

## Kurzfassung

Eine Möglichkeit die durch den Straßenverkehr verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren ist die Elektrifizierung des Antriebsstrangs in Form von Hybridfahrzeugen. Die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs eines turboaufgeladenen Ottomotors in einem parallel hybridisierten Antriebsstrang erfordert die Verbesserung des Motorwirkungsgrads im Bereich niedriger Motordrehzahlen und mittlerer Motorlasten. Dies kann durch die Anwendung von Niederdruck-Abgasrückführung in diesem Betriebsbereich erreicht werden.

Die Anwendung von Niederdruck-Abgasrückführung erfordert einen hohen Turboladerwirkungsgrad. Bei der Beschleunigung von Fahrzeugen mit einem parallel hybridisierten Antriebsstrang kann der Verbrennungsmotor durch die elektrische Antriebsmaschine unterstützt werden. Dem dynamischen Verhalten des Abgasturboladers, welches stark durch das Massenträgheitsmoment des Turbinenlaufrads bestimmt wird, kommt somit weniger Bedeutung zu als in einem konventionellen Antriebsstrang. Basierend auf dieser Annahme wird in der vorliegenden Arbeit eine numerische Optimierung einer Turbine mit variabler Turbinengeometrie durchgeführt. Das Massenträgheitsmoment des Turbinenlaufrads wird als Freiheitsgrad genutzt, um den Turbinenwirkungsgrad zu steigern. Das Kraftstoffverbrauchspotenzial dieser Optimierungsstrategie eines Turboladers mit variabler Turbinengeometrie wird an einem direkteinspritzenden Vierzylinder Ottomotor mit einem Hubvolumen von  $V_H = 1.5 \text{ l}$  bewertet.

Die numerische Optimierung der Turbine erfolgt metamodellbasiert. Die verwendeten Metamodelle werden mithilfe von 3D CFD-Simulationen der parametrisch veränderbaren Turbinengeometrie erzeugt. Die wichtigsten Parametereinflüsse auf das Betriebsverhalten der Turbine werden aufgezeigt. Der Turbinenwirkungsgrad wird durch die Optimierung in einem weiten Turbinenbetriebsbereich um etwa 10% gesteigert. Das Massenträgheitsmoment des Abgasturbolader-Rotors steigt in der Optimierung um 33%. Die optimierte Turbine wird gefertigt und in einem Abgasturbolader implementiert, welcher baugleich zu dem Abgasturbolader mit der Basisturbine ist. Der Vergleich von Lastsprüngen eines Versuchsmotors mit den beiden Abgasturboladern zeigt, dass das transiente Verhalten des Motors mit der optimierten Turbine besser ist als mit der Basisturbine. Das höhere Massenträgheitsmoment des optimierten Turbinenlaufrads wird durch den höheren Wirkungsgrad der optimierten Turbine mehr als kompensiert. Aufgrund des deutlich höheren Turbinenwirkungsgrads können mit der optimierten Turbine höhere Niederdruck-Abgasrückführungs-Raten und ein höherer Millergrad des Motors bei einem ausreichend guten Spülgefälle über den Motor umgesetzt werden. Die resultierende Verringerung des effektiven Kraftstoffverbrauchs um bis zu 2.4% im Bereich niedriger Motordrehzahlen und mittlerer Motorlasten zeigt, dass die Optimierung einer Turbine mit variabler Turbinengeometrie für die Anwendung von Niederdruck-Abgasrückführung in einem parallel hybridisierten Antriebsstrang ein deutliches Verbrauchspotenzial besitzt.

## Abstract

One possible way to reduce the CO<sub>2</sub>-emissions caused by road traffic is the electrification of the vehicle powertrain introducing Hybrid Electric Vehicles. Reducing the fuel consumption of a turbocharged gasoline engine in a parallel hybrid powertrain requires the increase of the engine efficiency at low engine speeds and medium engine loads. This can be achieved by applying low pressure exhaust gas recirculation in this operating range of the engine.

The application of low pressure exhaust gas recirculation requires a high turbocharger efficiency. During the acceleration of vehicles containing a parallel hybrid powertrain the combustion engine can be supported by the electric machine. Therefore, the dynamic response of the turbocharger is less important compared to a conventional powertrain. Based on this assumption, the numerical optimization of a turbine with a variable turbine geometry is performed in this work. The mass moment of inertia of the turbine wheel is used as a degree of freedom to increase the turbine efficiency. The potential of this optimization strategy of a turbocharger with a variable turbine geometry in order to improve the fuel consumption is evaluated on a direct injection 4-cylinder engine with a displacement of 1.5 l.

A metamodel based approach is used for the numerical optimization of the turbine. The metamodels are generated by performing 3D CFD simulations of the parametrically modifiable turbine geometry. The most important geometry parameters and their influence on the turbine performance are identified. During the optimization, the turbine efficiency is increased by about 10% in a wide operating range. The mass moment of inertia of the turbocharger rotor is increased by 33% during the optimization. The optimized turbine is manufactured and implemented in a turbocharger which is identical to the turbocharger containing the base turbine. The comparison of engine load steps with both turbochargers indicates that the transient performance of the engine with the optimized turbine is better than with the base turbine. The higher mass moment of inertia of the optimized turbine wheel is more than compensated by the higher efficiency of the optimized turbine. The higher efficiency of the optimized turbine enables higher rates of low pressure exhaust gas recirculation and a higher Miller rate maintaining a sufficient boost differential over the engine. The resulting improvement in engine fuel consumption of up to 2.4% at low engine speeds and medium engine loads leads to the conclusion that the optimization of a turbine with a variable turbine geometry for the application of low pressure exhaust gas recirculation in a parallel hybrid powertrain offers a significant potential regarding the improvement of engine fuel consumption.