



Niedergeschwindigkeits- Gittermessstrecke, Göttingen (NGG)



Zur Erforschung der komplexen, dreidimensionalen Strömungen in Schaufelgittern ist eine sehr hohe räumliche Auflösung zur Untersuchung der sehr kleinen Wirbelstrukturen notwendig. Daher werden die Abmessungen der zu untersuchenden Schaufelprofile hochskaliert. Zugleich muss aber auch die Zugänglichkeit für diverse (optische) Messtechniken ermöglicht und optimiert werden. Die Niedergeschwindigkeits-Gittermessstrecke, Göttingen (NGG) wurde im Hinblick auf derartige Problemstellungen entworfen und erfolgreich im europäischen Forschungsprojekt AITEB-I eingesetzt.

Der Windkanal NGG wird nach dem Prinzip eines sogenannten "Blow-Down-Windkanals" betrieben. Die Zuströmung wird dabei der Umgebungsluft entnommen, durch die Messstrecke geleitet und daran anschließend in einen 10.000 m³ großen Vakuumkessel abgeleitet. Letzterer wird mit Hilfe von drei Wasserringpumpen permanent evakuiert, wodurch bei der bisher untersuchten Konfiguration Betriebszeiten von bis zu 20 Minuten möglich sind.

Der durch die Messstrecke des NGG ge-

leitete Luftmassenstrom wird mit Hilfe eines von Hand verstellbaren Diffusors begrenzt, wodurch sich der Druck in der Abströmung des Schaufelgitters, und damit die sogenannte isentrope Abströmmachzahl, präzise einstellen lässt. Die in die Messstrecke eingesaugte Luft wird dabei direkt aus der Halle eingesaugt. Es fehlt im Vergleich zum Windkanal für Ebene Gitter, Göttingen (EGG) ein Lufttrockner im Einlauf, daher sollten in der Messstrecke Machzahlen unterhalb von eins eingestellt werden. Andernfalls könnte im Bereich hoher, schallnaher Geschwindigkeiten im Schaufelgitter Kondensation auftreten. Dadurch wird das klassische Bilanzieren der gemessenen Drücke und Massenströme in der Zu- und Abströmung signifikant erschwert.

Ansonsten sind in der Messstrecke des NGG Massenströme in der gleichen Größenordnung wie am EGG realisierbar.

Der Einlauf der Messstrecke am NGG ist bewusst äußerst kurz ausgeführt, da bei Inbetriebnahme der Anlage Messungen unter sehr betriebsnahen Randbedingungen durchgeführt werden sollten, die eine aufwendige Beruhigung der Zuströmung nicht erforderlich machten. Betriebsnah bedeutet in diesem

Typische Parameter des NGG

Eintrittsbedingung	atmosphärisch
Typische Machzahlen am Gitteraustritt	0,1 ... 1,0
Messzeiten	ca. 20 min
Messstreckenbreite (Schaufelhöhe)	125 mm
Messstreckenhöhe	380 mm
Sehnenlänge	200 mm
Max. Massenstrom	11,3 kg/s

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

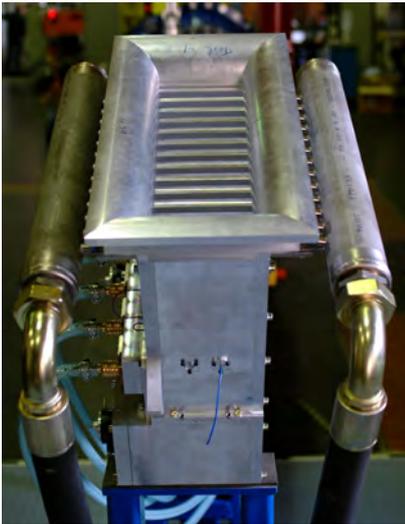


Abbildung 1: Turbulenzgitter in der Zuströmung des NGG



Abbildung 2: Messstrecke des NGG mit drei hochskalierten Schaufelprofilen

Zusammenhang eine stark turbulente Strömung, wie sie sich typischerweise hinter der Brennkammer einer Gasturbine einstellt.

Dafür kann in den Einlauf der Messstrecke des NGG zusätzlich ein aktives Turbulenzgitter montiert werden, wie es in Abbildung 1 dargestellt ist. Mit Hilfe des Turbulenzgitters kann der Turbulenzgrad der Zuströmung auf ca. 10 % erhöht werden. Ziel ist hierbei die Simulation und Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Turbulenzgrade auf das resultierende, sich ausbildende Strömungsfeld im Schaufelgitter.

Der entscheidende Unterschied gegenüber dem EGG resultiert aus der Verwendung von wesentlich größeren Schaufelprofilen. Dadurch werden Untersuchungen mit einer signifikant gesteigerten räumlichen Auflösung ermöglicht als dies am EGG realisiert werden könnte (siehe Abbildung 2).

Daraus resultierend sind insbesondere detaillierte Untersuchungen der sogenannten Sekundärströmung im Übergangsbereich zwischen Seitenwand und Schaufelprofilen möglich. Die einlaufende Seitenwandgrenzschicht ist die Ursache für die Entstehung verschiedener Wirbel, welche sich als komplexes System im Strömungskanal zwischen den Turbinenschaufeln ausbilden. Gemäß ihrer Ausprägung können diese Wirbelstrukturen die aerodynamischen Verluste des Schaufelgitters signifikant erhöhen und erschweren zudem den effektiven Einsatz von Filmkühlung entlang der Gehäusewand über dem entsprechenden Schaufelgitter.

Ein charakteristisches, so genanntes „Sekundärströmungsfeld“, wie es sich in einem ebenen Schaufelgitter unter dem Einfluss einer einlaufenden Seitenwandgrenzschicht ausbildet, ist in Abbildung 3 dargestellt.

Weitere wichtige Installationen am NGG sind Druckluftanschlüsse sowie die dazugehörigen Normmessblenden, welche zur Bestimmung der durchströmenden Luftmassen, Temperaturen und Drücke verwendet werden. Die Druckluft wird zum einen verwendet, um Einstellungen bei der Turbulenzerzeugung vornehmen zu können. Des Weiteren wird zur experimentellen Simulation von Kühl- und Leckageluft im Schaufelgitter Ausblaseluft benötigt, welche präzise bezüglich ihres Druckes und auch des vorhandenen Massenstroms gemessen und geregelt werden muss.

Die notwendige Steuerung der Niedergeschwindigkeitsmessstrecke NGG erfolgt äußerst flexibel durch die Nutzung eines Laptops, auf dem eine SIMATIC-Software der Firma Siemens installiert ist. Sowohl die Sondensteuerung als auch die Datenerfassung für die verschiedenen Messtechniken werden aus Gründen der Redundanz sowie der besseren Adaptierbarkeit auf einem separaten Computer durchgeführt, welcher mit LabView der Firma National Instruments ausgerüstet ist.

Die Messstrecke des NGG wurde bis vor kurzem ausschließlich für das europäische Forschungsvorhaben AITEB-I (Aerothermal Investigations on Turbine Endwalls and Blades) verwendet. Dementsprechend sind die Einbauten sehr spezifisch diesem Forschungsprojekt angepasst worden.

Bei AITEB-I handelte es sich um ein europäisches Forschungsvorhaben zur Untersuchung der Sekundär- und Leckageluftströmungen in Schaufelkränzen von Turbinen sowie deren Einfluss auf den Wärmeübergang.

Hierfür wurde eine Vielzahl von Messtechniken eingesetzt. Neben der Bestimmung des statischen Druckes an der Seitenwand sowie auf der Oberfläche des mittleren Schaufelprofils wurde mit Hilfe

verschiedener Drucksonden in der Zu- und Abströmung das Strömungsfeld genauestens vermessen. Zusätzlich wurde die Particle Image Velocimetry (PIV) intensiv genutzt, um die Positionen und Intensitäten der einzelnen Wirbel bestimmen zu können.

Nicht zuletzt konnten wichtige Erkenntnisse durch die Nutzung von Methoden der Strömungs-Sichtbarmachung, wie beispielsweise mittels Ölanstrichbildern, gewonnen werden.

Die Schaufelprofile des AITEB-I-Gitters weisen eine Schaufelhöhe von 50 % des zugehörigen realen Niederdruck-Statorgitters auf. Untersucht wurde, wie sich die Leckageluft an der Schaufelspitze eines stromauf liegenden Rotorgitters auf die Sekundärströmung des Statorgitters auswirkt. Da Rotoren üblicherweise mit Deckbändern ausgerüstet werden, konnte am NGG dieser Effekt mit Hilfe eines in der Seitenwand platzierten Schlitzes, aus dem Druckluft ausgeblasen wurde, leicht simuliert werden. Durch Variationen der Druckluft und unterschiedlicher Schlitzgeometrien konnten verschiedenste Geschwindigkeiten und Ausströmwinkel der Leckageluft in die Hauptströmung realisiert werden.

Die Ober- und Unterseite der Messstrecke wurde im Rahmen umfangreicher numerischer Voruntersuchungen aerodynamisch optimiert. Die erhaltene stromlinienförmige Geometrie des Gehäuses verbessert die Periodizität der Strömung, so dass das Abströmfeld einem Schaufelgitter mit unendlicher Schaufelanzahl entspricht. Mit Hilfe von Klappen über der ersten bzw. dritten Schaufel kann diese Periodizität zusätzlich optimiert werden. Einige wichtige charakteristische Parameter des Windkanals bei eingebautem AITEB-I-Gitter sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Auch für zukünftige Projekte ist der NGG insbesondere für aero-thermodynami-

sche Detailuntersuchungen an Turbinengittern geeignet. Durch seinen modularen Aufbau steht eine äußerst flexible Anlage zur Verfügung, um sowohl die Schaufelprofile als auch die Kühlluftströme von Turbinenschaufeln eingehend analysieren und anschließend optimieren zu können. Neben der grundlagenorientierten Erforschung der Strömungssysteme bleibt dabei immer das vorherrschende Ziel, den Wirkungsgrad und die Arbeitsleistung von Turbinen steigern zu können ohne die Betriebssicherheit zu beeinträchtigen.

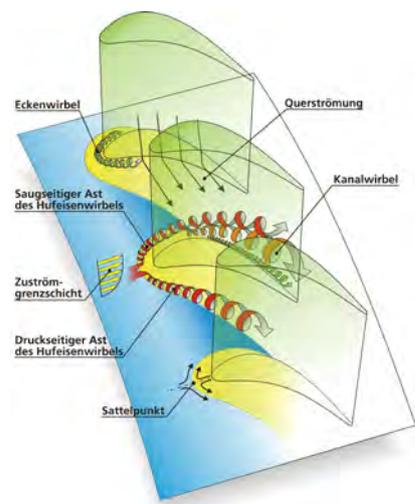


Abbildung 3: Typisches Strömungsbild im Schaufel-Seitenwandbereich

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