

Diss. ETH No. 13945

# Modellbildung und Parameteridentifikation für die Wandfilmdynamik eines Otto-Motors

ABHANDLUNG  
zu Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Michael Richard Simons

Dipl. Masch. Ing. ETH  
geboren am 4. August 1969  
von Österreich

Angenommen im Auftrag von

Prof. H.P. Geering, Referent  
Prof. L. Guzzella, Korreferent

2001

# Kurzfassung

Motorsteuerungen für Automotoren weisen eine immer grösser werdende Komplexität auf. Die Ursache dafür liegt in den steigenden Anforderungen bezüglich zukünftiger Emissionsvorschriften und in der Integration neuer Funktionen. Dies führt zu dem Bedürfnis, den Aufwand für die Applikation einer Funktion der Motorsteuerung an einem neuen Motor möglichst klein zu halten. Zur Lösung dieser Problemstellung eignen sich besonders Steuerungs- und Regelungskonzepte, welche auf physikalischen Modellen beruhen.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Modellierung der Wandfilmdynamik bei Benzinmotoren mit sequentieller Saugrohrspritzung. Die Wandfilmdynamik, darunter versteht man die Speicherung und die Verdampfung von Benzin im Saugrohr, ist ein wesentliches Element der gesamten Gemischbildungsdynamik. Der Ausgangspunkt zu dieser Untersuchung bildet die Betrachtungsweise des Regeltechnikers und es ist das Ziel dieser Arbeit ein Wandfilmmodell zu finden, auf dessen Basis eine Kompensation in einem Motorsteuergerät realisiert werden kann. Daraus ergeben sich auf der einen Seite Anforderungen an das zu konstruierende Modell, welche mit 'einfacher Struktur' und mit 'günstiger Parametrierung' beschrieben werden können. Auf der anderen Seite muss das Modell auch das dynamische Verhalten bei einer extrem transienten Betriebsweise des Motors, wie z.B. bei einer radikalen Änderung der Luftfüllung, wiedergeben können.

Objekt der Untersuchungen ist ein einzelner Zylinder eines Vierzylindermotors. Um bei bekannter Luftfüllung auf die Benzinmasse in diesem Zylinder schliessen zu können, wird eine konti-

nuerliche  $\lambda$ -Sonde verwendet, welche unmittelbar nach dem Auslassventil in den Abgaskrümmer eingebaut ist. Dieses Sensorsignal wird mit einem neuen Modell für die Abgasdynamik, welches mit Hilfe eines hochdynamischen *NO*-Sensors identifiziert wird, kompensiert.

Die Modellstruktur der Wandfilmdynamik wird ermittelt anhand von Frequenzgangmessungen, welche mittels Kraftstoffanregung in einem festen Betriebspunkt durchgeführt werden. Als Ergebnis dieser Messungen ergeben sich nichtparameterische Modelle (gemessene Übertragungsfunktionen) für das Kleinsignalverhalten. Die Auswertung für eine grosse Anzahl von Betriebspunkten ergibt, dass das gemessene Verhalten durch ein Modell 1. Ordnung gut approximiert werden kann. Probleme treten lediglich bei sehr tiefen Luftfüllungen auf. Die Verwendung eines Modells 2. Ordnung kann nicht gerechtfertigt werden, da die erzielten Verbesserungen nur marginal sind und zusätzliche Probleme bezüglich der Identifizierbarkeit auftreten. Eine Optimierung der Modellparameter führt dann zu einer Menge von parametrischen Modellen.

Aus dieser Menge von lokalen, betriebspunktabhängigen Modellen, welche das Kleinsignalverhalten bei einer Kraftstoffanregung beschreiben, wird in einem nächsten Schritt ein globales Modell hergeleitet, welches auch das Verhalten bei einer Änderung des Betriebspunkts beschreibt. Der Ansatz für dieses globale Modell ist so gewählt, dass die Linearisierung des globalen Modells wieder auf das entsprechende lokale Modell führt. Die Validierung des Modells erfolgt anhand von transienten Versuchen an einem dynamischen Motorenprüfstand.

Zur Konstruktion des globale Modells werden die Parameter der lokalen Modelle benötigt. Die Bestimmung dieser Parameter mit Hilfe von Frequenzgangmessungen ist jedoch relativ zeitaufwendig. Aus diesem Grunde werden noch Verfahren zur parametrischen Identifikation untersucht. Verschiedene Ansätze auf der Basis des erweiterten Kalman Filters und der Prediction Error Methode werden diskutiert.

# Abstract

Engine control units for automotive engines are featuring a growing complexity. This is due to higher demands because of upcoming emission regulations and because of the integration of new functions. There is a demand for model-based control strategies to better control the efforts related to the calibration of a specific engine.

The topic of this thesis is the modelling of the wall-wetting dynamics for a sequential injection spark ignition engine. These dynamics, which are due to the storage and the evaporation of fuel in the intake manifold, have a significant influence on the mixture formulation. The view-point of a control engineer defines the starting point of this investigation, which is aimed at constructing a wall-wetting model for use in the design of a compensator. So on the one hand there is the demand for a model with a simple structure and an appropriate parametrization. On the other hand the model has to be capable of reproducing the behaviour of the engine during transient operation such as a radical change of the air mass flow.

The investigations have been conducted on a single cylinder of a four-cylinder engine. In order to estimate the fuel mass within the cylinder at a known air mass flow, a continuous air/fuel ratio meter has been used, which is mounted directly after the exhaust valve. The signal of this sensor is then being corrected with a model for the exhaust gas dynamics. Because of this a new model for the exhaust gas dynamics has been developed and identified with the help of a very fast *NO* measurement device.

The model structure of the wall-wetting dynamics is evaluated at a constant operating point (constant air mass flow) from fre-

quency response measurements with the excitation of the amount of fuel injected. As a result of these measurements a set of non-parametric models for the local (small signal) transfer function emerges. The evaluation for all measured operating points leads to the conclusion that a first order model is a good approximation. However, some problems remain for operating points at low loads. The use of a second-order model cannot be justified, because only small improvements are gained at the cost of problems regarding the identifiability.

At this point of the investigation we have a set of local transfer functions, which characterize the input/output behavior for a small excitation of the amount of fuel injected. From this a new global model is derived, which also characterizes the input/output behaviour during a change of the operating point. This global model is constructed in such a way that the linearization of the global model results in the corresponding local model. The validation of the global model has been carried out on a dynamic engine test bench with transient experiments.

In order to construct the global model the parameters from the local models are needed. However, the identification of these parameters with the help of frequency response measurements is a very time consuming task. For this reason parametric identification methods are being investigated. Various approaches, which are based on the extended Kalman filter and on the Prediction Error Method, are discussed.