerstoffgas mit niedriger Schwefelwasserstoffkonzentration, wie es etwa bei der Entschwefelung von Erdgas anfällt, eingesetzt wird, können im Mantel der Flamme aufgrund des von der Verbrennungsluft mitgeführten Stickstoffs nur sehr geringe Temperaturen von weniger
30 als 1100°C erreicht werden, die bei der Kürze der Verweilzeiten eine effektive Zerstörung von BTX nicht erlauben. Da BTX auch in geringen Konzentrationen zu einer Deaktivierung der Claus-Katalysatoren führen, ist dies als sehr problematisch anzusehen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren der gattungsgemäßen Art sowie eine Vorrichtung zu dessen Durchführung anzugeben, durch die es möglich ist, Schwefel effektiver zu gewinnen, als dies nach dem Stand der Technik möglich ist.

- 5 Diese Aufgabe wird verfahrensseitig erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass ein erster Teil des Schwefelwasserstoff enthaltende Sauer gases mit Wasser zu dem mit Wasserdampf angereicherten Sauer gas gemischt und anschließend zusammen mit dem sauerstoffreichen Gas in den inneren Bereich der Flamme eingeleitet wird, während der verbleibende zweite Teil des Schwefelwasserstoff enthaltenden
- 10 Sauer gases zusammen mit der Luft dem Außenbereich der Flamme zugeführt wird.

- Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt es, im Flammenkern hohe Temperaturen zu erzeugen und die oben beschriebenen Vorteile, die sich durch die Anreicherung von Wasserdampf im Sauer gas ergeben, weitgehend vollständig zu nutzen. Wegen des
- 15 Verzichts auf die Zumischung von Wasser, besitzt der zweite Teil des Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauer gases einen höheren Heizwert als das aus dem ersten Teil erzeugte, mit Wasserdampf angereicherte Sauer gas. Dadurch ist es möglich, im Mantel der Flamme trotz des mit der Luft eingetragenen Stickstoffballasts Temperaturen von mehr als 1100°C zu erreichen, bei denen im Sauer gas enthaltenes
- 20 BTX sicher zerstört wird. Gleichzeitig ist der Flammenmantel aber kalt genug, um den Claus-Reaktor vor der Hitze des Flammenkerns wirksam zu schützen.

- Vorzugsweise wird der erste, mit einem ersten Druck vorliegende Teil des Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauer gases zur Anreicherung mit Wasserdampf
- 25 einer aus dem Stand der Technik bekannten Dampfstrahlpumpe zugeführt, in der Wasserdampf mit einem höheren als dem ersten Druck als Treibmedium eingesetzt wird. Das Sauer gas wird durch den Wasserdampf angesaugt und mit diesem vermischt, so dass ein aus Wasser und dem Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauer gas bestehendes Stoffgemisch die Dampfstrahlpumpe verlässt. Dieses
- 30 Stoffgemisch wird entweder direkt oder nach Abtrennung von evtl. flüssig vorliegendem Wasser als mit Wasserdampf angereichertes Sauer gas zum Brenner geleitet, um dem inneren Flammenbereich zugeführt zu werden.

- Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Gewinnung von Schwefel, mit einer
- 35 Mischeinrichtung zur Bildung eines mit Wasserdampf angereicherten Sauer gases

durch Zumischung von Wasser zu einem Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauer gas, einem Claus-Reaktor mit einem Brenner, über den das mit Wasserdampf angereicherte Sauer gas gemeinsam mit einem sauerstoffreichen Gas und Luft in den Claus-Reaktor einleitbar ist, um unter Ausbildung einer Flamme in einem Claus-
5 Prozess zu einem elementaren Schwefel umfassenden Abstrom umgesetzt zu werden, sowie einem Abtrennteil zur Abtrennung von elementarem Schwefel aus dem Abstrom.

Vorrichtungsseitig wird die gestellte Aufgabe dadurch gelöst, dass die Vorrichtung eine Trenneinrichtung umfasst, die es erlaubt, das Schwefelwasserstoff enthaltende
10 Sauer gas in einen ersten und einen zweiten Teil zu trennen, von denen der erste zur Bildung des mit Wasserdampf angereicherten Sauer gases in die Mischeinrichtung eingeleitet werden kann, und der Brenner wenigstens vier konzentrisch angeordnete Zuführungskanäle aufweist, wobei über den innersten Zuführungskanal das sauerstoffreiche Gas, den dem innersten nächst benachbarten Zuführungskanal das
15 mit Wasserdampf angereicherte Sauer gases, den äußersten Zuführungskanal Luft und den dem äußersten nächst benachbarten Zuführungskanal der zweite Teil des Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauer gases in den Reaktor einleitbar ist.

Vorzugsweise werden die Zuführungskanäle durch gerade Rohre mit Kreisquerschnitt
20 gebildet, deren Wände die Zuführungskanäle gegeneinander abgrenzen. Entlang der Längsachse kann sich der Durchmesser eines oder mehrerer der Rohre ändern, so dass beispielsweise ein oder mehrere der Zuführungskanäle reaktorseitig in einer Düse enden.

25 Die stromaufwärts der Mischeinrichtung angeordnete und mit dieser sowie dem Brenner verbundene Trenneinrichtung umfasst bevorzugt eine beispielsweise als Hosenrohr oder T-Stück ausgeführte Rohrverzweigung, an die sich ein oder mehrere Regelorgane anschließen, über die das Mengenverhältnis zwischen dem ersten und dem zweiten Teil des Schwefelwasserstoff enthaltende Sauer gases einstellbar ist.

30 Eine Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht vor, dass die Mischeinrichtung mit einem Mischelement ausgeführt ist. Dieses Mischelement, dem der erste Teil des Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauer gases sowie Wasser zuführbar sind, kann beispielsweise aus einem Rohrstück bestehen, dessen Querschnitt entlang seiner
35 Achse konstant oder veränderlich ist. Weiterhin kann das Rohrstück ein oder mehrere

statische Mischer enthalten. Vorzugsweise ist das Mischelement jedoch als Dampfstrahlpumpe ausgeführt, in der Wasserdampf als Treibmedium einsetzbar ist, um den ersten Teil des Schwefelwasserstoff enthaltenen Sauergases anzusaugen und mit dem Wasserdampf zu vermischen.

5

Die Mischeinrichtung kann außerdem einen stromabwärts des Mischelements angeordneten Phasentrenner umfassen, mit dem flüssiges Wasser aus dem durch das Mischelement erzeugten Stoffgemisch abtrennbar ist, um das mit Wasserdampf angereicherte Sauergas zu erhalten.

10

Im Folgenden soll die Erfindung anhand zweier in den **Figuren 1 und 2** schematisch dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert werden.

Die Figur 1 zeigt eine SRU mit einem Claus-Reaktor, die nach einer bevorzugten

15

Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens betreiben wird.

Die Figur 2 zeigt einen Teil des Kopfes eines erfindungsgemäß betreibbaren Brenners für den Claus-Reaktor einer SRU.

20 Im Ausführungsbeispiel der Figur 1 wird ein Schwefelwasserstoff enthaltendes Sauergas 11 mit Hilfe der Trenneinrichtung T in einen ersten 12 und einen zweiten Teil 13 getrennt, von denen der erste 12 in der Mischeinrichtung M mit flüssig oder in Dampfform zugeführtem Wasser 14 gemischt wird, um ein mit Wasserdampf angereichertes Sauergas 15 zu erhalten, das anschließend über den Brenner B in den
25 Claus-Reaktor R eingeleitet und im Claus-Ofen O unter Bildung des Kerns K einer Flamme F mit einem sauerstoffreichen Gas 16, bei dem es sich beispielsweise um technisch reinen Sauerstoff handelt, verbrannt wird. Der zweite Teil 13 des Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauergases 11 wird dem Claus-Ofen O ebenfalls über den Brenner B zugeführt und mit Luft 17 verbrannt, wobei der Flammenmantel A
30 entsteht, in dem aufgrund des fehlenden Wasserdampfs Temperaturen von mehr als 1100°C erreicht werden, die insbesondere eine sichere BTX-Zersetzung gewährleisten. Gleichzeitig ist der Flammenmantel A kalt genug, um Beschädigungen des Claus-Ofens O durch die extreme Hitze des Flammenkerns K zu verhindern. Das bei der Verbrennung erzeugte, insbesondere BTX-freie Stoffgemisch, in dem
35 Schwefelwasserstoff und Schwefeldioxid im Verhältnis 2:1 vorliegen, wird über Leitung

- 18 dem katalytischen Teil D des Claus-Reaktors R zugeführt. Aus dem hier erhaltenen, elementaren Schwefel umfassenden Abstrom 19 wird im Abtrennteil Z elementarer Schwefel 20 abgetrennt.
- 5 Der in Figur 2 im Längsschnitt dargestellte Brennerkopf umfasst die vier konzentrisch angeordneten Brennerrohre O, H, G und L, die jeweils einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen und vier, zum Reaktionsraum R des Claus-Ofens C hin offene Zuführungskanäle 21, 22, 23 und 24 bilden.
- 10 Im Brennerbetrieb können über den innersten 21 ein sauerstoffreiches Gas und den äußersten Zuführungskanal 24 Luft in den Reaktionsraum R eingeleitet werden. Hier mischt sich das sauerstoffreiche Gas 21 vorwiegend mit dem über den nächst benachbarten Kanal 22 zuführbaren, mit Wasserdampf angereicherten Sauer gas, um mit diesem unter Ausbildung des heißen Flammenkerns K zu verbrennen. Über den
- 15 zum äußersten Kanal 24 nächst benachbarten Zuführungskanal 23 ist Sauer gas in den Reaktionsraum R einleitbar, wo es sich vorwiegend mit der Luft 24 mischt und mit dieser verbrennt, wobei der vergleichsweise kalte Flammenmantel A entsteht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Gewinnung von Schwefel (20), bei dem aus einem Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauergas (11) durch Zumischung von Wasser (14) ein mit Wasserdampf angereichertes Sauergas (15) gebildet wird,
5 das gemeinsam mit einem sauerstoffreichen Gas (16) und Luft (17) über einen Brenner (B) in einen Claus-Reaktor (R) eingeleitet wird, um unter Ausbildung einer Flamme (F) in einem Claus-Prozess zu einem elementaren Schwefel umfassenden Abstrom (19) umgesetzt zu werden, aus dem elementarer Schwefel (20) abgetrennt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein erster Teil (12) des Schwefelwasserstoff enthaltende Sauergases (11) mit Wasser (14) zu dem mit Wasserdampf angereicherten Sauergas (15) gemischt und anschließend zusammen mit dem sauerstoffreichen Gas (16) in den inneren Bereich (K) der Flamme (F) eingeleitet wird, während der verbleibende zweite Teil (13) des Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauergases (11) zusammen mit der Luft (17) dem Außenbereich (A) der Flamme (F) zugeführt wird.
10
15
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Teil (12) des Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauergases (11) zur Anreicherung mit Wasserdampf einer Dampfstrahlpumpe (M) zugeführt wird, in der Wasserdampf (14) als Treibmedium eingesetzt wird, um das Schwefelwasserstoff enthaltende Sauergas (12) anzusaugen mit Wasser zu mischen.
20
3. Vorrichtung zur Gewinnung von Schwefel (20), mit einer Mischeinrichtung (M) zur Bildung eines mit Wasserdampf angereicherten Sauergases (15) durch Zumischung von Wasser (14) zu einem Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauergas (11), einem Claus-Reaktor (R) mit einem Brenner (B), über den das mit Wasserdampf angereicherte Sauergas (15) gemeinsam mit einem sauerstoffreichen Gas (16) und Luft (17) in den Claus-Reaktor (R) einleitbar ist, um unter Ausbildung einer Flamme (F) in einem Claus-Prozess zu einem elementaren Schwefel umfassenden Abstrom (19) umgesetzt zu werden, sowie einem Abtrennteil (Z) zur Abtrennung von elementarem Schwefel (20) aus dem Abstrom (19), **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine Trenneinrichtung (T) umfasst, die es erlaubt, das Schwefelwasserstoff enthaltende Sauergas (11) in einen ersten (12) und einen zweiten Teil (13) zu trennen, von denen der erste (12) zur Bildung des mit Wasserdampf angereicherten Sauergases (15) in die
25
30

- Mischeinrichtung (M) eingeleitet werden kann, und der Brenner (B) wenigstens vier konzentrisch angeordnete Zuführungskanäle (21, 22, 23, 24) aufweist, wobei über den innersten Zuführungskanal (21) das sauerstoffreiche Gas, den dem innersten nächst benachbarten Zuführungskanal (22) das mit
- 5 Wasserdampf angereicherte Sauer gases (15), den äußersten Zuführungskanal (24) Luft und den dem äußersten nächst benachbarten Zuführungskanal (23) der zweite Teil (13) des Schwefelwasserstoff enthaltenden Sauer gases (11) in den Reaktor (R) einleitbar ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass Zuführungskanäle
- 10 (21, 22, 23, 24) des Brenners (B) durch gerade Rohre (O, H, G, L) mit Kreisquerschnitt gebildet werden, deren Wände die Zuführungskanäle (21, 22, 23, 24) gegeneinander abgrenzen.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischeinrichtung (M) als Mischelement eine Dampfstrahlpumpe umfasst, in
- 15 der Wasserdampf (14) als Treibmedium einsetzbar ist, um den ersten Teil (12) des Schwefelwasserstoff enthaltenen Sauer gases (11) anzusaugen und mit dem Wasserdampf (14) zu vermischen.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischeinrichtung (M) einen stromabwärts des Mischelements angeordneten
- 20 Phasentrenner umfassen, mit dem flüssiges Wasser aus dem durch das Mischelement erzeugten Stoffgemisch abtrennbar ist, um das mit Wasserdampf angereicherte Sauer gas (15) zu erhalten.