

Simulation Radialer Gleitlager unter Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen Fluid und Struktur (FSI)

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing.
Marius Geller

Forschungsschwerpunkt

Computersimulation
im Maschinenbau

Zeitraum

2009–2011

Wiss. Mitarbeiter

Norbert Kluck
Christoph Schemmann
Idriss Razgani

Förderung

Fachhochschule
Dortmund
Forschungsbudget

Kontakt

Prof. Dr.-Ing.
Marius Geller
Fachbereich
Maschinenbau
Fachhochschule
Dortmund
Sonnenstr. 96
44139 Dortmund
Tel.: 0231 9112-256
E-Mail: geller
@fh-dortmund.de

Abstract

In den letzten Jahren hat sich die Fluid-Struktur-Interaktion (FSI), also die gekoppelte Betrachtung von Strömungs- und Festigkeitsmechanik, zu einem wichtigen Teilgebiet der Computersimulation entwickelt. Mittels dieser Methode ist es möglich, Untersuchungen an einem virtuellen Modell unter Einbeziehung nahezu aller physikalischen Phänomene bei gleichzeitiger Reduktion des Zeit- und Kostenaufwandes wirtschaftlich durchzuführen. Dadurch lassen sich detaillierte Informationen über das Verhalten eines technischen Systems gewinnen.

Gleitlager werden seit langem in vielen Bereichen des Maschinenbaus erfolgreich eingesetzt. Hinsichtlich der im Inneren des Lagers ablaufenden physikalischen Vorgänge besteht allerdings noch immer eine Vielzahl offener Fragen. Aufgrund der in einem Gleitlager auftretenden komplexen Wechselwirkungen zwischen Schmierfilm und Struktur, bietet sich für diese Fragestellung das FSI-Verfahren als optimale Simulationsmethode an.

1. Einleitung

Gleitlager sind eine für den modernen Maschinenbau unverzichtbare Komponente. Aufgrund ihres breiten Einsatzfeldes sind sie in nahezu allen Gebieten des Maschinenbaus anzutreffen. Als Beispiele seien hier elektrische Maschinen, Gas- und Dampfturbinen oder Anwendungen in der Antriebstechnik genannt. Der Einsatz von Gleitlagern zur Rotorenlagerung hat einen großen Einfluss auf die Dynamik des Gesamtsystems (Rotor-Lager-Fundament). Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die dynamischen Steifigkeits- und Dämpfungskoeffizienten des Lagers mit starken Nichtlinearitäten behaftet sind. Diese Koeffizienten werden in der Regel mit quasistatischen Rechenmodellen für bestimmte Betriebspunkte ermittelt. Dies ist für kleine Amplituden der

Zapfenbewegung ausreichend (Linearisierungsbereich). Sind die Erregeramplituden viel größer, wie zum Beispiel im Falle eines Schaufelbruchs bei einer Turbine, reichen diese Methoden nicht mehr aus, um die starken, kombinierten und nichtlinearen Antworten des Systems Schmierfilm-Struktur zu erfassen.

Abb. 1 zeigt ein CAD-Modell eines 4-Kippsegment-Gleitlagers, wie es auch in den Simulationen zum Einsatz kommt. Als wichtigste Komponenten sind die Kippsegmente (1), das Gehäuse (2), die Gehäusedichtungen (3) sowie die Welle (4) modelliert.

Nachfolgend wird das im Forschungsschwerpunkt „Computersimulation im Maschinenbau“ entwickelte Modell zur nichtlinearen zeitabhängigen Gleitlagerberechnung beschrieben.

2. Fluid-Struktur-Interaktion

Bei der numerischen Simulation der Wechselwirkung zwischen Fluid und Struktur sind verschiedene Abstraktionsgrade möglich. Dabei ist zu beachten, dass mit der Anzahl der einbezogenen physikalischen Aspekte der Berechnungsaufwand enorm steigt (Abb. 2). Die für die Gleitlagersimulation sinnvollen Simulationsmethoden sind:

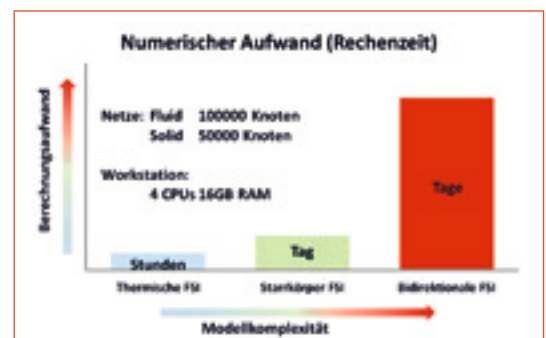


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Modellkomplexität und Berechnungsaufwand

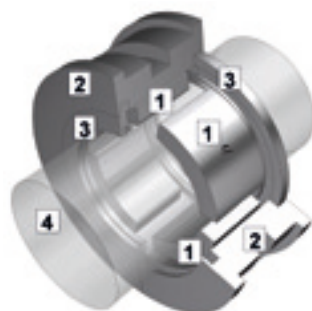


Abb. 1: CAD Modell eine 4-Kippsegment-Gleitlagers

- Thermische FSI unter CFX
Bei dieser Simulationsmethode wird das Lager in einem stationären Zustand simuliert, um Temperaturverteilung und Wärmeübergang zu ermitteln.
- Starrkörper FSI unter CFX
In diesem Fall wird die Kinematik des Lagers in die Simulation mit einbezogen. Diese wird als reine Starrkörperbewegung ohne Verformung über Integration der Bewegungsgleichungen realisiert.

- Bidirektionale FSI mit dem MFX-Solver (FEM-CFD)
Diese Simulationsmethode bietet den höchsten Detailgrad. Zusätzlich zur Kinematik wird die Verformung der Lagerstruktur simuliert. Hierzu werden der CFD Solver und der FEM Solver bidirektional gekoppelt. In jedem Berechnungsschritt werden zwischen beiden Solvern die Fluidkräfte bzw. die Festkörperverformungen ausgetauscht und solange iteriert, bis sich beide Systeme im Gleichgewicht befinden. Das Zusammenspiel zwischen Fluidfilm und sich verformendem Festkörper wird auch als elastohydrodynamischer Effekt (EHD) bezeichnet.

3. Mehrphasenströmung und Kavitation

Betrachtet man die Strömung in einem Gleitlager rein analytisch, so fällt auf, dass die rechnerische Lösung unter bestimmten Randbedingungen sehr kleine oder gar negative Drücke liefert. Liegt der Druck in einer Flüssigkeit unterhalb des Dampfdruckes, geht diese schlagartig in den gasförmigen Aggregatzustand über. Dieser Vorgang wird als Kavitation oder genauer als Dampfkavitation bezeichnet. Würde Dampfkavitation im Lager auftreten, käme es zu einer Schädigung des Lagers.

Eine andere Möglichkeit die negativen Drücke abzubauen, basiert auf der Eigenschaft von Ölen, in gewissem Maße Luft lösen zu können (Absorption). Unterschreitet der Druck nun ein materialspezifisches Minimum (Partialdruck), so gas die gelöste Luft aus dem Fluid aus (Desorption). Dieser Vorgang wird als Gaskavitation bezeichnet.

Für die Gleitlagersimulation kommt eine Kombination beider Kavitationsmodelle zum Einsatz (Abb. 3). Weiterhin wird ein Mehrphasenmodell verwendet, welches die Komponenten flüssiges Öl (inkl. gelöster Luft), freie Luft und Öldampf umfasst.

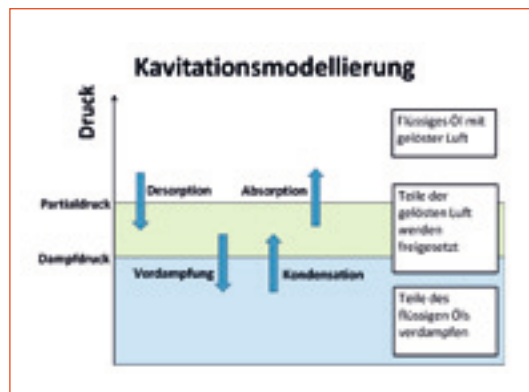


Abb. 3: Kavitationsmodellierung

4. Simulationsmodell

Aus der in Abb. 1 dargestellten CAD-Geometrie leiten sich die Simulationsmodelle sowohl für die struktur- als auch für die fluidmechanischen Berechnungen ab. Hierbei wird die Geometrie vereinfacht, um in vertretbaren Rechenzeiten Ergebnisse erzielen zu können (Abb. 4 und Abb. 5).

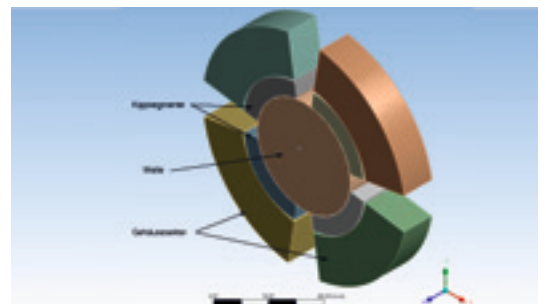


Abb. 4: Solidmodell

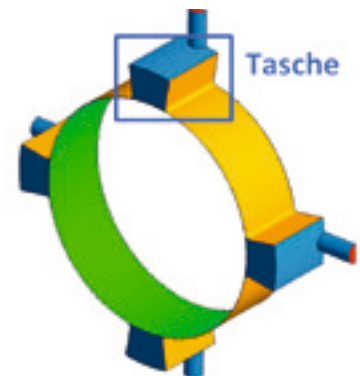


Abb. 5: Fluidmodell, Randbedingungen farblich gekennzeichnet: Rotor (grün), Kippsegmente (gelb), Eintritt (rot)

5. Ergebnisse der numerischen Simulation

Der erste Schritt der Gleitlagersimulation ist das Erreichen der quasistationären Ruhelage. Dazu wird der Rotor zunächst in der Lagermitte festgesetzt und die Drehzahl kontinuierlich bis zur Betriebsdrehzahl erhöht. Ist diese erreicht, wird der Rotor aus seiner Fixierung gelöst und nimmt je nach Lagerbauart eine quasistationäre Position ein. (Abb. 6, Abb. 7)

Aus der quasistationären Ruhelage ergibt sich die sogenannte Spaltfunktion des Lager $h(\theta)$. Wird diese zusammen mit der Druckverteilung in Umfangsrichtung ausgewertet, so ist deutlich zu erkennen, dass sich im divergierenden Spaltbereich (d.h. kurz hinter der Stelle des minimalen Spaltes) ein Druckminimum ergibt (Abb. 8). Dies steht in Übereinstimmung zur analytischen Lösung der Druckverteilung im Lager.



Abb. 6: Verlagerungsbahn Anlaufvorgang

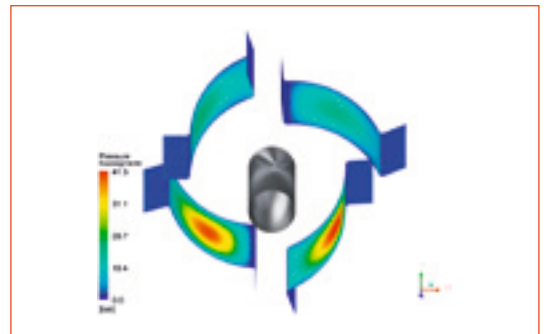


Abb. 7: Segmentauslenkung und Druckverteilung in der quasistationären Ruhelage

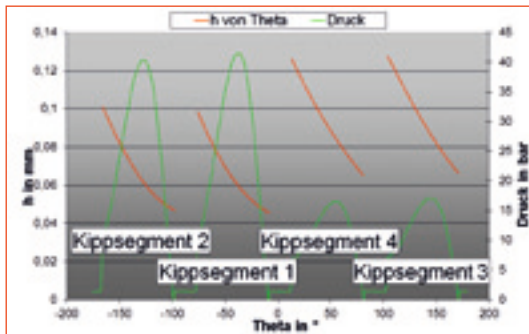


Abb. 8: Spaltfunktion und Druckverteilung in Umfangsrichtung

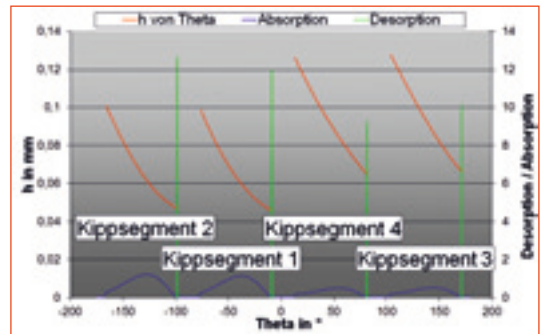


Abb. 9: Absorptions-/Desorptionsvorgänge aufgetragen über den Umfang

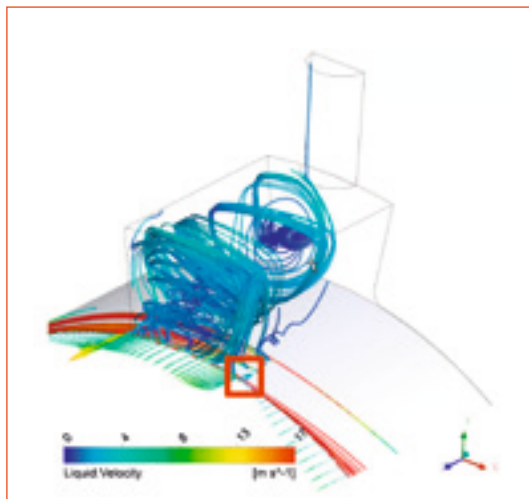


Abb. 10: Strömungsverhältnisse in einer Lagertasche und Geschwindigkeitsverteilung am Lageraustritt

Bei der Betrachtung des Phasenübergangs zeigt sich, dass im divergierenden Spaltbereich starke Desorption auftritt. Dieses Phänomen korreliert mit der zuvor betrachteten Druckverteilung, da durch die kleinen Drücke die im Öl gelöste Luft ausgasst. Weitere Untersuchungen haben ergeben, dass Dampfkavitation im Lager nicht auftritt.

Die numerische Strömungssimulation ermöglicht weiterhin Einblicke in die Strömungsverhältnisse im Lager, die ansonsten kaum zu erfassen wären. Das in Abb. 10 dargestellte Strömungsbild visualisiert zum einen die komplexe Strömung in einer Lagertasche und zeigt zum anderen, dass am Lageraustritt Rückströmungen auftreten können (rot markiert).