

# Investigation of hydraulic transmissions for passenger cars

## Kurzfassung

Der wachsende Einsatz von Fahrzeugen und hiermit die jährliche Abnahme der verfügbaren Rohölmenge, verbunden mit ständig steigenden Ölpreisen, stellen hohe Anforderungen an die Fahrzeugindustrie. Weiterhin sieht die Menschheit einem geschärften globalen Umweltbewusstsein und strengen Emissionsvorgaben entgegen, die den Maximalbetrag der Fahrzeugemissionen beschränken, um die Luftverschmutzung zu reduzieren. All diese Faktoren zwingen die Automobilbranche zu immer neuen Anstrengungen, um diese gegensätzlichen Anforderungen zu erfüllen. Infolgedessen ist die Entwicklung neuer Fahrzeuge zur Reduzierung des Treibstoffverbrauches und der Emissionen zwingend notwendig.

Die hohe Leistungsdichte hydraulischer Pumpen und Motoren und der hydraulischen Gasdruckspeicher lassen die Hydraulik vielversprechend für die Kraftübertragung in Fahrzeugen erscheinen, und ihre Integration sollte in der Autoindustrie überlegt werden. Kosten, Zuverlässigkeit und Lebensdauer der hydraulischen Einheiten sind darüber hinaus für diese Anwendung angemessen. Die in letzter Zeit entwickelten Hydraulikeinheiten, die die gestiegenen Anforderungen an hohem Wirkungsgrad über einen weiten Arbeitsbereich erfüllen, eröffnen neue Möglichkeiten für hydrostatische Antriebsstränge in Fahrzeugen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich in erster Linie mit dem Potential hydraulischer Kraftübertragung in Automobilen. Der Analyse und Simulation liegen Fahrzeugspezifikationen und Komponenten für einen Mittelklasse-PKW zugrunde. Es wurden drei hydraulische Antriebsstrangkfigurationen untersucht. Als erstes wird eine stufenlos verstellbare hydrostatische Kraftübertragung vorgestellt, bei der der Verbrennungsmotor auf der Kurve des minimalen Kraftstoffverbrauchs geführt wird. Danach wird ein sekundär geregeltes hydrostatisches Getriebe mit konventionellen Einheiten und einem Energierückgewinnungssystem untersucht, wobei der Verbrennungsmotor nach einer Ein/Aus-Strategie gesteuert wird.

Schließlich wird durch die gesamte Arbeit ein innovativer serieller Antriebsstrang, der unter dem Namen "Hydrid" bekannt ist, einschließlich seiner Komponenten im Detail erforscht. Die allgemeine Architektur des Hydrid wurde durch die niederländische Firma Innas BV eingeführt, die damit die mechanische Kraftübertragung durch eine serielle hydraulische Übertragung ersetzt. Darin enthalten sind neuartige Komponenten wie der hydraulische Transformator mit drei Anschlüssen, eine Konstantpumpe und hydrostatische Radmotoren, die alle nach dem Floating-Cup-Prinzip aufgebaut sind. Mit regelbasierten Algorithmen wurde eine allgemeingültige Managementstrategie für die Energieflüsse im System aufgebaut. Die jeweils effizienteste Energieflusssteuerung für jedes Fahrtmuster wurde herausgearbeitet.

Die Leistung des Antriebsstrangs, der Kraftstoffverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden über einen Standard-Fahrzyklus ermittelt und dargestellt, um das Potential der verschiedenen Konfigurationen beim Einsatz im PKW zu beurteilen.

## Abstract

The rising use of vehicles and herewith the yearly decrease in available amount of crude oil left on the earth accompanied by a continuously increasing price puts high stress on the vehicle industry. Furthermore, Humans face a growing increase in the global environmental pollution concerns and tough emission standards constrain the maximum amount of vehicles emission to reduce air pollution. All of these factors force automobile and vehicle manufactures into never-ending effort to satisfy these requirements. Hence, the development of new vehicles to further reduce fuel consumption and emission is a mandatory.

The high power density of hydraulic pumps/motors and hydro-pneumatic accumulators make hydraulic technology look promising for vehicles' transmission and its integration in the automobile industry should be considered. Furthermore, a reasonable price, reliability and long life time of hydraulic units are good enough and required for this purpose. The recently developed hydrostatic units, that meet the increased requirements of high efficiency over a wide range of operation offer, new capability for hydrostatic drivelines in vehicle applications.

This thesis primarily addresses the potential of hydraulic transmission for use in automobiles. The analysis and simulations assume baseline vehicle specifications and components of a mid-sized passenger car. Three hydraulic drivetrain configurations were investigated. A continuously variable hydrostatic transmission integrated with an engine controlled to operate on the ideal fuel efficiency line is first introduced. Then, a secondary controlled hydrostatic transmission equipped with conventional hydrostatic units and an energy recovering system working under engine on/off control strategy is also investigated.

Alongside the above, an innovative series full hydraulic hybrid drivetrain, referred as “the Hydrid” and its key components are researched in detail throughout the thesis. The general architecture of the Hydrid was introduced by the Dutch organization Innas BV, replacing the mechanical transmission with a distinct series hydraulic transmission which includes innovative components such as a three port-plate hydraulic transformer, fixed displacement pump and in-wheel hydro-motors designed on the floating cup technology. A

generic power management strategy of the system power flows is developed by rule based algorithm, and the most efficient power flow control for each driving pattern is established.

Results of the drivetrains performance, fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions during a standard driving cycle are presented to evaluate the potential of each configuration to be applied in passenger cars.