

## Windkanal für Ebene Gitter, Göttingen (EGG)



**Die Strömungsvorgänge in einer Turbomaschine sind äußerst komplex. Für eine detaillierte Untersuchung ist es deshalb notwendig, die Effekte in Elemente aufzuteilen, die zunächst einzeln untersucht werden. So ist es üblich, die Durchströmung der einzelnen Schaufelkränze isoliert zu untersuchen, wobei weitere vereinfachende Annahmen getroffen werden können.**

Ebene Gitter stellen ein vereinfachtes Modell der dreidimensionalen Ringgitter (Stator, Rotor) in realen Turbomaschinen dar. Die Abbildung 1 auf der folgenden Seite verdeutlicht den Zusammenhang zwischen einem Ebenen Gitter und einem realen Schaufelkranz. Dabei werden die Schaufeln des Ringgitters bei einem beliebigen, aber konstantem Radius als sogenannter Zylinderschnitt auf eine Ebene projiziert. Das Strömungsfeld um ein ebenes Gitter ist - außer in der Nähe der Seitenwände - zweidimensional, wodurch die Anwendbarkeit für die unterschiedlichen Messtechniken deutlich einfacher ist als im Original. Außerdem können nahe der Seitenwände dreidimensionale Strukturen wie Wirbel- und Grenzschichtentwicklungen untersucht werden. Obwohl in dieser Art der Model-

lierung einige Realeffekte, wie bspw. Zentrifugal- oder Corioliskräfte, vernachlässigt werden, liefern sie wichtige grundlegende Informationen.

Der Windkanal für Ebene Gitter (EGG) am Standort Göttingen des DLR wurde zwischen 1956 und 1957 gebaut und war ursprünglich für Untersuchungen von Verdichtergittern bei hohen subsonischen Machzahlen ( $Ma \approx 0,7-0,9$ ) vorgesehen. Die Anlage und ihre Messtechnik wurden grundlegend überarbeitet und erweitert als 1963 Industrievertreter großes Interesse an einer Versuchsanlage für transsonische Turbinengitter bekundeten.

Die Turbinengitter, welche bisher im EGG untersucht wurden, reichen von plattenähnlichen Außenschnitten von Niederdruckdampfturbinen bis hin zu den stark umlenkenden Nabenschnitten von Gasturbinen. Dabei wurde eine Vielzahl verschiedener Schaufelteilungen, Staffelungswinkel sowie Zu- und Abströmwinkel bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten untersucht. Um auch den Einfluss von ausgeblasener Kühlluft auf die Aerodynamik der Gitterströmung zu untersuchen, können sowohl auf den Schaufelprofilen als auch

### Betriebsgrößen des EGG

Eintrittsbedingung	atmosphärisch
Reynoldszahl	$1,6 \cdot 10^5 \dots 9 \cdot 10^5$
Typische Machzahl am Gitteraustritt	0,2 ... 1,6
Messzeiten	$\infty$ ( $Ma < 0,8$ ) 30 s ( $Ma = 1,6$ )
Messstreckenbreite (Schaufelhöhe)	125 mm
Messstreckenhöhe	200 ... 380 mm
Typische Sehnenlänge	60 mm
Max. Massenstrom	11,3 kg/s

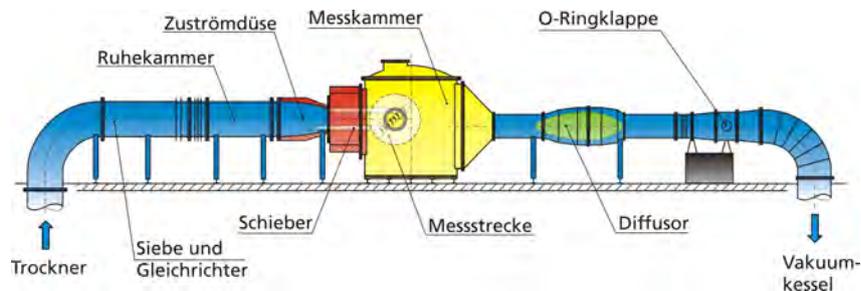


Abbildung 2: Prinzipskizze des EGG

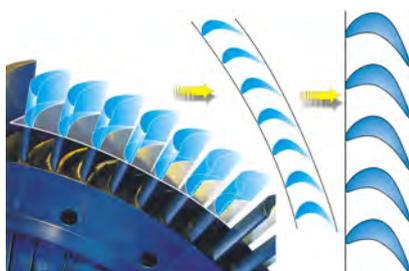


Abbildung 1: Ebenes Gitter als Abwicklung eines radialen Ringgitterschnittes



Abbildung 3: Turbinenschaufel mit Kühlluftbohrungen entlang der Schaufelhinterkante

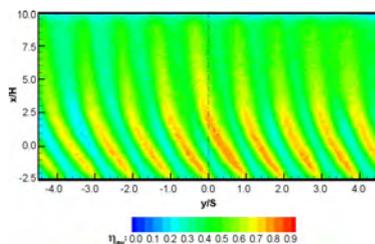


Abbildung 4: Kühlluftverteilung längs der druckseitigen Hinterkante einer Schaufel

auf der Seitenwand Ausblase-Konfigurationen modelliert werden (Abbildung 3). Drei unabhängige Ausblasestränge sind dafür installiert. Je nach Dimension der Schaufelprofile können zwischen 8 und 20 Schaufeln in die Messstrecke des EGG eingebaut werden. Diese Vielzahl an Schaufeln ermöglicht eine gute Annäherung an das theoretisch geforderte, unendlich ausgedehnte Schaufelgitter.

Die hohen, maximal möglichen Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu  $Ma \approx 1,6$  sowie der weite Einstellbereich für den Zuströmwinkel ermöglichen die Untersuchung nahezu aller zurzeit verwendeten Turbinenprofile aus Dampfturbinen, stationären Gasturbinen und Flugtriebwerken.

Der EGG kann derzeit ausschließlich intermittierend betrieben werden, wie in Abbildung 2 verdeutlicht. Dabei wird ein  $10.000 \text{ m}^3$  fassender Vakuumsessel permanent von zwei  $250 \text{ kW}$ -Pumpen evakuiert, so dass der gegenüber der Atmosphäre anliegende Unterdruck als „Antrieb“ für den Windkanal dient. Atmosphärische Luft wird dabei durch einen Trockner, die Beruhigungskammer und die eigentliche Messstrecke in den Kessel gesaugt. Die Strömung wird bei dieser Betriebsart durch das schlagartige Öffnen einer O-Ringklappe in Gang gesetzt, wobei der Druck in der Messkammer mit Hilfe eines verstellbaren Diffusors vorgegeben wird.

Der Aufbau des neuen Turbinenprüfstands NG-Turb wird einen kontinuierlichen Betrieb des EGG im gesamten Leistungsspektrum ermöglichen. Der

neue Radialverdichter kann zukünftig wahlweise am EGG oder am NG-Turb verwendet werden. In dem so realisierten geschlossenen Kreislauf kann eine äußerst flexible Zuströmung mit variabler Dichte und Temperatur generiert werden. Im geschlossenen System kann deshalb auf den großen Lufttrockner verzichtet werden, der ansonsten im Vakuumbetrieb das Auftreten von Kondensationsstößen verhindert.

Eine *SIMATIC S5* Industriesteuerung der Firma *Siemens* sorgt für die präzise Regelung und Kontrolle sämtlicher Komponenten der Anlage.

Um das volle Potential einer hochentwickelten Anlage wie dem EGG ausnutzen zu können, ist modernste Messtechnik notwendig. Die Datenerfassungsanlage am EGG umfasst ein hochgradig automatisiertes Standardsystem, ergänzt durch eine Reihe von Einzelsystemen für spezielle Messaufgaben.

Mit Hilfe des Standarddatenerfassungssystems werden die aerodynamischen Randbedingungen im Strömungsfeld, insbesondere Drücke und Temperaturen vor und hinter dem Gitter, mittels Sonden und in die Oberflächen integrierte Messstellen erfasst. So werden zur Bestimmung des statischen Druckes in der Zuströmung des Gitters und auf den Profiloberflächen Wanddruckbohrungen verwendet. Totaldruck, statischer Druck und Strömungswinkel stromab des Gitters werden mit kalibrierten Keilsonden gemessen. Die Drücke werden mit einem Vielfachdruckaufnehmer *PSI 8400* der Firma *National Instruments* ermittelt.

Die Randbedingungen, die im Wesentlichen aus den exakt bestimmten Gitterein- und -austrittsbedingungen bestehen, werden benötigt, um die numerische Auslegung des Profils zu überprüfen. Die Auslegungsprogramme liefern theoretische Leistungsdaten, die dann im Idealfall an Hand der Leistungsdaten aus den Messungen am EGG verifiziert werden können. Dies erfolgt üblicherweise auf der Basis der Nachlauftraversierungen und der Ermittlung der Konturdruckverteilungen.

Mit Hilfe eines auf *LabView* basierenden Programms steuert ein PC alle angeschlossenen Geräte des Standarddatenerfassungssystems und verarbeitet die eingehenden Daten.

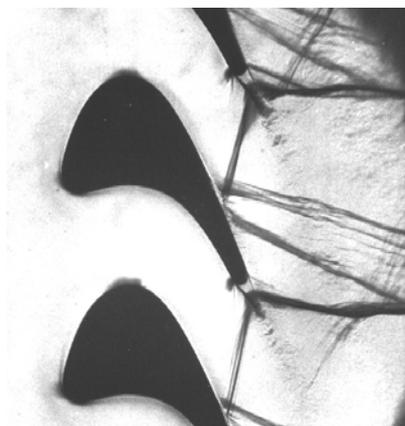
Neben den Standarddatenerfassungssystemen werden spezielle, auf die jeweiligen Besonderheiten zugeschnittene Systeme zur Erfassung der Daten von neuen oder sehr komplexen Messtechniken eingesetzt.

Dazu gehört zum Beispiel ein hochpräzises Infrarot-Kamerasystem. Dieses Infrarotsystem wird eingesetzt, um großflächig Verteilungen von Wandtemperaturen zu vermessen, die sowohl zur Bestimmung des Wärmeübergangs zwischen Wand und Strömung verwendet werden können, als auch zur Bestimmung sogenannter Filmkühleffektivitätsdaten. Zur Bestimmung des Wärmeübergangs werden die Oberflächen unter Zuhilfenahme einer aufgeklebten Heizfolie mit einem konstanten Wärmestrom beaufschlagt und die sich ergebende Abkühlung durch die Strömung gemessen. Um die Verteilung von Kühlluft zu bestimmen, welche aus konstruktiv festgelegten Schemata von Bohrungen und Schlitzen ausgeblasen wird, wird diese Luft mit Hilfe eines Wärmetauschers temperiert und die sich einstellende Mischtemperatur an der Wand bestimmt. Aus den gemessenen Daten kann dann die Konzentrationsverteilung der Kühlluft entlang der beobachteten Oberfläche bestimmt werden, wie in Abbildung 4 dargestellt.

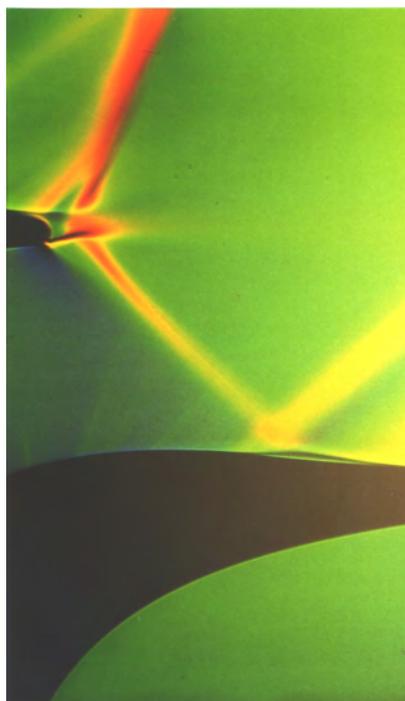
Eine weitere, häufig verwendete Spezial-Messmethode ist das Anfertigen von Schlierenfotos (Abbildung 5 und 6). Die Bilder machen Dichtegradienten in der Strömung sichtbar und geben damit einen hervorragenden qualitativen Überblick über das Strömungsfeld. Ferner zeigen sie das Vorhandensein oder die Abwesenheit bestimmter Phänomene auf, wie z. B. Verdichtungsstöße und Ablösegebiete. Schlierenfotos unterstützen außerdem die Interpretation von Ergebnissen, welche mit anderen Messmethoden gewonnen wurden.

Zusätzlich zu den genannten Messtechniken wurden am EGG bereits Interferometrie, Particle Image Velocimetry (PIV), Quantitative Light Sheet Technique (QLS) und die Ammonia-Diazo-Methode erfolgreich eingesetzt.

Der EGG hat sich bei allen Messkampagnen als ein vielseitig einsetzbarer Prüfstand erwiesen, mit dem sehr unterschiedliche Fragestellungen aus den Bereichen Turbinenaerodynamik und -thermodynamik bearbeitet werden können. Seine exzellente Ausstattung hat viele nationale und internationale Projektgruppen aus Industrie und Forschung bewogen, den EGG für ihre Versuche auszuwählen. Zusätzlich zu diversen Industriemessungen werden auch reine Forschungsprojekte im EGG durchgeführt. Dazu zählen unter anderem nationale Projekte aus AG TURBO, aber auch eine Vielzahl von europäischen Projekten, wie z. B. AITEB-II. Die Ziele reichen dabei von Messungen der Leistungsfähigkeit eines Gitters über Sekundärströmungsuntersuchungen bis hin zu Wärmeübergangsuntersuchungen.



**Abbildung 5: Schlierenbild zu einer typischen Stoßkonfiguration an einem Ebenen Gitter**



**Abbildung 6: Schlierenfoto zu einer stoßinduzierten Ablösung**

## 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