

Link

[www.td.mw.tum.de](http://www.td.mw.tum.de)





# Simulation statt Trial and Error

TUM-Wissenschaftler erforschen Prozesse, die bei der Verbrennung in Gasturbinen ablaufen, und entwickeln Simulationsmodelle, mit denen die Hersteller ihre Anlagen effizienter, sicherer und umweltfreundlicher machen können



**Rotor einer Kraftwerksgasturbine** mit etwa 280 Megawatt Leistung. Dazwischen befindet sich nach dem Zusammenbau die Ringbrennkammer, wo der Brennstoff mit der auf etwa 20 bar verdichteten Luft mit einer Gesamtleistung von rund 700 MW verbrannt wird

Foto: ALSTOM



**Prüfstand mit gasturbinentypischen Bedingungen** bei einer Leistung von bis zu 2000 Kilowatt und Drücken bis 2,5 bar. Hier untersuchen die Forscher die Grundlagen von Verbrennungsinstabilitäten in Ringbrennkammern und validieren die Qualität ihrer Analysemethoden

Foto: TUM



Foto: ALSTOM

**Kombi-Cogeneration-Kraftwerk Termobahia**, Brasilien, das Strom und Dampf für die angeschlossene Raffinerie erzeugt. Die wechselnde Qualität des hier eingesetzten Brennstoffs erfordert eine hohe Stabilität des Verbrennungssystems – daran forschen die TU-Wissenschaftler



Foto: ALSTOM

**Blick in die Ringbrennkammer** einer modernen Kraftwerksgasturbine. Die Wände sind mit keramischer Wärmedämmung ausgerüstet, die hohe Betriebstemperaturen und damit eine hohe Effizienz ermöglicht. Die steigenden Temperaturen erhöhen die Neigung zur Instabilität

Brennstofflanze

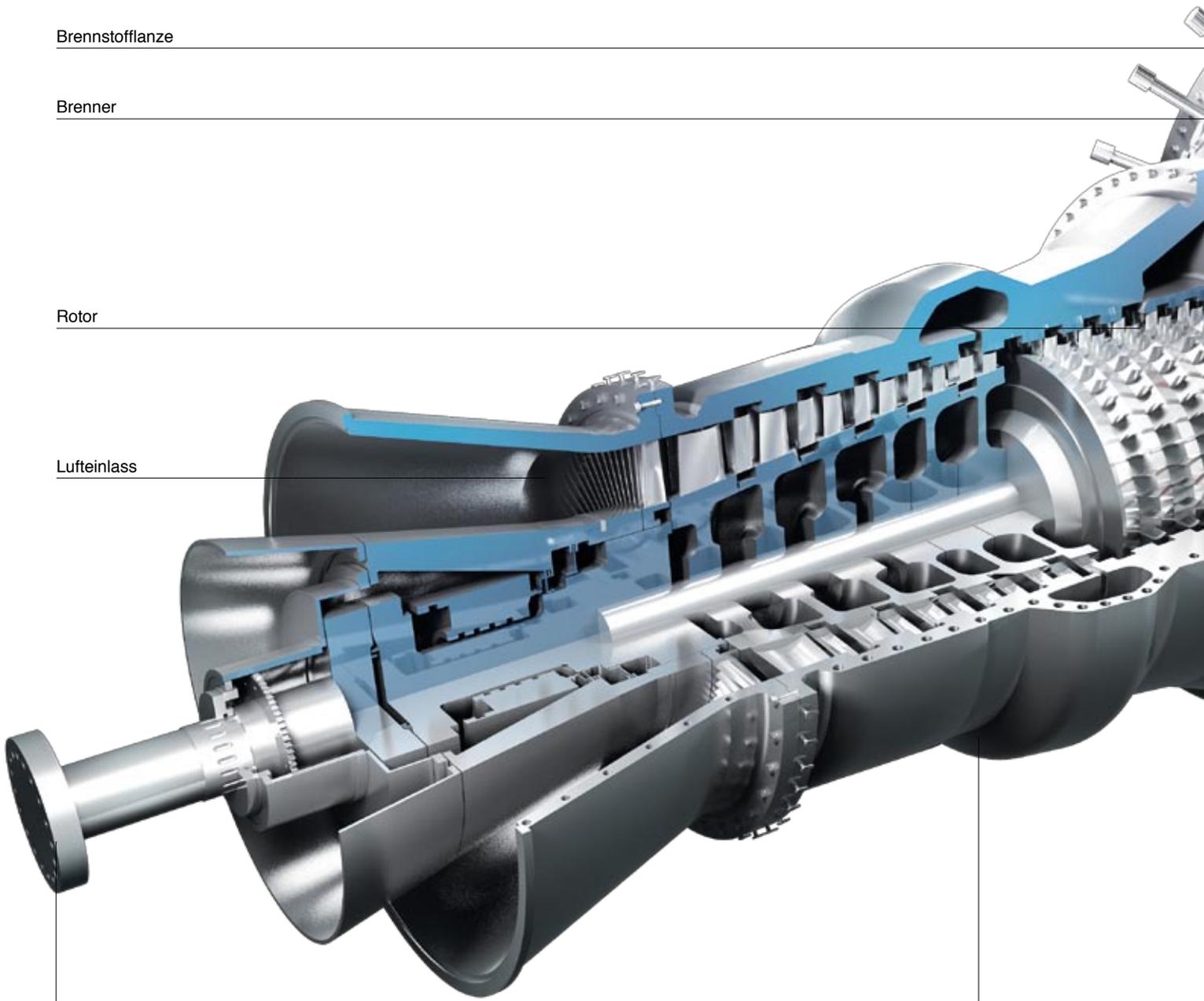
Brenner

Rotor

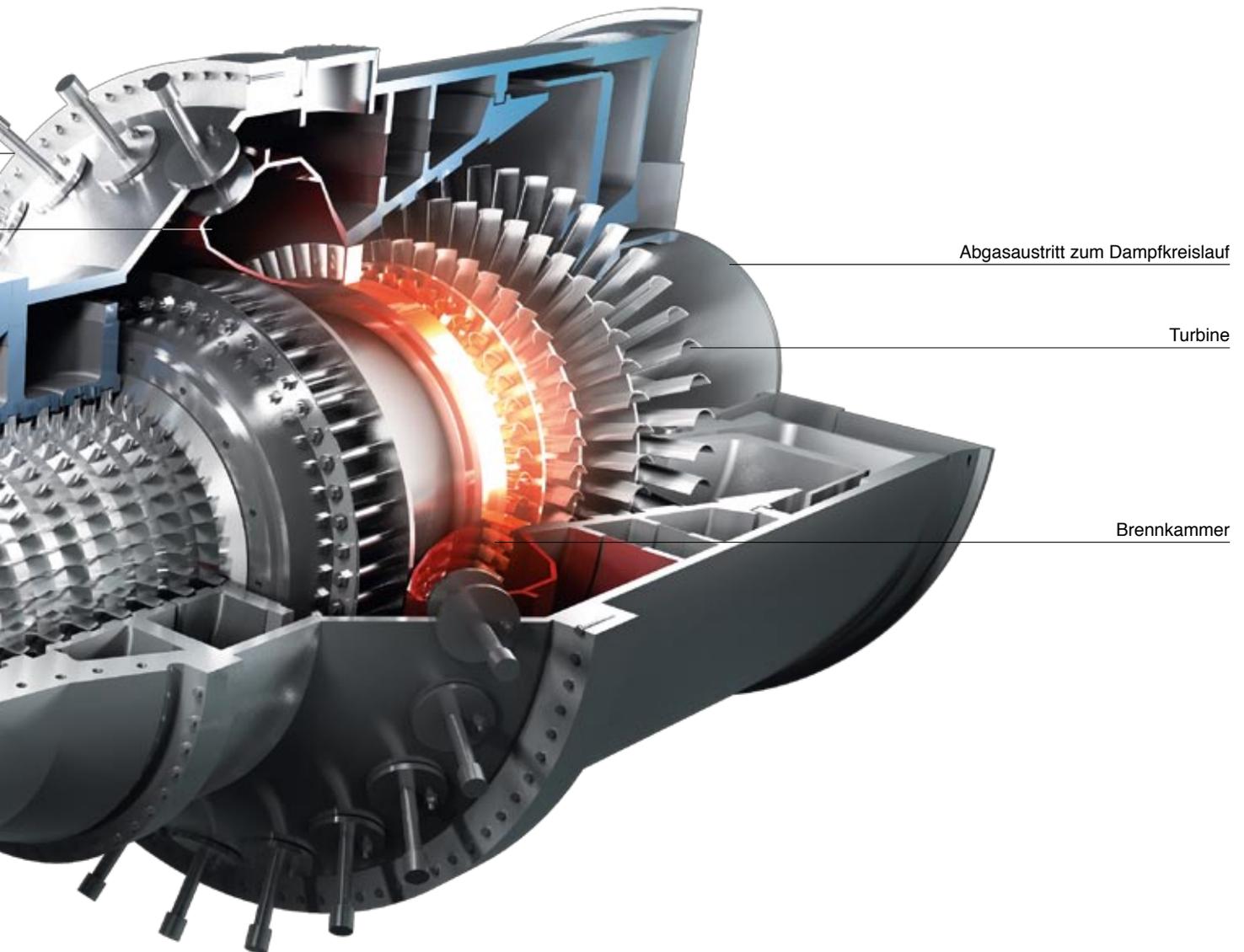
Luftreinlass

Welle zum Generator

Kompressor

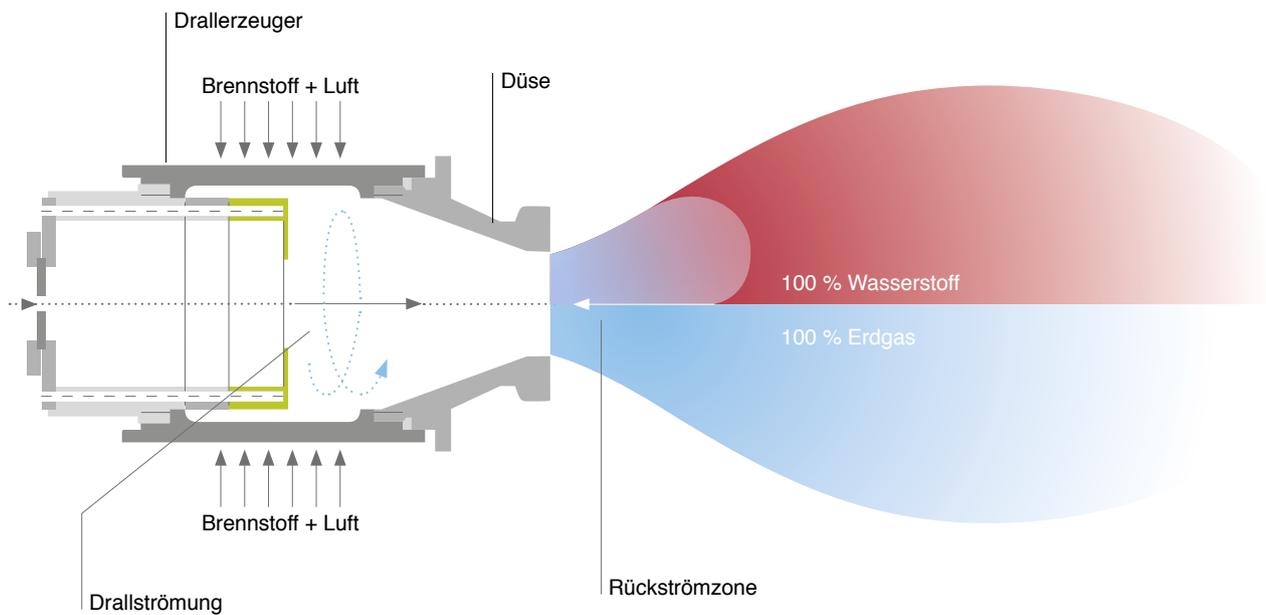


**Schnittbild einer Kraftwerksgasturbine** im 280-Megawatt-Leistungsbereich. Man erkennt die relativ kleinen Ausmaße der Ringbrennkammer, in der thermische Leistungen von rund 700 Megawatt umgesetzt werden. Das bedeutet eine sehr hohe Leistungsdichte von weit über 1000 Megawatt pro Kubikmeter und entsprechend ein hohes Risiko durch Verbrennungsinstabilitäten. Die Frage, wie diese zu vermeiden sind, schafft erheblichen Forschungsbedarf, besonders angesichts des Bedarfs an mehr Brennstoffflexibilität und neuen Brennstoffen



**G**asturbinen spielen für die Elektrizitätsversorgung eine wichtige Rolle. Ihre sehr flexible Verfügbarkeit macht sie zur idealen Ergänzung zu Alternativen wie Windkraft oder Photovoltaik: Versorgungslücken, die entstehen, weil der Wind nicht immer gleichmäßig weht oder die Sonne nicht immer scheint, lassen sich so ausgleichen, denn Gasturbinen können im Gegensatz zu Kohle- oder Kernkraftwerken sehr schnell hoch- und wieder heruntergefahren werden. Aber auch zur Grundlastversorgung kommen Gasturbinen zum Einsatz, etwa in kombinierten Gas- und Dampfkraftwerken, die besonders hohe Wirkungsgrade erreichen.

„Angesichts des weltweit steigenden Energiebedarfs wird die Bedeutung von Gasturbinen eher noch zunehmen“, sagt Thomas Sattelmayer, Inhaber des Lehrstuhls für Thermodynamik an der TUM, und folgert: „Da die Verbrennung von fossilen Brennstoffen wie Erd- ▷



**Schema eines modularen Versuchsburners** zur Untersuchung von rückschlagsfreien Verbrennungskonzepten, die mit unterschiedlichen Brennstoffen arbeiten können. Forschungsschwerpunkt ist die Erzeugung eines wirbeldynamisch inhärent stabilen Strömungsfeldes

gas unweigerlich zu Emissionen von Kohlendioxid führt, müssen wir die Turbinentechnik in zwei Richtungen weiterentwickeln: Einerseits muss der sowieso schon relativ gute Wirkungsgrad von Gasturbinen weiter gesteigert werden. Andererseits müssen die Turbinen für den Einsatz von alternativen, kohlendioxidarmen oder -freien Brennstoffen wie zum Beispiel Wasserstoff oder Synthesegas aus Biomasse fit gemacht werden.“

Sattelmayer engagiert sich daher im Forschungsprogramm „Kraftwerke des 21. Jahrhunderts“, kurz KW21, das bereits seit 2005 läuft und vergangenes Jahr um weitere vier Jahre verlängert wurde. KW21 ist in Deutschland eine der größten Forschungsinitiativen auf dem Gebiet der Energieerzeugung: Insgesamt 23 Forschergruppen und elf Industriepartner aus Bayern und Baden-Württemberg befassen sich darin sowohl mit der Technik als auch mit ökonomischen und politischen Aspekten der Energieerzeugung. Ziel ist es, Technologien zu entwickeln, mit denen sich der Kohlendioxid-Ausstoß möglichst kostengünstig mindern lässt und die in einer überschaubaren Zeitspanne umzusetzen sind.

In der ersten Phase von KW21 entstanden bereits viele Neuentwicklungen, die sich inzwischen in der industriellen Umsetzung befinden: zum Beispiel ein Online-Messsystem für die Gasanalyse, ein patentiertes Monitoringsystem für Gasturbinen oder ein neuer Lötwerkstoff zur Reparatur von Turbinenschaufeln.

### **Schwingungsprobleme verursachen Millionenschäden**

Im Rahmen des Forschungsprogramms arbeiten Sattelmayer und seine Mitarbeiter vom Lehrstuhl für Thermodynamik an der Optimierung der Gasverbrennung in Turbinen. „Die physikalischen und chemischen Prozesse, die in Gasturbinen ablaufen, sind hochkomplex“, sagt Christoph Hirsch, Oberingenieur am Lehrstuhl für Thermodynamik. „Vieles davon ist noch nicht richtig verstanden.“ Von der Chemie der Verbrennung über die Strömung bis hin zu Akustik oder Druckschwingungen, die in einer Gasturbine entstehen – die Bandbreite der beteiligten Parameter ist groß. Und: „Wenn Sie einen der Parameter ändern, ändern Sie gleich das gesamte Verhalten der Maschine“, sagt Hirsch.



**Flammen im Versuchsbrenner** (vgl. Seite 12): links eine Erdgasflamme, rechts eine Wasserstoffflamme, jeweils bei 50 Kilowatt Leistung. Daran untersuchen die Forscher unter anderem den Einfluss von Gemischbildung und Druck auf die Neigung zu Flammenrückschlägen

Dazu kommt, dass sich Erkenntnisse aus Tests im Labormaßstab nicht direkt in den industriellen Maßstab übertragen lassen. Die TUM-Forscher machen ihre Versuche an Anlagen mit thermischen Leistungen zwischen 50 und maximal 2000 Kilowatt. In kommerziellen Kraftwerken kommen Anlagen zum Einsatz, die um das 100- bis über 1000-Fache größer sind. „Wenn da Schwingungsprobleme auftauchen, entstehen schnell Schäden in Millionenhöhe oder die Anlage lässt sich nicht wie vorgesehen betreiben“, sagt Sattelmayer. „Deshalb bauen Gasturbinenhersteller heutzutage zum Beispiel bis zu fünf verschiedene Methoden der Brennstoffzufuhr in ihre Anlagen ein und testen dann jeweils im Probebetrieb, welche Konstellation am besten funktioniert.“

Diese Trial-and-Error-Methode ist aufwendig und teuer. Ein Ziel der Forscher ist daher, Modelle zu entwickeln, mit denen sich die Vorgänge bei der Verbrennung in einer Gasturbine besser simulieren lassen. Basis dafür ist aber zunächst das Verständnis der Abläufe im Versuchsmaßstab. Dafür kann der Lehrstuhl für Thermodynamik auf eine fast zwanzigjährige Erfahrung auf dem

Gebiet der Verbrennung in Gasturbinen zurückgreifen – und verfügt über die entsprechende Messausrüstung: Laseroptische und spektroskopische Messtechniken gehören ebenso dazu wie – als besondere Spezialität des Lehrstuhls – die simultane Particle Image Velocimetry (PIV)- und Laser-induced Fluorescence (LIF)-Messtechnik mit Aufnahmefrequenzen bis in den Kilohertzbereich. Damit kann in den eigens angefertigten Versuchseinrichtungen mit gläsernen Brennkammern gleichzeitig die momentane Lage von Flammenfronten und die Geschwindigkeit in den turbulenten Strömungen ermittelt werden.

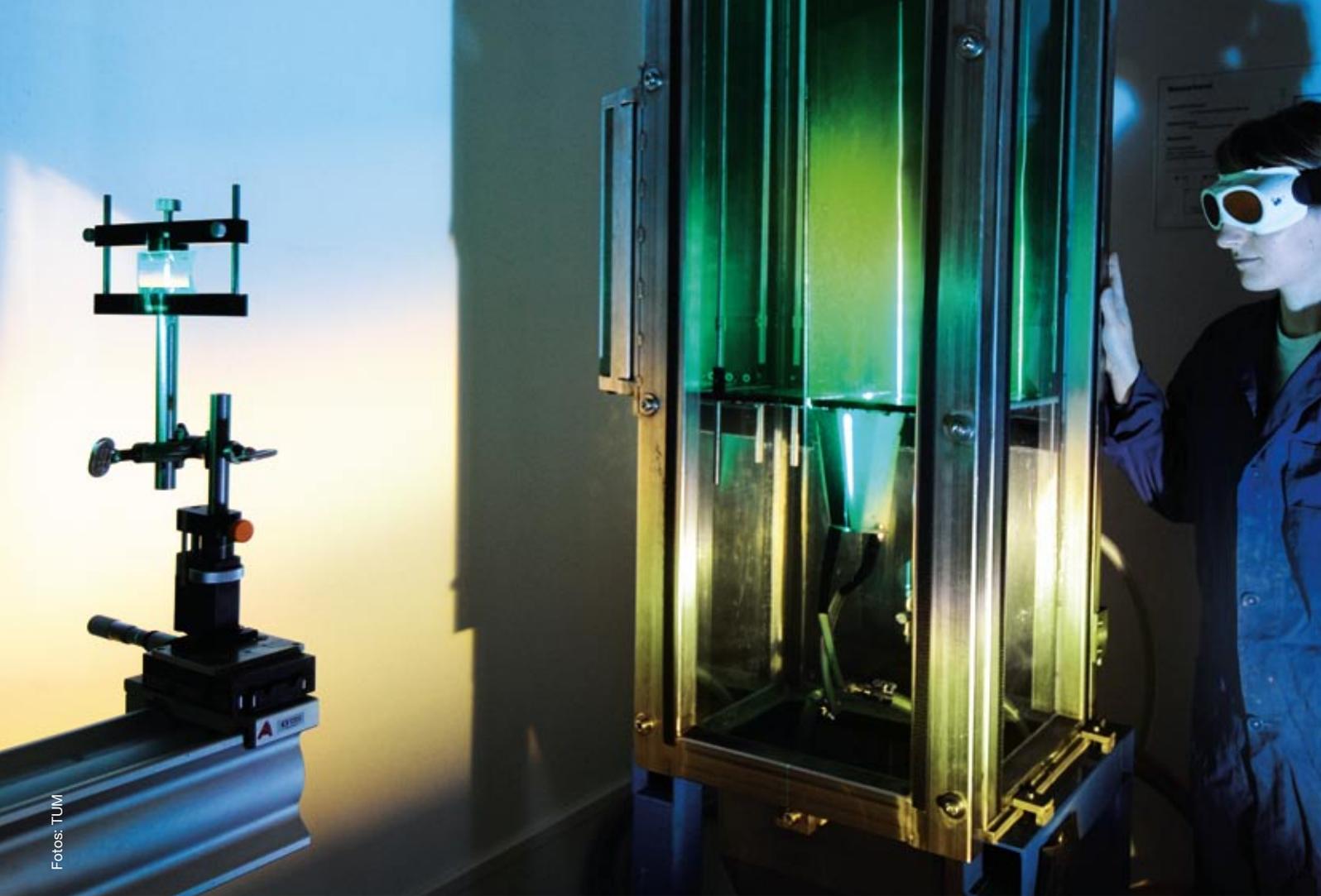
#### **Optimierung von Wirkungsgrad und Emissionen**

Anhand verschiedener Brennertypen und unter wechselnden Vorbedingungen wie dem Mischverhältnis von Gas und Luft oder der Menge der zugeführten Sekundärluft untersuchen die TUM-Forscher die physikalischen und chemischen Abläufe bei der Verbrennung. Dabei geht es vor allem darum, die Verbrennung, den Wirkungsgrad und die Emissionen zu optimieren, aber auch die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Gas- ▶

## *Thermodynamik*

**Links:** Momentaufnahme von Strömungs- und Mischungsverlauf in einem modernen Synthesegasbrenner im Wasserkanal. Die weißen Partikel markieren die Strömung, während die Färbung das Mischungsverhältnis von Brennstoff und Luft darstellt

**Rechts:** Ansicht des Wasserkanals mit der Laserlichtschnittoptik



Fotos: TUJM

turbinen zu verbessern. Besonderes Augenmerk liegt unter anderem auf Effekten wie Flammenrückschlag oder sich aufschaukelnden Schwingungen, die im schlimmsten Fall zur Zerstörung einer Gasturbine führen können.

Entscheidenden Einfluss auf die unerwünschten Effekte hat der eingesetzte Brennstoff: Denn je nach Zusammensetzung des Gases ändern sich Parameter wie Zündtemperatur, Verbrennungs- und Strömungsgeschwindigkeiten oder auch Emissionen. „Heutzutage laufen stationäre Gasturbinen zur Stromerzeugung fast ausnahmslos mit Erdgas“, erklärt Sattelmayer. „Damit gibt es am meisten Erfahrungen und die Technologie ist schon weit ausgereift.“ Im Sinne des Klimaschutzes und der Ressourcenverfügbarkeit wird es aber immer wichtiger, auch andere Gase wie Wasserstoff oder Synthesegas aus Biomasse oder Kohle in Gasturbinen einsetzen zu können. Um hierfür die technologischen Voraussetzungen zu schaffen, führt das Forscherteam auch Versuche mit verschie-

denen Gasmischungen mit unterschiedlichen Gehalten an Methan, Stickstoff und Wasserstoff durch.

Die Ergebnisse der Versuche fließen nicht nur in die Simulationsmodelle ein, mit denen Sattelmayer und seine Kollegen den Konstrukteuren von großen Gasturbinen die Arbeit erleichtern wollen. Sie lassen sich auch auf andere Anwendungen übertragen, etwa auf Raketentriebwerke oder – ganz alltagsnah – auf Heizungen für Häuser, Campingmobile oder Autos. Denn die turbulenten Strömungen, die in solchen Kleinheizungen entstehen und für deren Lärmemissionen verantwortlich sind, folgen ähnlichen Gesetzmäßigkeiten, wie sie in Gasturbinen gelten. In Kooperation mit Industriepartnern hat der Lehrstuhl für Thermodynamik Simulationsmodelle entwickelt, mit deren Hilfe sich leisere und schwingungsstabile Brenner designen lassen. Damit dürfte der Ärger über die brummende Heizung beim Wintercamping oder über den Nachbarn, der frühmorgens sein Auto vorwärmt, bald Vergangenheit sein. *Matthias Hopfmüller*