

## Rotierender Kühlkanal (RKK)

### Messgrößen

- Strömungsgeschwindigkeiten
- Turbulenz
- lokale Wandtemperaturen
- lokale Wärmeübergänge
- lokale Wanddrücke
- Gesamtdruckverluste

### Anlagenbeschreibung

Anlage zur experimentellen Untersuchung der Strömung und des Wärmeübergangs in rotierenden Kühlkanälen von Gasturbinenschaufeln. Speziell der Einfluß der Rotation auf die Kühlluftströmung und den Wärmeübergang wird untersucht. Durch den Rotationsprüfstand können die in der Realität herrschenden Coriolis-, Zentrifugal- bzw. Auftriebseffekte simuliert werden.

Aufgrund der Rotation ergeben sich in den Kühlkanälen einer Turbinenrotorschaukel geänderte Strömungsverhältnisse der Kühlluft, die über veränderte Geschwindigkeitsgradienten an der Wand und ein verändertes Turbulenzniveau insgesamt auch den Wärmeübergang örtlich stark modifizieren. Zum einen tragen Sekundärwirbel, die durch die Rotation im Innern der Strömung induziert werden, zu dieser Veränderung bei, zum anderen liefert aber auch die Erwärmung der Kühlluft mit örtlichen Dichte/Temperaturunterschieden und somit örtlich unterschiedlichen Zentrifugalkräften über nach innen gerichtete Auftriebsströmungen in Wandnähe einen weiteren Rotationseinfluß auf die Kühlwirkung. Für die Auslegung eines effizienten Rotorkühlsystems sind daher genaue Kenntnisse der örtlichen Wärmeübergänge in Abhängigkeit der strömungsrelevanten Parameter wie Reynoldszahl, Rotationszahl und Auftriebskennzahl erforderlich.

Die Wände in den Kühlsystemen sind zudem zur Intensivierung des Wärmeaustauschs verrippt. Auch die angebrachten Rippen erzeugen Wirbel, mikroskopisch im Nachlauf hinter einer Rippe und makroskopisch durch Neigung der Rippe in Strömungsrichtung. Dadurch erfährt die wandnahe Grenzschichtströmung eine Ablenkung, die zu rippeninduzierter Wirbelbildung führt, ein Effekt, der gezielt genutzt werden kann, etwa zur stärkeren Kühlung der Schaufelvorderkante.

In serpentin förmig verlaufenden Kühlkanälen prägen 180° Umlenkungen das Strömungsgeschehen nachhaltig. Die unterschiedlich erzeugten Wirbel interagieren in der Strömung und ergeben insgesamt ein sehr komplexes Strömungsfeld, das aber mit den modernen optischen Messverfahren gut aufgelöst werden kann..

Strömungsfeldmessungen und Druckverlustmessungen dienen dem besseren Verständnis der strömungsphysikalischen Vorgänge in den Kanälen,

Aufgrund der Rotation ergeben sich auch örtlich stark veränderte Wärmeübergänge. Zum einen tragen die rotationsbedingten Sekundärwirbel zu dieser Veränderung bei, zum anderen liefert aber auch die Erwärmung der Kühlluft mit örtlichen Dichte/ Temperaturunterschieden und somit örtlich unterschiedlichen Zentrifugalkräften über nach innen gerichtete Auftriebsströmungen in Wandnähe einen weiteren Rotationseinfluß auf die Kühlwirkung. Für die Auslegung eines effizienten Rotorkühlsystems sind daher genaue Kenntnisse der örtlichen Wärmeübergänge in Abhängigkeit der

strömungsrelevanten Parameter wie Reynoldszahl, Rotationszahl und Auftriebskennzahl erforderlich.

Die experimentell gewonnenen Daten dienen als Basis für eine rechnergestützte Optimierung mit einem leistungsfähigen Strömungsrechenverfahren. An der Entwicklung eines solchen Verfahrens wird ebenfalls gearbeitet.

#### Anwendung

Im Rahmen von nationalen und europäischen Forschungsprogrammen werden experimentelle Daten zur Validierung moderner Auslegungsverfahren und zur Optimierung von rotierenden Kühlsystemen bereitgestellt.

#### Literatur / Referenzen

- ➔ [1] Berg, H.P., Hennecke, D.K., Elfert, M., Hein, O. (1991): The Effect of Rotation on Local Coolant Side Flow and Heat Transfer in Turbine Blades, Proc. 10th Int. Symp. on Air Breathing Engines (X. ISABE), Nottingham, U.K., Sept. 1991, S. 170-183, Paper 91-7016.
- ➔ [2] Elfert, M. (1993): Wärmeübergang in rotierenden Kühlkanälen von Gasturbinen-schaufeln, Abschlussbericht zum Vorhaben 2.1.4.2, AG-Turbo (Turbotherm I), DLR Köln-Porz.
- ➔ [3] Elfert, M. (1993): The Effect of Rotation and Buoyancy on Flow Development in a Rotating Circular Coolant Channel, Proc. 2nd Int. Symp. on Engineering Turbulence Modelling and Measurements (2. ISETMM), Florenz, 1993, S. 815-824.
- ➔ [4] Elfert, M. (1994): The Effect of Rotation and Buoyancy on Flow Development in a Rotating Circular Coolant Channel With Radial Inward Flow. Measurements in Turbulent Flows, Experimental Thermal and Fluid Science (ETFS) Journal, Elsevier, New York.
- ➔ [5] Elfert, M. (1994): The Effect of Rotation and Buoyancy on Radially Inward and Outward Directed Flow in a Rotating Circular Coolant Channel, Proceedings 49th Int. Congress of the Thermotechnical Association of Italy, 26.-30, Perugia, Italien, S. 2375-2387.
- ➔ [6] Elfert, M. (1994): The Effect of Rotation and Buoyancy on Flow Development in a Rotating Circular Channel, ERCOFTAC, Workshop in Turbomachinery, 25.-26. April, 1994, Ecole Centrale de Lyon, Lyon, Frankreich, Paper 7.
- ➔ [7] Elfert, M. (1994): Strömung und Wärmeübergang in rotierenden Kühlkanälen mit Filmkühlhausblausung, Abschlussbericht zum Vorhaben 2.1.8.1 A, AG-Turbo (Turbotherm II), DLR-Köln.
- ➔ [8] Elfert, M., Towfighi, K. (1994): Ermittlung des inneren Wärmeübergangs in rotierenden Kühlkanälen mit Filmkühlhausblausung, Abschlussbericht zum Vorhaben 2.1.8.1 B, AG-Turbo (Turbotherm II), DLR-Köln.
- ➔ [9] Elfert, M., Hoevel, H., Towfighi, K. (1996): The Influence of Rotation and Buoyancy on Radially Inward and Outward Directed Flow in a Rotating Circular Coolant Channel, Proc. 20th ICAS Conference, Sorrento, Italy, 2490-2500.
- ➔ [10] Rathjen, L., Hennecke, D.K., Elfert, M., Bock, S., Henrich, E. (1999): Investigation of Fluid Flow, Fluid Flow, Heat Transfer and Pressure Loss in a Rotating Multi-Pass Coolant Channel with an Engine Near Geometry, 14th Int. Symp. on Air Breathing Engines (ISABE), Florence, Italy, ISABE- IS-216.



- [11] Elfert, M. (2001): The Influence of Cooling Air Ejection on Flow Development and Heat Transfer in a Rotating Leading Edge Coolant Duct of a Film-Cooled Turbine Blade, AVT-RTO, Symposium on Advanced Flow Management, Part B – Heat Transfer and Cooling in Propulsion and Power Systems, 7-11 May, 2001, Loen, Norway, Paper 16B
- [12] Elfert, M., Jarius, M. (2002): Steady Fluid Flow Investigation using L2F and PIV in a Multi-Pass Coolant Channel. 9th Int. Symp. on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery (ISROMAC-9), Honolulu, Hawaii, Feb.10-14, 2002.
- [13] Elfert, M., Jarius, M. (2002): Steady Fluid Flow Investigation using L2F and PIV in a Multi-Pass Coolant Channel. 9th Int. Symp. on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery (ISROMAC-9), Honolulu, Hawaii, Feb.10-14, 2002.
- [14] Jarius, M., Elfert, M. (2002): Steady Fluid Flow Investigation using PIV in a Multi-Pass Coolant Channel. 11th Int. Symp. on Applications of Laser Techniques to Fluid Me-chanics, Lisbon, Portugal, July 8–11, 2002, Paper No. 17-5
- [15] Schubert, S, Neumann, S.O., Weigand, B., Elfert, M., Jarius, M., Hoevel, H. (2002): Optimierung von rotierenden Multipass-Kühlkanälen, Teil A Strömungs- und Druckverlustmessungen im rotierenden Modell, Teil B Wärmeübertragung im stationären Modell. Tagungsband des achten Statusseminar Verbundprojekt CO2-armes Kraftwerk – 500 MW auf einer Welle, Köln, 2002
- [16] Jarius, M., Elfert, M. (2003): Flow Investigation in a Two-Pass Coolant Channel with/without Ribbed Walls. 16th Int. Symp. on Air Breathing Engines, Aug. 31- Sept. 5, 2003, Cleveland, Ohio, USA, Paper ISABE-2003-1155
- [17] Schubert, S., Neumann, S.O., Jarius, M., Elfert, M., Weigand, B. (2003): Investigation of flow phenomena and heat transfer performance of a ribbed two-pass cooling channel with turbine typical cross sections. 16th Int. Symp. on Air Breathing Engines, Aug. 31- Sept. 5, 2003, Cleveland, Ohio, USA, Paper ISABE-2003-1156
- [18] Elfert, M., Jarius, M., Weigand, B. (2004): Detailed Flow Investigation using PIV in a Typical Turbine Cooling Geometry with Ribbed Walls, Proceedings of ASME TURBO EXPO 2004, June 14-17, 2004, Vienna, Austria, Paper no. GT-2004- 53566
- [19] Elfert, M., Jarius, M. (2004): Optimierung von rotierenden Multipass-Kühlsystemen Strömungs- und Druckverlustmessung im rotierenden Modell, Abschlussbericht zum Vorhaben 2.4.4 A, AG-Turbo II, DLR-Köln, Nov. 2004
- [20] Jarius, M., Elfert, M. (2004): Detailed Flow Investigation using PIV in a Stationary
- two pass Cooling Geometry, 12th International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, July 12-15, 2004, Lisbon, Portugal, Paper No. 10-2
- [21] Jarius, M., Elfert, M. (2004): Applikation von PIV und Stereo-PIV an einem Kühlsystem einer Turbinenrotorschaukel mit verrippten Wänden. 12. Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik", Deutsche Gesellschaft für Laser-Anemometrie GALA e.V., 7. – 9. September 2004, Karlsruhe, Paper 24, p. 1-10
- [22] Elfert, M., Hoevel, H., Jarius, M. (2004): Optimierung von rotierenden Multipass-Kühlsystemen, Teil A:



Strömungs- und Druckverlustmessung  
im rotierenden Modell,  
Abschlussbericht AG-Turbo II,  
Verbundvorhaben "GuD-Kraftwerk,  
500MW auf einer Welle", Vorhaben  
2.4.4A (2004)

- ➔ [23] Elfert, M., Jarius, M. (2005):  
Detailed Flow Investigation in a  
Ribbed Turbine Blade Two-pass  
Cooling System, 17th International  
Symposium on Air Breathing Engines  
(ISOABE), September 4-9, 2005,  
Munich, Germany
- ➔ [24] M. Elfert, H. Hoevel,  
„Experimentelle Untersuchungen in  
rotierenden Kühlsystemen von  
Turbinenschaufeln“, 10. Statusseminar  
der AG TURBO, Verbundprojekt CO2-  
Reduktion durch Effizienz „COOREFF-  
T“, 6. und 7. Dezember 2006, DLR,  
Köln, Seite 7-1 – 7-11

#### **Kontakt**

- ➔ Dr.-Ing. Eberhard Nicke, DLR-Institut  
für Antriebstechnik, Tel: +49 2203  
601 2057
- ➔ Jochen Krampe,  
Technologiemarketing, Tel: +49 2203  
601 3665, Fax: +49 2203 695689
- ➔ Dr.-Ing. Alexander Born,  
Technologiemarketing, Tel: +49 30  
67055 155, Fax: +49 30 67055 170
- ➔ Dr. Frank Holtmann,  
Technologiemarketing, Tel: +49 531  
295 3420, Fax: +49 531 295 3422

*Dieses Handout sowie Querverweise zu  
verwandten Messtechniken und Anlagen  
finden Sie unter: [http://messtec.dlr.de/  
link-252-de](http://messtec.dlr.de/link-252-de).*