Berechnung des Leckageverhaltens von Lamellendichtungen für Fluggasturbinen

Dipl.-Ing. Harald Ortner

Institut für Thermodynamik und Energiewandlung
Forschungsbereich Strömungsmaschinen
Getreidemarkt 9/302, A-1060 Wien

1 Einleitung

Für die Leistungsfähigkeit, die Effizienz und die Zuverlässigkeit von Fluggasturbinen spielen Dichtungen eine zentrale Rolle, da die Druckverhältnisse und Prozesstemperaturen und damit die Anforderungen an die Flugtriebwerke ständig steigen.
Bisherige Dichtungstechnologien zur Abdichtung von rotierenden und stillstehenden Bauteilen, wie beispielsweise Labyrinthdichtungen, stoßen bereits an ihre Machbarkeitsgrenzen was die Leckagemenge bei hohen Druckdifferenzen betrifft.
Bürstendichtungen stellen zwar eine modernere Entwicklung dar, aber bei bestimmten Betriebszuständen tritt ein erhöhter Verschleiß oder eine erhöhte Leckage auf.
In jüngster Zeit sind Berichte über Lamellendichtungen - eine Weiterentwicklung der Bürstendichtung - bekannt geworden.
Im Rahmen einer durchgeführten Diplomarbeit [1] wurde das Durchflussverhalten in Lamellendichtungen mittels CFD (Computational Fluid Dynamics) berechnet.
In früheren Arbeiten von Nakane et al. [2] und Jahn et al. [3] werden Verfahren zur Untersuchung und Bestimmung der Strömungseigenschaften sowie des Lamellenverformungsverhaltens vorgestellt.

2 Geometrie

Die Lamellendichtung besteht aus einer großen Anzahl dünner Metallplättchen, die in einem Trägerring unter einem bestimmten Winkel in Umfangsrichtung geneigt befestigt sind. Distanzelemente sollen eine korrekte Einstellung der zwischen den Lamellen befindlichen Freiräume, durch welche das Fluid durchströmen kann, sicherstellen.
Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau und die wichtigsten Abmessungen/Parameter für die Auslegung einer Lamellendichtung. Für die CFD – Berechnung wurde ein generisches Rechenmodell einer Lamellendichtung entsprechend den Geometriedaten eines von Mitsubishi Heavy Industries entwickelten und in [2] beschriebenen Lamellendichtungsprototypen erstellt. Ziel war die Ermittlung des Leckagemassenstroms in Abhängigkeit des angelegten Druckverhältnisses unter der Annahme einer festgehaltenen

Geometrie (keine Verformung). Anhand dieser Rechenergebnisse ist ein sinnvoller Vergleich mit dem Leckageverhalten anderer Dichtungstechnologien und mit jenen in [2] veröffentlichten Durchflusswerten der in Versuchen getesteten Lamellendichtungen möglich.

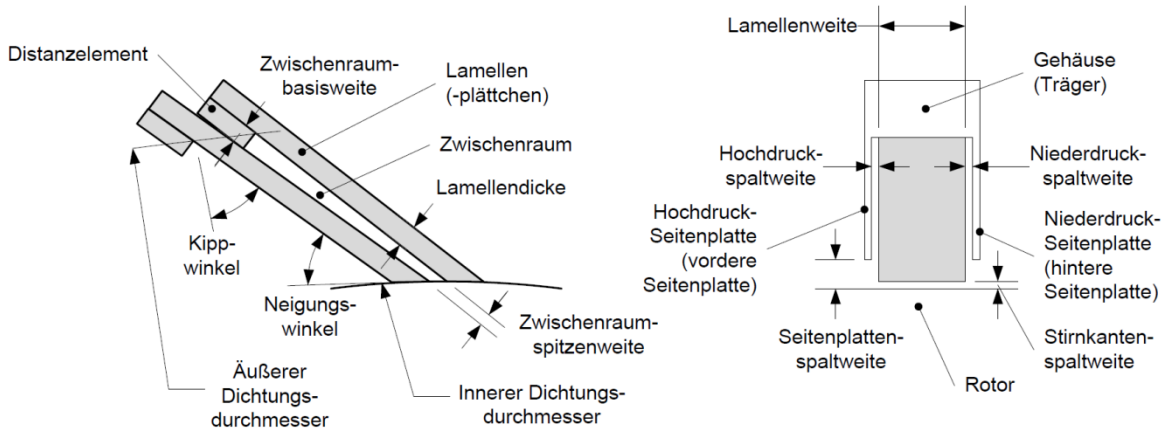

Abbildung 1: Auslegungsparameter der Lamellendichtung.

3 Rechennetz und Randbedingungen

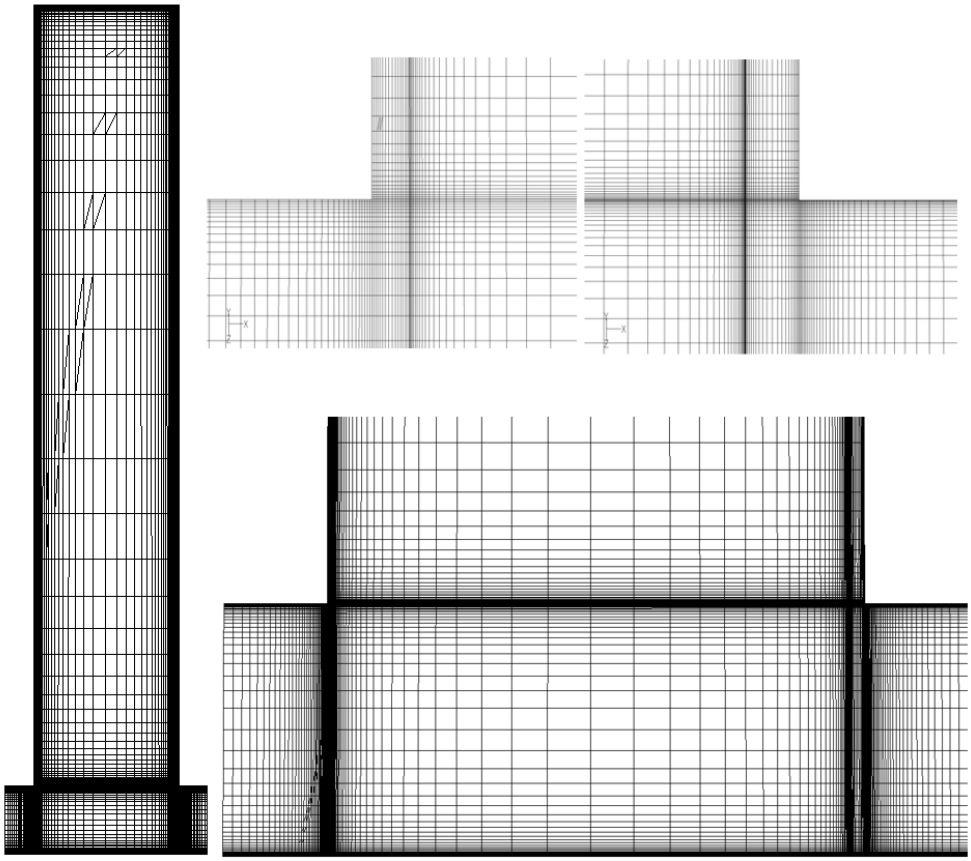

Abbildung 2: Gitternetzdarstellung mit Detailansichten.

Das Rechengitter wurde lediglich für die Durchströmung zwischen zwei Lamellen durch einen Lamellenzwischenraum mit sinnvollen Vereinfachungen entwickelt. Als Geometrie- und Netzgenerator kam dabei GAMBIT in der Version 2.3.16 zum Einsatz.
Die Randbedingungen beinhalten den Druck und die Temperatur am Strömungseintritt, den Druck am Austritt, rotatorisch - periodische Ränder für die periodisch fortlaufenden Spalten und Wandflächen mit bestimmten Vorgaben. Eine sorgfältige Wahl der Randbedingungen hat einen entscheidenden Einfluss auf die erzielbaren Rechenergebnisse.
Abbildung 2 zeigt das erstellte Rechennetz mit einer höheren Netzdichte an den Wandflächen und an den Übergangsbereichen der einzelnen Abschnitte des Strömungsfeldes. Dazwischen nimmt das strukturierte Gitter sehr grobe Verteilungen an, um die Gesamtzellenanzahl und damit die benötigte Rechenzeit in Grenzen zu halten.

4 CFD-Berechnung

Als Strömungslöser kam das Strömungssimulationsprogramm FLUENT 6.3.26 zum Einsatz. Die Berechnung der räumlichen, stationären, kompressiblen, laminaren Strömung erfolgte mit Luft als ideales Gas am ICP5-Server der TU Wien. Gestartet wurde die Berechnungsserie mit einer niedrigen angelegten Druckdifferenz, wobei diese bei der jeweils nachfolgenden Rechnung gesteigert wurde.

5 Ergebnisse

Abbildung 3: Statische Druckverteilung.

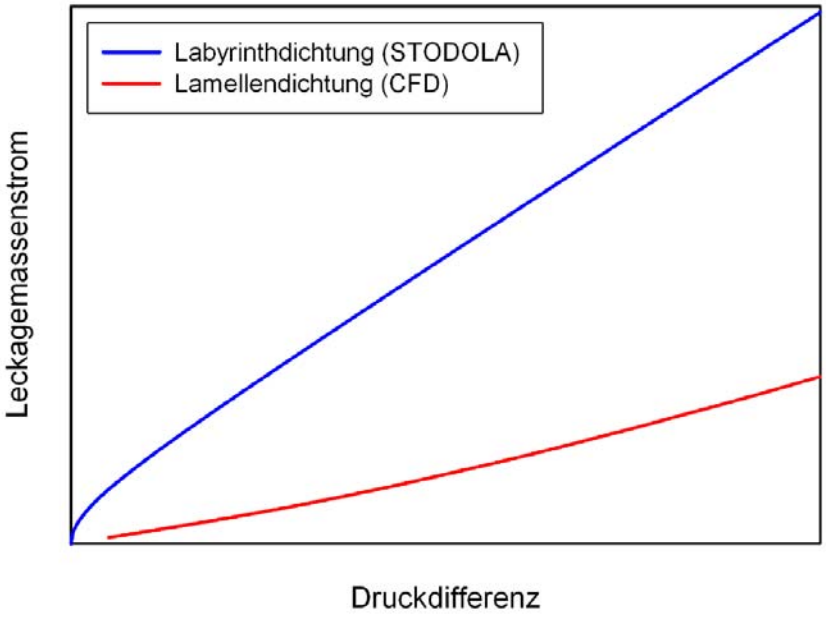

Abbildung 4: Leckagemassenstrom in Abhängigkeit der anliegenden Druckdifferenz.

In *Abbildung 3* ist die statische Druckverteilung zu sehen, welche eine sehr gute Übereinstimmung mit der von Nakane et al. in [2] dargestellten Druckverteilung aufzeigt. Die Druckabnahme im unteren Bereich, dem sogenannten „Durchblickbereich“, ist von der Hoch- zur Niederdruckseite sehr gleichmäßig.
Abbildung 4 verdeutlicht anhand des berechneten Leckagemassenstroms in Abhängigkeit der anliegenden Druckdifferenz einen wichtigen Vorteil der Lamellendichtungstechnologie. Dies ist eine beachtliche Reduktion der Leckage gegenüber einer Labyrinthdichtung.
Als Vergleichsbasis dient das Leckageverhalten einer Labyrinthdichtung, welches mit Hilfe der von A. Stodola angeführten Formel für die Berechnung des Spaltmassenstromes (siehe beispielsweise [4]) ermittelt wurde.
Die CFD-Berechnungen zeigen einen Verlauf der Lamellendichtungsleckage, der mit jenem von Bürstendichtungen vergleichbar ist.

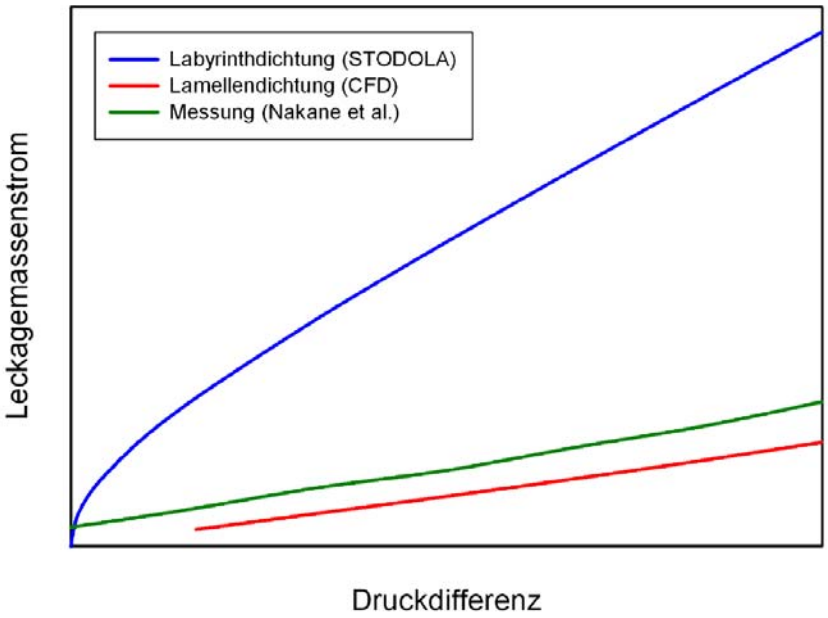

Abbildung 5: Vergleich der CFD - Resultate mit mittleren Messwerten (Nakane et al.).

Abbildung 5 zeigt einen Vergleich der CFD – Resultate zu den durchgeführten Messungen von Nakane et al. [2] mit einem Prototyp einer Lamellendichtung in einem Dichtungsprüfstand. Die Differenz wird wohl hauptsächlich durch eine axiale Teilfuge in der realen Dichtung verursacht, durch welche eine bedeutende Leckagemenge entweichen kann.

Weitere Vorteile der Lamellendichtung:

- Aufgrund der Plättchenbauweise ergibt sich eine hohe Steifigkeit in axialer Richtung, die im Vergleich zur Bürstendichtung eine höhere anliegende Druckdifferenz ermöglichen soll!
- Wegen der hohen Nachgiebigkeit der Lamellen in radialer Richtung können große exzentrische Wellenauslenkungen unbeschadet überstanden werden.

- Bei ausreichend hoher Wellendrehzahl soll sich durch eine „hydrodynamische Auftriebskraft“ ein berührungsfreier Betrieb einstellen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die CFD-Berechnungen bestätigten die erwartete deutliche Leckagereduktion im Vergleich zu einer Labyrinthdichtung und das Leckageverhalten entspricht in etwa dem einer vergleichbaren Bürstendichtung.
Weiters stimmen die ermittelten Ergebnisse qualitativ gut mit den in der Literatur angegebenen Daten aus Strömungsberechnungen und Laborversuchen mit Lamellendichtungsprototypen in Dichtungsprüfständen überein.

Um die zuvor angeführten Vorteile der Lamellendichtung nachzuprüfen, könnten zukünftige Arbeiten die Lamellenverformung mitberücksichtigen, indem man die Strömungs- mit einer Festigkeitsberechnung koppelt. Dadurch wären auch Aussagen über maximal mögliche Druckdifferenzen machbar. Zusätzlich sind Arbeiten zur Untersuchung des dynamischen Verhaltens der Lamellen denkbar.

Programm TAKE OFF – eine Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)

7 Literatur

[1] Ortner H.: *Berechnung des Leckageverhaltens von Lamellendichtungen für Fluggasturbinen*, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, September 2009.

[2] Nakane H., Maekawa A., Akita E., Akagi K., Nakano T., Nishimoto S., Hashimoto S., Shinohara T., Uehara H.: *The Development of High-Performance Leaf Seals*, ASME – Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 126, pp. 342-350, April 2004.

[3] Jahn I.H.J., Owen A.K., Franceschini G., Gillespie D.R.H.: *Experimental Characterisation oft the Stiffness and Leakage of a Prototype Leaf Seal for Turbine Applications*, Proceedings of ASME Turbo Expo 2008, Power for Land, Sea and Air, GT2008, Berlin, Germany, GT2008-51206, Juni 2008.

[4] Müller K.J., Willinger R., Haselbacher H.: Skriptum zur Vorlesung – *Grundzüge der thermischen Turbomaschinen*, Fassung 2001, Technische Universität Wien.