

Strömungsuntersuchungen in doppelwirkenden Axiallagern

Untersuchung der phänomenologischen Vorgänge im Ölverteilraum doppel wirkender Axiallager im Abgasturbolader mittels CFD-Simulation

H. Schwarze, C.Zeh, Institut für Tribologie und Energiewandlungsmaschinen, TU Clausthal

Kurzgefasst

- Entwicklung zuverlässiger Auslegungsgrundlagen schnell laufender Rotor-Gleitlagersysteme
- Strömungsuntersuchungen an doppelwirkenden ATL-Axiallagern
- Modellbildung für Gleitlagerberechnungsprogramme
- Erweiterung des Systemverständnisses von Axialgleitlagern in Abgasturboladern

Die Motoraufladung ist eine wichtige und wertvolle Technik die Leistung von Verbrennungsmotoren durch die Zuführung von Luft mit erhöhtem Druck zu steigern. Die Selbstaufladung mithilfe eines Abgasturboladers stellt dabei die am häufigsten eingesetzte Ladeart dar. Die Motorabgase werden hierbei auf ein Turbinenrad geleitet, welches ein Verdichterrad auf derselben Welle antreibt 1.

Neben der Gestaltung des Laufzeuges ist die Reibung an den radialen und axialen Lagerstellen und deren Einfluss auf das Gesamtsystem eine wichtige Einflussgröße bei der Auslegung modernen Abgasturbolader. Um experimentelle Untersuchungen zeit- und kosteneffizient zu gestalten, werden daher von der Industrie praxisingerechte Berechnungswerkzeuge zur Untersuchung des Betriebsverhaltens an den Lagerstellen in einer frühen Entwicklungsphase gefordert. Im abgeschlossenen AiF Vorhaben "Systemspezifische Turbolader Schmierfilmdissipation" erfolgte die Abbildung des für ATL typischen doppelwirkenden Axiallagers mit zwei rotierenden Spurscheiben durch entsprechende Erweiterung des am ITR entwickelten Axialgleitlagerberechnungsprogrammes COMBROS-A 2.

Untersuchungen an der ATL-Axiallagerung während des Projekts zeigten, dass die makroskopischen Strömungsvorgänge im Ölverteilraum zwischen Lagersegment, Welle und Spurscheibe entscheidend sind für die korrekte Vorhersage der Lagerkennwerte. Gleitlagerberechnungsprogramme auf Basis der Reynoldsgleichung können jedoch die Strömung in den Segmentzwischenräumen sowie die quantitative Aufteilung des Ölstroms auf die beiden Lagerseiten nicht auflösen. Die Annahme von Vollfüllung in den

nicht gekoppelten Schmierfilmen ergaben unrealistisch hohe Öldurchsätze und Verlustleistungen. Bei Vorgabe eines Gesamtdurchsatzes muss jedoch die Aufteilung auf beide Lagerseiten bekannt sein. Hierdurch entstehen Unsicherheiten bei der Berechnung der relevanten Lagerkennwerte.

Im Rahmen des FVV-Projektes "Thermisch beeinflusste ATL-Lagerreibung" soll daher die sich ausbildende Strömung in den Segmentzwischenräumen doppelwirkender Axiallager genauer analysiert werden 3. Hierzu sollen Strömungslöser auf Grundlage der dreidimensionalen Navier-Stokes-Gleichungen verwendet werden. Umfangreiche Variationsrechnungen sollen dabei helfen die charakteristischen Einflussgrößen auf das System zu identifizieren und dazu beitragen ein Berechnungsmodell zu entwickeln, das die Volumenstromaufteilung auf beide Lagerseiten zuverlässig vorhersagen kann. Zu den wesentlichen im Vorfeld bereits bekannten Einflussgrößen zählen die Drehzahl, die Spaltweite, der Volumenstrom sowie die Zuführtemperatur. Die Simulationsergebnisse sollen dabei mit Hilfe experimenteller Daten validiert werden. Diese experimentellen Untersuchungen werden vom Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD) der LU Hannover durchgeführt. Dazu wird ein Abgasturbolader mit Messstellen für Temperatur, Druck, Buchsen- und Rotordrehzahl umfangreich instrumentiert.

Das so entstehende Berechnungsmodell soll im Laufe des Projektes in das Axialgleitlagerberechnungsprogramm COMBROS-A implementiert und getestet werden.

Die Untersuchung der Strömung in doppelwirkenden Axiallagern liefert einen wichtigen Beitrag zur verbesserten Berechnung der Lagerkennwerte, wodurch die sichere Auslegung schnelllaufender Rotor-Lager Systeme verbessert wird. Weiterhin kann durch Kenntnis des Betriebsverhaltens Leistung, Leistungsdichte sowie Wirkungsgrad entsprechender Systeme gesteigert werden. Die Untersuchungen zur Ölaufteilung auf die Lagerseiten erweitern dabei das Systemverständnis dieser Lagerbauart erheblich und liefern dadurch wichtige Impulse zur Weiterentwicklung praxisingerechter Axialgleitlagerberechnungsprogramme.

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass die Wahl der thermischen Randbedingungen von entscheidender Bedeutung sind. So wird das zugeführte Frischöl im Ölverteilraum zunächst von den umgebenden Bauteilen erhitzt bevor es anschließend in den Gleitlagerspalt einströmt. Dadurch erhöht sich

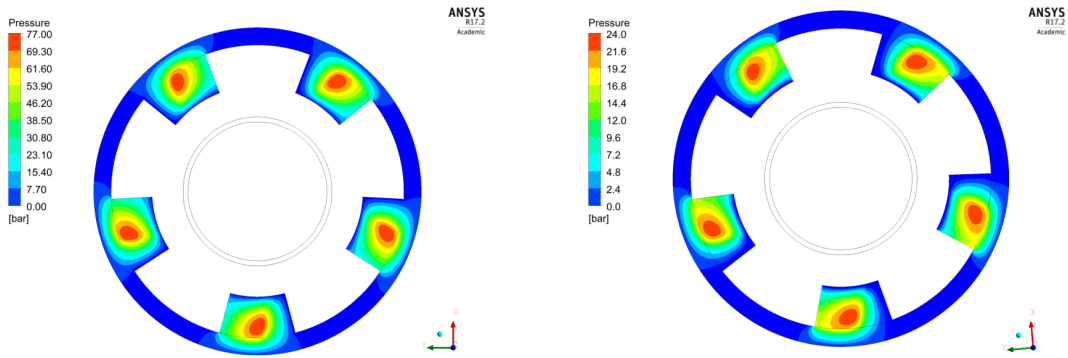


Abbildung 1: Druckverteilung eines doppelt wirkenden Axiallagers im isothermen (links) und nicht-isothermen (rechts) Fall

die effektive dem Lagerspalt zugeführte Öltemperatur und die Tragkraft des Lagers verringert sich. Die Ermittlung der effektiven Zuführtemperatur für unterschiedliche Betriebszustände ist ein wesentlicher Baustein zur Verbesserung der Berechnungsmodelle doppeltwirkender Axialgleitlager in COMBROS-A. Auf Abbildung 1 ist die Druckverteilung auf der belasteten Lagerseite bei gleicher Spalthöhe und Drehzahl im isothermen (links) und nicht-isothermen Fall (rechts) für ein doppelt wirkendes Axiallager mit zentraler Zuführung dargestellt. Klar zu erkennen ist das deutlich geringere Druckniveau und die damit verbundene sinkende Tragkraft des Lagers im nicht-isothermen Fall. Verantwortlich für die Abnahme der Tragkraft ist neben dem Wärmeeintrag aus den Bauteilen die Berücksichtigung der Dissipation im Gleitlagerspalt.

Die Auswertung der Simulationen zeigen weiterhin, dass die Volumenstromaufteilung zu beiden Lagerseiten, wesentlich von den Spalthöhen abhängig ist. Da die unbelastete Lagerseite im Vergleich zur belasteten einen deutlich geringeren Strömungswiderstand darstellt, fließt der Großteil des zugeführten Frischöls über die unbelastete Lagerstelle ab. Die quantitative Auswertung zeigt, dass im Bereich der relevanten Betriebszustände weniger als zwanzig Prozent des Frischöls über den belasteten Spalt abfließen.

In Bereichen hoher Drehzahlen treten sowohl im Segmentzwischenraum als auch auf der unbelasteten Lagerseite vermehrt negative Drücke auf. Da Schmieröle nur in begrenztem Umfang Zugspannungen aufnehmen können induzieren diese negativen Drücke in Regelfall das Auftreten von Gaskavitation. Dabei löst sich die in Schmierölen enthaltene Luft bei Unterschreiten des Umgebungsdrucks aus dem Öl und bildet Gasblasen aus, was den Charakter der Strömung wesentlich verändern kann. Generell sind zwar eine Vielzahl unterschiedlicher Kavitati-

onsmodelle in der Literatur zu finden, aufgrund der Komplexität der physikalischen Vorgänge konnte bisher jedoch noch kein universelles Modell entwickelt werden, sodass bestehenden Modelle mit Hilfe experimenteller Daten an den spezifischen Anwendungsfall angepasst werden müssen ⁴. Die Güte der bisher durchgeführten Simulationen zur Modellierung der Kavitation kann erst mit der Verfügbarkeit von experimentellen Daten, die mit Fortschreiten des Projektes bereit stehen sollten, bewertet werden.

WWW

<http://www.itr.tu-clausthal.de/>

Weitere Informationen

- [1] M. Vogt, Aufladesysteme für Ottomotoren im Vergleich, Dissertation TU Berlin (ILS), Berlin, 2009
- [2] Abschlussbericht: "Systemspezifische Turbolader-Schmierfilmdissipation", Vorhaben Nr. 16230, Heft 11 14-2017, Frankfurt am Main, 2014
- [3] FVV - Projektantrag - "Thermisch beeinflusste ATL-Lagerreibung", 2013
- [4] S. Brinkhorst, Numerische und experimentelle Untersuchung zur metrologischen Nutzung von kavitierenden Venturi-Düsen, Dissertation Universität Duisburg-Essen, 2017

Projektpartner

Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD), Leibniz Universität Hannover

Förderung

FVV - Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V.