

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

In modernen Kraftfahrzeug-Bremsanlagen ist die Tendenz zu erkennen, immer mehr Funktionen, neben dem reinen Verzögern, zu realisieren. Hierbei sind neben der sichereren Beherrschung der Fahrdynamik auch Komfortfunktionen, wie z.B. das Blockieren der Räder bei Diebstahlerkennung, zu nennen. Im PKW hat sich die hydraulische Bremsanlage bewährt. Diese hat sich jedoch mit jeder zusätzlichen Funktion eines elektronisch geregelten Bremssystems verändert. Daher liegt die Motivation zur Entwicklung einer „Aktiven Hydraulischen Bremse“ (AHB) nahe: Mit Hilfe der AHB sollen alle bisher bekannten Funktionen heutiger elektronisch geregelter Bremsanlagen mit einer hydraulischen Anlage realisiert werden.

Insgesamt läßt sich eine AHB-Anlage als Nachfolger bisheriger Anlagen mit Radschlupf- und Giermomentenregelung (ESP-Anlagen) und als hydraulisches „brake by wire“ vor dem in weiter Ferne liegenden rein elektrischen „brake by wire“ einordnen. Im Vergleich zu der erwähnten trockenen Bremsanlage bietet ein AHB-System ein viel größeres Potential in die nächsten Fahrzeuggenerationen Einzug zu halten. Zum Zeitpunkt der Verfassung der Dissertation ist bereits eine ähnliche Version in der Automobilen Oberklasse am Markt verfügbar.

Für die Realisierung der AHB wird neben der Druckmodulationseinheit eine elektrohydraulische Energieversorgung benötigt. Letztere wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit betrachtet. Aus dem AHB-System resultieren Anforderungen an die elektrohydraulische Energieversorgung hinsichtlich Funktion, Sicherheit, Zuverlässigkeit und Kosten. Die ersten drei Punkte werden in dem Kapitel 2 behandelt.

Die Entwicklung der drei Baugruppen Elektromotor, Pumpe und Hydrospeicher muß unter den Randbedingungen im Kfz. erfolgen. Die wesentlichen Unterschiede zu der Mobilhydraulik auf Mineralölbasis sind die Verträglichkeit von Werkstoffen mit dem Glykolether (Hauptbestandteil der Bremsflüssigkeit) und die kleinen Volumenströme. Daher ist es von grundlegendem Interesse neue konstruktive Ansätze im Vergleich zu der Mobilhydraulik auf Mineralölbasis zu erarbeiten. In Kapitel 3 wird ein, in seiner Anwendung und seinen hydraulischen Eckdaten, neuartiger Hydrospeicher vorgestellt. Neben der theoretischen Auslegung wird durch einen Dauerlaufversuch im Rahmen dieser Arbeit das Funktionsprinzip und die Zuverlässigkeit nachgewiesen. Die Ergebnisse dieser Arbeit zum Thema Hydrospeicher sind bereits für die Produktentwicklung seitens des Industriepartners aufgegriffen worden.

Bei der Pumpe gilt, wie allgemein in der Mobilhydraulik, Geräuschentwicklung als besonders störend. Eine wesentliche Ursache für diese Geräusche sind die Druckpulsationen. Daher ist es von allgemeinem Interesse, diese Druckschwankungen und deren Auswirkungen zu minimieren. Ein Schwerpunkt dieser Arbeit liegt darin, neue Ansätze zur Minderung von Druckpulsationen zu entwickeln. Dies geschieht mit Hilfe eines Simulationsmodells. Basierend auf der Betrachtung geeigneter Pumpenprinzipien in Kapitel 4 wird ein detailliertes und allgemeingültiges Simulationsmodell einer Kolbenpumpe mit selbsttätigen Ventilen erstellt. Eine Verbesserung des Pulsationsverhaltens wird über eine gezielte Beeinflussung des Bewegungsablaufes des Kolbens erreicht. Hiermit werden

insbesondere diejenigen Druckpulsationen minimiert, die durch das Auslaßventil verursacht werden. Dies wird in Kapitel 4 anhand der Simulationen gezeigt. Die Überprüfung der Simulationsergebnisse durch das Experiment wird in Kapitel 5 beschrieben. Hierbei wird neben dem Prüfstands Aufbau auch die erzielbare Dynamik dargestellt, um anschließend die Simulationsergebnisse mit den Messungen zu vergleichen. Die Ergebnisse der Simulation, durch die Bewegungsform des Kolbens die Pulsation des Auslaßventils zu minimieren, konnten durch die Meßergebnisse bestätigt werden.

Ein Konzept für eine mögliche Anordnung der einzelnen Baugruppen Motor, Pumpe und Speicher wird in Kapitel 6 vorgestellt. Hierbei wird der Idee nachgegangen, die Bewegung des Kolbens durch einen elektrischen Linearantrieb zu realisieren. Die Auslegung und Berechnung mit Hilfe der Finite Element Methode wird in Kapitel 7 dargelegt. Die Auslegung des Linearantriebes wird exemplarisch an der statischen Kennlinie an einem ausgeführten Prototypen des Linearmotors durchgeführt.

### **Ausblick**

Bei dem angepaßten elektrischen Linearantrieb steht noch ein langer Entwicklungsweg offen, bis er wirtschaftlich konkurrenzfähig ist zu den rotatorischen Antrieben. Zum einen sind für den Einsatz im Automobil optimale Antriebsregelungen für den Linearmotor zu finden und zum anderen muß der Linearantrieb durch Kostenoptimierungen eventuelle Mehrkosten durch die Stromrichtertechnik und die Hardware für die Lage, bzw. Bahnregelung, kompensieren können. Es gibt Einsatzgebiete in der Technik, wie z.B. der lineare elektrische Direktantrieb bei Werkzeugmaschinen, in denen die Vorteile eines Linearmotors bereits genutzt werden.

Hinsichtlich der neuartigen Pulsationsminderung und deren positive Ergebnisse, die hier in dieser Arbeit vorgestellt werden, drängt sich die Fragestellung auf, ob sich die Ergebnisse genauso gut in anderen Gebieten der Technik wiederholen lassen. Da die Entwicklung der optimierten Hubfunktion auf einem allgemeingültigen Simulationsmodell basiert, ist zu erwarten, daß sich die Ergebnisse auf andere hydraulische Leistungsbereiche übertragen lassen. Weiterhin wäre die Koordination der Hubfunktionen bei Mehrkolbenpumpen von Interesse, um die elektronische Kurvenscheibe in Gebieten der Technik einzusetzen, in denen bisher mechanische Kurvenscheiben eingesetzt wurden.

Die Weiterentwicklung des Metallfaltenbalgspeichers hat, wie oben erwähnt, bereits begonnen. Die Vorzüge dieses Hydrospeichers waren ausschlaggebend, die Ergebnisse aus dieser Arbeit weiter zu verfolgen.