

**EVALUATION OF STEADY-STATE FLOW FORCES
IN SPOOL VALVES**

**EVALUIERUNG STATIONÄRER STRÖMUNGSKRÄFTE
IN SCHIEBERVENTILEN**

Von der Fakultät für Maschinenwesen der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Patrik Bordovský

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Katharina Schmitz

Tag der mündlichen Prüfung: 9. November 2018

ABSTRACT

Flow forces acting on spool valves arise due to the momentum exchange between fluid and spool when the fluid passes through a valve. In a steady-state, they usually act in the valve-closing direction, and therefore have to be overcome by the actuation system.

In this thesis, steady-state flow forces acting on directional-control spool valves are evaluated. Different spool and sleeve geometries of non-commercial 2/2-way spool valves are investigated using measurements, simulations and theory in two flow directions with the mineral oil HLP 46. The flow-force measurements are used to validate a CFD simulation of the analyzed valves. Furthermore, a dimensional analysis is applied for scaling the entire valve geometry and fluid properties.

An analytical model for the flow-force calculation is derived and validated for the non-commercial valves. It is based on the law of momentum conservation and allows for both the influx and efflux of the fluid. Flow angles and flow velocities necessary for the flow-force calculation are determined using CFD simulations as functions of several parameters depending on the spool geometry. For this purpose, the approach „Design and Analysis of Simulation Experiments” is utilized in the software ANSYS Workbench. The results show that the flow forces of the non-commercial valves are accurately evaluated using the novel analytical model.

In addition to the non-commercial valves, three commercial 4/3-way proportional directional-control valves of the nominal size 10 are experimentally investigated regarding their flow-force and flow-rate characteristics. The measurements are used for verification of the flow-force analytical model. It is proven that the analytical model delivers good results for estimating flow forces of such valves.

ZUSAMMENFASSUNG

Beim Durchfluss eines Fluides durch ein Schieberventil entstehen auf den Schieber wirkende Strömungskräfte aufgrund des Impulsaustausches zwischen dem Fluid und dem Schieber. Im stationären Zustand wirken sie üblicherweise in schließender Richtung und müssen durch das Betätigungssystem überwunden werden.

In dieser Arbeit werden stationäre Strömungskräfte evaluiert, die auf Wegeventile in Schieberbauweise wirken. Unterschiedliche Schieber- und Hülsengeometrien nicht kommerzieller 2/2-Wegeventile werden experimentell, simulativ und theoretisch in zwei Strömungsrichtungen mit dem Mineralöl HLP 46 untersucht. Die Strömungskraftmessungen werden zur Validierung von CFD-Simulationen der untersuchten Ventile verwendet. Darüber hinaus wird die Dimensionsanalyse zum Skalieren der gesamten Ventilgeometrie und der Fluideigenschaften angewendet.

Für die nicht kommerziellen Ventile wird ein analytisches Modell für die Strömungskraftberechnung anhand der Impulserhaltungsgleichung hergeleitet und mittels Mess- sowie Simulationsdaten validiert. Dieses Modell berücksichtigt sowohl den Zu- als auch den Ablauf des Öles. Die zur Strömungskraftberechnung benötigten Strömungswinkel und -geschwindigkeiten werden mittels CFD-Simulationen als Funktionen mehrerer Eingangsparameter ermittelt. Dafür wird der Ansatz „Design and Analysis of Simulation Experiments“ in der Software ANSYS Workbench benutzt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Strömungskräfte der nicht kommerziellen Ventile unter Verwendung des neuen analytischen Modells genau berechnet werden.

Neben den nicht kommerziellen Ventilen werden drei kommerzielle 4/3-Proportionalwegeventile der Nenngröße 10 hinsichtlich ihrer Strömungskraft- und Durchflusskennlinie experimentell untersucht. Die Messungen werden zur Validierung des analytischen Modells der Strömungskräfte verwendet. Es wird gezeigt, dass das Modell gute Ergebnisse für die Abschätzung der Strömungskräfte solcher Ventile liefert.