

## 9 Zusammenfassung

Die saugseitige Widerstandssteuerung bei einer sauggedrosselten Hydraulikpumpe ist eine interessante Alternative zu konventionellen Leistungssteuerungen, wie der Verdrängersteuerung und der hochdruckseitigen Widerstandssteuerung. Ihr Vorteil liegt einerseits im konstruktiv einfachen Aufbau, andererseits in der prinzipbedingten, charakteristischen Förderkennlinie, die zunächst linear ansteigt, um dann ab einer bestimmten "Grenzdrehzahl" mit weiter ansteigender Drehzahl einen konstanten Wert einzunehmen, ohne daß die Leistungsaufnahme der Pumpe zunimmt. Die sauggedrosselten Pumpen sind daher sehr gut für den Einsatz in Kraftfahrzeugen geeignet, bei denen die hydraulische Pumpe direkt an den Verbrennungsmotor gekoppelt wird. Die Grenzdrehzahl der sauggedrosselten Pumpe wird in der Regel auf die Leerlaufdrehzahl des Verbrennungsmotors abgestimmt, da die meisten hydraulischen Verbraucher bei dieser Motordrehzahl, wie beispielsweise die hydraulisch unterstützte Lenkung beim Parkiervorgang, den größten Leistungsbedarf aufweisen. Nachteilig sind die prinzipbedingten Pulsationen und das daraus resultierende Geräuschverhalten.

Der Einsatz eines Proportionalventiles auf der Saugseite zwischen Tank und Pumpe ermöglicht es, den Fördervolumenstrom einer sauggedrosselten Pumpe zu verstellen. Hierdurch kann die verstellbare Saugdrosselpumpe in eine Regelung hydraulischer Größen eingebunden werden. Das proportionale Saugventil der verstellbaren Saugdrosselpumpe entspricht hier dem Stellglied der Regelung.

Die in dieser Arbeit dargelegten Ergebnisse beinhalten sowohl praktische, als auch theoretische Untersuchungen, die anhand einer sauggedrosselten und einer verstellbaren sauggedrosselten Radialkolbenpumpe und an einer sauggedrosselten Flügelzellenpumpe gewonnen wurden. Zudem wurden zwei Prüfvorrichtungen vorgestellt, mit denen zum einen das Gasaustrittsverhalten von Druckmedien bei einem veränderlichen geometrischen Volumen meßtechnisch ermittelt werden kann. Zum anderen handelt es sich um eine Vorrichtung zur Erfassung der Durchflußcharakteristik saugseitiger Strömungswiderstände. Die Untersuchungen wurden mit fünf verschiedenen Druckmedien durchgeführt, die sich sowohl in der Art der Additivierung, als auch im molekularen Aufbau voneinander unterscheiden.

Die Untersuchungen des Gasaustrittsverhaltens hatten das Ziel, den Einfluß der sich aus dem Druckmedium auslösenden Luft auf die Kompressibilität des Fluids zu quantifizieren. Hierzu wurde eine Prüfvorrichtung aufgebaut, welche die Hubbewegung eines Kolbens vom äußeren zum inneren Totpunkt simuliert. Der Versuchsablauf wurde in drei Phasen unterschieden: Die Phase I, die einer Beanspruchung der Fluidsäule im Kolbenraum einer sauggedrosselten Pumpe entspricht, sowie die Phasen II und III, die durch einen Luftaustritt bei konstantem geometrischen Volumen gekennzeichnet sind. Aufbauend auf dem ermittelten, zeitabhängigen Luftaustritt wurde eine mathematische Beschreibung der Luftauslösung und der Kompressibilität aufgestellt. Die Ergebnisse zeigen ein zufried-

denstellende Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation. Der Luftaustritt ist proportional dem Ausgangsvolumen des Druckmediums und zudem von seiner Art abhängig.

Die Durchflußcharakteristik der saugseitigen Strömungswiderstände wurde experimentell erfaßt. Es wurden sowohl kreisförmige als auch viereckige Strömungswiderstände mit teilweiser Überdeckung vermessen. Es zeigte sich, daß die Durchflußcharakteristik der untersuchten Strömungswiderstände bei den gegebenen Druckdifferenzen im Übergangsbereich von laminarer zu turbulenter Strömung liegt.

Die Untersuchungen einer möglichen Anwendung einer verstellbaren Saugdrosselpumpe, der Druckregelung, zeigten, daß das stationäre und das dynamische Verhalten durch die Ausführung und die Dynamik des Saugventiles, sowie durch die langsame, saugseitige Druckänderung in dem Öl-Luftgemisch deutlich beeinträchtigt werden. Dabei konnten die besten Ergebnisse hinsichtlich des Führungsverhaltens mit einem PID-Regler erzielt werden. Untersuchungen an einem Simulationsmodell zeigten, daß die Dynamik der Fördervolumenstromverstellung durch Verringerung des saugseitigen Volumens verbessert wird. Hingegen macht sich eine Erhöhung der Saugventildynamik nur geringfügig in der Änderung der Dynamik bemerkbar.

Zur rechentechnischen Auslegung der Förderkennlinie einer sauggedrosselten Radialkolbenpumpe, wurde ein Berechnungsprogramm entwickelt, welches auf die mathematischen Beschreibungen der Arbeitsweise dieser hydraulischen Maschine zurückgreift /W1/. Zusätzlich wurde das dort beschriebene Modell an einigen Stellen erweitert, wie beispielsweise um die Berechnung der saugseitigen hydraulischen Induktivität, die Berechnung des Leckagevolumenstromes und die Berechnung runder Steuerquerschnitte. Die Ergebnisse, die mit diesem Berechnungsprogramm erzielt wurden, zeigten eine sehr gute Übereinstimmung mit der Praxis.

Die Förderkennlinie einer Saugdrosselpumpe kann konstruktiv durch die Veränderung der effektiven saugseitigen Steuerquerschnitte beeinflußt werden. Größere Steuerquerschnitte bedeuten höhere Grenzdrehzahlen und damit höhere maximale Fördervolumenströme. Die Art und die Temperatur eines Fluids machen sich oberhalb der Grenzdrehzahl dadurch bemerkbar, daß mit zunehmender Temperatur die Grenzdrehzahl und der Fördervolumenstrom ansteigen. Grund hierfür ist im wesentlichen das Durchflußverhalten der saugseitigen Steuerquerschnitte.

Zur theoretischen Untersuchung dynamischer Vorgänge in einer sauggedrosselten Pumpe, wie etwa der Druckverlauf im Verdrängerraum, die Pumpenpulsation am Pumpenausgang und der Gesamtwirkungsgrad, wurde ein Simulationsprogramm der sauggedrosselten Radialkolbenpumpe und der sauggedrosselten Flügelzellenpumpe entwickelt. Dieses beinhaltet den Einfluß der Luftauslösung auf die Kompressibilität eines Druckmediums, die Berücksichtigung der Durchflußcha-

rakteristik der saugseitigen Strömungswiderstände und die modellmäßige Beschreibung der hydraulisch-mechanischen Verluste. Insgesamt konnten gute Übereinstimmungen zwischen Messung und Simulation festgestellt werden.

Für die sauggedrosselte Radialkolbenpumpe zeigte sich, daß die Art und die Temperatur der Druckmedien nur einen geringen Einfluß sowohl auf den Druckverlauf im Kolbenraum, als auch auf die Pumpenpulsation und das Geräuschverhalten ausüben. Der Gesamtwirkungsgrad wird durch diese Einflußgrößen jedoch verändert. Die Ursachen hierfür liegen sowohl in den verschiedenen Förderkennlinien, als auch in den unterschiedlichen, volumetrischen und hydraulisch-mechanischen Verlusten.

Die Modifikation der saugseitigen Steuergeometrie beeinflusst die Befüllung der sauggedrosselten Radialkolbenpumpe und dadurch die Druckpulsationen, die prinzipbedingt erst oberhalb der Grenzdrehzahl deutlich ansteigen. Durch die Modifikation der Hubfunktion können sowohl die Drucküberhöhungen im Kolbenraum, als auch die Druckpulsationen gesenkt werden. Diese Maßnahme führt für die sauggedrosselte Radialkolbenpumpen zu einer Absenkung des Wirkungsgrades und hat für den praktischen Einsatz wegen der fertigungstechnischen Aspekte nur geringe Bedeutung. Für die sauggedrosselte Flügelzellenpumpe erweist sich der genannte konstruktive Eingriff jedoch als erfolgreich. Der fertigungstechnische Eingriff zur Modifikation der Hubkontur einer Flügelzellenpumpe ist vergleichsweise einfach. Diese Maßnahme zeigt einen interessanten Weg auf, die prinzipbedingten Drucküberhöhungen einer Saugdrosselpumpe konstruktiv zu reduzieren.

Durch den Einsatz eines neu entwickelten, einfach aufgebauten Pulsationsdämpfers /E2/, der durch eine große Kapazität eine breitbandige Dämpfung erzielt, wurde eine deutliche Reduzierung der Pulsationen und damit der Geräuschabstrahlung der sauggedrosselten Radialkolbenpumpe erreicht. Die geringe Volumenstromaufnahme des Dämpfers bei schnellen Druckänderungen führt zu einem guten dynamischen Verhalten. Der Dämpfer ist so ausgeführt, daß er den gleichen Bauraum erfordert wie der serienmäßig integrierte Tilgerraum.

Die Untersuchungen in dieser Arbeit zeigen, daß die Arbeitsweise sauggedrosselter Pumpen theoretisch gut beschrieben werden kann. Hierdurch ist die Grundlage geschaffen worden, die Saugdrosselpumpen gezielt weiter zu entwickeln. Dies bedeutet vornehmlich die Optimierung des Betriebsverhaltens. Darüberhinaus können sowohl neue Pumpenbauarten, als auch größere Pumpen simulationstechnisch untersucht werden, was den sauggedrosselten Pumpen auf Dauer neue Einsatzgebiete ebnet.