

6 Zusammenfassung

Häufig stellt sich in der Hydraulik die Aufgabe, die sinnvollste Möglichkeit aus den bestehenden Alternativen zur Leistungssteuerung auszuwählen. Neben der verlustbehafteten, schnellen Widerstandsteuerung auf der Hochdruckseite, ist zunächst die primärseitige Verdrängersteuerung zu berücksichtigen, bei der das Pumpenverdrängervolumen dem jeweiligen Bedarf angepaßt wird. Desweiteren besteht die Möglichkeit, das Motorenverdrängervolumen zu verändern, was mit sekundärseitiger Verdrängersteuerung bezeichnet wird. Diese beiden Alternativen sind konstruktiv aufwendig, bieten aber den Vorteil eines recht akzeptablen Gesamtwirkungsgrades. Schließlich ist noch die niederdruckseitige Widerstandssteuerung zu nennen, wie sie in den allseits bekannten ventilgesteuerten Reiheneinspritzpumpen für Dieselmotoren und in den weniger bekannten ventilgesteuerten, sauggedrosselten Hydraulikpumpen anzutreffen ist. Diese Pumpen stellen in gewisser Hinsicht das Analogon zu den phasenanschnittsgesteuerten Maschinen in der Elektrotechnik dar.

Auf eine derartige, nach dem Saugdrosselprinzip arbeitende Radialkolbenpumpe, die die Vorteile der Konstantpumpe und die der Hubverstellpumpe in sich vereint, richtet sich das Interesse dieser Arbeit. Die Einsatzmöglichkeit einer sauggedrosselten Pumpe wird am Beispiel eines hydrostatischen Nebenaggregateantriebes im Kraftfahrzeug erörtert. Hierbei handelt es sich um einen Anwendungsfall, bei dem neben dem Wirkungsgrad, der Verstellbarkeit, der Drehzahlfestigkeit und der sich in den Kosten niederschlagenden Einfachheit der Konstruktion insbesondere das einzuhaltende Geräuschniveau als kritisch zu betrachten ist.

Zunächst sind die hydraulisch-mechanischen Kenngrößen dieser Pumpe erfaßt worden. Es überzeugt insbesondere der sehr gute Gesamtwirkungsgrad, der auch bei hohen Drehzahlen nur wenig abfällt und mit dem Betriebsdruck sogar ansteigt, was als entscheidender Vorteil im Vergleich zu den hubverstellbaren Pumpen anzusehen ist.

Zur Beschreibung des typischen Förderverhaltens einer sauggedrosselten Pumpe ist ein mathematisches Modell entwickelt worden, das den Gedanken des einstellbaren Befüllungsgrades einer derartigen Pumpe aufgreift und damit den sogenannten Phasenanschnitt erklärt. Unter Berücksichtigung der kapazitiven und der induktiven Eigenschaften des Öles, möglicher Fertigungstoleranzen der Pumpenbauteile, des Gasrücklösevermögens des Öles sowie des Lecköles gelingt es, den charakteristischen Verlauf des Fördervolumenstromes sehr genau nachzuempfinden.

Da zu Geräuschuntersuchungen neben dem Luftschall und dem Körperschall bei hydraulischen Maschinen insbesondere der Flüssigkeitsschall von Bedeutung ist, sind ausführliche experimentelle und theoretische Betrachtungen zum Pulsationsverhalten durchgeführt worden. Hierzu sind die durch den Phasenanschnitt hervorgerufenen kinematischen Fördervolumenstrompulsationen und die korrespondierenden kinematischen Druckpulsationen hergeleitet worden, welche sich mit Meßergebnissen der Radialkolbenpumpe decken.

In einem weiteren Abschnitt wird beschrieben, wie mit einem niederdruckseitigen 2/2-Wege-Proportionalventil der Gedanke einer Leistungssteuerung mit Hilfe einer sauggedrosselten Pumpe konsequent umgesetzt werden kann.

Schließlich sind Veränderungen an der Pumpe vorgenommen worden, die der Verbesserung des Betriebsverhaltens dienen. Die theoretischen Ergebnisse sind mit Meßwerten aus entsprechenden Prototypenversuchen verglichen worden. Im Mittelpunkt dieses Vorgehens steht neben einer gezielten Beeinflussung des Förderverhaltens insbesondere die Untersuchung der Wirksamkeit von Primär- und Sekundärmaßnahmen zur Geräuschminderung.

Alle theoretischen Überlegungen sind von entsprechenden Versuchen begleitet worden. Um insbesondere der Aufgabe der Reduzierung des vom Hydrauliksystem emittierten Geräusches gerecht zu werden, ist auf ein sogenanntes offenes Versuchskonzept zurückgegriffen worden. Hierzu zählt die Errichtung dreier, modular aufeinander aufbauender Prüfstände, bestehend aus einem Hydraulikprüfstand, einem Verbrennungsmotorprüfstand und einem Fahrzeugprüfstand, um neben Komponenten auch eine Systemuntersuchung zu erlauben. Ergänzt wird dieses Vorgehen durch eine umfassende Analyse des Luftschalles, des Körperschalles und des Flüssigkeitsschalles der zu betrachtenden Komponenten.

An Hand eines konkreten Beispiels, das den bedarfsgerechten Antrieb von Verbrauchern mit Hilfe eines hydrostatischen Getriebes vorsieht, ist die Frage nach der Einsatzfähigkeit einer nach dem Saugdrosselprinzip arbeitenden Pumpe positiv beantwortet worden. Besonders hervorzuheben ist, daß es gelungen ist, das für Kraftfahrzeuge erforderliche, niedrige Geräuschniveau zu erreichen.

Es ist gezeigt worden, daß die zur Verfügung stehende sauggedrosselte, innen abgestützte, außen beaufschlagte Radialkolbenpumpe den an sie gestellten Anforderungen genügt, ohne daß Veränderungen nötig gewesen sind. Dahingegen stellten sich die Axialkolbenmotoren in Schrägscheibenbauweise als eigentliche Geräuschquelle heraus. Nach entsprechender Optimierung der Hydraulikmotoren ist eine Auslegung des Gesamtsystems zur Versorgung von Generator und Kühlerlüfter möglich

gewesen, das den Anforderungskriterien des Kraftfahrzeugherstellers hinsichtlich des akzeptablen Geräuschniveaus genügt.

Nach der Betrachtung des hydrostatisch angetriebenen Generators und Kühlerlüfters ist als weiterer, bisher vom Keilriemen versorgter, ebenfalls rotatorischer und leistungsstarker Verbraucher der Klimakompressor umgerüstet worden. Gerade bei diesem Nebenaggregat scheint eine vom Verbrennungsmotor unabhängige hydraulisch realisierbare Drehzahlregelung besonders interessant zu sein.

Die Verwendung einer niederdruckseitigen Leistungssteuerung, die sich auf einfache Weise mit einer sauggedrosselten Pumpe realisieren läßt, sollte aber nicht auf den Einsatz im Kraftfahrzeug beschränkt bleiben. So liegt es nahe, sie dort einzusetzen, wo kein drehzahlkonstanter Antrieb vorliegt, aber ein drehzahlunabhängiger Förderstrom verlangt wird. Sie könnte beispielsweise einige Konstantpumpen in fahrenden Arbeitsmaschinen ersetzen, um dort die hydraulischen Verluste der niederdruckseitigen Widerstandssteuerung zu vermeiden.

Aber auch in der Stationärhydraulik lassen sich Anwendungsfälle finden. Immer dann, wenn an die Leistungssteuerung keine zeitkritischen Anforderungen gestellt werden, kann eine sauggedrosselte Pumpe mit einem externen Saugdrosselventil verwendet werden, ohne auf aufwendige hubverstellbare Pumpen zurückgreifen zu müssen.

Schließlich sei die Flugzeughydraulik als mögliches Anwendungsfeld erwähnt, die bislang wegen des Wirkungsgrades ausschließlich die primärseitige Verdrängersteuerung bevorzugt. Das Problem der vollständigen Befüllung, das bei den hier zumeist eingesetzten hubverstellbaren Schrägscheibenpumpen durch die Verwendung einer zusätzlichen Füllpumpe gelöst wird, entfällt bei einer sauggedrosselten Pumpe.

Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Beitrag geleistet werden, die sauggedrosselte Pumpe mit ihren charakteristischen Eigenschaften zu erklären und ihr somit ein größeres Anwendungsfeld zu erschließen. Angesichts der damit verbundenen Vorteile lohnt es sich, das in der Elektrotechnik bewährte Prinzip der Phasenanschnittsteuerung auch für die Hydraulik in Betracht zu ziehen.