



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 270 015 A5

4(51) B 01 D 53/14

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) AP B 01 D / 315 676 8
(31) 872072

(22) 11.05.88
(32) 11.05.87

(44) 19.07.89
(33) FI

(71) siehe (73)

(72) Hämälä, Sirpa, Dipl.-Ing.; Heikkilä, Matti, Dipl.-Ing.; Laine, Jouko, Dr.; Kokkonen, Kari, Dipl.-Ing.; Kenakkala, Timo, FI

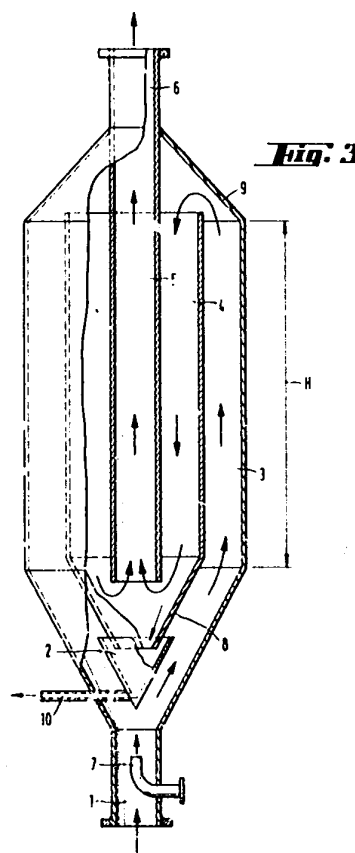
(73) Oy Tampella Ab, Tampere, FI

(74) Internationales Patentbüro Berlin, Wallstraße 23/24, Berlin, 1020, DD

(54) Verfahren zum Übertragen gasförmiger Spurenstoffe aus strömendem heißem Gas auf Staub mit Hilfe von Wasser

(55) gasförmige Spurenstoffe, strömendes heißes Gas, Staub, Wasser, Wassertröpfchen, Feuchte, verdampfen, Naßtemperatur, Turbulenz, Wasserfilm, exotherme Ionenreaktion, Reaktionswärme

(57) Diese Erfindung betrifft ein Verfahren zum Übertragen von gasförmigen Spurenstoffen aus strömendem heißem Gas auf Staub mit Hilfe von Wasser. Gemäß der Erfindung läßt man ein Gemisch aus heißem Gas und Wassertröpfchen mit einer solchen Geschwindigkeit im wesentlichen in aufwärtiger Richtung strömen, daß die Wassertröpfchen in der Gasströmung bleiben, und so lange, daß der größte Teil der Wassertröpfchen-Masse zwecks Kühlens des Gases und Erhöhen seiner relativen Feuchte verdampft wird. Mit Erreichen ihrer Naßtemperatur werden die Gase in Turbulenz versetzt zu dem Zweck, die Staubpartikel und die infolge Verdampfung verkleinerten Wassertröpfchen zum Zusammenprall zu bringen, um so in dem die Staubpartikel bedeckenden Wasserfilm eine exotherme Ionenreaktion zwischen den wasserlöslichen gasförmigen Spurenstoffen und den Staubpartikeln zu bewirken. Danach läßt man das Gemisch zwecks Verdampfens des restlichen Wassers mit Hilfe von Reaktionswärme weiterströmen, so daß ein trockenes Endprodukt anfällt. Fig. 3



Patentansprüche:

1. Verfahren zum Übertragen gasförmiger Spurenstoffe aus strömendem heißem Gas auf Staub mit Hilfe von Wasser, **dadurch gekennzeichnet**, daß man ein Gemisch aus heißem Gas und Wassertröpfchen mit einer solchen Geschwindigkeit im wesentlichen aufwärts strömen läßt, daß die Wassertröpfchen so lange im Gasstrom verweilen, daß zwecks Kühlens des Gases und Erhöehens seiner relativen Feuchte der überwiegende Teil der Wassertröpfchen-Masse verdampft, wonach die Strömung in Turbulenzzustand versetzt wird zu dem Zweck, die Staubpartikel und die durch Verdampfung verkleinerten Wassertröpfchen zum Zusammenprall zu bringen um so in dem die Staubpartikel bedeckenden Wasserfilm eine exotherme Ionenreaktion zwischen den gasförmigen wasserlöslichen Spurenstoffen und den Staubpartikeln zu bewirken, wonach man das Gemisch zwecks durch Reaktionswärme erfolgenden Verdunstens des restlichen Wassers weiterströmen läßt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strömung mehrmals in Turbulenz versetzt wird und die Wassertröpfchen und Staubpartikel zwischendurch erneut in im wesentlichen laminare vertikale Strömung versetzt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem im wesentlichen aufwärts geführten Gas-Wassertröpfchen-Strom getrennt zusätzliches Gas zugesetzt wird.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die im wesentlichen aufwärts gerichtete Heißgas-Wassertröpfchen-Strömung am Anfang gedrosselt wird, um die Strömungsgeschwindigkeit in diesem Anfangsteil so zu erhöhen, daß eventuelle, in diesen Teil zurückfallende, große Tropfen in kleine Tröpfchen zerlegt werden, die der Strömung folgen.
5. Verfahren nach irgendeinem der obigen Ansprüche, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Turbulenzströmung durch Drosselung mit einem stationären oder beweglichen vertikalen Blech bewirkt wird.
6. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Turbulenzströmung durch Infra- oder Ultraschall bewirkt wird.
7. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Turbulenzströmung durch abrupte Änderung der Strömungsrichtung bewirkt wird.
8. Verfahren nach irgendeinem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Turbulenzströmung abrupt gekühlt wird.
9. Verfahren nach irgendeinem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Temperatur der heißen Gase am Anfang 80 bis 250°C, bevorzugt 125 bis 180°C beträgt.
10. Verfahren nach irgendeinem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Durchmesser der Wassertröpfchen 30 bis 200 µm, vorzugsweise höchstens 70 µm beträgt.
11. Verfahren nach irgendeinem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das heiße Gas mit einer Geschwindigkeit von 10 bis 20 m/s, vorzugsweise von 12 bis 16 m/s, in die Reaktionszone eingespeist wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strömungsgeschwindigkeit des Gemischs aus heißem Gas und Wassertröpfchen in der Reaktionszone etwa 3 bis 30 m/s, bevorzugt 4 bis 15 m/s, beträgt.
13. Verfahren nach irgendeinem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß in die heißen Gase Wasser in einer Menge von 20 bis 100 g/m³ Gas eingespeist wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Temperatur des Einspeisewassers höchstens etwa 40°C, bevorzugt höchstens etwa 15°C beträgt.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Diese Erfindung betrifft ein Verfahren zum mit Hilfe von Wasser erfolgenden Übertragen gasförmiger Spurenstoffe, gewöhnlich Verunreinigungen, aus strömendem heißem Gas, wie Abgasen der Industrie, auf Staub.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Die Gase der Industrie und insbesondere die sog. Abgase enthalten oft gasförmige Spurenstoffe, die aus einem oder anderen Grund, gewöhnlich aus Gründen des Umweltschutzes, von den Gasen abgetrennt werden müssen. Zum Abscheiden von Verunreinigungen aus solchen Gasen gibt es mehrere verschiedene Methoden und Vorrichtungen, die man in der Fachliteratur beschreiben findet. Die Verfahren basieren auf physikalischer oder chemischer Absorption oder Adsorption der betreffenden Spurenstoffe an eine Flüssigkeit, Aufschwemmung oder einen Feststoff. Typische Beispiele für solche Verfahren sind die Absorption von u. a. in Rauchgasen enthaltenen Chlorwasserstoff, Schwefeldioxid, Schwefeltrioxid und Stickoxiden an alkalische Calcium-, Magnesium-, Natrium- oder Ammoniumverbindungen sowie die Adsorption von Lösungsmitteldämpfen, z. B. an Aktivkohle. Obwohl die Mechanismen dieser Vorgänge theoretisch sehr gründlich erforscht sind, wurden Verfahrens- und Anlagenplanung wegen der großen zu behandelnden Gasmengen und der durch oft niedrige Konzentration bedingten geringen Triebkraft erschwert. Dies hat zu mehreren verschiedenen bekannten praktischen Lösungen geführt. Bei den bekannten Vorrichtungen, bei denen Gas direkt von einem Feststoff absorbiert wird, liegt der chemische Wirkungsgrad der Absorption im allgemeinen ziemlich niedrig. So beträgt beispielsweise bei der Absorption von Schwefeldioxid aus Kraftwerks-Rauchgasen an pulveriges Calciumoxid der Absorptionsgrad im allgemeinen etwa 30%, weil die Diffusion an der Reaktionsgrenzfläche zwischen den Phasen zustandsbedingt langsam verläuft. Eine Erhöhung der Absorption wiederum würde die Größe der Vorrichtungen und die Druckverluste schnell unmäßig erhöhen oder ansonsten unpraktische Verhältnisse erfordern.

In Vorrichtungen, in denen die Absorption in Gegenwart einer Flüssigkeitsphase erfolgt, kommt es leicht zu diversen Ablagerungen, oder die Behandlung der aus der Vorrichtung abgehenden Flüssigkeiten außerhalb des eigentlichen Absorbers erfordert komplizierte Systeme oder setzt einen passenden integrierten Prozeß voraus. Es passiert auch leicht, daß die Flüssigkeiten auf unkontrollierte Weise aus dem Absorber abgehen und zu Betriebsstörungen verschiedener Art führen. Bei großem Flüssigkeitszusatz oder kontinuierlicher Flüssigkeitsphase sinkt die Temperatur der heißen Gase auf Naßtemperatur oder darunter, so daß das Gas zwecks Vermeidens von Korrosionsrisiken oder Verstopfungen in den auf die Absorptionsstufe folgenden Gasbehandlungsvorrichtungen erneut aufgeheizt werden muß. Dies bedeutet entweder Energieverluste oder, wenn das Aufheizen mit heißem spurstoffhaltigem Gas erfolgt, ein Absinken des GesamtabSORPTIONSGRADES.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, die vorgenannten Mängel zu beseitigen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Dieser Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum mit Hilfe von Wasser erfolgenden Übertragen gasförmiger Spurenstoffe aus strömendem heißem Gas auf Staub zu schaffen, das einen sehr hohen Absorptionsgrad gewährleistet. Es ist allgemein bekannt, daß die anorganischen Ionenreaktionen blitzschnell verlaufen, und daß namentlich die Reaktionsgeschwindigkeit zusammen mit der Diffusion der begrenzende Faktor bei der Absorption von Spurenstoffen ist. Es ist somit klar, daß sich mit Hilfe von Ionenreaktion und schneller Diffusion viele Probleme der Absorption lösen lassen. Nicht selbstverständlich ist aber, wie der Betrieb praktisch verwirklicht werden kann, da nur etwa 2 s Zeit zur Verfügung stehen, um einen großen Stoffstrom in einen Zustand zu bringen, der die vorgenannten Ionenreaktionen ermöglicht. Dies deshalb, weil die Anlage wegen der großen heißen Gasströme sonst unmäßig voluminös ausfallen würde. Für die Durchführung der eigentlichen Reaktionen und der Diffusion ist nur eine Zeit von 2 bis 4 s verfügbar.

Man hat nun überraschend festgestellt, daß es möglich ist, ein Verfahren zu schaffen, bei dem unter Einsatz von feinverteiltem Wasser ausschließlich in einer Verfahrenszwischenstufe und Lenkung der Strömungen auf eine gewisse Weise die die Absorption regulierenden Erscheinungen sehr schnell sind. Erreicht wird dies gemäß vorliegender Erfindung, indem man ein Gemisch aus heißem Gas und Wassertröpfchen mit einer solchen Geschwindigkeit generell aufwärts strömen läßt, daß die Wassertröpfchen so lange im Gasstrom verweilen, daß zwecks Kühlens des Gases und Erhöhen seiner relativen Feuchtigkeit der größte Teil der Wassertröpfchen-Masse verdampft wird. Danach wird die Strömung in Turbulenz versetzt zu dem Zweck, die Staubpartikel und die durch Verdunstung verkleinerten Wassertröpfchen zum Zusammenprall zu bringen, um so in dem die Staubpartikel bedeckenden Wasserfilm eine exotherme Ionenreaktion zwischen den gasförmigen wasserlöslichen Spurenstoffen und den Staubpartikeln zu bewirken. Danach läßt man das Gemisch zwecks mit Reaktionswärme erfolgenden Verdampfens des restlichen Wassers weiterströmen. Auf diese Weise erhält man ein trockenes Endprodukt, aus dem kein Wasser mehr verdampft zu werden braucht.

Die Wirkung des erfindungsgemäßen Verfahrens läßt sich verstärken, indem man die Strömung mehrmals in Turbulenz versetzt und die Wassertröpfchen und Staubpartikel jeweils erneut in eine im wesentlichen laminare vertikale Strömung versetzt. Zusätzliches Gas kann separat in den im wesentlichen aufwärts laufenden Gas-Wassertröpfchen-Strom eingespeist werden. Die im wesentlichen aufwärts gerichtete Strömung des heißen Gases und der Wassertröpfchen wird vorzugsweise zu Beginn gedrosselt, um die Strömungsgeschwindigkeit im Anfangsteil der Reaktionszone so zu erhöhen, daß zu diesem Zonenteil hin eventuell zurückfallende große Tropfen in kleine Tröpfchen zerlegt werden, die der Strömung zu folgen vermögen. Die Turbulenzströmung läßt sich entweder durch Drosseln der Strömung mittels eines stationären oder beweglichen vertikalen Bleches, mittels Infra- oder Ultraschalls oder alternativ durch abrupte Änderung der Strömungsrichtung erzeugen. Die Wirkung läßt sich weiter durch Abschrecken des turbulenten Stoffstroms erhöhen.

Die Temperatur der zu behandelnden heißen Gase beträgt beim Einspeisen in die Reaktionszone bevorzugt 80 bis 250°C, beispielsweise 125 bis 180°C. Durch Regulierung der Strömungsgeschwindigkeit der heißen Gase wird der Wassertropfchen-Durchmesser im Bereich von etwa 30 bis 200 µm, bevorzugt bei höchstens 70 µm gehalten. Zu diesem Zweck wird heißes Gas mit einer Geschwindigkeit von 10 bis 20 m/s, bevorzugt von 12 bis 16 m/s, in die Reaktionszone eingespeist. Zur Verdampfung des Großteils der Wassertropfchen-Masse, zur Kühlung der heißen Gase und zur Erhöhung ihrer relativen Feuchte wird die Strömungsgeschwindigkeit des Heißgas-Wassertropfchen-Gemisches in der Reaktionszone im Bereich von etwa 3 bis 30 m/s, bevorzugt von 4 bis 15 m/s, gehalten. Hierbei werden den heißen Gasen bevorzugt etwa 20 bis 100 g Wasser/m³ heißen Gases zugesetzt. Die Temperatur des einzuspeisenden Wassers ist nicht kritisch, beträgt aber bevorzugt höchstens etwa 40°C, z. B. höchstens etwa 15°C.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung wird im folgenden unter Bezugnahme auf die beigelegten Zeichnungen im einzelnen beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1: die Abhängigkeit der Gastemperatur (°C) von der zugesetzten relativen Wassermenge (g/g); die untere Kurve gilt für reines Gas-Wasser-System, die obere Kurve für das Gas-Wasser-Kalk-System, wobei die Abweichungen der Kurven aus Absorptionsreaktionen resultieren;
 Fig. 2: die Abhängigkeit des Tropfchen-Verdampfungsweges (m) vom Tropfchendurchmesser (mm); als Parameter die Temperatur des eingetragenen Gases in Grad Celsius. Leerrohrgeschwindigkeit des Gases und Wassertemperatur sind an der Eintragsstelle konstant. Die Streuung der Wassertropfchengröße bleibt unberücksichtigt;
 Fig. 3: eine Teilvertikalschnittdarstellung eines bevorzugten Apparates zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;
 Fig. 4: den gleichen Apparat, teilweise aufgeschnitten, im Draufblick.

Der als Absorptionsmittel einzusetzende staubförmige Stoff, z. B. Calciumcarbonat, wird in trockenem Zustand in die heißen Gase eingetragen. Hierbei kann er u. U. thermisch zerfallen, z. B. Calciumcarbonat zerfällt in Calciumoxid, und Spurenstoffe des Gases, z. B. Schwefeldioxid und auf bekannte Weise teilweise absorbieren.

Heiße staubhaltige Gase werden im wesentlichen vertikal in den unteren Teil der Reaktionszone eingebracht, wonach in die Reaktionszone Wasser in feinverteilter Form eingespeist wird.

Das Einspeisen des Wassers erfolgt über eine oder mehrere Düsen so, daß das Dreiphasensystem möglichst schnell ein pseudohomogenes System bildet. Die heißen Gase werden mit einer solchen Geschwindigkeit, 10 bis 20 m/s, z. B. 12 bis 16 m/s, eingespeist, daß es nicht zu einem Niederfall von Wassertropfchen in der Reaktionszone kommt, und daß durch eventuelle Agglomeration entstandene große, niederfallende Wassertropfen zerteilt werden und die dabei entstehenden kleineren Tropfchen mit dem Gasstrom nach oben wandern. So wird sichergestellt, daß der untere Teil der Reaktionszone trocken bleibt. Die heißen Gase bringen Wasser zum Verdampfen, und ihre Temperatur sinkt dabei gleichzeitig auf einen Wert knapp oberhalb der Naßtemperatur (Fig. 1). Da die Gase und Wassertropfchen parallel zueinander strömen und sowohl der Temperaturunterschied zwischen den Phasen als auch die Triebkraft des Stoffübergangs in der Nähe der Naßtemperatur sehr gering ist, kann eine kräftige Verdampfung nur dann erfolgen, wenn die Tropfchen sehr klein sind und eine enge Größenverteilung haben. Der Durchmesser der Wassertropfchen in der Reaktionszone wird vorzugsweise im Bereich von 30 bis 200 µm z. B. bei höchstens 70 µm, gehalten.

Die Geschwindigkeit der Gase in der Reaktionszone wird vorzugsweise im Bereich von 3 bis 30 m/s, z. B. 4 bis 15 m/s, gehalten. Natürlich können heiße Gase und Wasser an mehreren Stellen in die Reaktionszone eingebracht werden, jedoch ist die Zahl der Heißgaseinspeisestellen wenigstens ebenso groß wie die Zahl der Wassereinspeisestellen.

Wesentlich beim erfindungsgemäßen Verfahren ist, daß der Hauptteil der Masse der in die Reaktionszone eingebrachten Wassertropfchen verdampft wird, bevor man die Strömung z. B. durch Richtungsänderung oder Drosselung in eine Turbulenzströmung verwandelt, da der Staub und die Flüssigkeit, die in den Gasen enthalten sind, sich leicht an den Wandkonstruktionen der Reaktionszone festsetzen, sofern diese von der Vertikalen abweichen.

Nähert sich das Gas der Naßtemperatur, entsteht an der Oberfläche der Partikel ein dünner Flüssigkeitsfilm, in dem sich sowohl Feststoff als auch Spurenstoffe des Gases zumindest in gewissem Umfange auflösen, wobei sofort die Ionenreaktionen einsetzen und mit wieder zunehmender Triebkraft der Lösungsvorgang weiter anhält und die Absorption auf diese Weise rasch voranschreitet, z. B. so, daß Calciumoxid und Schwefeldioxid Calciumsulfid bilden.

Die Bildung des Wasserfilms an der Staubpartikeloberfläche wird wesentlich von der Gasfeuchte und -temperatur sowie der Partikelzusammenstöße bewirkenden Mikroturbulenz mitbestimmt. Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird die Turbulenz durch Umlenkung der Gasströmung, Drosselung der Gasströmung oder Infra- bzw. Ultraschall und namentlich an jener Stelle der Reaktionszone bewirkt, wo die Gastemperatur nahe bei der Gas-Naßtemperatur liegt. Das Erzeugen von Turbulenz kann an einer Stelle oder periodisch mehrmals aufeinanderfolgend, vorzugsweise höchstens fünf Mal, z. B. vier- oder zweimal, geschehen.

Fig. 3 und 4 zeigen einen besonders vorteilhaften zylindrischen, vertikalen, im Vergleich zum Durchmesser wesentlich höheren, einbautenmäßig einfachen dreistufigen Reaktor zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Das gasförmige Spurenstoffe, gewöhnlich Verunreinigungen, enthaltende staubhaltige strömende heiße Gas wird über den vorzugsweise am Reaktorunterteil angeordneten Einströmstutzen 1 in den Reaktor geleitet. Der eintretende Gasstrom verteilt sich infolge der Wirkung des Verteilerkegels 2 gleichmäßig auf die äußerste vertikale Kreisringzone 3 des Reaktors, deren Höhe H₄ bis 40 m, vorzugsweise 6 bis 30 m beträgt, wird nach deren Passieren zwecks Turbulenzerzeugung schroff an der Wand 9 umgelenkt, und kehrt über die innerste Kreisringzone 4 zurück, um nach erneuter Richtungsumkehr über das Zentralrohr 5 des Reaktors zum Ausströmstutzen 6 zu gelangen und dort den Apparat zu verlassen. Dieser Ausströmstutzen 6 ist bevorzugt entgegengesetzt zum Einströmstutzen 1, also am Oberteil des Reaktors, angeordnet.

Natürlich braucht die Stufenzahl des Apparates nicht drei zu betragen, muß aber wenigstens zwei betragen und ist am besten eine ungerade Zahl.

In der Nähe des Einströmstutzens des Apparates befindet sich die Wassereinspeisestelle 7, so daß die verschiedenen Phasen (Gas, Staub, Wassertropfen) vor Erreichen des Gasverteilerkegels 2 ein pseudohomogenes Gemisch zu bilden vermögen. Typisch für den Apparat ist auch, daß sich zwischen dem unteren Verteilerkegel 2 und dem darüber befindlichen Zwischenkegelstumpf 8 eine ringspaltartige schmale Öffnung befindet, über welche die Wassertropfen, die sich zwischen der zweiten 4 und dritten 5 Reaktionsstufe eventuell vom Gasstrom abgeschieden haben, abfließen können, ohne den eigentlichen Reaktionsteil des Apparates zu verstopfen. Das Sammeln dieser abgeschiedenen Tropfen erfolgt beim Apparat zur Verwirklichung des erfindungsgemäßen Verfahrens durch ein an das untere Ende des Verteilerkegels 2 gefügtes, aus dem Reaktor hinausführendes Abflußrohr 10. Weiter ist der untere Durchmesser des Zwischenkegelstumpfes 8 kleiner als der obere Durchmesser des Verteilerkegels 2, und die Unterkante des Kegelstumpfes 8 befindet sich unterhalb der Oberkante des Verteilerkegels 2. Durch diese Konstruktionsweise wird fast vollständig verhindert, daß Gas an der ersten 3 oder zweiten 4 Reaktionsstufe vorbeiströmt.

Die heute bekannten Absorptionsapparate haben gewöhnlich über die gesamte Länge des Reaktionsrohres konstanten Durchmesser. Hierbei kommt es nicht zu wesentlichen Änderungen des Turbulenzzustandes der Strömungen, und die Absorptionsleistung geht mit Annäherung an den Gleichgewichtszustand im System stark zurück. Die Turbulenz neigt sogar zum Abnehmen im Reaktor, wenn als Absorbens für die Verunreinigungen des heißen Gases eine wasserhaltige Flüssigkeit dient, die beim Verdampfen Energie des Gases bindet und dabei dessen Temperatur und auch dessen lineare Geschwindigkeit verringert, da die temperaturbedingte Volumenabnahme größer als die durch das verdampfte Wasser verursachte Volumenzunahme ist. Die technische Effektivität des zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens entwickelten Apparates basiert auf der Idee, die mittlere lineare Strömungsgeschwindigkeit v_s des Gases stets beim Übergang von einer Reaktorzone in die andere zu erhöhen. Diese Geschwindigkeitszunahme erfolgt abrupt und stets in der Nähe der Reaktorstirnwände, wobei gleichzeitig die Strömungsrichtung des Gases umgekehrt wird. Die plötzliche Geschwindigkeitserhöhung in Verbindung mit gleichzeitiger Strömungsrichtungsumkehr bewirkt eine heftige Änderung des Turbulenzzustandes und ein erneutes Mischen des pseudohomogenen Stoffes, wobei es zu einer ungewöhnlich schnellen Erneuerung der Mikro-Flüssigkeitsfilmflächen in der Absorptionszone und zu einer Intensivierung der Absorption kommt.

Durch die stufenweise Geschwindigkeitserhöhung zum Reaktorende hin nimmt mit Anstieg der Reynolds-Zeit Re die Mikroturbulenz des strömenden Gases zu. Dies geschieht, wenn die Wirkung der Zunahme der linearen Geschwindigkeit größer als die Wirkung der Rohrdurchmesser-Verringerung auf die Re -Zahl ist. Die Folge davon ist bekanntlich eine Verbesserung der Stoffübergangszahl am Reaktorende, wo die durch sinkendes Konzentrationsgefälle in der Endphase der Absorption bedingte Leistungsabnahme teilweise kompensiert wird, so daß der erfindungsgemäße Apparat eine bessere Leistung als die Apparate nach der bisher bekannten Technik hat.

Obgleich es sich beim Ausführungsbeispiel dieser Erfindung um Absorption handelt, so ist doch klar, daß das erfindungsgemäße Verfahren ebenso gut zur Durchführung anderer entsprechender Grundoperationen, wie z. B. Adsorption und sogar Desorption, angewendet werden kann.

Desgleichen können die am Stoffübergang beteiligten Chemikalien von verschiedenster Art sein. Einzige Bedingung ist wenigstens die teilweise Löslichkeit des Feststoffs und Gases in Wasser, das einen Film bildet.

Die mittlere lineare Gasströmungsgeschwindigkeit in den einzelnen Reaktionsstufen des Apparates muß beim Durchgang des Gases durch den Apparat stufenweise zunehmen. Diese Geschwindigkeitserhöhung erfolgt am besten nach einer geometrischen Reihe.

Wenn in der als Beispiel beschriebenen Ausführungsform die lineare Strömungsgeschwindigkeit zwischen der ersten 3 und der dritten 5 Reaktionszone auf das R -fache ansteigt und die Geschwindigkeitserhöhung exakt einer geometrischen Reihe folgt, so sind die Durchmesser D_i der Reaktionsrohre, als Relativwerte ausgedrückt, exakt folgende:

$$D_2/D_1 = \sqrt{(1 + \sqrt{R}) / (1 + \sqrt{R} + R)}$$

$$D_3/D_1 = \sqrt{1 / (1 + \sqrt{R} + R)}.$$

Werden Hauptdurchmesser des Apparates und Geschwindigkeits-Gesamtansteigsverhältnis R so gewählt, daß die Gasströmungsgeschwindigkeit v_s im Reaktor $3 < v_s < 30$ m/s und die Höhe des zylindrischen Teils des Apparates das 1,5fache des Durchmessers beträgt, so bildet der im Apparat auftretende Gasdruckverlust selbst bei geringem zulässigen Druckverlust keinen konstruktionsbeschränkenden Faktor. Dies resultiert aus dem geräumigen Bau des Reaktors, und dieser Umstand ist bei der Behandlung vieler Industrieabgase von großer Bedeutung. Der Druckverlust im Reaktor beträgt im allgemeinen 200 bis 1200 Pa, vorzugsweise 300 bis 600 Pa.

Bei der Wahl des äußersten Reaktordurchmessers D_1 und des Strömungsgeschwindigkeits-Änderungsverhältnisses R ist ein gewisser Spielraum vorhanden. Die exakte Wahl dieser Werte geschieht entsprechend den jeweiligen örtlichen Verhältnissen. Im folgenden wird die Erfindung an Hand von Beispielen noch eingehender beschrieben.

Beispiel 1 Wirkung des Wasserzusatzes

Rauchgase aus einem Kraftwerkskessel enthielten 900 ppm SO_2 , und das angewendete CaO/SO_2 -Verhältnis betrug 2,0. Ohne Wasserzusatz betrug der Schwefel-Absorptionsgrad 30%. Wurden bei ansonsten entsprechenden Bedingungen 90% Wasser, gerechnet von der in der Verfahrensbeschreibung genannten theoretischen Wassermenge, zugesetzt, so stieg der Schwefel-Gesamtabsorptionsgrad auf 70%. Wurde der Wasserzusatz auf 98% der theoretischen Menge erhöht, betrug der Absorptionsgrad für Schwefeldioxid bereits 83%. Das zugesetzte Wasser hatte eine Temperatur von 15°C.

Beispiel 2 Verdampfungsstufen-Höhe und Tröpfchendurchmesser

Betrug im System die Gas-Steiggeschwindigkeit 4 m/s und die Gas-Eintrittstemperatur 140°C, so war mit Tröpfchen von 70 µm Durchmesser ein Verdampfungsweg von 4 m, mit Tröpfchen von 200 µm unter entsprechenden Bedingungen aber ein Verdampfungsweg von 40 m notwendig, um die Naßtemperatur zu erreichen. In beiden Fällen war die verdampfte relative Wassermenge dieselbe.

Beispiel 3 Einfluß der Reaktionswärme

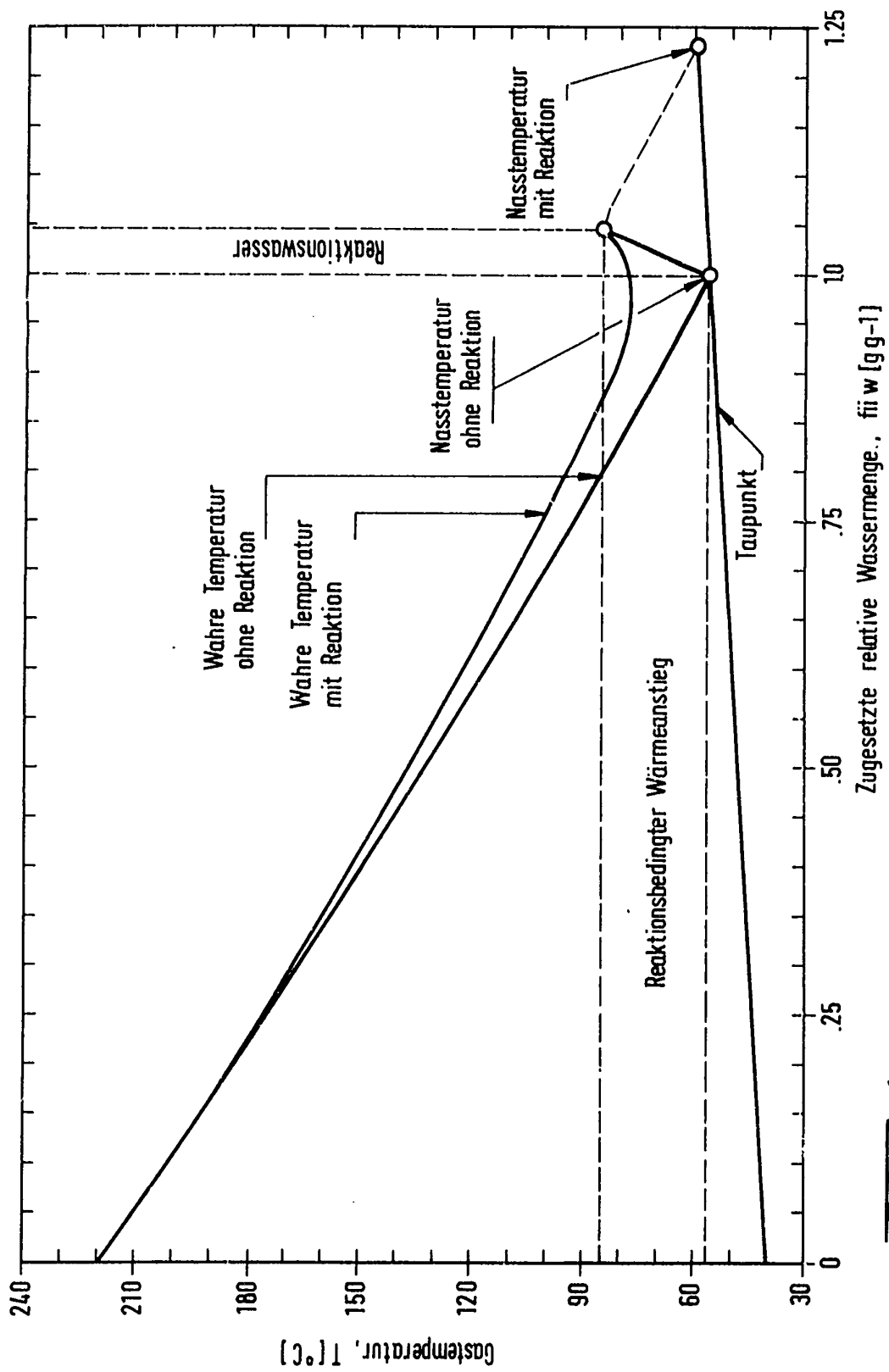
Wurde in den Reaktor völlig SO₂-freies Gas gespeist und mit reinem Wasser gekühlt, wobei keine Reaktionswärme auftrat, so ergab sich die Gas-Naßtemperatur zu 57°C. Enthielten die Gase unter ansonsten entsprechenden Verhältnissen 2100 ppm Schwefeldioxid, und wurde zu dessen Absorption CaO in einer solchen Menge zugesetzt, daß das CaO/SO₂-Molverhältnis 2,0 war, so betrug nach Einbringen der gleichen Wassermenge nach erfolgtem Prozeß die Temperatur 84°C. Vor der Hauptstufe der Reaktionen betrug das Temperaturminimum 70°C.

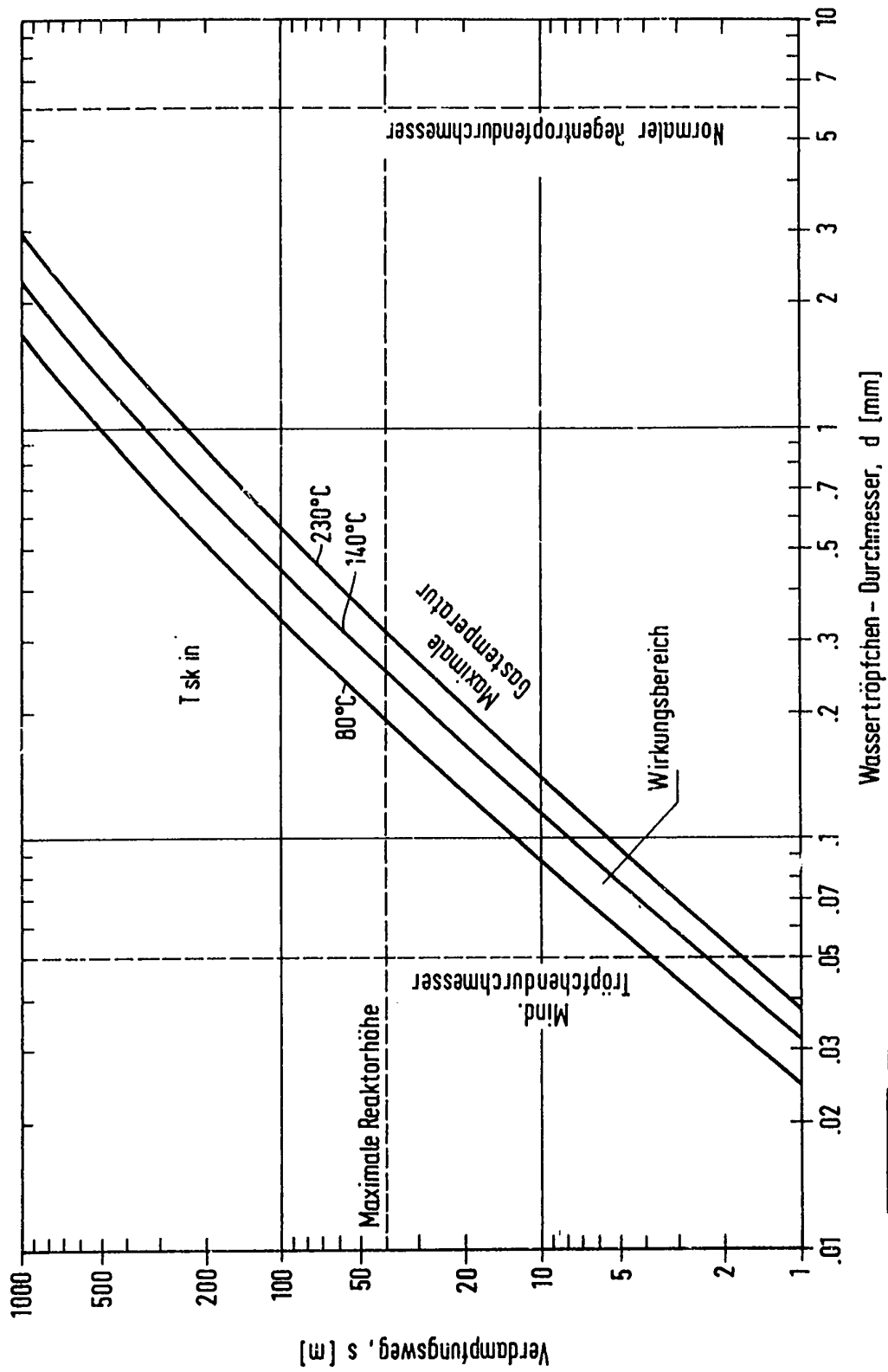
Beispiel 4 Druckverlust

In zwei Reaktoren verschiedener Bauart wurde eine Druckverluständerung durch verschiedenartige Konstruktionen bewirkt. Bei einer Konstruktion, die zu keinen nennenswerten Druckverlusten führte, erzielte man bei Gas mit 1000 ppm SO₂ einen Absorptionsgrad von 5% bei einem Druckverlust von 30 Pa. In dem anderen Reaktor, bei dem Verhältnisse und Verweilzeit die gleichen waren, jedoch der Druckverlust durch turbulenzbildende Drosselungen und Umlenkungen auf 340 Pa gesteigert wurde, erhöhte sich der Schwefel-Absorptionsgrad auf 70%. In diesem Fall enthielt der Reaktor zwei getrennte, in Reihe geschaltete abrupte Drosselungen, in denen die Strömungsrichtung gleichzeitig so umgekehrt wurde, daß die Strömungsgeschwindigkeit am Reaktorende viermal so hoch wie am Reaktor Anfang war.

Beispiel 5 Verengung der Eintrittsöffnung

In einen Reaktor, dessen Eintrittsöffnung reduziert worden war, wurde Gas mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 9 m/s gespeist, wobei die an der Wandung agglomerierten Tropfen nach unten rieselten und in die Gaszuführungsleitung des Reaktors gelangten. Wurde die Strömungsgeschwindigkeit auf 14 m/s erhöht, so blieb das Reaktorunterteil über einen langen Zeitraum völlig trocken.

**Fig. 1**

**Fig. 2**

