

Bergmann Martin

Zusammenfassung

Kolbenpumpen werden in der Regel mit ungeraden Verdrängeranzahlen gefertigt. Geraden Kolbenzahlen wird die höhere Ungleichförmigkeit des kinematischen Förderstroms als Nachteil angelastet. In der Literatur wurde jedoch die Dominanz der durch die Kompressibilität des Druckmediums bedingten Wechselströmungen gegenüber der kinematischen Förderstompulsation nachgewiesen. Die Bevorzugung ungerader Kolbenzahlen aus diesem Grund ist daher nicht gerechtfertigt.

In dieser Arbeit werden die Geräuscheigenschaften von Kolbenpumpen mit ungeraden und geraden Kolbenzahlen unter Anwendung verschiedener Meß- und Analysemethoden systematisch untersucht.

Eine serienmäßige Axialkolbenpumpe in Schrägscheibenbauweise mit 9 Kolben wird unter Beibehaltung der äußeren Struktur auf eine Kolbenzahl von 8 modifiziert. Eine Radialkolbenpumpe mit 7 Kolben wird ebenfalls untersucht. Durch Definition eines Referenzbetriebspunkts sind die Ergebnisse miteinander vergleichbar.

Unter den hydraulischen Meßgrößen kommt dem Zylinderdruck der Pumpe eine wesentliche Bedeutung zu. Die für die Geräuschentstehung relevanten Einflüsse sind im Zylinderdruckverlauf erkennbar. Zur Erfassung des Zylinderdruckverlaufs wird eine neuartige Meßtechnik eingesetzt, die auf Basis eines Drathsensors minimaler Abmessungen eine rückwirkungsfreie Messung auch von Signalen mit hoher Dynamik gestattet. Da sich der Sensor mit der Zylindereinheit dreht, ist der Einsatz eines eigens für diesen Zweck entwickelten, mitrotierenden Meßverstärkers erforderlich.

Eine analytische Behandlung der geräuschrelevanten Einflußgrößen wird durch ein neu entwickeltes Simulationsprogramm möglich. Unter Einbeziehung der Massenkräfte beschleunigter Volumenströme und der Nachgiebigkeit sowie der Massenträgheit des Stell systems werden simultan alle Zylinderdrücke sowie die Drücke der Hoch- und der Niederdruckseite ermittelt. Aus den Zylinderdrücken werden Druck- und Volumestompulsationen, resultierende Kräfte auch bei räumlich und zeitlich variablen Wirkrichtungen der Einzelkräfte, Momente, lastabhängige Stellwege und Erregerkraftspektren berechnet.

Simulationen und die ausführliche Analyse der gemessenen Zylinderdrücke, der resultierenden Kräfte, der Hochdruckpulsationen, der Stellwege und -kräfte sowie des Körperschalls und des Luftschalls zeigen auf, daß das Geräuschverhalten sowohl der ungeradzahligen als auch der geradzahligen Ausführung der Axialkolbenpumpe durch hydraulische Resonatoren geprägt wird. Diese werden durch das Stellsystem und die Ölsäule im Zylinderraum gebildet.

Der Nachweis der Resonanzeigenschaften erfolgt durch Ordnungsanalysen. Die Zylinderdruckresonanz wird durch die Umsteuergeometrien wesentlich beeinflusst. Umsteuerkerben sind hier gegenüber Vorsteuerbohrungen zu bevorzugen, falls die höhere Kavitationsneigung akzeptiert werden kann. Die Minimierung der hydraulischen

Induktivität der Vorsteuerbohrung der untersuchten Axialkolbenpumpe reduziert die abgestrahlte Schalleistung um etwa 3 dBA.

Das hydraulisch eingespannte Stellsystem führt infolge der Kompressibilität des Mediums Bewegungen durch, die über den Kolbenhub Erregerkräfte und Schallabstrahlung beeinflussen. Die mechanische Wegrückführung des Stellsystems bildet eine Körperschallbrücke. Deren Entfernung führt zu einer weiteren Absenkung des abgestrahlten Geräusches um ca. 2 dBA.

Die Messung von Obertlächenschnellen auf der Pumpenoberfläche verdeutlicht die Auswirkung der Geräuschmechanismen im Körperschall und die Schwingungen von Gehäuseteilflächen. Zusammen mit auf einer Hüllfläche gemittelten SchalldrucksibriaJen lassen sich generalisierte akustische Übertragungsfunktionen berechnen, die die Schallleitungs- und -abstrahl eigenschaften der Struktur unter Berücksichtigung aller Resonatoren beschreiben.

Die ModalanaJyse als experimentelles Verfahren der Strukturidentifikation wird zur Ermittlung der mechanischen Strukturresonanzen eingesetzt. Die Möglichkeit einer Darstellung der Eigenformen ist dabei besonders hilfreich. Resonatoren, die auf Öl federn basieren, sind allerdings nur im Betrieb der Pumpe wirksam und meßtechnisch identifizierbar. Viele mechanische Resonanzen der Struktur treten im Vergleich zu denen der durch sehr hohe Kräfte angeregten, hydraulischen Resonatoren oftmals zurück. Die ungünstige Frequenzlage einiger mechanischer Resonanzen wird aufgezeigt.

Für die geradzahlige Variante der Axialkolbenpumpe wird der Kraftabgleich vorgestellt und durchgeführt. Der durch die Hochdruckpulsation gegebene untere Grenzwert wird erreicht. Obwohl die geradzahlige Axialkolbenpumpe hinsichtlich der Gehäuseoberfläche und der Abstimmung der Resonatoren deutlich ungünstigere Voraussetzungen hat, wird ein Geräuschvorteil von 2 dBA gegenüber der ungeradzahligen Ausführung erzielt.

Die gemessene FörderstrompuJsation der geradzahligen Axjalkolbenpumpe liegt um ~ maximal 20% über der der ungeradzahligen Original ausführung. Ein Nachteil der geradzahligen Kolbenpumpe ist die erheblich höhere Belastung des Stellsystems durch die Lastwechselforgänge. Die Einführung gerader Kolbenzahlen ist bei Konstantpumpen als wirkungsvolle Primärmaßnahme anzusehen. Bei Verstellpumpen bedeutet die geringe Steifigkeit der Stellsystemeinspannung ein von der Kolbenzahl unabhängiges, allgemeingültiges Problem.

Bei Radialkolbenpumpen ist wegen der unterschiedlichen Wirkungsrichtungen der geräuschanregenden Kolbenkräfte ein Abgleich nicht möglich, weshalb hier gerade Kolbenzahlen keinen Vorteil bringen. Gute Eigenschaften sind für große ungerade Verdrängerzahlen zu erwarten.

Diese Arbeit soll einen Beitrag liefern, die Geräuschursachen von Hydraulikpumpen durch Einsatz meßtechnischer und analytischer Verfahren zu erfassen und gezielt zu beeinflussen. Neben der Optimierung der Umsteuergeometrie und der Verbesserung

des Stellsystems steht bei Axialkolbenpumpen auch die Einführung gerader Kolbenzahlen als geräuschkindernde Maßnahme zur Verfügung. Hydraulisch bedingte Resonatoren sind wegen ihrer ausgeprägten Auswirkung auf die Geräuschquellen zu beachten. Aber auch Resonanzen der mechanischen Struktur beeinflussen unmittelbar oder in Koinzidenz mit hydraulischen Resonatoren die Geräuschentwicklung. Hier steht noch Potential für Geräuschkinderungsmaßnahmen zur Verfügung, wenn die Optimierung der Umsteuerung weitgehend beherrscht wird.