

Einfluss der Kraftstoffe RON95, Methan und Ethanol auf Flammenausbreitung und Klopferhalten in Ottomotoren mit Abgasrückführung

Doctoral Thesis

Author(s):

Ritzinger, Johannes

Publication date:

2013

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010060819>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH Nr. 21519

**Einfluss der Kraftstoffe RON95, Methan
und Ethanol auf Flammenausbreitung
und Klopfverhalten in Ottomotoren mit
Abgasrückführung**

ABHANDLUNG

Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN

der

ETH ZÜRICH

vorgelegt von

JOHANNES RITZINGER

Dipl. - Ing. Universität Stuttgart

geboren am 18. Oktober 1982

deutscher Staatsangehöriger

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. Konstantinos Boulouchos, Referent

Prof. Dr. Thomas Koch, Korreferent

2013

Zusammenfassung

Im Bereich der mittel-schweren bis schweren LKW-Motoren existieren zahlreiche Konzepte zur Nutzung alternativer Kraftstoffe. Das Konzept der stöchiometrischen Verbrennung in einem Ottomotor hat große Vorteile hinsichtlich Emissionen, Bauraum, Gewicht, Flexibilität und Robustheit, jedoch Nachteile in Bezug auf den Wirkungsgrad. In der vorliegenden Arbeit werden daher Methoden zur Wirkungsgradoptimierung von stöchiometrisch betriebenen Ottomotoren mit dem Fokus auf LKW-Anwendungen aufgezeigt. Speziell der Hochlastbereich steht bei diesen Motoren im Vordergrund, weshalb das Augenmerk auf die Reduzierung der Klopfneigung gelegt wurde. Der Schwerpunkt wurde hierbei auf die Nutzung von gekühlter AGR sowie den Einfluss der Steuerzeiten und des Kraftstoffs gelegt.

Die grundlegenden Effekte wurden anhand umfangreicher Versuche mit einem Einzylinder-Forschungsmotor analysiert. In einem ersten Schritt wurde das Brennverfahren durch Versuche mit RON95 optimiert, der zweite Schritt umfasste eine Gegenüberstellung der Kraftstoffe RON95, E25, E85, E97 und Methan bezüglich der Verbrennungscharakteristik und der Klopfneigung. Der Vergleich erfolgte auf Basis tief gehender thermodynamischer Analysen der gemessenen Zylinderdruckverläufe, wobei auch der Einfluss der Turbulenz im Zylinder berücksichtigt wurde.

Das entwickelte Brennverfahren wurde auf einen Sechszylinder-Prototypenmotor übertragen, wobei speziell die Anforderungen des Brennverfahrens an die Aufladegruppe und das AGR-System untersucht wurden. Die Experimente wurden mit RON95 durchgeführt, wodurch die untere Grenze des Motorenkonzepts hinsichtlich Leistung und Drehmoment bei Einhaltung gegebener Temperaturlimits ausgelotet wurde.

Die Ergebnisse der Experimente am Einzylindermotor wurden zur Entwicklung eines Verbrennungs- und Klopfmodells herangezogen. Ziel war neben der Berücksichtigung des Einflusses von AGR und Kraftstoffeigenschaften auf die Verbrennung und das Klopfverhalten auch eine phänomenologische Berechnung der Flammenkernentwicklung. Zu diesem Zweck wurden Untermodelle für die laminare Flammengeschwindigkeit, die Faltung der laminaren Flammenfront und den Zündverzug entwickelt bzw. erweitert. Des Weiteren wurde auch die Beeinflussung der mittleren Flammenfrontoberfläche durch das Löschverhalten der Flamme an Wänden und in Spalten untersucht und in der Modellierung der Oberfläche berücksichtigt.

Die Güte der Modelle wurde durch den Vergleich gemessener und simulierter Brennverläufe überprüft. Neben dem Einfluss verschiedener Randbedingungen wie Kraftstoff, AGR-Rate, Drehzahl, Last und Schwerpunktlage wurden auch Variationen des Aufbaus untersucht. Hierbei wurde die Vorhersage des Einflusses von Verdichtungsverhältnis, Turbulenzniveau sowie die Übertragbarkeit des Modells auf PKW-Motoren überprüft. Das Klopfmodell wurde anhand der Variation der AGR-Rate und der Steuerzeiten an der Klopfgrenze im Betrieb mit RON95 bewertet.

Abstract

There are numerous concepts for the usage of alternative fuels in medium- and heavy-duty-engines. A concept based on stoichiometric combustion in an otto-engine has favorable properties regarding emissions, packaging, weight, flexibility and robustness, but has disadvantages concerning efficiency. Therefore the present work shows methods for the optimization of stoichiometric otto-engines in terms of efficiency with the focus on the application in commercial vehicles. For such engines especially fuel efficiency under high load conditions is of interest, which shifted the priority aims on the reduction of the knocking tendency. Therefore the emphasis has been set on the utilization of cooled EGR, as well as the influence of inlet valve timing and fuel.

The basic influences have been analyzed by experiments on a single cylinder research engine. In a first step the combustion system has been optimized using pure RON95 as fuel. The second step was the comparison of RON95, E25, E85, E97 and pure methane concerning combustion characteristics and knocking behavior. The differences have been shown by the thermodynamical analysis of the cylinder pressure traces in combination with the influence of turbulence.

The resulting combustion system has been transferred to a six-cylinder engine in order to analyze the requirements regarding turbocharging and EGR-System. For those experiments RON95 has been used as fuel, so that the lower performance boundary of such an engine concept has been demonstrated under fulfillment of the given temperature limits.

Based on the results of the experiments on the single cylinder engine, a phenomenological combustion and knock model has been developed. Beside consideration of the influence of residual gas and

fuel properties the emphasis during the development has been set to the phenomenological modeling of the flame kernel development. For this purpose submodels for the laminar flame speed, the folding of the flame area by turbulence and the ignition delay have been developed or expanded. Furthermore the influencing of the mean flame area by flame quenching near walls and in gaps has been analyzed and considered in a model for the mean flame area.

The quality of the models has been verified by the comparison of measured and simulated heat release. Beside the influence of fuel, EGR, speed, load and combustion phasing, different variations of hardware have been analyzed. The predictions of the influence of compression ratio, turbulence level and the transfer to significantly smaller light-duty engines have been verified. The knocking model has been tested on the basis of EGR and valve timing variations at the knocking limit for RON95.