

## 12 Zusammenfassung

Die Regelung des Druckes ist eine der wichtigsten Aufgaben in der Hydraulik. Das größte Anwendungsgebiet der Druckregelungen sind die zentralen Druckölversorgungen von großen hydraulischen Anlagen, bei denen mehrere Verbraucher parallel an das Drucknetz angeschlossen werden. Ein weiteres Anwendungsgebiet sind hydraulische Anlagen, bei denen die zu regelnden mechanischen Größen in einem festen Verhältnis zu dem Druck stehen. Die Druckregelung hat dabei immer die Aufgabe, den Druck möglichst an allen Stellen des Leitungsnetzes konstant zu halten, unabhängig von der Volumenstrommenge, die die angeschlossenen Verbraucher dem Netz entnehmen.

Unter energetischen Aspekten ist die Druckregelung mit Verstellpumpe die beste Lösung, da die Pumpe nur die von den Verbrauchern tatsächlich benötigte Energie in das Leitungsnetz speist. Es entstehen keine prinzipbedingten Verluste wie bei Druckregelungen mit Ventilen.

Die Entwicklungen auf dem Gebiet der Elektronik, Sensorik und Informatik haben dazu geführt, daß sich Druckregelungen mit Verstellpumpe heute vorteilhaft elektrohydraulisch mit einem Digitalrechner als Regler aufbauen lassen. Dadurch ist eine flexible Anpassung des Reglers an das Streckenverhalten möglich.

In dieser Arbeit sind Konzepte für die Druckregelung mit Verstellpumpe entwickelt worden, vor allem im Hinblick auf Anwendungen in zentralen Druckölversorgungen. Bei der Auslegung der Regelung sind insbesondere die Einflüsse des Leitungsnetzes und der Verbraucher auf das Übertragungsverhalten der Druckregelung berücksichtigt worden.

Die Teilsysteme der Regelstrecke sind einzeln gemessen und untersucht worden. Darauf aufbauend wurden mathematische Modelle der Teilsysteme erstellt, sowohl für eine Reglerauslegung aufgrund eines linearen Modells als auch für eine nichtlineare Simulation. Besondere Aufmerksamkeit ist dem Modell des Leitungsnetzes gewidmet worden. Es wurden drei unterschiedliche mathematische Ansätze beschrieben und im folgenden angewendet.

Als Vergleichsmaßstab zur Beurteilung der Reglerauslegung ist eine einfache, idealisierte Darstellung der Druckregelung erarbeitet worden. Dabei wurde davon ausgegangen, daß die Verstellpumpe beim Ausregeln von Störungen immer mit maximaler Stellgeschwindigkeit verfährt. Anhand der Ergebnisse mit dieser idealen Druckregelung wurde der prinzipielle Einfluß der hydraulischen Kapazität des Leitungsnetzes und der Verbrauchercharakteristik auf die Güte des Ausregelvorgangs aufgezeigt.

Die Auswahl einer geeigneten Reglerstruktur für die Druckregelung mit Verstellpumpe ist mit Hilfe eines ausführlichen linearen Modells der Regelstrecke und dem Wurzelortskurvenverfahren durchgeführt worden. Es wurde anschließend gezeigt und durch Messungen bestätigt, daß sich die Regelstrecke ebenfalls gut durch ein

lineares Modell zweiter Ordnung beschreiben läßt, anhand dessen eine qualitative Abschätzung von Reglerstruktur und -parameter möglich ist.

Das Ergebnis der Reglerauslegung auf der Basis des linearen Modells ist durch eine nichtlineare Simulation, in der alle wesentlichen Begrenzungen und Nichtlinearitäten der Hydraulik berücksichtigt wurden, überprüft worden. Die Beurteilung des Reglerergebnisses ist mit Hilfe eines Gütekriteriums und der Einstellbarkeit der Regelung vorgenommen worden. Anhand dieser theoretischen Untersuchungen hat sich ein einschleifiges Regelungskonzept mit einem PDT1- Regler als vorteilhafteste Reglerstruktur erwiesen.

Im Versuch haben sich die theoretischen Untersuchungen bestätigt. Es konnten in etwa die Reglergebnisse wie bei der idealen Druckregelung erzielt werden. Die Reglerstruktur ist grundsätzlich für verschiedene Leitungsnetze und Verbraucher anwendbar. Dies wurde für Leitungsnetze mit unterschiedlichen hydraulischen Kapazitäten und Induktivitäten, sowie für Blenden als auch einen drehzahlgeregelten Verstellmotor als Verbraucher nachgewiesen. Allerdings muß die Parametrierung der jeweiligen Strecke angepaßt werden.

Die notwendige Anpassung der Reglerparameter an die im normalen Betrieb einer Druckregelung zeitvariable Regelstrecke ist durch ein adaptives Regelungskonzept automatisiert worden. Als Grundregler wurde das einschleifige Regelungskonzept eingesetzt, dessen Parameter nach einer einfachen Variante der geregelten Adaption ohne Vergleichsmodell angepaßt worden sind. Für diese adaptive Regelung ist ein zusätzlicher Sensor zur Erfassung des Pumpenstellkolbenweges erforderlich.

Die Druckregelung mit Verstellpumpe weist bei sehr langen Rohrleitungsnetzen mit kleinen Durchmessern kein zufriedenstellendes Übertragungsverhalten auf. Es sind zwei Maßnahmen erarbeitet worden, um bei Störgrößen eine deutliche Verbesserung zu erzielen. Zum einen wurde aufgezeigt, wie durch zusätzliche Messung und Verarbeitung des Druckes am Verbraucher, eine Art Störgrößenaufschaltung realisiert werden kann. Zum anderen wurde hergeleitet und demonstriert, daß durch den Einbau von Hydrospeichern an der Verstellpumpe und an dem Verbraucher die negativen Auswirkungen des Leitungsnetzes reduziert werden können.

Mit diesen Zusatzmaßnahmen ist eine Druckregelung aufgebaut worden, bei der die Blenden und der drehzahlgeregelte Verstellmotor über unterschiedliche Leitungslängen parallel an die Pumpe angeschlossen worden sind. Die Regelung konnte so ausgelegt werden, daß der zu regelnde Druck trotz unterschiedlicher Störgrößensprünge nahezu konstant blieb.

Die Verbraucherdruckrückführung hat sich bei Störgrößensprüngen als sehr vorteilhaft erwiesen, jedoch haben sich zum Teil beim Führungsverhalten Einbußen bei der Regelgüte ergeben. Deshalb ist eine Regelung mit Vorfilter entwickelt worden, die auch bei Führungsgrößensprüngen gute Ergebnisse liefert. Die Auslegung des Vorfilters ist anhand der Betrachtung des Einflusses von Nullstellen auf das Führungsverhalten im Zeitbereich durchgeführt worden.

Die Untersuchungen in dieser Arbeit haben gezeigt, wie wichtig die Berücksichtigung des Leitungsnetzes und des Verbrauchers bei der Auslegung einer Druckregelung mit Verstellpumpe ist. Wenn die Regelung elektrohydraulisch und mit einem digitalen Regler ausgeführt wird, können die Einflüsse ohne großen Aufwand kompensiert werden. Die Reglerstrukturen und der Aufwand an Sensoren ist so klein wie möglich gehalten worden, so daß die Ergebnisse schnell Eingang in industrielle Anwendungen finden können.