

Wissenschaft im Dienste einer saubereren Luft

SLOBODAN JANCIC
WERNER KOLLER
ARNO SIGNER
SULZER CHEMTECH

Aufgrund des Energieverbrauchs des Menschen werden weltweit jährlich etwa 60 Millionen Tonnen Stickoxide in die Umwelt abgegeben. Mittlerweile sind leistungsfähige Technologien zur Abgasbehandlung entwickelt worden, wobei Sulzer mit rund 50 Anlagen Technologieführer in diesem Bereich ist. Ein aktuelles Beispiel ist das Kraftwerk Cayuga der AES Corporation, ein Kohlekraftwerk in Lansing im Bundesstaat New York (USA).

► Die Verbrennung fossiler Brennstoffe erfolgt häufig bei sehr hohen Temperaturen, damit bei der Energieerzeugung der thermische Wirkungsgrad maximiert werden kann. Unter diesen Bedingungen entstehen verschiedene Stickoxide (NO_x), die äußerst reaktionsfreudig sind und zur Bildung von bodennahem Ozon beitragen. Aus diesen Gründen zählen sie zu den gefährlichsten Schadstoffen.

Rauchgasentstickung mit Ammoniak

Ein Verfahren zur Verminderung des Stickoxidausstoßes besteht

darin, den Verbrennungsgasen bei 300–400 °C Ammoniak beizufügen und das entstehende Gemisch anschließend über einen Festbettkatalysator zu leiten, um die Schadstoffe zu unschädlichem Stickstoff zu reduzieren (Bild 1). Dieses DeNO_x -Verfahren wird als selektive katalytische Reduktion bezeichnet und hat breite Akzeptanz gefunden.

Die Größe der Reaktionskammer – und damit die Investitionskosten des Betreibers – hängt von den jeweiligen gesetzlichen Bestimmungen und der Qualität der Aufbereitung der Ausgangsstoffe ab. Sulzer Chemtech verfügt über

zuverlässige Komponenten und ein bewährtes Anlagendesign, das seit über 15 Jahren in mehr als 50 Anlagen erfolgreich zum Einsatz gekommen ist (Bild 2).

Im Allgemeinen werden an DeNO_x-Anlagen drei Hauptanforderungen gestellt:

- ▶ Maximale NO_x-Reduktion gemäß dem aktuellen Stand der Technik und bei annehmbaren Kosten (Mindestrate für die Stickoxidminderung: 90%)
- ▶ Minimale Ammoniakemissionen (< 2 ppm), um Umweltverschmutzung durch Teilchen zu verhindern, die chemisch nicht reagiert haben
- ▶ Minimaler Druckverlust, um größere Nachrüstungen an den Gebläsen bestehender Abgassysteme zu vermeiden, die mit einer DeNO_x-Anlage ergänzt wurden

Bild 3 zeigt eine schematische Darstellung der Aufbereitung der Verbrennungsgase, der Ammoniakbeimischung und der katalytischen Reduktion am Festbettkatalysator.

Homogenisierung der Verbrennungsgase

Bei der Entstickung von Rauchgasen treten die folgenden vier Hauptschwierigkeiten auf:

- ▶ Große Strömungs- und Geschwindigkeitsunterschiede der einströmenden Gase wirken sich auf deren Verweildauer am Katalysator aus und rufen unterschiedliche Umsetzungen bei der NO_x-Reduktion hervor. Außerdem können unterschiedliche Geschwindigkeiten zwischen Eintrittsstelle und Katalysatoroberfläche zur Ablagerung von Verbrennungsrückständen und zu Abrasion führen.



1 Die chemische Reaktionsgleichung zeigt, wie NO_x in Verbrennungsgasen unter Einsatz von Ammoniak eliminiert werden kann.

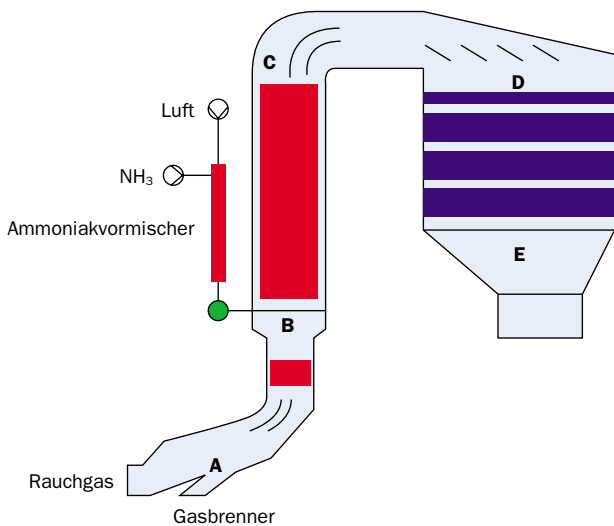
▶ Wenn die NO_x-Konzentration in den einströmenden Verbrennungsgasen stark schwankt, lässt sich das in der stöchiometrischen chemischen Gleichung (Bild 1) vorausgesagte Verhalten nur schwer aufrechterhalten. Es ist in diesem Fall schwierig, die Ammoniakmenge, die zugesetzt, effizient verdampft und gleichmäßig im Gas verteilt werden muss, exakt zu bestimmen (Bild 3, Punkt B). Da einem sehr großen Gasvolumen eine nur sehr geringe Ammoniakmenge zugesetzt werden muss, sollte der Gasstrom möglichst homogen sein.

▶ Große Temperaturunterschiede in den einströmenden Verbrennungsgasen sind an sich schon problematisch. Verschärft wird dieses Problem aber noch, wenn die Gase mit Hilfe eines Gasbren-

ners zuerst auf die für die katalytische Reduktion erforderliche Temperatur gebracht werden müssen (Bild 3, Punkt A). Sobald die heißen Verbrennungsgase nach der Ammoniakbeimischung Punkt D erreichen, sollten im Idealfall ihre Konzentrations-, Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilung konstant sein. Nur so sind eine einheitliche Verweildauer im Katalysatorbett zwischen Punkt D und Punkt E und damit eine einheitliche Umsetzungsrate bei der katalytischen Reduktion gewährleistet. Darüber hinaus lassen sich mit konstanten Temperaturen Hitzespitzen am Katalysator vermeiden und die Lebensdauer des Katalysators verlängern. Messungen in Großanlagen haben gezeigt, dass eine proportionale Abhängigkeit zwischen der Abweichung vom

2 Im 306-MW-Kraftwerk Cayuga der AES Corporation in den USA werden stündlich 700 Tonnen Rauchgase gereinigt, und zwar mit der DeNO_x-Technologie von Sulzer Chemtech für das Einspritzen von Ammoniak und die Stabilisierung der Strömung (rechts: Installation eines SMV-Mischers).





3 Schematische Darstellung einer typischen DeNO_x-Anlage. Nachdem an Punkt A die Temperatur eingestellt worden ist, erfolgt an Punkt B die Ammoniakbeimischung. Von Punkt C strömt das Gemisch an Leitblechen entlang zum Punkt D, wo es in das Katalysatorbett eintritt. Punkt E ist der Austrittspunkt.

Idealgemisch am Eintrittspunkt (Punkt D) und der nicht umgewandelten NO_x-Menge am Austrittspunkt (Punkt E) besteht.

► In großtechnischen Anlagen kann der Durchsatz mehrere tausend Tonnen sehr heiße, staubhaltige Verbrennungsgase pro Stunde erreichen. Unter solchen Bedingungen ist es aufgrund der großen Abmessungen der Gaskanäle, der rechteckigen Querschnitte, der starken Krümmungswinkel und der unterschiedlichen Querschnittsflächen schwierig, Mischungsverhältnis und Strömungsverhalten zu optimieren. Außerdem ist der zur Homogenisierung dienende Abschnitt des Gaskanals in der Regel sehr kurz.

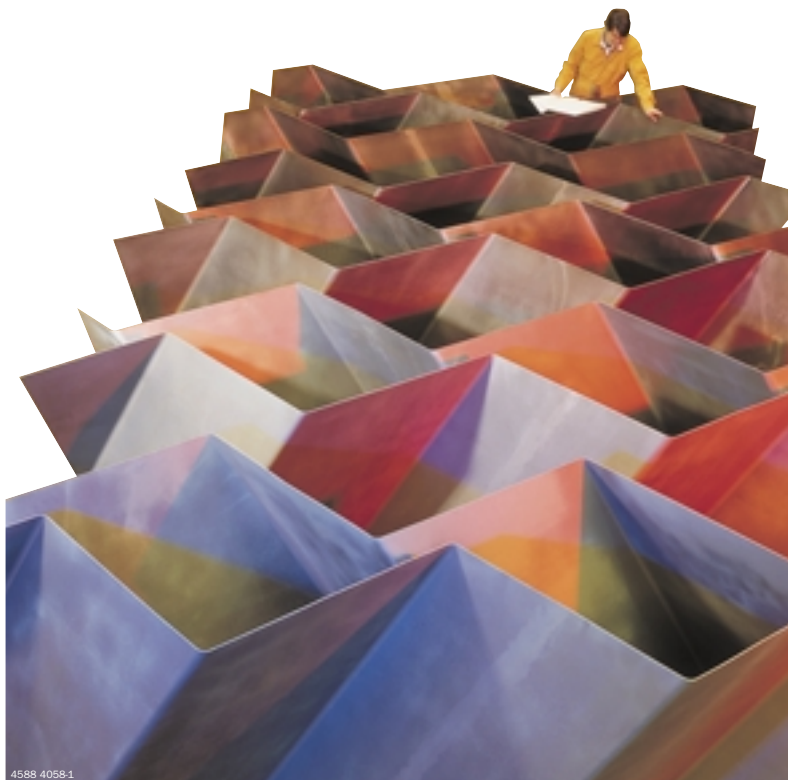
Grundprinzipien des Mischens

Nachdem eine einheitliche Temperatur und die Stabilisierung des Hauptstromes erreicht worden sind (Abschnitt A–B in Bild 3),

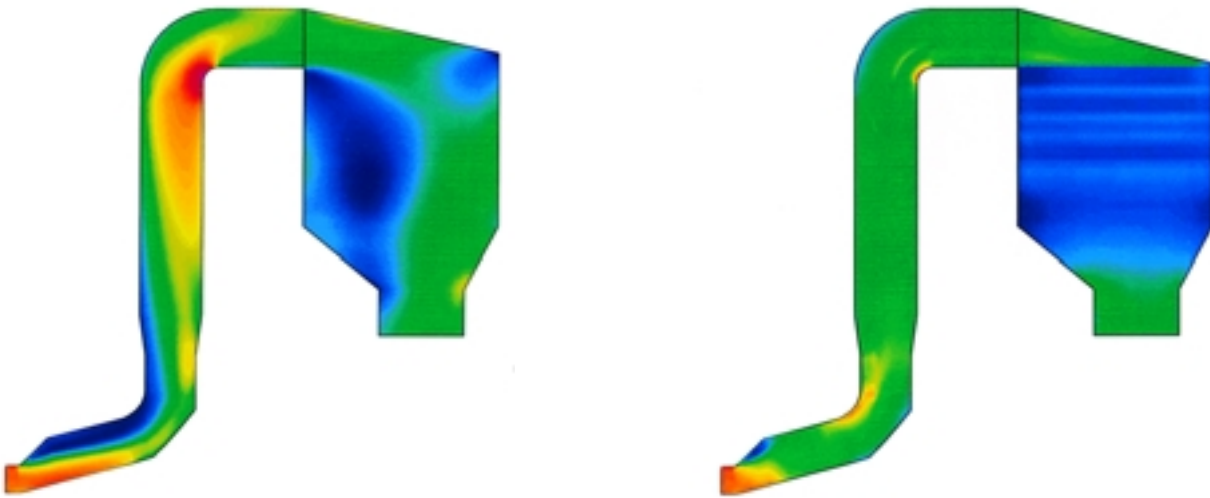
kommt es zur Beimischung, Verdampfung und Verteilung einer geringen Ammoniakmenge in einem sehr großen Verbrennungsgasvolumen. In einem speziell konstruierten Vormischer wird das Ammoniak in einem Nebenstrom mit Verbrennungsgas oder Frischluft verdünnt, um ein günstigeres Mischverhältnis zu erreichen und den Mischvorgang zu vereinfachen. Eine Einspritzvorrichtung bei Punkt B leitet das Ammoniak ein und verteilt es auf der Oberfläche des nachgeschalteten statischen Mischers (Bild 4). Möglich wird die perfekte Mischung bei geringem Druckverlust durch die Kenntnis der Prinzipien des Mischens und die Ausnutzung von Scherkräften, die beim Durchströmen durch das Gemisch entstehen und spezielle Mikro- und Makroturbulenzen hervorrufen.

Designoptimierung durch Strömungssimulation

Die aufbereiteten Verbrennungsgase sind unter Beibehaltung konstanter Geschwindigkeitsprofile durch die Haube der Reaktionskammer zu leiten, wobei die Strömung am Eintrittspunkt ganz nach unten gerichtet sein muss. In der Praxis ist das nur relativ schwierig zu erreichen, da Gaskanäle und Hauben die unterschiedlichsten Geometrien aufweisen. Um nun nicht empirisch vorgehen oder sich auf Vermutungen



4 Der SMV-Mischer von Sulzer Chemtech gewährleistet eine gründliche Durchmischung über den gesamten Querschnitt hinweg und weist bei kurzen Mischungsabschnitten sehr geringe Druckverluste auf.



5 Numerische Strömungssimulation für die Verbrennungsgaskanäle und die Haube der Reaktionskammer (links: ohne statische Mischer; rechts: mit statischen Mixern). Durch die Mischer entsteht eine gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung (gleicher Farbton), wodurch eine optimale Reduktion der Stickoxide erreicht wird.

stützen zu müssen, vertraut man bei Sulzer Chemtech auf die numerische Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics; Bild 5). Die Berechnungen werden durch ein Team erstklassiger Spezialisten von Sulzer Innotec (dem Bereich für Innovation, Forschung und Entwicklung sowie spezialisierte Dienstleistungen in Technologie und Produktion) durchgeführt. Die verwendete Methode basiert auf der Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen für drei Dimensionen und zweier Turbulenzgleichungen unter Anwendung der Finite-Volumen-Methode.

Prozessgarantien

Aus den Berechnungen ergibt sich die optimale Geometrie der Haube, die anhand sorgfältig konstruierter Modelle geprüft wird. Ziel ist es, die Berechnungen zu verifizieren, die Effizienz des Mixers zu optimieren und durch die abschließende Festlegung des Designs der Leitbleche in der Haube der Reaktionskammer die Geschwindigkeitsverteilung zu ver-

bessern. Die Modelle haben in der Regel den Maßstab 1:10. Die simulierten Strömungsverhältnisse kommen dabei den realen Verhältnissen sehr nahe, da die Reynoldszahl in dem Modell auf einem Drittel des Wertes der realen Anlage gehalten und dennoch ein turbulenter Strömungszustand beibehalten werden konnte. Die Geschwindigkeiten werden so eingestellt, dass sie denjenigen in der realen Anlage entsprechen. Der Versuch ermöglicht ganz allgemein die Feinabstimmung des endgültigen Designs, sodass den

Anlagenbetreibern Prozessgarantien gegeben werden können.

Sulzer Chemtech bietet kundenspezifische Lösungen für jede neue Anwendung an und kann sich dabei auf die mit 50 Anlagen gesammelten Erfahrungen stützen. Um zeitaufwändige und kostenintensive Modellversuche zu vermeiden, kombiniert Sulzer Chemtech die Prinzipien des Mischens mit der Simulation von Strömungen und der Infrastruktur zur Durchführung überzeugender Versuche an Modellen mit handlichen Abmessungen. ◀

▶ KONTAKT IN DEN USA

Sulzer Chemtech USA Inc.
Mughis Naqvi
6501 Coventry Way
Mount Laurel, NJ 08054
USA
Telefon +1 (1)856-642 72 03
Telefax +1 (1)856-642 72 04
E-Mail mughis.naqvi@sulzer.com

▶ KONTAKT AUSSERHALB DER USA

Sulzer Chemtech AG
Werner Koller
Postfach 65
CH-8404 Winterthur
Schweiz
Telefon +41(0)52-262 61 49
Telefax +41(0)52-262 00 69
E-Mail werner.koller@sulzer.com