

Diss. ETH No. 16037

Control-Oriented Modeling of NO Emissions of SI Engines

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
Daniel Brand
Dipl. Masch.-Ing. ETH

born 2. March 1973
citizen of Trachselwald BE

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. L. Guzzella, examiner
Prof. Dr. K. Boulouchos, co-examiner

2005

Abstract

Beginning with the first emission legislation for cars in California in the early 1970s the combination of stoichiometric combustion and exhaust gas aftertreatment using the three-way catalytic converter (TWC) became predominant. That concept enabled the industry to stay within the limits imposed by the increasingly demanding emission legislation throughout the world until today and it holds still further potential to comply with even more stringent laws to come.

The oil price shock in the mid-1970s and an increasing general awareness for environmental issues directed engine research towards the search for improvements in fuel efficiency. A key to improved fuel efficiency is the reduction of the throttling losses, for instance by running the engine at lean fuel/air equivalence ratios.

However, allowing the engine to run at off-stoichiometric operation requires new, more complex exhaust gas aftertreatment systems to comply with the constraints set by the emission legislation. Common to many of the new aftertreatment systems is the need for exact information on the exhaust gas composition for efficient control of the system.

The contribution of this thesis is to provide a physics-based control-oriented model for the estimation of the engine-out NO emission. The approach consists of (a) mapping the model parameters at nominal

operating conditions and (b) calculating the engine-out NO emissions in the neighborhood of the nominal operating conditions based on the model. The model uses the feedback of the crankshaft angular velocity for the adaption of the model parameters.

The model reflects all essential influences on the NO formation, while the simulation time was reduced to about 15 milliseconds on a standard PC¹. This makes it possible to estimate the engine-out NO emission for each cycle in parallel to the experiment for engine speeds as high as 6000 rpm. The estimated NO emissions are available with a time delay of one engine cycle, which is less than the transport delay of the exhaust gas from the exhaust port to the exhaust gas aftertreatment system.

The model has been validated using measured data obtained from a V6 3.2-liter SI engine. The model shows good accuracy in a large operating range.

¹Pentium 4, 2.2 GHz processor

Zusammenfassung

Beginnend mit der ersten Emissionsgesetzgebung in Kalifornien in den frühen 70er Jahren hat sich die Kombination von stöchiometrischem Betrieb des Ottomotors und der Abgasreinigung durch den 3-Wege-Katalysator weltweit durchgesetzt. Dieses Konzept war geeignet, mit den immer strenger werdenden Gesetzgebungen Schritt zu halten. Es birgt heute noch genügend Potenzial, um zukünftigen Anforderungen an das Emissionsverhalten genügen zu können.

Die Ölkrise und ein generell steigendes Bewusstsein für Fragen des Umweltschutzes lenkten die Anstrengungen der Forschung auf die Steigerung des Wirkungsgrades von Verbrennungsmotoren. Ein geeignetes Mittel dazu ist die Entdrosselung des Motors, zum Beispiel indem der Motor bei magerem Luft-Brennstoffverhältnis betrieben wird.

Allerdings müssen bei nicht-stöchiometrischem Betrieb des Ottomotors neue, komplexere Abgasreinigungssysteme zum Einsatz kommen, damit die Emissionsgrenzwerte weiterhin eingehalten werden können. Eine Gemeinsamkeit dieser neuen Systeme ist, dass die Zusammensetzung der Abgase bekannt sein muss, um einen effizienten Betrieb des Abgasreinigungssystems sicherstellen zu können.

Der Beitrag der vorliegenden Dissertation ist ein physikbasiertes Modell für die Schätzung der NO-Rohemissionen eines Ottomotors.

Das Vorgehen besteht aus den folgenden zwei Schritten: (a) Die Parameter des Modells werden für eine Anzahl Referenzbetriebspunkte kalibriert. (b) In der Umgebung der Referenzbetriebspunkte werden die NO-Emissionen mit Hilfe des Modells berechnet. Das Modell benutzt die gemessene instationäre Kurbelwellendrehzahl für die Parameteradaption.

Das Modell bildet alle relevanten Einflüsse auf die NO-Bildung ab. Es wurde aber soweit vereinfacht, dass die Simulationszeit etwa 15 Millisekunden auf einem heute üblichen PC beträgt². Dies ermöglicht es, das Modell parallel zum Experiment laufen zu lassen und zwar bis zu einer Motordrehzahl von 6000 Umdrehungen pro Minute. Die Resultate des Modells liegen mit einer Zeitverzögerung von einem Verbrennungszyklus vor, was weniger ist als die Transportzeit des Abgases vom Auslass bis zum Abgasreinigungssystem.

Für die Validierung wurden gemessene Daten von einem 3.2-Liter V6 Ottomotor verwendet. Das Modell zeigt eine hohe Genauigkeit in einem grossen Betriebsbereich.

²Pentium 4, 2.2 GHz Prozessor