

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

In den letzten Jahren haben zwei Entwicklungen im Bereich der Verdrängerantriebe der hydraulischen Antriebstechnik durch die jetzt gegebene Möglichkeit, hochdynamisches Betriebsverhalten und guten energetischen Wirkungsgrad zu verbinden, neue Anwendungsgebiete eröffnet. Hier ist zum einen ein verbessertes Konzept für das hydrostatische Getriebe zu nennen, das besonders für lineare Einzelantriebe von Bedeutung ist, und zum anderen ist die sekundäre Motorregelung am Netz mit aufgeprägtem Druck hervorzuheben.

Bei dem weiterentwickelten Hydrogetriebe /6/ kann die hohe Volumenstromdynamik heutiger Verstellpumpen genutzt werden, die durch gezielte Optimierung der Pumpenstellsysteme Stellzeiten von 20 ms im Großsignalbereich aufweisen und Stellfrequenzen von 50 Hz im Kleinsignalbereich erzielen.

Der sekundärgeregelte Motor im Drehzahlregelkreis wird in /31/ ausführlich analytisch untersucht, und die Ergebnisse werden anhand von Messungen an einem Axialkolbenmotor in Schrägachsenbauweise überprüft. Dabei werden sowohl Systeme mit einschleifiger Regelung als auch Systeme mit zusätzlicher Rückführung des Stellkolbenweges betrachtet, und abschließend der Aufbau von Drehwinkelregelungen kurz angesprochen.

In /30/ wird das Betriebsverhalten der sekundären Drehzahlregelung für Axialkolbenmotore verschiedener Baugröße in Abhängigkeit unterschiedlicher Betriebsparameter vorgestellt. Als Regelstruktur wird hier eine Konfiguration mit Stellwegrückführung, entweder durch mechanische Elemente oder mit Hilfe eines elektrischen Wegmeßsystems, bevorzugt.

Die vorliegende Arbeit stellt einleitend noch einmal die Vorteile der Motorregelung gegenüber den ventilgesteuerten Antrieben heraus. Daraufhin werden einige der bisher mit sekundärgeregelten Einheiten realisierten Applikationen beschrieben, die sich über die Anwendungsbereiche Prüftechnik, Werkzeugmaschinen und Kunststofftechnik erstrecken.

Für die Drehzahlregelung wird ein mit dem Programmsystem DSH (Digitale Simulation hydraulischer Antriebe und Systeme) aufgebautes mathematisches Datenfeld vorgestellt, das die Vorauslegung der Reglerparameter und die Berechnung des Antriebsverhaltens leicht ermöglicht.

Anschließend werden für drei unterschiedliche Motorbauarten in Schrägscheiben-, Schrägachsen- und Radialkolbenbauweise das dynamische Verhalten der Stellsysteme und der Drehzahlregelung demonstriert.

Die Reaktion des Antriebes auf Belastungsänderungen wird sowohl anhand von Messungen gezeigt als auch, um einen im Prüffeld nicht zu realisierenden Lastsprung als Bewertungskriterium für die Laststeifigkeit zu nutzen, am Digitalrechner simuliert.

Bei der Untersuchung des Langsamlaufverhaltens sekundärgeregelter Motore muß dem Meßsystem besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, da man sich hier den Grenzen der Auflösungsöglichkeiten heutiger Komponenten nähert.

Das Gleichlaufverhalten der Motore wird mit dem Ungleichförmigkeitsgrad  $\delta$  bewertet, der in Abhängigkeit der Solldrehzahl und des anliegenden Massenträgheitsmomentes dargestellt wird. Weiterhin wird hier der Kennwert  $\beta$ , der die Stellwegschwankung bei Langsamlaufen beschreibt, eingeführt, um den Zusammenhang zwischen Stellkolbenbewegung und Drehzahlpulsation anschaulich darzustellen.

Bei einer Betrachtung des Antriebskonzeptes unter energetischen Gesichtspunkten muß hervorgehoben werden, daß der Wirkungsgrad mit steigender Belastung, d.h. mit wachsendem Stellweg, höher wird.

Die Sekundärregelung im Drehwinkelregelkreis läßt sich im Gegensatz zur Drehzahlregelung nicht mehr anhand relativ einfacher Simulationmodelle auslegen.

Um das dynamische Verhalten jedoch grundlegend zu diskutieren, wird ein linearisiertes mathematisches Modell mit Hilfe des Wurzelortskurvenverfahrens analysiert. Der Einfluß der unterschiedlichen Reglerparameter auf die Stabilität des Systems kann so qualitativ abgeschätzt werden.

Zur Darstellung der Einflüsse der Reibung, der Massenkräfte im Triebwerk und der Druckwechselfvorgänge in den einzelnen Kolbenräumen auf das Antriebsverhalten wird unter Anwendung des ebenfalls am Institut für hydraulische und pneumatische Antriebe und Steuerungen der RWTH Aachen entwickelten Programmsystems **SIMULANT** ein komplexes Simulationsmodell für die Schrägscheibenbauweise erarbeitet, mit dem eine gute Übereinstimmung zwischen gerechnetem und gemessenem Antriebsverhalten erzielt wird.

Bei einer Gegenüberstellung der Auswirkung der unterschiedlichen nichtlinearen Wirkungskomponenten heben sich die Reibung zwischen Kolben und Zylinder, die Reibung zwischen Kolbentrommel und Steuerspiegel und die Reibung zwischen Gleitschuh und Steuerspiegel als besonders störend hervor.

Die Positioniergenauigkeit und das beim Positionieren auftretende dynamische Verhalten der drei betrachteten Motorbauarten, außen abgestützter Radialkolbenmotor, Schrägscheibenmotor und Schrägachsenmotor, werden im Versuchsfeld ermittelt und vorgestellt. Dabei werden einige grundlegende Betrachtungen exemplarisch an jeweils einer Motorbauart diskutiert.

Die erzielbare Positioniergenauigkeit kann aufgrund der Drehmoment-Kennlinie des Motors, des Stellkraftverlaufes und der Drucksignalfunktion des Regelventils abgeschätzt werden. Die erreichbaren Ergebnisse unterscheiden sich hierbei für zwei- oder dreischleifige Regelkonzepte kaum. Allerdings wird durch eine zusätzliche Rückführung des Stellkolbenweges eine Auswanderung des Kolbens infolge von Driftvorgängen und eine daraus resultierende ruckartige Bewegung der Motorwelle vermieden.

Ein weiterer Vorteil der Motorregelung, die Energierückspeisung ins hydraulische Netz, wird an einer Prinzipdarstellung erläutert und durch Prüfstandsuntersuchungen verifiziert.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß sowohl die Neuentwicklungen im Pumpen- als auch im Motorbereich einen hardwaremäßig gleichen Aufbau des hydrostatischen Aggregats erfordern. Von besonderer Wichtigkeit ist hierbei ein Stellsystem, das durch kleine Stellflächen bei Voranschaltung eines schnellen Regelventils kurze Stellzeiten ermöglicht. Die bisher notwendige Typenvielfalt bei den einzelnen Motorbauarten, die durch die bei den unterschiedlichen Antriebsaufgaben erforderlichen Steuerelemente geprägt ist, kann somit vorausblickend durch ein erhöhtes Maß an Flexibilität im Bereich der Regelungs- und Steuerungssoftware ersetzt werden.