

## 8. Zusammenfassung

Mit Einbauventilen kann man hohe Durchflüsse realisieren, auch bieten sie die Möglichkeit der exakten Anpassungen der Durchflüsse an unsymmetrische Antriebe. Ihr Einsatzgebiet ist im wesentlichen in Antrieben von Pressen, Spritz- und Druckgießmaschinen und Werkzeugmaschinen, aber auch zunehmend in der Mobilhydraulik zu finden. Durch die Forderung nach genaueren und schnelleren Regelungen werden die Einbauventile zunehmend lagegeregelt ausgeführt.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Untersuchung und Optimierung des Regelverhaltens von lagegeregelt Einbauventilen sowie ihr Einsatz in multifunktionalen Regelungen. Als Vorsteuerventile werden Proportionalventile eingesetzt, die im Vergleich zu den Servoventilen verschmutzungsunempfindlicher und preisgünstiger sind.

Da das dynamische Verhalten des Vorsteuerventils das Regelverhalten des Einbauventils maßgeblich prägt, ist die Untersuchung und Optimierung der Dynamik von Proportionalventilen ein wichtiger Schwerpunkt dieser Arbeit.

Die FEM-Berechnungen des Magnetfeldes und des Temperaturfeldes erweisen sich als wichtige Hilfsmittel zur Auslegung von Proportionalmagneten. Das Regelverhalten von Proportionalventilen kann durch einen optimierten Spannungs-Strom-Wandler und durch eine nichtlineare Regelung deutlich verbessert werden. Eine weitere Steigerung des dynamischen Verhaltens kann durch einen linearisierten Hubmagneten erzielt werden, der höhere Kräfte aufweist, im Vergleich zu einem Proportionalmagneten.

Ein unabdingbares Werkzeug bei der Systemanalyse und Reglerauslegung sowohl bei der Proportional- und der Einbauventilauslegung als auch bei der Antriebsauslegung stellt die Simulationstechnik dar. Insbesondere die lineare Simulation und die Wurzelortskurvendarstellung, bei der das Systemverhalten bei unterschiedlichen Parametern übersichtlich dargestellt werden kann, stellen eine wertvolle Hilfe dar zur Erzielung eines vertieften Systemverständnisses.

In einer kurzen Zusammenstellung werden die gebräuchlichen und die hier eingesetzten Sensoren zur Erfassung der Regelgrößen Kraft, Druck, Geschwindigkeit und Volumenstrom vorgestellt. Ein wichtiger Punkt ist hier die Entwicklung eines Volumenstromsensors mit

hoher Dynamik und Durchflüssen bis 600 l/min. Dieser Sensor wird in Form eines Stauscheibensensors für beide Durchflußrichtungen und elektronischer Linearisierung realisiert.

Nach der Darstellung der Prinzip- und Arbeitsweise von lagegeregelten Sitz- und Schieberventilen, wird exemplarisch das Regelverhalten an einem Sitzventil untersucht. Der Einfluß der Reglerparameter und der Vorsteuerventildynamik werden durch die Wurzelortskurven-darstellung verdeutlicht. Es zeigt sich der prägende Einfluß des Vorsteuerventils auf die Dynamik des Einbauventils.

Die Untersuchung der Druck- und Volumenstromregelung mit einer Steuerkante erfolgt mit einem lagegeregelten Sitzventil an einer passiven Last (Blende). Mit Hilfe einer linearen Regelung wird bereits ein relativ gutes statisches und dynamisches Verhalten erzielt. Die Abhängigkeit der Kreisverstärkung von der Belastung weist aber auf die Notwendigkeit einer adaptiven Regelung zur Erzielung eines optimalen dynamischen Verhaltens hin.

Die Untersuchung von nichtlinearen Reglern erfolgt an einem Zylinderprüfstand, der es erlaubt, unter gleichen Bedingungen die Kraft-, Druck-, Geschwindigkeit- und Volumenstromregelung miteinander zu vergleichen.

Der ungleichflächige Antriebszylinder wird je Zylinderkammer mit einem 3/2 Wege-Einbauventil angesteuert. Durch eine getrennte Ansteuerung der Ventile gelingt eine exakte Anpassung der Ventile an den ungleichflächigen Zylinder. Unerwünschte Drucksprünge bei der Richtungsumkehr des Antriebszylinders werden somit vermieden.

Die Regleroptimierung erfolgt auch hier mittels linearer Simulation, deren Ergebnisse durch Messungen am Antrieb belegt werden. Es zeigt sich, daß bei dem hier vorliegenden System - Eigenkreisfrequenz des Stellelementes liegt in der gleichen Größenordnung wie die Eigenkreisfrequenz des sehr gering gedämpften hydraulischen Antriebs - verzögert wirkende Regler Vorteile bieten.

Die Untersuchungen führen bei der Kraft- und der Druckregelung zu vergleichbaren Reglergebnissen. Die Regelung des Volumenstromes weist jedoch gegenüber der Geschwindigkeitsregelung Vorteile auf, da das niedrig gedämpfte Antriebsverhalten nur geringfügig auf den Volumenstromregelkreis wirkt. Es lassen sich daher für die Volumenstromregelung höhere Kreisverstärkungen erzielen.

Bei Mehrfunktionalregelungen kann auch bei optimaler Regelung der einzelnen Größen ein ungenügendes Übergangsverhalten bei der Umschaltung zwischen den einzelnen Regel-

aufgaben auftreten. Dieses Verhalten ist in den unterschiedlichen Stellsignalen der einzelnen Regelgrößen bei der Umschaltung begründet. Optimiert werden kann dies durch eine Eingrenzung des Integriererstellbereiches, Wahl des Umschaltpunktes und durch rampenförmiges Angleichen der beiden Stellsignale bei der Umschaltung.