



Windkanal für Rotierende Gitter, Göttingen (RGG)



Durch das Streben nach höheren Fluggeschwindigkeiten wurde zur Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts eine Strahltriebwerke-Revolution ausgelöst, deren Pioniere der Engländer Frank Whittle und der Deutsche Hans Joachim Pabst von Ohain waren. Strahltriebwerke und stationäre Gasturbinen wurden seitdem zur zuverlässigsten und kompaktesten Energiequelle weltweit weiterentwickelt. Neben Optimierungen an den Komponenten Verdichter und Brennkammer wurde dabei einer detaillierten Erforschung der hinter der Brennkammer angeordneten Turbine eine besondere Aufmerksamkeit zuteil. Zur detaillierten Untersuchung von Turbinenstufen betreibt das DLR am Standort Göttingen dazu den Turbinenprüfstand RGG.

lung gewidmet. Obwohl Gasturbinen wegen ihrer hohen Wirkungsgrade als technisch ausgereift angesehen werden, bringen selbst kleine Verbesserungen immer noch einen erheblichen wirtschaftlichen Nutzen mit sich.

Der Großteil der Untersuchungen, die zu den genannten Verbesserungen an den Komponenten geführt haben, basierte auf experimentell ermittelten Daten. Die Ergebnisse wurden dabei entweder direkt aus Messungen oder aus numerischen Untersuchungen, welche experimentell validiert wurden, abgeleitet. Der Windkanal für Rotierende Gitter (RGG) am Standort Göttingen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) wurde zwischen 1970 und 1972 gebaut und war ursprünglich nur für Strömungsuntersuchungen in rotierenden Ringgittern vorgesehen. Im Vergleich zu ebenen Gittern versprachen diese deutlich realistischere Strömungsbedingungen. Nach Inbetriebnahme des Prüfstandes wurden zunächst Untersuchungen für die Kraftwerksindustrie durchgeführt, wobei in aufwendigen Messkampagnen Dampfturbinen-Außenschnittgitter am RGG untersucht wurden.

Betriebsgrößen des RGG

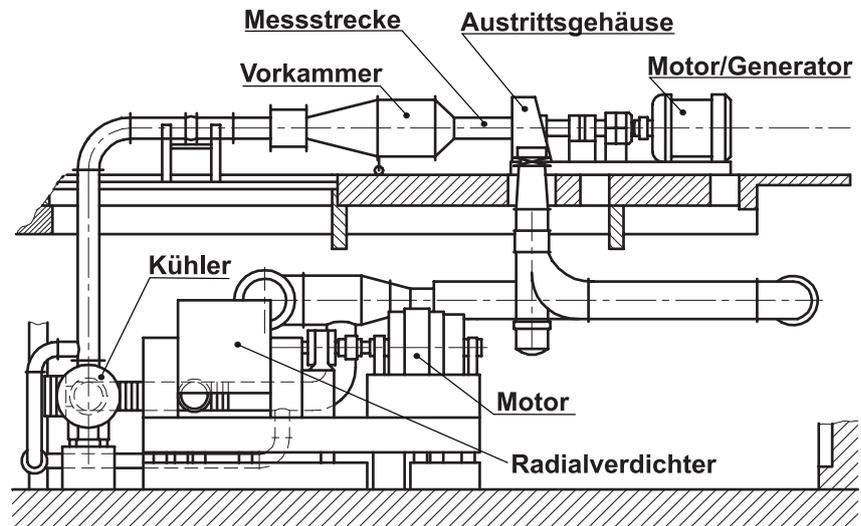
Totaldruck in der Vorkammer	10 ... 150 kPa
Totaltemperatur in der Vorkammer	295 ... 430 K
Maximale Leistung des Verdichtermotors	1 MW
Maximales Druckverhältnis des Verdichters	6
Maximaler Volumenstrom	15,5 m ³ /s

Neben einer Steigerung des Verdichterdrukverhältnisses, einer deutlichen Erhöhung des Temperaturniveaus sowie extremen Nebenstromverhältnissen bei Flugtriebwerken konnten nicht zuletzt auch die Turbinenwirkungsgrade entscheidend gesteigert werden. Aufgrund der gestiegenen thermischen Anforderungen wurde dabei besondere Aufmerksamkeit der sogenannten Filmküh-

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
German Aerospace Center

Institut für Antriebstechnik
Bunsenstr. 10
D-37073 Göttingen

Prof. Dr. Ingo Röhle
Phone: +49 551 709 -2197
Fax: +49 551 709 -2806
ingo.roehle@dlr.de
www.DLR.de



Aufbau des Windkanals für Rotierende Gitter, Göttingen (RGG)

Mittlerweile ist der RGG zu einem Turbinenprüfstand erweitert worden, welcher sowohl die getrennte Untersuchung einzelner Stator- und Rotorgitter erlaubt, als auch die Analyse ganzer Turbinenstufen ermöglicht.

Der Windkanal für Rotierende Gitter RGG ist eine im geschlossenen Kreislauf betriebene, kontinuierlich arbeitende Anlage. Ein von einem drehzahlgeregelten 1 MW Gleichstrommotor angetriebener, vierstufiger Radialverdichter ermöglicht Untersuchungen bei transsonischen Machzahlen in der Messstrecke. Mach- und Reynoldszahl bilden die wichtigsten Ähnlichkeitsparameter, die am Prüfstand mit denen in der realen Maschine übereinstimmen müssen, um möglichst realistische Testbedingungen zu gewährleisten. Im RGG können die genannten Parameter über einen weiten Bereich unabhängig voneinander eingestellt werden, wodurch die Anlage außerordentlich vielseitig ist.

Typische Forschungsprojekte reichen von Untersuchungen in stationären und rotierenden Ringgittern (einzelne Statoren bzw. Rotoren) über einzelne Stufen (Stator-Rotor Kombinationen) bis hin zu Messungen in sogenannten 1½-stufigen Anordnungen (Stator-Rotor-Stator Konfigurationen). Bei letzterem wird

auch der Stator der stromab folgenden Stufe mit eingebaut. Für all diese Konfigurationen können große Reynoldszahl- und Druckverhältnissbereiche untersucht werden, so dass bisher ein Großteil der Anforderungen aus den Flugtriebwerks-, Gasturbinen- und Dampfturbinenmärkten mit der Anlage abgedeckt werden konnte.

Eine Simatic Industriesteuerung der Firma Siemens sorgt für eine präzise Regelung sämtlicher Komponenten und Zusatzaggregate der Anlage. Der Turbinenrotor ist mit einem drehzahlgeregelten 1.200 kW Gleichstrommotor / -generator verbunden, der den Rotor in beide Richtungen sowohl antreiben als auch abbremmen kann. Zudem können maximale Drehzahlen von 14.000 U/min in beide Richtungen realisiert werden. Zwei Hilfskompressoren liefern Druckluft zur Simulation von Kühl- und Leckageluft-Ausblasungen aus Stator- sowie Rotorschaukeln.

Um das Potential einer hochentwickelten Anlage wie dem RGG voll ausnutzen zu können, ist eine Vielzahl modernster Messtechnik installiert. Die dazu notwendige Datenerfassungsanlage am RGG ist ein erprobtes, sehr komplexes, auf Labview basierendes System, welches parallel hunderte von Druck- und

Typische Daten eines Versuchsrades

Mittlerer Durchmesser	512 mm
Schaufelhöhe	40 mm
Maximale Leistung des Generators / Motors	1.200 kW
Maximale Drehzahl des Versuchsrades	14.000 U/min
Abström-Machzahl	0,1 ... 1,8
Reynoldszahl bezogen auf Sehnenlänge	$5 \cdot 10^4 \dots 10^6$

Temperaturwerten sowohl stationär als auch instationär erfassen und abspeichern kann.

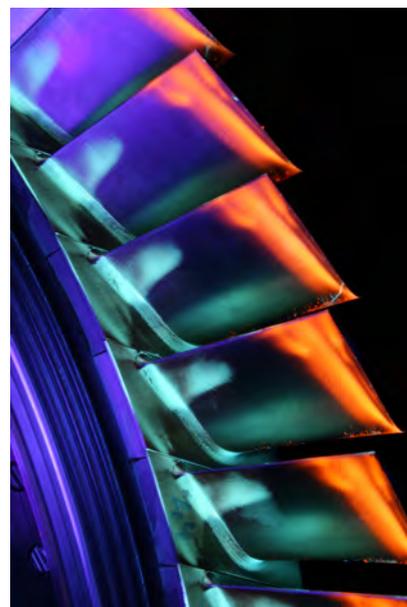
Ein hochpräziser Inkrementalgeber auf der Welle des RGG ermöglicht zudem die präzise Zuordnung von Messpunkten in Relation zur Position bestimmter Rotor-schaufeln. Mit dieser Datenerfassung werden die Randbedingungen eines Versuchs bestimmt, die benutzt werden, um den exakten Betriebspunkt der installierten Turbine zu ermitteln. Zur Ermittlung der Ruhegrößen in der Vorkammer werden Thermolemente und Präzisionsdruckaufnehmer eingesetzt. Der statische Druck, der Strömungswinkel und der Totaldruck stromab des Schaufelgitters oder der Turbinenstufe werden mit Wanddruckbohrungen und pneumatischen Sonden bestimmt. Eine Drehmomentenmesswelle liefert Informationen über die Rotordrehzahl, das Drehmoment und damit über die Leistungsbilanz der Turbine. Der Massenstrom der Hauptströmung wird mit Hilfe einer in den Strömungskreislauf des Windkanals integrierten und kalibrierten Venturidüse bestimmt.

Zu den am RGG eingesetzten Messtechniken gehören, neben dem mittlerweile veralteten „Laser-2-Focus Velocimeter“, verschiedene Heißfilmsonden, stationäre und rotierende Druckaufnehmer sowie eine Vielzahl unterschiedlicher Strömungs-sonden, die parallel an verschiedenen Einbauorten mit digital angesteuerten Verschiebegeräten präzise durch das Strömungsfeld traversiert werden können. Die eingesetzten Sonden werden durch ständige Verbesserungen im Herstellungsprozess zudem immer kleiner, so dass sich ihre Auswirkungen auf das Strömungsfeld verringern und dadurch die Genauigkeit der Messergebnisse erhöht. Der Sondenkopf der aktuellen Generation von 5-Loch-Sonden zur Bestimmung des 3D-Strömungsfeldes weist nur noch einen Durchmesser von unter 2 mm auf. Um moderne optische Messtechniken wie die Particle Image Velocimetry (PIV) am RGG einsetzen zu können, wird gegenwärtig durch Modifikationen an der Messstrecke der optische Zugang bereit gestellt.

Der Großteil der benötigten instationären Informationen in einer Turbinenstufe fällt in den Rotorpassagen und auf den Schaufeloberflächen der Rotoren an. Die instationären Oberflächendrücke können z. B. zur Ermittlung der dynamischen Schaufelkräfte verwendet werden. Bei zusätzlicher Auswertung der gemittelten Oberflächendrücke und der resultierenden Druckverteilung um das Schaufelprofil erhält man wichtige Informationen über die maximale aerodynamische Belastung eines Schaufelprofils. Der Grad dieser Belastbarkeit hat dabei starken Einfluss auf Gewicht und Herstellungskosten einer Turbomaschine.

Der Windkanal für Rotierende Gitter, Göttingen RGG ist eine in Europa einmalige und außergewöhnlich vielseitige Versuchseinrichtung. Seine exzellente Ausstattung sowie das permanente Optimieren und Erweitern der Anlage hat bereits viele nationale und internationale Projektgruppen aus Industrie und Forschung bewogen, den RGG für ihre Projekte auszuwählen. Dies erfolgte unter anderem im Rahmen von AG TURBO (Deutschland) und des Luftfahrtforschungsprogramms (Deutschland) als auch von drei großen BRITE/EURAM Projekten (Europa).

Die Forschungsziele der einzelnen Projekte reichen dabei von hochpräzisen Leistungsmessungen an Turbinenstufen und Einzelkomponenten über aero- und thermodynamische Detailanalysen bis hin zu Untersuchungen aeroelastischer und akustischer Aspekte.



Strömungssichtbarmachung durch Farbausbläsung an einem Rotor des RGG

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 15 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.900 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Die Mission des DLR umfasst die Erforschung von Erde und Sonnensystem, Forschung für den Erhalt der Umwelt und umweltverträgliche Technologien, zur Steigerung der Mobilität sowie für Kommunikation und Sicherheit. Das Forschungsportfolio des DLR reicht von der Grundlagenforschung zu innovativen Anwendungen und Produkten von morgen. So trägt das im DLR gewonnene wissenschaftliche und technische Know-how zur Stärkung des Industrie- und Technologiestandortes Deutschland bei. Das DLR betreibt Großforschungsanlagen für eigene Projekte sowie als Dienstleistung für Kunden und Partner. Darüber hinaus fördert das DLR den wissenschaftlichen Nachwuchs, betreibt kompetente Politikberatung und ist eine treibende Kraft in den Regionen seiner Standorte.



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft