

Turbulentes Mischen in DeNOx-Anlagen

Quantitative Vorhersage durch Simulation der Mischprozesse



Dr. Torsten Wintergerste
ist Leiter Strömungstechnik bei

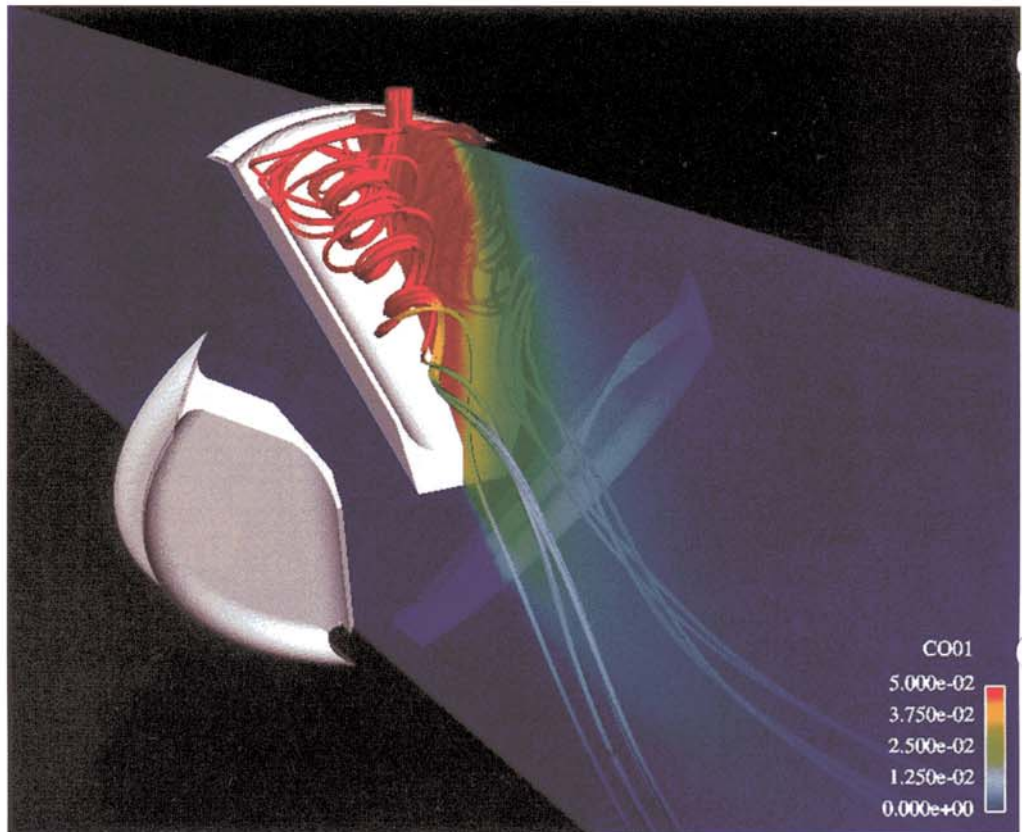
Sulzer Innotec
Sulzer Markets and Technology Ltd.
CH-8401 Winterthur
Fax: 0041/52/262 0154
torsten.wintergerste@sulzer.com
www.innotech.ch



Dr. Sabine Sulzer
ist Projektleiterin bei

Sulzer Innotec
Sulzer Markets and Technology Ltd.
CH-8401 Winterthur
Fax: 0041/52/262 0154
sabine.sulzer@sulzer.com

Designer von Industrieanlagen müssen eine bestimmte Effizienz garantieren. In DeNOx-Anlagen hat beispielsweise der Mischprozess einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz der Anlage. Sulzer Innotec kann bei der Simulation von turbulenten Mischern auf eine langjährige Erfahrung zurückblicken, die es ihnen ermöglicht, eine quantitative Vorhersage für solche Anwendungen zu treffen.



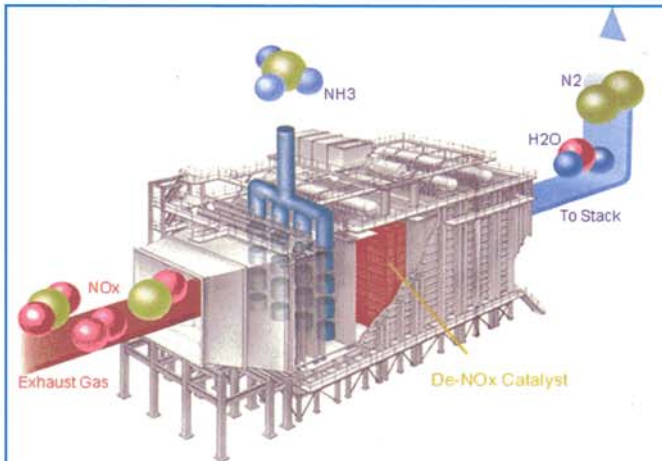
Compact-Mischer von Sulzer Chemtech mit Strömungsfeld

Sabine Sulzer und Torsten Wintergerste In den letzten Jahrzehnten ist die Luftverschmutzung zu einem globalen Umweltproblem geworden. Von Wärmekraftwerken emittierte Stickstoffoxide können in DeNOx-Anlagen durch Zugabe von Ammoniak und mit der Hilfe eines Katalysators in harmlosen Stickstoff (N₂) und Wasser (H₂O) umgewandelt werden. Beim Design des Reaktors ist ein gleich-

mäßiger Gasstrom wichtig, um die DeNOx-Leistung zu verbessern und die Erosion sowie Verstopfung des Katalysators mit Staub zu verhindern. Eine gleichmäßige Verteilung des eingebrachten NH₃ ist für eine effiziente Entstickung ebenfalls wichtig. Numerische Simulationen können helfen, den Vermischungsprozess zu optimieren und somit die Effizienz einer DeNOx-Anlage zu erhöhen.

Turbulentes Mischen

Seit vielen Jahren werden von Sulzer Chemtech statische Mischer entwickelt, darunter verschiedene Typen wie SMI-, SMV- und Compact-Mischer. Die Optimierung solcher statischer Mischer in Bezug auf die Mischgüte und den Druckverlust wird von Sulzer Innotec mit numerischen Strömungssimulationen unterstützt. Messungen wur-



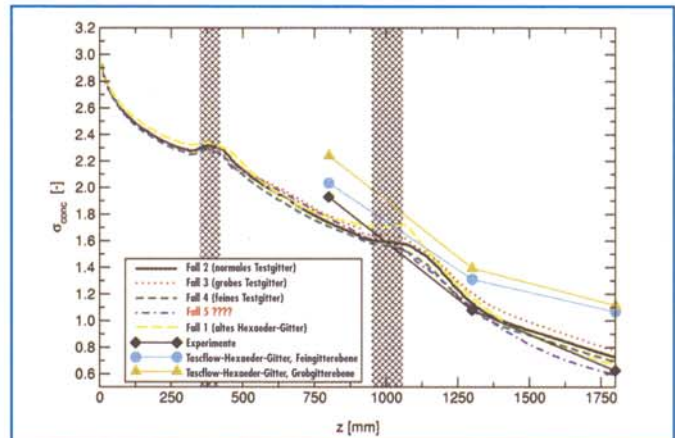
Schematische Darstellung einer DeNOx-Anlage

den für die verschiedenen Mischer bei unterschiedlichen Strömungsbedingungen von Sulzer Chemtech durchgeführt. Dies ermöglicht Validierungen in Bezug auf die Gittertopologie, die Gitterauflösung, sowie auch in Bezug auf Turbulenzmodelle, Schmidt-Zahl usw.

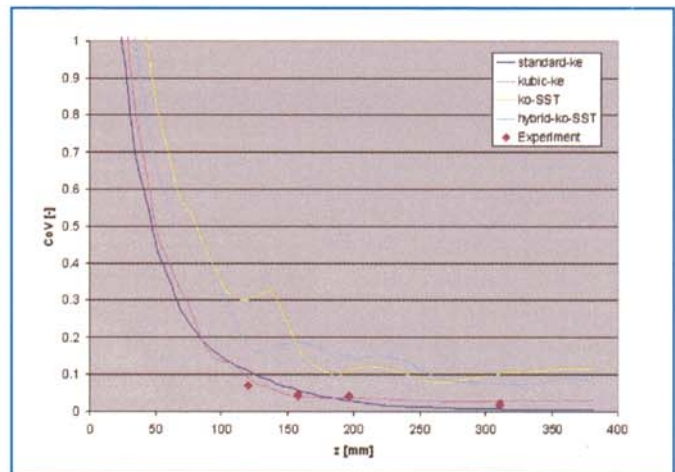
Es wurden umfassende Validierungen an einem einzelnen Mischgerät mit zwei SMV-Mischelementen durchgeführt. Numerische Simulationen wurden auf verschiedenen Gittern - drei Tetraeder-Gitter und zwei Hexaeder-Gitter mit verschiedenen Auflösungen - ausgeführt. Zwecks Vereinfachung wurde ein Indikator mit identischen Eigenschaften wie das Trägergas in den oberen Teil des Einlasses injiziert. Die Standardabweichungen des Indikators in Querschnitten entlang der Hauptströmungsrichtung wurden mit den Messungen verglichen. Die in der Abbildung oben rechts dargestellten Ergebnisse dieser Untersuchung lassen erkennen, dass die gemessenen Standardabweichungen rechnerisch reproduziert werden können. Allerdings ist auch eine Gitterabhängigkeit zu beobachten, was die Bedeutung der Wahl der richtigen Auflösung für den entsprechenden Gittertyp erkennen lässt.

Die Empfindlichkeit der Ergebnisse der Simulationen des Mischprozesses auf die Wahl des Turbulenzmodells wurde am Compact-

Mischer von Sulzer Chemtech untersucht. Der Mischer besteht aus drei in einem Kanal angeordneten Leitblechen. Die Dosierstelle befindet sich im Nachlauf hinter dem mittleren Leitblech. Die getesteten Turbulenzmodelle waren das Standard- und das kubische $k-\epsilon$ -Modell sowie das $k-\omega$ -SST-Modell. Das $k-\omega$ -SST-Modell wurde sowohl als Low-Reynoldszahl-Formulierung als auch mit der hybriden Wandfunktion eingesetzt. Der Vergleich der Mischgüte (Standardabweichung der Konzentration im Querschnitt geteilt durch die mittlere Konzentration) konnte am besten mit den Simulationen, die die $k-\epsilon$ -Modelle verwenden, wiedergegeben werden. Das kubische $k-\epsilon$ -Modell zeigte Instabilitäten in einem Abstand von ca. 100 Millimeter hinter den Platten. Trotzdem war die Übereinstimmung weiter stromabwärts besser als bei den Simulationen, in denen das Standard- $k-\epsilon$ -Modell verwendet wurde. Die Instabilitäten bei den Simulationen mit dem $k-\omega$ -SST-Modell waren größer, was zu einem nicht-physikalischen Anstieg des Mischgüte stromabwärts führte. Diese Instabilitäten können auch auf instationäre Phänomene im Mischprozess hinweisen, die mit den stationären Berechnungen nicht erfasst werden können. Neue Laserinduzierte Fluoreszenz (LIF) Messungen in ähnlichen Mixern (SMI-Mixern) zeigten das insta-



Validierung von CFD für SMV-Mixgeräte (Veränderung des Rechengitters). Vergleich der Standardabweichung.



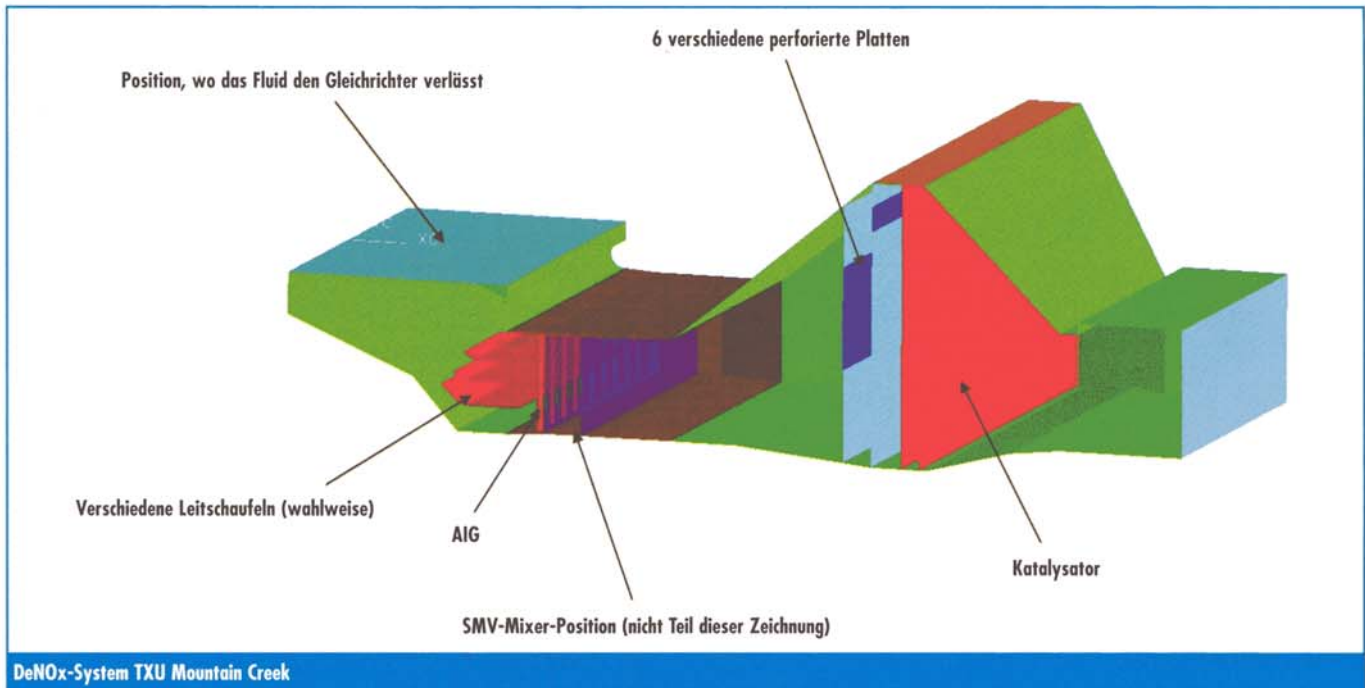
Validierung der CFD für Compact-Mischer (Variation der Turbulenzmodelle). Vergleich des „Abweichungskoeffizienten“.

tionäre Verhalten. Eine noch andauernde Studie untersucht das instationäre Verhalten und weitere Turbulenzmodelle in Sulzer-Mixern mittels numerischer Simulationen.

Die an verschiedenen Mixern durchgeführten Validierungen zeigen, dass turbulentes Mischen quantitativ vorhersagbar ist. Sie verdeutlichen jedoch auch die Wichtigkeit der Erzeugung eines passenden Gitters und die Verwendung eines geeigneten Turbulenzmodells. Instationäre Effekte müssen gegebenenfalls berücksichtigt werden.

Mischen in DeNOx-Anlagen

Der Mischprozess spielt eine Schlüsselrolle beim Design einer DeNOx-Anlage, da er einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz der Anlage hat. Das Design basiert normalerweise auf einem Modell, um die vertraglich zugesagte Mischgüte zu garantieren. Numerische Simulationen der gesamten Anlage unterstützen den Designprozess. Das hier gezeigte Beispiel ist das DeNOx-System TXU in Mountain Creek. Dieses System besteht aus



DeNOx-System TXU Mountain Creek

Leitschaufeln, einem Ammoniak-Injektionsgitter und dem SMV-Mischer. Sechs verschiedene perforierte Platten wurden direkt stromaufwärts vom Katalysator angebracht. Der Katalysator selbst wurde mit einem porösen Volumen approximiert, das den korrekten Druckverlust berücksichtigt. In dieser Simulation wurden keine chemischen Reaktionen berücksichtigt. Die Simulationen wurden

für verschiedene Betriebsbedingungen durchgeführt. Die untersuchten Parameter waren die NH_3 -Verteilung in einem stromaufwärts vom Katalysator gelegenen Querschnitt, wie auch der Druckabfall über die Anlage. Anpassungen konnten an den Leitschaufeln und dem Mischer vorgenommen werden, um einen minimalen Druckabfall für die erforderliche NH_3 -Verteilung zu erhalten.

Schlussfolgerungen

Unsere Erfahrung mit der Simulation des turbulenten Mischens erlaubt uns, für Anwendungen wie DeNOx-Systeme quantitative Vorhersagen zu treffen. Eine schnelle Gittergenerierung ist für die komplexen Geometrien von DeNOx-Systemen sehr wichtig, einschließlich Hybrid-Methoden mit Gittern bestehend aus Hexaedern / Pris-

men / Tetraedern und Pentaedern. Die Generierung von pro-STAR-Gittern ist sinnvoll, wenn parallele wandnahe Schichten zur verbesserten numerischen Behandlung der Grenzschicht nicht berücksichtigt werden müssen. Instationäre Effekte im turbulenten Mischprozess gewinnen an Bedeutung und sind Teil einer laufenden Untersuchung.