

und/oder Trennleistung) interessant. Einsatzfelder können sich auch für Chemisorptionsprozesse in Verbrennungsanlagen, insbesondere bei hohen Rauchgasdurchsätzen, eröffnen.

125

Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Heißgasentstaubung mit Zyklonen

Dr.-Ing. T. Lorenz (Vortragender, jetzt: Hoechst Aktiengesellschaft, Frankfurt/M.) und Prof. Dr.-Ing. M. Bohnet, Institut für Verfahrens- und Kerntechnik, Technische Universität Braunschweig, Langer Kamp 7, 38106 Braunschweig.

Es ist bekannt, daß die Gastemperatur erheblichen Einfluß auf den Druckverlust und den Trenngrad von Zyklonen hat. Der Vergleich verschiedener Berechnungsmodelle zeigt jedoch, daß die Temperatur die Rechenergebnisse unterschiedlich stark beeinflusst. Trotz der weiten Verbreitung von Zyklonen zur Reinigung heißer Gase gibt es in der Literatur kaum verlässliche Quellen, welche die Verschlechterung der Trennleistung und die Änderung des Druckverlustes dokumentieren und damit eine Überprüfung der Berechnungsmodelle ermöglichen.

In experimentellen Untersuchungen wurde deshalb der Temperatureinfluß auf das Zyklonverhalten bestimmt. Dazu wurde eine Versuchsanlage gebaut, die es erlaubt, Zyklontrenngrad und -druckverlust für Temperaturen bis 800 °C zu messen. Die Messung des Trenngrades erfolgte simultan und in-line über eine Anordnung von zwei Streulichtpartikelzählern im Roh- und im Reingasstrom. Der Trenngrad kann bei diesem Meßverfahren direkt aus den in einzelnen Größenklassen gemessenen Partikelanzahlen berechnet werden. Der untersuchte Zyklon hatte einen Außendurchmesser von 150 mm, die gemessenen Trennpartikelgrößen lagen im Bereich von 0,5 bis 5 µm. Im Temperaturintervall zwischen Umgebungstemperatur und 800 °C erfolgten die Messungen in Schritten von 200 K. Zur Absicherung der Ergebnisse wurden die Messungen für drei Geometrievarianten und zwei Betriebsvolumenströme durchgeführt.

Die Meßergebnisse für Druckverlust und Trenngrad zeigen eine starke Abhängigkeit von der Temperatur. Mit steigender Temperatur sinkt der Druckverlust, die Druckverlustkurven haben einen flacheren Verlauf. Ursachen für die Abnahme des Druckverlustes bei hohen Temperaturen sind sowohl die geringere Luftdichte als auch eine reibungsbedingte Verringerung der Umfangsgeschwindigkeiten. Trenngradmessungen im Temperaturbereich von 20 bis 800 °C zeigen eine erhebliche Verschlechterung der Trennleistung mit steigender Temperatur. Die Trenngradkurven verschieben sich bei hohen Temperaturen zu größeren Partikeldurchmessern, die Trennschärfe nimmt zu.

Darüber hinaus wurde der Einfluß der Temperatur auf die Berechnung von Trenngrad und Druckverlust nach den wichtigsten Berechnungsmodellen analysiert. Auf der Grundlage eines Vergleichs der Berechnungsverfahren wurde das Modell von *Mothes* und *Löffler* für eine Weiterentwicklung ausgewählt. Ein Vergleich der Messungen mit diesem Modell zeigt nur für Umgebungstemperatur eine gute Übereinstimmung mit berechneten Werten. Mit steigender Temperatur nehmen die Abweichungen zwischen berechneten und experimentell bestimmten Trenngraden zu. Mit dem Modell von *Mothes* und *Löffler* berechnet sich bei hohen Temperaturen eine zu hohe Trennleistung.

Die experimentellen und theoretischen Untersuchungen ergaben, daß sich bei hohen Temperaturen insbesondere der Wandreibungskoeffizient, die Wiederaufwirbelung bereits abgeschiedener Partikel und der turbulente Partikeltransport auf das Trennergebnis auswirken. Durch die Einführung eines viskositäts- und damit auch temperaturabhängigen Wandreibungskoeffizienten können die gemessenen Druckverluste im Rahmen der Meßgenauigkeit wiedergegeben werden. Auf der Grundlage der experimentellen Ergebnisse wurde ein Berechnungsverfahren zur Beschreibung der Wiederaufwirbelung und des turbulenten Partikeltransports entwickelt, mit dem die Beschreibung des Trenngrades erheblich verbessert werden konnte. Außerdem wurde, aufbauend auf Untersuchungen von *Ebert* sowie *Muschelknautz* und *Trefz*, der Einfluß der Grenzschichtströmung am Deckel des Zyklons und auf der Außenseite des Tauchrohres in das Modell integriert.

Das neue Berechnungsmodell gibt die Meßergebnisse für Trenngrad (vgl. Abb.) und Druckverlust im gesamten untersuchten Temperaturbereich mit guter Genauigkeit wieder. Mit diesem Berechnungsverfahren können Zyklone im gesamten technisch relevanten Temperaturbereich sicher ausgelegt werden.

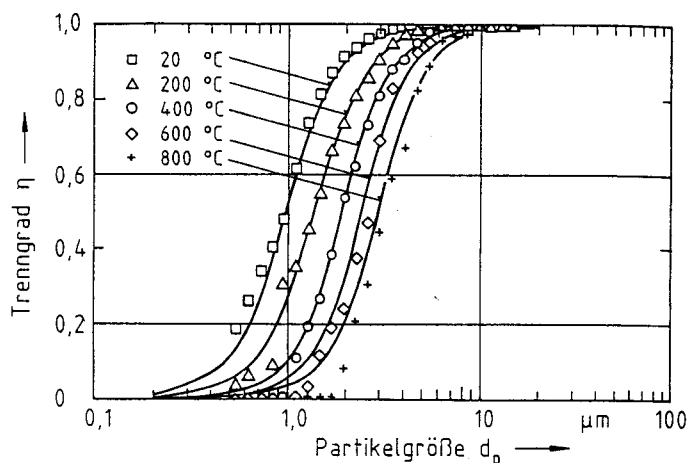


Abb. Gemessener und berechneter (ausgezogene Kurven) Trenngrad in Abhängigkeit von der Temperatur.

126

Integrierter Kompaktwäscher aus Füllkörperkolonne und Venturiwäscher im Selbstansaugbetrieb

Dipl.-Ing. M. Lehner (Vortragender) und Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. F. Mayinger, Lehrstuhl A für Thermodynamik, Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München.

Zur Abscheidung von Staubfraktionen im Submikronbereich ($d_p < 1 \mu\text{m}$) und anorganisch-gasförmigen Schadstoffen (SO_2 , HCl) wurde ein kombinierter Waschprozeß aus Venturiwäscher und Füllkörperkolonne entwickelt. Im Venturiwäscher können aufgrund hoher Geschwindigkeiten in der Kehle Partikel bis in den Submikronbereich abgeschieden werden. Da die Verweilzeiten im Venturiwäscher sehr gering sind, ist für eine effektive Sorption der gasförmigen Schadstoffe in vielen Fällen eine zweite Waschstufe erforderlich. Hierfür sind aufgrund ihrer langen Verweilzeiten für die Gasphase Füllkörperkolonnen geeignet, die wegen ihrer meist ungeordneten Einbauten eine hohe spezifische Oberfläche für den Stoffaustausch bereitstellen. Dabei sind die beiden Wäscher, die konventionell zwei getrennte verfahrenstechnische Apparate darstellen, in einem integrierten Konzept in einem Apparat vereinigt worden (Abb., A). Damit wird eine erhebliche Platzeinsparung erreicht, was zu einer beträchtlichen Kostensenkung für die Abgaswäsche führt und besonders bei der Nachrüstung von älteren Abgasreinigungsanlagen von großem Vorteil ist.

Es wird über Betriebserfahrungen und Abscheideergebnisse des Kompaktapparates, insbesondere der Feinstaubabscheidung im Venturiwäscher und der Schwefeldioxid-Sorption in der Füllkörperkolonne, berichtet.

Als Voraussetzung für das integrierte Ein-Apparate-Konzept wird der Venturiwäscher mit der Waschflüssigkeit nicht über eine Pumpe zwangsbeladen, sondern die Flüssigkeit wird allein über die Saugwirkung des Wäschers und den Vordruck des Wassers aufgrund einer geodätischen Höhendifferenz in die Venturikehle eingedüst. Dies erfolgt über gerade Bohrungsreihen, die in bis zu fünf übereinanderliegenden Ebenen angeordnet sind. Um eine gute Überdeckung des Kehlenquerschnittes mit der Waschflüssigkeit zu erreichen, wird eine Rechteckkehle eingesetzt.

Wegen der beengten Platzverhältnisse im Kompaktwäscher, die den Einsatz beispielsweise eines Zyklons verbieten, findet zur Flüssigkeitsabscheidung nach dem Venturiwäscher eine Trennbodenkonstruktion kom-

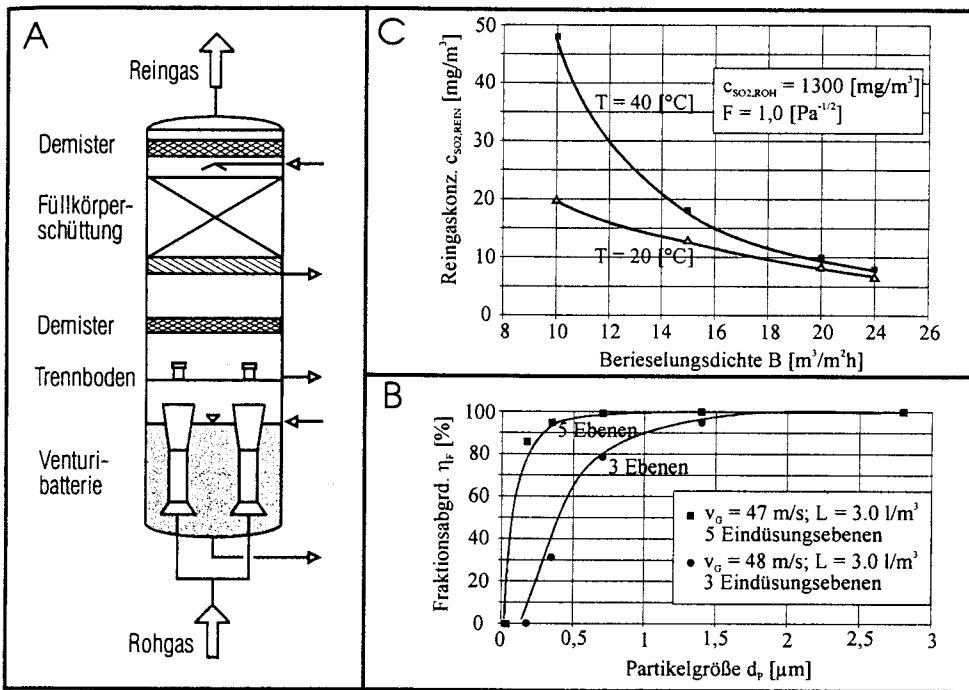


Abb. A Kompaktwäscher aus Füllkörperkolonne und Venturiwäscher, B Fraktionsabscheidegrad für Feinstaub für 3- und 5-Ebenen-Eindüsung, C SO_2 -Reingaskonzentration für verschiedene Absorptionstemperaturen.

biniert mit einem Demister Verwendung. Für die Wertstoffgewinnung ist eine scharfe Trennung der beiden Wäscherstufen von hoher Bedeutung, da für einen Abzug von Reinstoffen eine Waschflüssigkeitsvermischung der Stufen verhindert werden muß. Daher können die Flüssigkeitskreisläufe der beiden Wäscherstufen im Hinblick auf eine Wertstoffgewinnung voneinander getrennt betrieben werden.

Bezüglich der Staubabscheidung wird festgestellt, daß bei den - zur Vermeidung hoher Druckverluste - angestrebten niedrigen Kehlgengeschwindigkeiten des Gases im Venturiwäscher ($v_0 = 40$ bis 70 m/s) die erreichte Flüssigkeitsbeladung einen signifikanten Einfluß auf die Wäschergrüte hat. Bringt man die Waschflüssigkeit in mehreren, übereinanderliegenden Ebenen ein, so zeigt sich, daß gegenüber der einstufigen Flüssigkeitseindüsung sowohl bezüglich der Abscheideleistung als auch bezüglich des zur Wäsche nötigen Energieaufwandes eine deutliche Verbesserung erzielt wird (Abb., B). Das Schwefeldioxid wurde in der Füllkörperkolonne mittels verdünnter Natronlauge absorbiert. Dabei sind Gasbelastung, Berieselungsdichte, Gastemperatur und SO_2 -Rohgaskonzentration variiert worden. Erwartungsgemäß verschlechtert sich das Absorptionsergebnis mit höheren Gastemperaturen (Abb., C). Auch bei hohen Schwefeldioxid-Konzentrationen im Rohgas ($c_{\text{SO}_2, \text{ROH}} = 2000 \text{ mg/m}^3$) können die Grenzwerte der 17. BImSchV eingehalten werden.

Eindringen von Partikeln in das Filtermedium. Bei der Regenerierung des Filtermediums wird der Staubkuchen außerdem in Form großer, zusammenhängender Agglomerate abgeworfen, was im On-line-Filtrationsbetrieb die direkte Wiederanlagerung aufgrund der dann vorliegenden großen Sedimentationsgeschwindigkeit vermindert. Es besteht allerdings die Gefahr, daß bei zu großer Haftung das Ablösen des Filterkuchens erschwert wird.

Um Erkenntnisse zu den geschilderten Sachverhalten zu gewinnen, sind Experimente an Modellfilterelementen zum Einfluß adhäsiver und kohäsiver Eigenschaften von Partikeln und Filtermedien durchgeführt worden. Die Untersuchungen wurden an einer Testanlage nach VDI-Norm 3926 durchgeführt. Als Teststäube sind bei den Untersuchungen einerseits Quarz- und Kalksteinfraktionen, andererseits Flugaschen aus Braun- bzw. Steinkohlenfeuerungen zum Einsatz gekommen. Dabei wurde sowohl der Einfluß unterschiedlicher Filtermedien als auch der Einfluß der relativen Feuchte und der Temperatur (bis $850 \text{ }^\circ\text{C}$) untersucht. Dabei war insbesondere der Einfluß der interpartikulären Haftkräfte von Interesse. Beispielsweise kann eine Filtration bei hohen relativen Gasfeuchten zur Ausbildung von Flüssigkeitsbrücken an den Kontaktstellen der Partikeln führen. Filtriert man dagegen unter hohen Temperaturen, so ist die Möglichkeit, daß es zur Haftkraftverstärkung durch viskoelastische Kontaktstellenabplattung, zu Flüssigkeits- oder Sinterbrücken kommt, gegeben.

Wichtiges Ergebnis dieser Untersuchungen war, daß die Abreinigung beim Vorliegen stärkerer Haftkräfte leichter ist, bei extremen Haftkraftverstärkungen dann jedoch wieder schwerer wird. Besonders interessant ist die Frage, ob sich die das Filtrationsverhalten bestimmenden adhäsiven und kohäsiven Eigenschaften der Partikeln durch einfache Laborexperimente ermitteln lassen. Es ist dabei der Frage nachgegangen worden, inwieweit schüttgutmechanische Mittel und Methoden zur Charakterisierung herangezogen werden können. Dabei sind Scherversuche mit den zur Filtration verwendeten Pulvern durchgeführt worden. Diese Untersuchungen fanden unter filtrationsrelevanten Bedingungen, also bei veränderlicher Feuchte sowie bei hohen Temperaturen statt.

Es konnte gezeigt werden, daß das Fließverhalten der Pulver bei Feuchten > 60 bis 70% , also in dem Bereich, in dem die Kapillarkondensation eintritt, deutlich schlechter wird, die Wechselwirkungen zwischen den Partikeln demnach verstärkt werden. Ebenso wird bei der Filtration in diesem Bereich ein Kuchen mit geringerem Durchströmungswiderstand, der sich zudem leichter abreinigen läßt, gebildet. Die Ergebnisse von Scherversuchen bei hohen Temperaturen zeigen außerdem eine große Haftkraftverstärkung im Vergleich zu Experimenten unter Umgebungsbedingungen. Überraschenderweise läßt sich dieses Verhalten ebenso bei Quarz zeigen, bei dem von einer weniger großen Temperaturabhängigkeit der Hafteigenschaften ausgegangen worden war.

127

Einfluß von adhäsiven und kohäsiven Partikeleigenschaften bei der Filtration an Oberflächenfiltern

Dipl.-Ing. T. Pilz (Vortragender) und Prof. Dr.-Ing. F. Löffler†, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik der Universität Karlsruhe (TH), Postfach 69 80, 76128 Karlsruhe.

Bei der Partikelabscheidung aus Gasen an periodisch regenerierten Oberflächenfiltern haben die Eigenschaften der Partikeln des Trägergases großen Einfluß auf das Betriebsverhalten dieser Abscheider. Insbesondere die Wechselwirkungen zwischen den Partikeln sowie zwischen Partikel und Filtermedium, die adhäsiven und kohäsiven Eigenschaften also, können das Filtrationsverhalten in bezug auf die Partikelabscheidung, den Druckverlust und das Abreinigungsverhalten entscheidend bestimmen. Große Wechselwirkungen zwischen den Partikeln begünstigen dabei die Ausbildung eines stabilen, porösen Filterkuchens und vermindern das