

---

**Entwicklung einer Hochdrehzahl-Innenzahnradpumpe  
für die Elektrifizierung mobiler Anwendungen  
am Beispiel einer autarken dezentralen  
elektro-hydraulischen Achse**

**Design of an High Speed Internal Gear Pump  
for Mobile Applikations**

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

vorgelegt von

**Tobias Pietrzyk**

Berichter/in: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Katharina Schmitz  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Oktober 2021

---

## ABSTRACT

The electrification of mobile machinery becomes more and more important. Therefore, it is necessary to increase the power density of electro-hydraulic drives in order to meet the structural restrictions in mobile hydraulics. The use of high-speed components ( $n > 10\,000\text{ min}^{-1}$ ) contributes significantly to improving the power density, but fails due to the speed limit of current pumps.

Within the scope of this thesis, the suitability for high speed operation is investigated using the example of a gap compensated internal gear pump was investigated for a drive speed up to  $10\,000\text{ min}^{-1}$  and a displacement of about  $4\text{ cm}^3$ . For this purpose the kinematical, mechanical and hydraulic processes within the pump are analyzed. The forces and torques acting in an internal gear pump are considered and the kinematical displacement process is discussed. Furthermore, the influence of the geometric dimensions of gears on the speed limit is considered with the help of numerical flow simulations. For the calculation of the radial gap compensation, the pressure build-up using different pressure compensation notches is examined and the radial compensation ratio at different speeds is calculated. For the design of the axial gap compensation a simulation model is built in MATLAB to solve the Reynolds equation in the lubrication gap.

The calculations influence the design of a high-speed internal gear pump. In the component testing, the suitability for high speed is experimentally proven and the partial and total efficiencies are discussed.

One possible application for the high-speed internal gear pump are decentralized electrohydraulic actuators (EHA), which replaces the stick cylinder of a compact excavator. For this purpose, a hydraulic system architecture with corresponding control and regulation concept in 4-quadrant operation is presented. Subsequently, the constructive implementation of the EHA is explained and the results of the test series are shown.

---

## ZUSAMMENFASSUNG

Vor dem Hintergrund der Elektrifizierung im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen gilt es die Leistungsdichte von elektro-hydraulischen Antrieben zu steigern und dadurch den baulichen Restriktionen in der Mobilhydraulik gerecht zu werden. Die Nutzung von High-Speed Komponenten mit Drehzahlen oberhalb von  $10\,000\text{ min}^{-1}$  trägt wesentlich zur Verbesserung der Leistungsdichte bei, scheitert jedoch an der Drehzahlgrenze aktueller Pumpen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Hochdrehzahltauglichkeit am Beispiel einer spaltkompensierten Innenzahnradpumpe, für eine Antriebsdrehzahl von  $10\,000\text{ min}^{-1}$  mit einem Fördervolumen von ca.  $4\text{ cm}^3$ , untersucht. Dazu werden die kinematischen, mechanischen und hydraulischen Vorgänge innerhalb der Pumpe betrachtet. In der Berechnung des Triebwerks werden die in einer Innenzahnradpumpe wirkenden Kräfte und Momente beleuchtet sowie der kinematische Förderprozess diskutiert. Weiter wird der Einfluss der geometrischen Abmessungen des Triebwerks auf die Drehzahlgrenze mit Hilfe von numerischen Strömungssimulationen betrachtet. Für die Berechnung der radialen Spaltkompensation wird der Druckaufbau unter Verwendung verschiedener Druckausgleichskerben untersucht sowie der radiale Kompensationsgrad bei unterschiedlichen Drehzahlen berechnet. Zur Auslegung der axialen Spaltkompensation wird in MATLAB ein Simulationsmodell zum Lösen der Reynolds-Gleichung im Schmierspalt aufgebaut.

Die Ergebnisse der Berechnungen fließen in die konstruktive Umsetzung einer High-Speed Innenzahnradpumpe ein. In der messtechnischen Komponentenerprobung wird die Hochdrehzahltauglichkeit experimentell nachgewiesen und die Teil- und Gesamtwirkungsgrade diskutiert.

Als eine mögliche Anwendung wird die High-Speed Innenzahnradpumpe in einer dezentralen elektrohydraulischen Achse (EHA), welche den Stielzylinder eines Kompaktbaggers ersetzt, messtechnisch erprobt. Dazu wird eine hydraulische Systemarchitektur mit entsprechendem Steuerungs- und Regelungskonzept im 4-Quadrantenbetrieb vorgestellt. Anschließend wird die konstruktive Umsetzung der EHA erläutert und die Resultate der Messreihen gezeigt.