



Bachelorarbeit

zum Thema

FEM-Simulation der Verformung des Gummistators einer Exzentrerschneckenpumpe

Technische Universität Berlin
Institut für Mechanik
Fachgebiet Strukturmechanik und Strukturberechnung

von

Darius Greiner
geb. am 28.05.1998
Matrikelnummer: 381634

Betreuer:

- 1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing habil. Sandra Klinge
- 2. Gutachter: Dr. Serhat Aygün
- Studiengang: Physikalische Ingenieurwissenschaft
- Datum: 3. März 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Abkürzungsverzeichnis	2
3	Stand der Technik	3
4	Theoretische Grundlagen	4
4.1	Aufbau und Funktionsweise einer Exzentrerschneckenpumpe	4
4.2	Beschreibende Gleichungen der FEM	5
4.3	Numerische Implementierung der FEM-Gleichungen für nicht-lineare Systeme	6
4.4	Kontaktmodellierung in der FEM	7
4.5	Grundlagen der FE-Simulationen von gummiartigen Materialien	8
5	Simulation verschiedener Materialmodelle für das Gummi des Stators	11
5.1	Beschreibende Materialmodelle für hyperelastische Elastomere	11
5.2	Versuchsaufbauten zur Ermittlung der Modellparameter	12
5.3	Auswertung der Versuche zur Materialdatenermittlung	13
5.4	Wahl eines geeigneten Materialmodells	14
6	Ziele der strukturmechanischen Simulationen der Exzentrerschneckenpumpe	16
7	Simulationsaufbauten	17
8	Ergebnisse der Simulationen	22
8.1	Einfluss der Elementgröße und des Steifigkeitsfaktors des Kontaktes auf die Verformung des Stators	22
8.2	Ergebnisse der Simulationen	23
8.2.1	Einfluss des Reibungskoeffizienten auf Verformung und wirkende Kräfte	23
8.2.2	Einfluss des gewählten Rotorübermaßes auf die Verformung und die Reaktionskräfte des Rotors	25
8.2.3	Einfluss des Innendruckes des Stators auf die Verformung des Stators	26
8.2.4	Ergebnisse der transienten Rechnung	32
8.2.5	Ergebnisse der quasi-statischen Rechnung	32
9	Ausblick	34
10	Fazit	35
11	Bibliographie	37
12	Anhang	39

1 Zusammenfassung

Exzentrerschneckenpumpen stellen eine Art von Verdrängerpumpen dar, die heutzutage in verschiedensten Anwendungsgebieten zu finden sind. Von der Lebensmittel- über die Ölindustrie bis hin zur Medizin werden die Pumpen genutzt, um Fördermedien entlang eines Druckdifferentials zu bewegen. Dabei werden am häufigsten Pumpen mit einem Gummistator und einem Übermaß im Rotor-Stator-System verwendet.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine gängige Pumpenbauart zu simulieren, und den Einfluss des Kontaktes zwischen Rotor und Stator auf die Statorform zu untersuchen. Teil dieser Kontaktbetrachtung ist es, die Einflüsse der Passung und der statischen Reibung zwischen den Bauteilen zu beschreiben. Zudem wird betrachtet, inwiefern die Wahl des Statormaterials einen Einfluss auf Reaktionskräfte und Verformungen hat. Es wird außerdem statisch-mechanisch untersucht, welchen Einfluss das Druckdifferential auf die Verformung des Stators hat. Zusätzlich zu der Verformung des Stators aufgrund des Kontaktes, soll auch noch der Einfluss des Kontaktes auf die Pumpe an verschiedenen Betriebspunkten untersucht werden.

Zur Untersuchung der Verformungen wurden mehrere verschiedene Designpunkte erstellt, in denen die Parameter von Interesse variiert wurden. Anhand dieser Designpunkte wurden dann verschiedene Simulationen in Ansys-Mechanical durchgeführt, um Modelle zur Beschreibung der Einflüsse entwickeln zu können.

Aus den Simulationen konnte gezeigt werden, dass das Übermaß einen klaren Einfluss auf die wirkenden Kräfte und die Verformung des Stators hat. Ein ähnlicher aber stärkerer Einfluss ließ sich für die verschiedenen Designpunkte des Druckes finden. Für den Reibungskoeffizienten konnte in einer rein statischen Simulation kein großer Einfluss auf die Verformungen, und nur bei kleinen Werten ein starker Einfluss auf die Lagerkräfte des Rotors festgestellt werden.

Es wird durch Reibung zwischen den Kontakten ebenfalls ein starker Einfluss auf das wirkende Antriebsdrehmoment genommen. Es konnte ebenfalls ein mathematisches Modell zur Beschreibung der Geschwindigkeitsabhängigkeit des Reibungskoeffizienten gefunden werden.

9 Ausblick

Bei der Betrachtung der Exzentrerschneckenpumpe war zu Beginn dieser Arbeit von Interesse, wie sich der Gummistator in einem nicht hydrodynamisch belasteten Fall verhalten würde. Dieses Verhalten wurde mithilfe des Neo-Hooke-Gummimodells für zwei verschiedene Materialien und verschiedene Übermaße und statische interne Drücke simuliert.

Als weiterer Schritt für eine mögliche Vereinfachung der statischen Simulation von Exzentrerschneckenpumpen, wäre eine Simulation mit linear-elastischem Materialmodell und Vergleich mit den Daten des Neo-Hooke-Modells sinnvoll. Da für einen Realfall nur sehr kleine Verformungen auftreten, sollte ein linear-elastisches Materialmodell laut Voruntersuchung der Materialmodelle genauer sein, als Neo-Hooke. Zusätzlich ist es möglich, dass die Rechenzeit sich durch eine linearelastische Formulierung verkürzen lässt. Dies wäre vor allem für eine quasi-statische Simulation mit bewegtem System von Interesse, da diese Simulationsreihe die meiste Rechenzeit in Anspruch nahm.

In dieser Arbeit konnte keine mathematische Modellierung der Verformung der Statorfläche um den Kontaktbereich herum gefunden werden. Ein solches Modell in Abhängigkeit von Parametern wie z.B. dem geometrischen Übermaß der Bauteile oder auch des Reibungskoeffizienten würde eine zukünftige Beschreibung der Statorgeometrie erheblich vereinfachen. Vor allem hilfreich könnte eine solche mathematische Beschreibung für eine fluiddynamische Untersuchung des Flussverhaltens in der Pumpe sein, da diese Verformung Einfluss auf Lücken im Kontaktbereich zwischen Stator und Rotor hat.

Es wurde ebenfalls keine Möglichkeit zu einer Öffnung von Spalten gefunden. Eine mögliche Approximation könnte über einen definierten Kontaktbereich mit gegenüber dem Kammerdruck verringerten Kontaktdrücken realisiert werden, um die Druckdifferenziale zu entspannen. Da dieser Druck jedoch unbekannt und nur empirisch belegbar ist, wäre diese Approximation jedoch ebenfalls nicht zwangsläufig ein akkurates Modell für das tatsächliche Verhalten in der Pumpe. In dem Zuge wäre vermutlich auch eine Analyse des Kontaktdruckes für verschiedene Übermaße und Reibungskoeffizienten von Interesse.

Zusätzlich konnte keine Simulation zu dem auftretenden Anfahrtdrehmoment und einem damit verbundenen Übergang von Haft- zu Gleitreibung durchgeführt werden.

Es erfolgte auch keine Untersuchung des Übermaßes auf das Drehmoment der Pumpe im Betrieb. Diese Betrachtung ist von großem Interesse, da sich in der statischen Simulation bereits eine nicht-lineare Proportionalität von Übermaß und Kräften erkennen ließ. Da die quasi-statischen Simulationen hier nur für ein Übermaß von 0.6 mm erfolgten, ist es naheliegend, dass der Rotor bei kleinerem Übermaß einen signifikant größeren Einfluss auf das Gesamtmoment hat, als in dieser Arbeit festgestellt wurde.

10 Fazit

Ziel dieser Arbeit war es, eine strukturmechanische Simulation einer Exzentrerschneckenpumpe durchzuführen, in der die Einflüsse des Kontakts zwischen Rotor und Stator auf die Form des Stators untersucht werden sollten.

In dieser Arbeit ließ sich ein klarer Zusammenhang zwischen wirkenden Lagerkräften auf den Rotor und dem Reibungskoeffizienten κ_r finden. Ab einem Wert von $\kappa_r = 0.5$ ließ sich eine annähernd lineare Abhängigkeit beobachten. Zudem ließ sich feststellen, dass die wirkende Reaktionskraft einen nahezu konstanten Faktor zwischen den untersuchten Materialien ausbildete.

Eine leichte Schräglage des Rotors aufgrund der asymmetrischen Reaktionskräfte in Abhängigkeit des Übermaßes konnte beobachtet werden. Der Einfluss dieser Schräglage ist jedoch gering genug, dass sie annähernd vernachlässigt werden kann. Es wurde außerdem eine leichte axiale Verformung des Statormaterials beobachtet, die auf die Formulierung des Übermaßes als Versatz in Normalenrichtung zur Innenfläche zurückzuführen ist. Für die Lagerkraft des Rotors konnte eine nichtlineare Proportionalität zu dem gewählten Übermaß beobachtet werden. Zusätzlich wurde erkenntlich, dass eine Formulierung über den Oberflächenversatz der Rotoroberfläche einem geometrischen Übermaß zu bevorzugen ist. Dies ist begründet dadurch, dass bei gleicher Kontaktsteifigkeit bei dem geometrischen Übermaß nach Auflösen des Kontakts eine höhere Kontaktdurchdringung bleibt.

Ein sehr starker Einfluss der Wahl des Modells zur Druckbeschreibung wurde festgestellt: Für einen Optimalfall ohne Spaltbildung zwischen den Kammern ließen sich klare Kammern und ein nahezu rein radialer Einfluss des Innendrucks auf die Verformung der Kammern feststellen. Für den ungünstigsten Fall, dass konstanter Innendruck herrscht, konnten keine klaren Kammergrenzen mehr erkannt werden, und die Verformung wurde größtenteils axial. Diese axiale Verformung lässt sich auf eine Kombination der Randbedingungen der Pumpe und der Inkompressibilität des Gummis zurückführen: Die Stahlummantelung des Stators verhindert eine radiale Ausdehnung und die Inkompressibilität des Gummis verhindert volumetrische Änderungen. Somit bleibt dem Gummi zur Verschiebung nur noch der axiale Freiheitsgrad.

Zudem wurde festgestellt, dass sich in der statischen Simulation im Optimalfall keine Spalte öffnen lassen, da an den Kammergrenzen immer ein Kontaktbereich zwischen Rotor und Stator definiert ist. Auch war die Rechenzeit signifikant höher, als bei der Annahme des homogenen Innendrucks, was vermutlich auf starke Druckdifferentiale im Kontaktbereich zurückzuführen ist.

Im Zeitrahmen dieser Arbeit konnte keine transiente Simulation durchgeführt werden. Es wurde jedoch ein Modell zur Beschreibung des Übergangs von Haft- zu Gleitreibung analytisch untersucht. Das Modell konnte jedoch nicht in einer Simulation implementiert werden. Für eine Drehbewegung des Rotors ließ sich feststellen, dass der Reibungskoeffizient einen sehr starken Einfluss auf das wirkende Drehmoment hatte. Da keine transiente Simulation erfolgte, wurde kein Anfahrverhalten simuliert, jedoch wurde das Anfahrmoment des Rotors analytisch ausgewertet. Es ergab sich, dass das Drehmoment

des Motors für alle Reibungskoeffizienten vernachlässigbar klein gegenüber dem Drehmoment aufgrund von Reibung war.