

## CNGDiesel

### Erdgas-Diesel Dual-Fuel-Verbrennungsmotor zur signifikanten CO<sub>2</sub>-Reduktion für Pkw-Antriebe

Ein Projekt finanziert im Rahmen der 3. Ausschreibung  
des Programms **Mobilität der Zukunft**  
[Fahrzeugtechnologien]

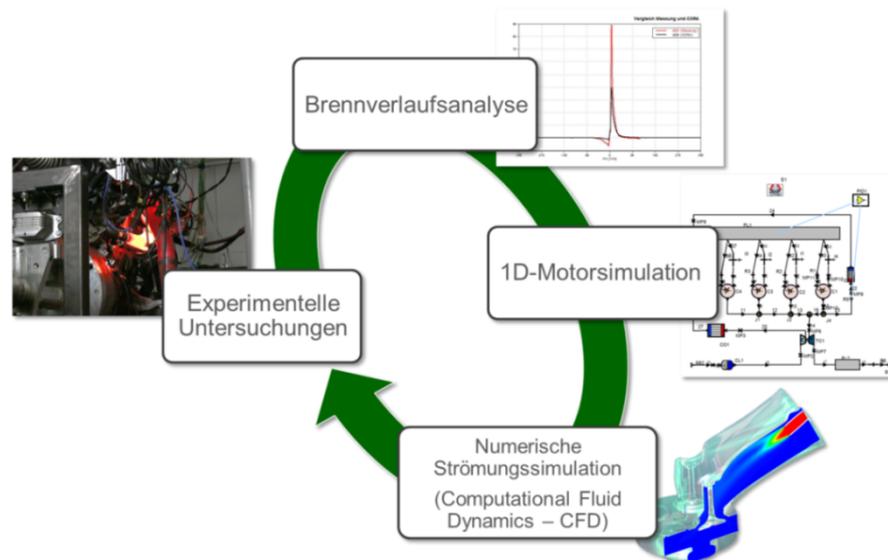
#### Finale Zusammenfassung für Public Relation Work:

Die Automobilbranche steht vor großen Herausforderungen die mittelfristig zu bewältigen sind. Zum einen müssen die gesetzlich vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte sowohl unter Laborbedingungen als auch im realen Fahrbetrieb (RDE) eingehalten werden und zum anderen wird kontinuierlich der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwert strikter limitiert. Bedingt durch den Gesetzgeber müssen Automobilhersteller bis zum Jahr 2020 den Flottenverbrauch ihrer in Europa verkauften Fahrzeuge auf durchschnittlich 95 gCO<sub>2</sub>/km reduzieren, ein äußerst ambitioniertes Ziel. Auch in anderen Kernmärkten gibt es ähnliche Regelungen. Das Erreichen dieser Vorgaben erfordert neben der Elektrifizierung des Antriebsstranges die Weiterentwicklung des Verbrennungsmotors hin zu höherer Effizienz oder den Einsatz alternativer Kraftstoffe. Ein wichtiger alternativer Kraftstoff dabei ist Erdgas, dessen Hauptbestandteil Methan ist. Durch das günstigere Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis von Methan kann bei gleichem Wirkungsgrad des Motors der CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 25 % reduziert werden. Trotz der geringen Verbreitung von Erdgasfahrzeugen in der heutigen Fahrzeuglandschaft ist festzuhalten, dass mit kaum einer anderen Einzelmaßnahme der reale CO<sub>2</sub>-Ausstoß, abseits von genormten Fahrzyklen, derart effektiv, vergleichsweise kostengünstig und kurzfristig reduziert werden kann. Abseits der PKW-Branche hat sich Erdgas bei Großmotoren und Nutzfahrzeugen bereits als alternativer Kraftstoff in unterschiedlichsten Brennverfahren etabliert. In diesem Forschungsvorhaben wurde basierend auf einem Dieselmotor der Dual-Fuel-Betrieb mit Erdgas und Diesel als Kraftstoffe untersucht. Das Ziel des vorgestellten Konzeptes ist es, den hohen Wirkungsgrad des Dieselmotors mit dem CO<sub>2</sub>-Einsparungspotential von Erdgas zu kombinieren.

#### Methodik

Neben den experimentellen Untersuchungen wurden unterstützend diverse Simulationswerkzeuge eingesetzt. In einem ersten Schritt wurde der Basismotor in einer 1D-Motorsimulation anhand von Messdaten nachgebildet. Diese 1D-Simulationen lieferten notwendige Randbedingungen für die nachfolgende numerische Strömungssimulation (CFD-Simulation). Dank detaillierter Analysen konnten wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich Ladungsbewegung und Gemischbildung erarbeitet werden. Neben einer gezielten Ladungsschichtung mit einer späten Niederdruckgaseinblasung direkt in den Brennraum, stand speziell die Analyse der Interaktion zwischen der Geometrie der Ansaugkanäle und

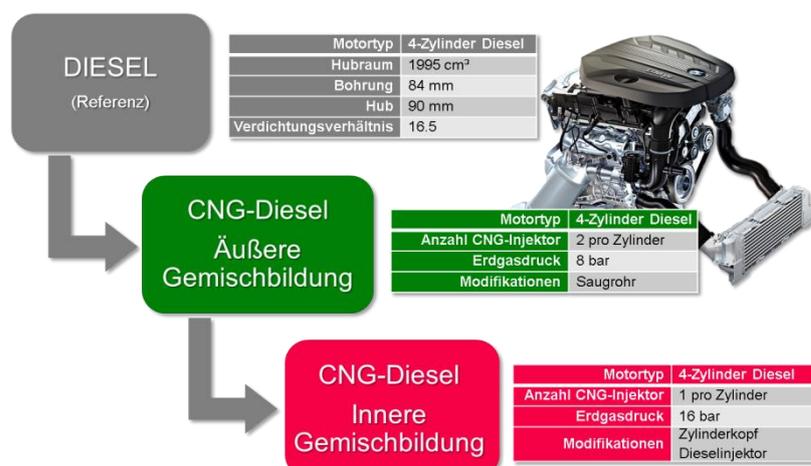
der Kolbengeometrie im Fokus der Untersuchungen. Ausgehend von diesen Ergebnissen wurden neue Hardwarevarianten abgeleitet und anschließend am Motorprüfstand experimentell validiert.



Methodik während der Entwicklung des Erdgas-Diesel-Brennverfahrens

## Experimentelle Untersuchungen

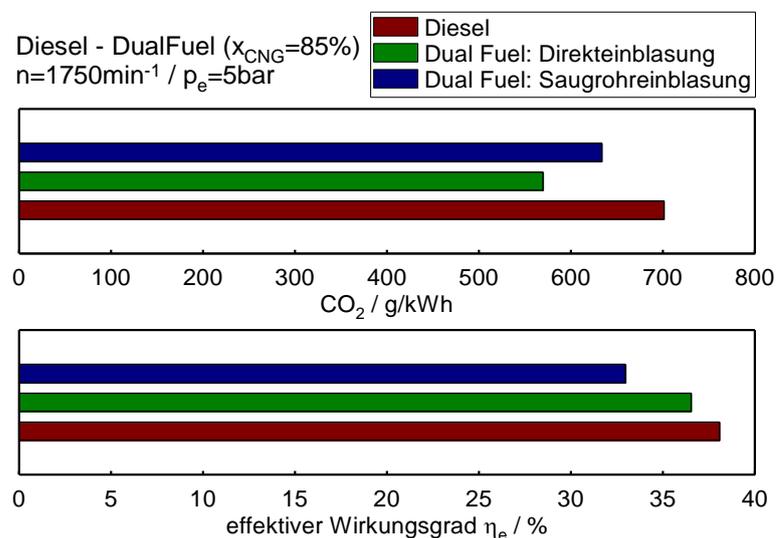
Basis für die experimentellen Versuche war ein 4-Zylinder-Seriendieselmotor von BMW. Durch umfangreiche Adaptionen wurde mit diesem Triebwerk der Dual-Fuel-Betrieb mit Diesel und gasförmigem Erdgas (CNG) dargestellt. Die Einspritzung des Diesels erfolgte wie beim Serienmotor direkt in den Brennraum und wurde als „Trigger“ für die Verbrennung verwendet. Für die Einbringung des Erdgases wurden sowohl die äußere als auch die innere Gemischbildung untersucht.



Überblick der experimentellen Untersuchungen

Ein wesentlicher Punkt der Untersuchungen war die Analyse der Vor- und Nachteile eines Dieselizehendstrahles im Vergleich zu einer konventionellen Funkenzündung. Hierfür wurde der

bestehende Versuchsträger mit einer elektronischen Zündanlage ausgestattet. Auf Basis der experimentellen Untersuchungen konnte mit der konventionellen Funkenzündung im gesamten Kennfeldbereich lediglich ein stöchiometrischer Betrieb ( $\lambda = 1$ ) sinnvoll umgesetzt werden. Hingegen wurde dank des Dieseldzündstrahls im Teillastgebiet ein wirkungsgradoptimaler Magerschichtbetrieb ( $\lambda > 1$ ) realisiert. Dadurch schließt sich in diesen Betriebspunkten die Verwendung eines Dreivegekatalysators aus. Somit wurden die Stickoxidemissionen ( $\text{NO}_x$ ) innermotorisch auf ein zulässiges Maß reduziert. Als Maßstab wurden hier die  $\text{NO}_x$ -Rohemissionen des Basisdieselmotors herangezogen. Aufgrund der gezielten Ladungsschichtung mit der Erdgasdirekteinblasung konnten die THC-Emissionen gegenüber der Saugrohreinblasung deutlich reduziert werden. Als Folge der hohen unverbrannten Bestandteile im Abgas reduziert sich der effektive Motorwirkungsgrad  $\eta_e$  in Kombination mit der Saugrohreinblasung erheblich. Hingegen konnte mit der Erdgasdirekteinblasung durch Optimierungen des Brennverfahrens der Wirkungsgradnachteil durch die unvollständigere Verbrennung gegenüber dem Basisdieselmotor beinahe kompensiert werden. In der nachfolgenden Abbildung sind die  $\text{CO}_2$ -Emissionen der unterschiedlichen Brennverfahren im Betriebspunkt  $n = 1750 \text{ min}^{-1}$  und  $p_e = 5 \text{ bar}$  gegenübergestellt. Sowohl mit der Saurohreinblasung als auch mit der Direkteinblasung konnten die  $\text{CO}_2$ -Emissionen im Vergleich zum Basisdieselmotor reduziert werden. Dabei beziffern sich die Vorteile zum einen auf 8 % für die äußere und 15 % für die innere Gemischbildung. Das  $\text{CO}_2$ -Grenzpotential gegenüber dem Dieseldkraftstoff beläuft sich bei einem energetischen Erdgasanteil von  $x_{\text{CNG}} = 85 \%$  und konstantem effektiven Wirkungsgrad auf 21 %.



Vergleich äußere und innere Gemischbildung im Dual-Fuel-Betrieb mit dem Basisdieselmotor

In diesem Forschungsprojekt wurde gezeigt, dass abseits von Großmotor- und Nfz-Anwendungen das Erdgas-Diesel-Brennverfahren auch im Pkw-Bereich vielversprechende Ergebnisse liefert. Die geschaffenen fundamentalen Grundlagen ermöglichen weiterführende Untersuchungen von Erdgas-Diesel-Brennverfahren in mobilen Anwendungen. Eine

essentielle Schlüsselfrage stellt jedoch die Abgasnachbehandlung v.a. hinsichtlich der Methan-Emissionen in der Teillast dar. Außerdem ist in den letzten Monaten und Jahren durch niedrige Rohölpreise die betriebswirtschaftliche Attraktivität von erdgasbetriebene Fahrzeugen gesunken. Zudem haben sich in den letzten Monaten die politischen Rahmenbedingungen für die Zulassung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren hinsichtlich Emissionen in realen Fahrzyklen (RDE – Real Driving Emissions) markant verschärft. Durch die beschriebenen wirtschaftlichen und technologischen Schwierigkeiten ist nach aktuellem Forschungsstand eine kurzfristige Umsetzung eines Erdgas-Diesel-Brennverfahrens für den Pkw-Bereich nicht absehbar.

## Kontaktdaten:

<p><b>Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik</b> <b>Technische Universität Graz (TUG)</b> Inffeldgasse 19 8010 Graz vertreten durch: Univ.-Prof. Dr. Helmut Eichlseder</p>	
<p><b>BMW Motoren GmbH (BMW)</b> Hinterbergerstrasse 2 4400 Steyr vertreten durch: Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Wölfel</p>	
<p><b>Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH (FVT)</b> Inffeldgasse 19 8010 Graz vertreten durch: Ao.Univ.-Prof. Dr. Peter Sturm</p>	