

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Die vorliegende Abhandlung beschäftigt sich mit elektrohydraulischen Komponenten der Energieversorgung für elektronisch geregelte PKW-Bremssysteme. Die Arbeit entstand in Kooperation mit der Firma ITT-Automotive (mittlerweile Continental-TEVES). Im Rahmen der Zusammenarbeit wurde die wissenschaftliche Aufgabenstellung an die Entwicklung einer elektronisch betätigten aktiven hydraulischen Bremse (AHB) angegliedert. Das Entwicklungsprojekt AHB stellt eine Weiterentwicklung der verfügbaren elektronisch geregelten PKW-Bremssysteme dar. Eine AHB-Anlage findet, geprägt durch Mitbewerber, in dem Begriff Elektrohydraulische Bremsanlage (EHB) ein Synonym. Ein zentrales Element dieses Entwicklungsprojektes ist die Verwendung der Hydraulik in den Radbremsen bei gleichzeitiger mechanischer und hydraulischer Entkopplung des Fahrers von der Radbremse. Der Fahrerwunsch wird in einem Pedalsimulator elektronisch erfaßt und zum Einstellen des Radbremsdruckes verwendet. Daher werden solche Anlagen, in Anlehnung an die Luftfahrttechnik, auch als hydraulisches „brake by wire“ bezeichnet. Die unter den o.g. Bezeichnungen aufgeführten PKW-Bremssysteme haben neben der bekannten hydraulischen Radbremse bestehend aus Bremsscheibe und Bremssattel, bzw. Bremstrommel und Radbremszylinder, eine zentrale Druckversorgung und Speicherung, die im folgenden allgemein als elektrohydraulische Energieversorgung bezeichnet wird, und eine Ventileinheit zum Stellen des Raddruckes gemeinsam. Da bei der elektrohydraulischen Energieversorgung eine redundante Ausführung vermieden wird, kommt dieser Baugruppe eine besondere Sicherheitsrelevanz zu.

1.2 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit besteht im wesentlichen in der Entwicklung neuer Methoden zur Pulsationsdämpfung und in einem Konzept für die Ausführung einer elektrohydraulischen Energieversorgungseinheit für elektronische PKW-Bremssysteme. Neben der Untersuchung bekannter pulsationsarmer Pumpenwirkprinzipien für den Einsatz in einer aktiven hydraulischen Bremse (AHB-System) sind die einzelnen hydraulischen Komponenten für ein optimales Motor-Pumpen-Speicher-Aggregat (MPSA) zu konzipieren. Hierbei werden die Randbedingungen des speziellen Einsatzfalles der aktiven hydraulischen Bremse berücksichtigt. Die Entwicklung der Methoden für einen pulsationsarmen Betrieb eines Motor-Pumpen-Speicher-Aggregat erfolgt jedoch mit einer möglichst breiten Allgemeingültigkeit, so daß diese gegebenenfalls auch in anderen Gebieten verwendet werden können. Neben dem Entwurf solcher Methoden sind diese in Versuchen hinsichtlich ihrer Funktion durch Experimente zu überprüfen. Um die Wirksamkeit auf theoretischem Wege zu zeigen, wird die Simulation der dynamischen Vorgänge herangezogen. Hierzu sind je nach Verwendungszweck geeignete Simulationsmodelle zu erstellen. Zu unterscheiden ist im

wesentlichen eine Modellierung zur Pulsationsbetrachtung, bei der die elementaren Arbeitszyklen einer hydrostatischen Maschine aufgelöst werden, und eine Modellierung zur Beurteilung der Gesamtdynamik.

Das Vorgehen wird im Rahmen dieser Arbeit folgendermaßen gegliedert:

In **Kapitel 2** wird der Stand der Technik durch Literatur und ausgeführte Bremsanlagen dargelegt. Anhand des Beispiels eines ausgeführten elektronisch geregelten Bremssystems werden die Vorteile der aktiven hydraulischen Bremse erläutert. Hierbei wird das Gesamtkonzept dieser zukünftigen Bremsanlage detaillierter vorgestellt.

Aus dem Gesamtkonzept einer aktiven hydraulischen Bremse werden die Anforderungen an die elektrohydraulische Energieversorgung und deren Komponenten abgeleitet. Diese Parameter werden durch das Lastenheft des Industriepartners konkretisiert.

In **Kapitel 3** wird die Speicherung des Druckmediums, unter Berücksichtigung der Anforderungen einer AHB-Anlage, diskutiert. Ausgangspunkt ist hierbei eine Grundlagenbetrachtung des Hydrospeichers. Basierend auf den Anforderungen für die elektrohydraulische Energieversorgung wird die Problematik der Forderung nach Gasdichtheit des Hydrospeichers diskutiert. Insbesondere wird die Bedeutung der Bauteilsicherheit und die Zuverlässigkeit des Hydrospeichers für die gesamte hydraulische Bremsanlage angesprochen. Der Ansatz für die Entwicklung eines neuartigen Hydrospeicher-Konzeptes wird anhand der Grenzen der im Automobilbau verfügbaren Technologie erläutert. Die Auslegung eines ausgeführten Prototypen wird durch die Simulation untermauert. Zur Überprüfung der rechnerischen Auslegung und des Funktionsprinzips wird ein Dauerlauf-Lastkollektiv definiert. Die Ergebnisse des Dauerlaufversuches des Prototypen belegen das Funktionsprinzip und die hohe Zuverlässigkeit des Speicherprinzips.

In **Kapitel 4** wird eine Auswahl des geeigneten Pumpenprinzips vorgenommen. Hierzu werden die verschiedenen Pumpenprinzipien bezüglich der in Kapitel 2 aufgestellten Anforderungsliste systematisch bewertet. Bei der Wahl eines geeigneten Pumpenprinzips wird neben diesen theoretischen Überlegungen, basierend auf der Untersuchung einer ausgeführten Außenzahnradpumpe und den Kenndaten anderer Pumpenprinzipien, wie Flügel, das Wirkprinzip Kolben favorisiert. Die Vorteile des guten volumetrischen Wirkungsgrades werden von dem im Vergleich zu den anderen genannten Pumpenprinzipien schlechten Pulsationsverhalten begleitet. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden neue Ansätze zur Pulsationsminderung bei Kolbenpumpen untersucht. Grundlage hierfür ist ein dynamisches Simulationsmodell. Dessen Modellierungsgrundlage und Umsetzung in MATLAB / SIMULINK wird in diesem Kapitel vorgestellt.

In **Kapitel 5** wird die experimentelle Überprüfung der Pumpeneinheit und des Ansatzes zur Pulsationsminderung betrachtet. Die durch Simulation gewonnene optimierte Kolbenbewegung für einen pulsationsarmen Betrieb wird anhand eines Prüfstandaufbaus

verifiziert. Neben den dynamischen Eigenschaften des ausgeführten Linearantriebes werden verschiedene Regelungskonzepte untersucht. Insbesondere wird mit Hilfe eines einfachen Streckenmodells das Regelungskonzept der reinen Wegregelung gegenüber der Geschwindigkeitsregelung verglichen.

In **Kapitel 6** wird das Konzept des integrierten Motor-Pumpen-Speicheraggregates vorgestellt. Neben grundlegenden Konstruktionsaspekten, wie z. B. Symmetrien, werden mögliche Doppelfunktionen einzelner Bauteile betrachtet. Dies wird in möglichen Konstruktionsvarianten dokumentiert. Die einzelnen Ausführungsvarianten werden gegenübergestellt und bewertet. Für das besonders geeignete Konstruktionsprinzip mit elektrischem Linearantrieb, mit dem sich die in Kapitel 4 erarbeiteten und in Kapitel 5 überprüften Ansätze zur Pulsationsminderung bei Kolbenpumpen realisieren lassen, wird ein Prototyp vorgestellt.

In **Kapitel 7** wird der elektrische Linearantrieb dimensioniert und mit Hilfe der Finite Element Methode-Berechnungen unter ANSYS / EMAG ausgelegt. Hierzu werden verschiedene geeignete Motorprinzipien miteinander verglichen. Für die Auswahl des geeigneten Prinzips wird die Kraftausbeute durch Berechnungen aus ANSYS Modellen der einzelnen Motoren gegenübergestellt. Die Ergebnisse von Geometrieoptimierungen der Ausprägung der Pole werden vorgestellt. Überprüft werden die Berechnungsergebnisse zum einen durch Netzverfeinerung und beurteilung dieser Ergebnisse und zum anderen wird die statische Kennlinie des Motors mit experimentell gewonnenen Daten eines ausgeführten Prototypen verglichen.

In **Kapitel 8** wird eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit gegeben.