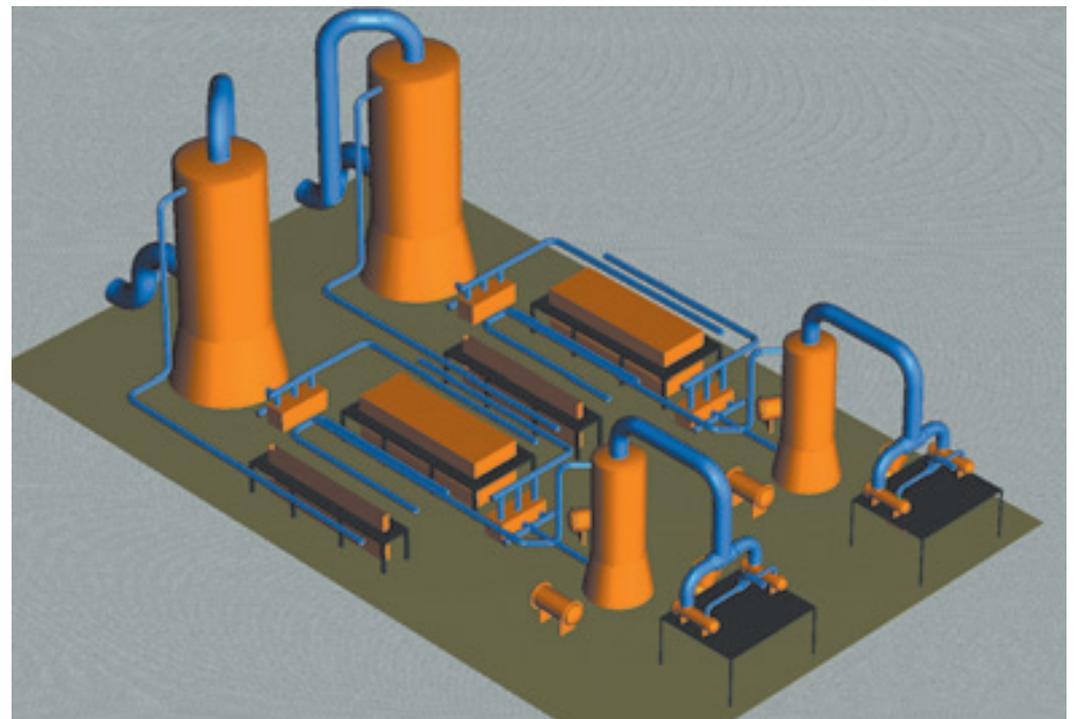


Einsatzfeld Turbomaschinen

EFFIZIENTE TURBINEN FÜR UMWELTFREUNDLICHE KRAFTWERKE

Die Zukunft der Energieerzeugung durch fossil befeuerte Kraftwerke ist in den letzten Monaten und Jahren kontrovers diskutiert worden. Zum einen benötigen wir Energie in Form von Strom und Wärme, zum anderen wird bei der Stromerzeugung, zum Beispiel in Kohle- oder Gaskraftwerken, CO_2 freigesetzt, das unter anderem für den Treibhauseffekt und damit für die Erwärmung unserer Erdatmosphäre verantwortlich ist.

Am Beispiel einiger Forschungsarbeiten am Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik werden Ansätze gezeigt, wie der Wirkungsgrad der Kraftwerke verbessert werden kann.



Um sowohl den CO_2 -Ausstoß als auch die Ressourcen an fossilen Energieträgern (im Kraftwerksbereich sind dies hauptsächlich Kohle und Gas) zu schonen, wird die Forschung zur Wirkungsgradsteigerung der gesamten Kraftwerke und der einzelnen Komponenten betrieben. Die Verbesserung der Effizienz der Kraftwerke bewirkt für den benötigten Strom und die benötigte Wärme eine Minderung der CO_2 -Menge, die in die Atmosphäre freigesetzt wird. Zurzeit werden erste Versuchskraftwerke gebaut, bei denen das CO_2 in den Untergrund verpresst oder aus

dem Rauchgas gewaschen wird (Bild 1), um es nicht in die Atmosphäre gelangen zu lassen. Auch für diese Kraftwerke wird es wichtig sein, die CO_2 -Menge, die zunächst abgetrennt und dann verdichtet wird, durch eine Erhöhung des Wirkungsgrads zu verringern.

Das Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD) der Leibniz Universität Hannover forscht daher, um sowohl Ideen zur Verbesserung der Wirkungsgrade von Turbinen zu entwickeln als auch bessere Verdichter zu konstruieren. Dazu betreibt das Insti-

tut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik Prüfstände, die eine realitätsnahe Versuchsumgebung und damit eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale Maschinen sicherstellen.

Ein Thema, das durch die schwankende Einspeisung von Strom aus regenerativen Energien (wie etwa Wind- oder Solarenergie) noch an Bedeutung gewonnen hat, ist der Teil- oder Schwachlastbetrieb von Kraftwerksturbinen. Da in einem Netz aus verschiedenen Kraftwerken insgesamt so viel Strom erzeugt werden muss, wie durch Verbraucher

abgenommen wird, müssen fossil betriebene Kraftwerke, sobald zum Beispiel mehr Energie aus Windkraftanlagen durch auffrischenden Wind ins Netz eingebracht wird, ihre Leistung drosseln. Da die Turbinen bisher hauptsächlich für den Nennlastpunkt, also für 100 Prozent Leistung des Kraftwerkes, ausgelegt werden, wird untersucht, wie sich diese bei Teil- oder Schwachlast verhalten. Dazu werden

am Luftturbinenprüfstand verschiedene Betriebspunkte angefahren und unter anderem das Strömungsfeld hinter jeder Schaufel, die Temperaturen am Gehäuse und den Schaufeln und das Verhältnis des Drucks vor und hinter der Turbine gemessen. Bild 2 zeigt den Turbinenprüfstand mit einem siebenstufigen Hochdruck-Dampfturbinenläufer, während Bild 3 eine reale Dampfturbine in einem Kraft-

werk illustriert. Aus den Untersuchungsergebnissen am Turbinenprüfstand lässt sich der Wirkungsgrad der Turbine bestimmen und Schlüsse auf mögliche Verbesserungen der untersuchten Beschaukelung und auf die Gefahr eines Schadens der Beschaukelung ziehen.

Eine Gasturbine (sowohl für Kraftwerke als auch für Flugzeuge) besteht im Wesentlichen aus drei Hauptkomponenten: einem Verdichter, einer Brennkammer und der eigentlichen Turbine. Um den Wirkungsgrad einer Gasturbine zu steigern, müssen neben der Turbine auch die anderen Komponenten verbessert werden. Zu diesem Zweck werden am Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik unterschiedliche Verdichterprüfstände betrieben, einer davon ist der Hochgeschwindigkeits-Axialverdichterprüfstand.

Es wurden daran Untersuchungen durchgeführt, in welchen durch Modifikationen der Schaufeln und des gesamten Strömungskanals, innerhalb des Verdichters, Verbesserungen im Wirkungsgrad und im Arbeitsbereich erzielt werden. Dazu wurden beispielsweise die Schaufeln dreidimensional gewunden, um damit die Strömung in der Mitte des Strömungskanals, innerhalb des Verdichters, zu halten und die Schaufelspitzen in der Wandnähe zu entlasten. Nachdem diese passiven Methoden der Strömungsbeeinflussung nahezu ausgereizt wurden, wird in einem aktuellen Projekt die Strömung, innerhalb des Verdichters, durch gezielte Lufteinblasung an den Hinterkanten von Statorschaufeln der ersten Stufe aktiv beeinflusst. Zusätzlich wird durch eine entsprechend geformte Schaufelhinterkante der so genannte Coanda-Effekt genutzt. Der Effekt ähnelt in der Funktionsweise einer Landeklappe an der



Bild 1
CO₂-Waschanlage für konventionelle Kraftwerke
Quelle: SIEMENS

Bild 2
Am Turbinenprüfstand werden verschiedene Betriebspunkte angefahren. Die Abbildung zeigt einen siebenstufigen Dampfturbinenläufer.
Quelle: Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik, Leibniz Universität Hannover

Bild 3
Dampfturbine im Kraftwerk
Quelle: Siemens

Bild 4
 Skizze der Leitschaufelhinterkante mit Ausblasung
 Quelle: Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik, Leibniz Universität Hannover

Tragfläche eines Flugzeugs. Dadurch kann unter Umständen eine Stufe (eine Schaufelreihe) stärker belastet werden und die Anzahl der Stufen in einem Verdichter verringert werden, was die Komplexität der Maschine verringern kann. Durch diese aktive Beeinflussung können die Verluste bei unterschiedlichen Betriebszuständen der gesamten Gasturbine reduziert und der Wirkungsgrad auch bei Teillast verbessert werden (Bild 4 und

Bild 5
 Leitschaufelring mit Hinterkantenausblasung
 Quelle: Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik, Leibniz Universität Hannover

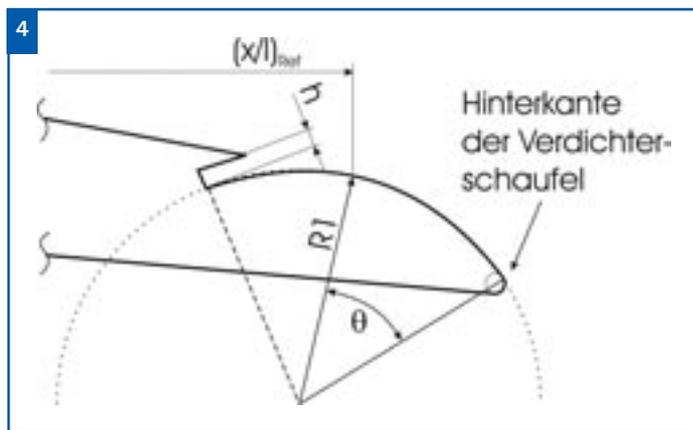


Bild 6
 Verdichterteil der Gasturbine im Blockheizkraftwerk Linden
 Quelle: Enercity

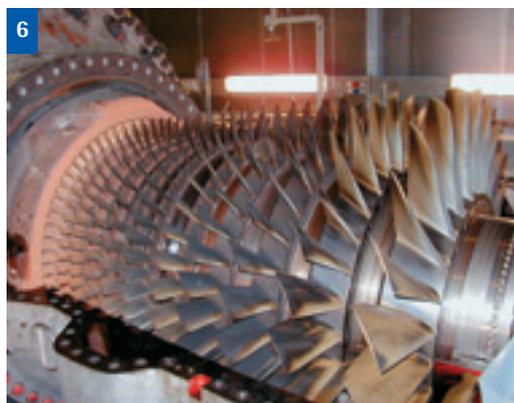


Bild 7
 Aufbau des Diffusorprüfstandes
 Quelle: Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik, Leibniz Universität Hannover

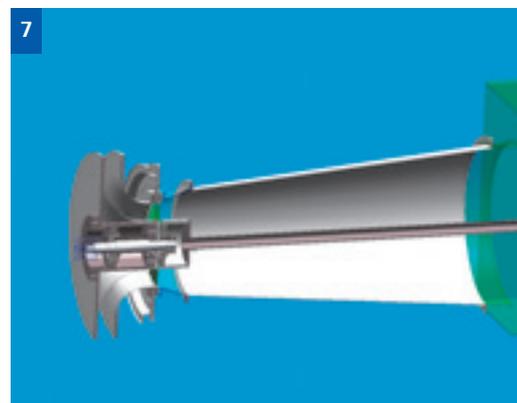


Bild 5). Diese Idee kann in Zukunft beispielsweise in Verdichtern von realen Kraftwerksgasturbinen eine praktische Umsetzung finden (Bild 6).

Im Austritt einer jeden Kraftwerksturbine befindet sich ein Diffusor, der die Aufgabe hat, die verbliebene kinetische (Bewegungs-) Energie des Fluids, das aus einer Turbine austritt, in den Druck umzuwandeln, der auch am Austritt des Diffusors anliegt. Liegt beispielsweise hinter dem Diffusor

Umgebungsdruck an, so kann am Austritt der Turbine beziehungsweise im Eintritt des Diffusors ein Druck unter Umgebungsdruck anliegen. Je besser der Diffusor funktioniert, desto mehr Druck kann in der Turbine abgebaut werden und desto mehr Energie kann in dieser umgesetzt werden. Die Strömungsvorgänge und die Einflüsse auf die Funktionsweise eines einer Turbine nachgeschalteten Diffusors sind noch nicht ausreichend erforscht. Diffusoren

werden bisher eher konservativ ausgelegt, weshalb in diesem Bereich noch ein großes Potenzial zur Wirkungsgradsteigerung einer gesamten Turbinenanlage liegt. Am Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik werden daher an einem Diffusorprüfstand (Bild 7), der einen skalierten Abgasdiffusors einer Gasturbine in Schwerbauweise im Maßstab 1:10 darstellt, Untersuchungen zum Verhalten des Diffusors für unterschiedliche Betriebsbedingungen durch-

geführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können dann für die Auslegung von realen Diffusoren sowohl hinter einer Gasturbine als auch hinter einer Dampfturbine (Bild 8) verwendet werden. Im zuletzt abgeschlossenen Projekt ist der Prüfstand über einen Nachlaufdellen-Generator am Eintritt erweitert worden, der die Abströmungsbedingungen aus der letzten Turbinenstufe simulieren soll. Die Ergebnisse zeigen, dass die Betriebsbedin-

gung und die durch die Abströmung der Turbine erzeugte Turbulenz einen erheblichen stabilisierenden Einfluss auf das Strömungsverhalten im Diffusor haben.

Um nicht nur bei neuen Kraftwerken Wirkungsgradsteigerungen zu erreichen, sondern auch an bestehenden Verbesserungen vorzunehmen, kann unter anderem neben der Strömung in rotierenden Komponenten diese auch im Abgas-



Prof. Dr.-Ing. Jörg Seume

Jahrgang 1958, leitet seit 2000 das Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik an der Leibniz Universität Hannover. Der Forschungsschwerpunkt des geschäftsführenden Institutsleiters liegt in den Bereichen der Strömungsmechanik und der Strömungsmaschinen. Kontakt: seume@tfd.uni-hannover.de

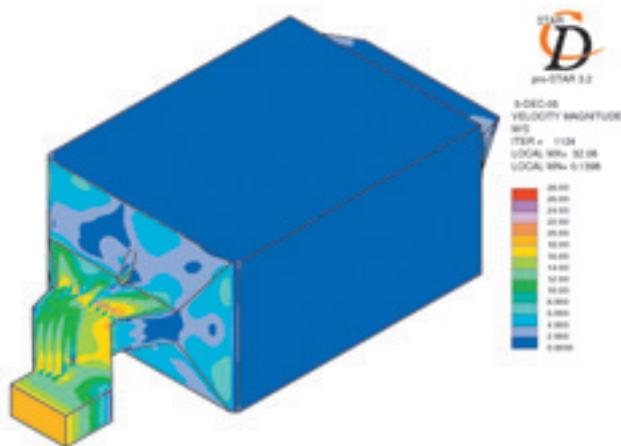


Dipl.-Ing. Marcus Kuschel

Jahrgang 1978, arbeitet seit 2007 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik an der Leibniz Universität Hannover. Kontakt: kuschel@tfd.uni-hannover.de



Bild 8
MAN Turbo Dampfturbine mit anschließendem axialen Ringdiffusor
Quelle: MAN Turbo



kanal eines Kraftwerkes berechnet werden. Auf diesem Wege können Verluste – etwa im Rauchgaskanal – aufgedeckt und Lösungsvorschläge für zusätzliche Einbauten generiert werden, die den Strömungsverlauf im Abgaskanal optimieren und damit einen Beitrag zur Wirkungsgradsteigerung des Kraftwerkes leisten. In Bild 9 ist ein Ergebnis für eine Berechnung der Geschwindigkeit im Rauchabgaskanal des Kraftwerks Wilhelmshaven (Bild 10) dargestellt. Es sind die Bereiche mit hoher (rot) und geringer Geschwindigkeit (blau) dargestellt. Mit Hilfe von weiteren Darstellungsmöglichkeiten wie beispielsweise der Verteilung des statischen Drucks oder der Dissipation könne sehr genau Bereiche mit einem hohen Verlust an Energie detektiert werden und entsprechende Gegenmaßnahmen in Form von Ein- oder Umbauten für eine verlustfreie Strömungsführung vorgeschlagen werden.

Bild 9
Darstellung der Strömungsgeschwindigkeiten im Abgasstrang des Kraftwerks Wilhelmshaven
Quelle: Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik, Leibniz Universität Hannover / E.ON



Bild 10
Kraftwerk Wilhelmshaven
Quelle: E.ON