



# Ohne Flamme!



Weniger Schadstoffe –  
Die Verbrennungssimulation  
zeigt, wie es geht

Von Dr. Harald Schütz, Guido Schmitz und Dr. Oliver Lammel

Ein wichtiger Aspekt bei der Optimierung technischer Verbrennungsprozesse ist die Reduzierung der Schadstoffemission. Dabei geht es vor allem um die Entstehung von Stickoxiden ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) und Kohlenmonoxid  $\text{CO}$  (bei fossilen Brennstoffen). Zum Verständnis der Bildungsmechanismen dieser Stoffe kann die rechnerische Simulation wesentliche Beiträge leisten.

Eine Form der Verbrennung, die auf Grund extrem niedriger Schadstoffemissionen in den vergangenen Jahren an Interesse gewonnen hat, ist die so genannte „flammenlose“ Verbrennung – zunächst ein Widerspruch in sich. Zu verstehen ist das so, dass eine Flamme zwar existent, aber auf den ersten Blick mit dem Auge nicht zu erkennen ist. Eine derart schwache Emissionsintensität sichtbaren Lichts deutet ihrerseits auf sehr geringe Verbrennungstemperaturen im Bereich von 1.700 Kelvin bis 1.800 Kelvin (also etwa 1.500 Grad Celsius) hin, womit bereits eine Grundvoraussetzung für niedrige Schadstoffbildungsrate erfüllt wird. Um die Verbrennung bei diesen relativ niedrigen Temperaturen zu betreiben, wird der Prozess durch einen entsprechenden Überschuss an Verbrennungsluft sozusagen von innen her gekühlt.

Ein wichtiger Vertreter der flammenlosen Verbrennungen ist der FLOX®-Brenner (FLameless OXidation) der Firma WS Wärmeprozessestechnik GmbH, ein Kooperationspartner des DLR. Neben geringen Emissionswerten zeichnet sich der FLOX®-Brenner insbesondere durch eine sehr einfache und damit kostengünstige Bauweise aus. Dabei wird ein Brennstoff/Luft-Gemisch durch zwölf auf einem konzentrischen Kreis angeordnete Brenner axial und unverdrallt in den

zylindrischen Brennraum eingespritzt. Die Besonderheit der FLOX®-Verbrennung liegt nun darin, dass dies mit einer derart hohen Geschwindigkeit erfolgt, dass sich die Flammenfront auf Grund chemischer Nichtgleichgewichtseffekte weit stromab in den Brennraum hinein ausbreitet und über einen relativ großen räumlichen Bereich verteilt. Damit verbleibt eine genügend große Zeitspanne, um den turbulent diffusiven Mischungsprozess von Brennstoff und Luft, vor Einsetzen der chemischen Reaktionen, nahezu vollständig abzuschließen. Das Ergebnis ist eine sehr homogene Temperaturverteilung im Brennraum auf einem niedrigen Niveau.

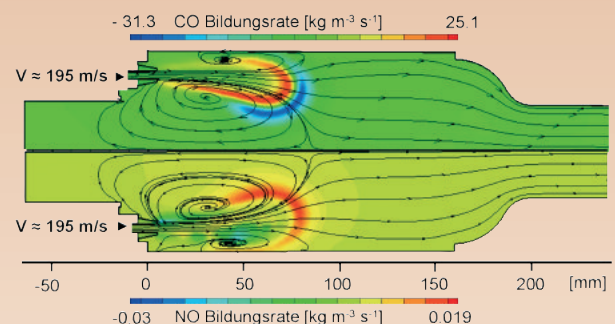
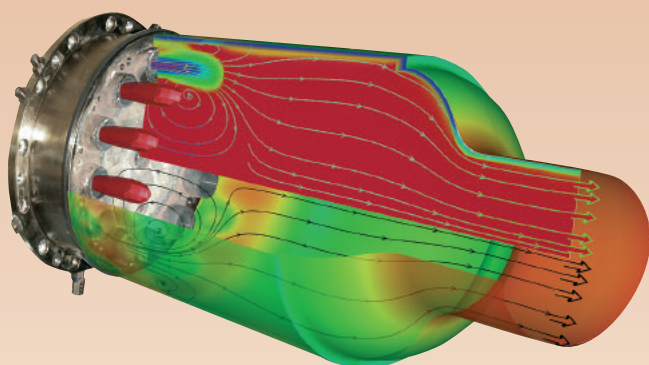
Im Allgemeinen ist der Verbrennungsprozess durch eine Vielzahl von chemischen Elementarreaktionen definiert, in denen jeweils auf molekularer Ebene der chemische Umsatz der Reaktionspartner einem spezifischen zeitlichen Verlauf in Abhängigkeit zur Temperatur folgt. Dies muss in der numerischen Simulation umso mehr Berücksichtigung finden, je mehr chemische Nichtgleichgewichtseffekte, wie in der FLOX®-Verbrennung, eine Rolle spielen. Im Besonderen gilt diese Aussage für die seriöse Vorhersage der Schadstoffbildung. In den Simulationen kommt der DLR-Verbrennungscode IGNIS

zum Einsatz, der die Einbeziehung beliebig komplexer Reaktionsschemata in den Lösungsprozess erlaubt. Im Falle der hier betrachteten Erdgasfeuerung ist dies der so genannte GRI3.0-Mechanismus. Er umfasst 325 Elementarreaktionen und 53 Spezies. Die gekoppelte Berechnung von dreidimensionaler Strömung mit einem umfangreichen chemischen System stellt hohe Anforderungen an Genauigkeit und Stabilität des Simulationscodes und ist in dieser Komplexität erstmalig im DLR durchgeführt worden.

Der FLOX®-Brenner ist auch weiterhin Gegenstand sowohl experimenteller als auch rechnerischer Untersuchungen im Institut für Verbrennungstechnik des DLR. Denn seine Tauglichkeit für den Einsatz im Bereich der Hochdruckverbrennung in Gasturbinenbrennkammern ist inzwischen nachgewiesen und es ist gelungen, grundlegende Verbesserungen und Weiterentwicklungen auf der Basis numerischer Simulationen zu erzielen. Die Arbeiten führten bisher zu zwei Patenten.

#### Autoren:

Dr. Harald Schütz, Guido Schmitz und Dr. Oliver Lammel sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut für Verbrennungstechnik des DLR in Stuttgart.



FLOX®-Brennkammer: - zylindrischer Brennraum  
 - Anordnung von zwölf Brennern auf einem konzentrischen Kreis um die Brennkammerachse  
 - axiale, unverdrallte Eindüsung eines Brennstoff/Luft-Gemisches durch die Brenner

links: berechnete Stömungs- und Temperaturverteilung,  
 rechts: berechnete CO- und NO-Bildungsraten auf einem Längsschnitt.

# So nah am Feuer



Effiziente Kraftwerks-  
technologie durch  
neues Design des  
Verbrennungsprozesses

Im oberbayerischen Irsching wird derzeit eine Gasturbine der neuesten Generation in Betrieb genommen. Sie wird im kombinierten Gas & Dampf-Prozess einen Wirkungsgrad von 60 Prozent erreichen. Ein Spitzenwert, auf den der Bauherr, die SIEMENS AG, zu recht stolz ist. Bei den Tests der Verbrennungskonzepte kooperiert das Unternehmen mit dem DLR. Beide Partner eint das Ziel, effizientere und schadstoffärmere Kraftwerke zu entwickeln. Die Herausforderung dabei wird in folgendem Artikel aus Sicht des Unternehmens beschrieben. Autor ist **Dr. Werner Krebs, SIEMENS AG, Energy Sector Fossil Power Generation Division**.

Das neue Gas & Dampf-Kraftwerk, kurz GuD-Kraftwerk, ist das effizienteste weltweit und kann als Meilenstein auf dem Weg der Reduktion von Kohlendioxid-Emissionen angesehen werden. Hohe Effizienz ist entscheidend, um Strom auch dann noch zu vertretbaren Preisen anbieten zu können, wenn im Prozess das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aufwändig abge-

schieden wird. SIEMENS ist bestrebt, die Wirkungsgrade der zukünftigen Kraftwerksgenerationen weiter zu erhöhen. Darüber hinaus ist es aber auch notwendig, Gasturbinen auch mit anderen Brennstoffen wie Synthesegasen, die aus der Kohlevergasung erzeugt werden, oder Wasserstoff zu betreiben. Der Wasserstoff wird in diesem Fall aus Synthesegas

oder Erdgas gewonnen, wobei der Kohlenstoffanteil des Brenngases als CO<sub>2</sub> zuvor abgeschieden wird.

Die Verbrennungstechnologie für Gasturbinen spielt dabei eine Schlüsselrolle. Die Verbrennung in hocheffizienten Gasturbinen, die durch hohe Temperaturen und hohe Druckverhältnisse gekennzeichnet sind, muss

über einen weiten Betriebsbereich stabil geführt werden. Hinzu kommt, dass die Reaktivität des Verbrennungsgemisches mit Erhöhung des Wasserstoffanteils stark zunimmt, was bei der Auslegung der Gasturbinenbrennkammer berücksichtigt werden muss.

Deshalb wird bei SIEMENS intensiv an der Entwicklung neuartiger Verbrennungskonzepte gearbeitet und die Eignung für die zukünftigen Anforderungen in Gasturbinen-Kraftwerken der nächsten Generation geprüft. In diesem Zusammenhang ist für die SIEMENS AG die Zusammenarbeit mit dem DLR sehr wichtig. Ziel der Kooperation ist eine neue Verbrennungstechnologie mit FLOX-Brenner. Die Arbeiten erfahren im Rahmen des COORETEC-Verbundes Förderung durch das Bundeswirtschaftsministerium.

Bei diesem neuen Verbrennungskonzept saugen Brennstoffgemischstrahlen ein mit hohem Impuls reagiertes heißes Gasgemisch an, wodurch die Flamme stabilisiert wird. Im Gegensatz zu traditionellen Verbrennungssystemen, die durch eine Drallströmung stabilisiert werden, verspricht dieses Konzept durch die hohe Turbulenzintensität in der Verbrennungszone und die rückströmfreie Vormischzone eine hohe Verbrennungsstabilität.

Darüber hinaus bietet das DLR einen Versuchsstand, in dem solche neuartigen Verbrennungskonzepte im Labormaßstab unter gasturbinenähnlichen Bedingungen getestet werden können. Durch die Verwendung der optischen Diagnostik kön-

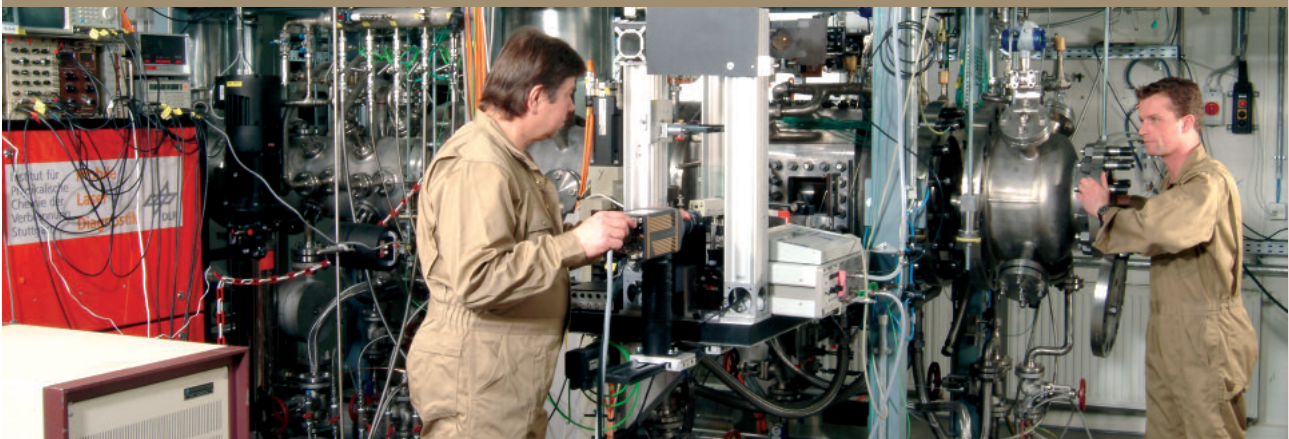
nen dabei die Flammenstabilisierung genau analysiert und entsprechende Designregeln erstellt werden. Im modernen Designprozess kommen zudem verstärkt mehrdimensionale numerische Berechnungsmethoden zum Einsatz. Damit lassen sich Verbrennungsprozesse bis tief in ihre Einzelheiten auflösen.

Das DLR leistet bei der Entwicklung dieser Designmethoden wertvolle Beiträge, so zur Beschreibung des Flammenfortschritts, der Stickoxidemissionen oder der instationären Flammenphänomene. Die Methoden werden schließlich eingesetzt, um aus einem Verbrennungskonzept, das sich im Labormaßstab bewährt hat, eine funktionsfähige Gasturbinenbrennkammer auszulegen.

COORETEC ist eine Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Die Abkürzung steht für CO<sub>2</sub>-Reduktionstechnologien in Kraftwerken. In gemeinsamen Projekten von Industrie und Forschung geht es um die Entwicklung eines zukunftsfähigen Kraftwerks auf Basis fossiler Brennstoffe. Dabei werden zwei Strategie-Linien verfolgt:

- Technologien zur Wirkungsgradsteigerung von Kraftwerken
- Technologien zur Abscheidung und zum Transport von CO<sub>2</sub> mit dem Ziel einer langfristigen und sicheren Speicherung in geologischen Formationen.

[www.cooretec.de](http://www.cooretec.de)



Am Hochdruckprüfstand HBK-S des Instituts für Verbrennungstechnik in Stuttgart werden neue und innovative Brenner- und Brennkammerkonzepte unter technisch relevanten Bedingungen getestet.