



CD-Labor „Thermodynamik des Verbrennungsmotors“

Die Vision des virtuellen Motors

The Vision of the Virtual Engine

Unter virtuellem Motor versteht man die letztendlich vollständige Simulation aller motorischen Vorgänge mit dem Ziel, weitere Optimierungspotenziale aufzuzeigen. Dies gilt vor allem hinsichtlich der Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen. Das Christian Doppler Laboratorium für Thermodynamik des Verbrennungsmotors ist angetreten, einen Beitrag zur Realisierung dieser Vision zu liefern. Der Schwerpunkt der Aktivitäten liegt dabei in der Simulation der innermotorischen Vorgänge.

Eine der wesentlichsten Herausforderungen in der Motorenentwicklung besteht in der Erfüllung der immer strenger werdenden Emissionsvorschriften. Zudem werden in Zukunft zur Reduktion der CO₂-Emissionen auch gesetzliche Limitierungen im Kraftstoffverbrauch zu erfüllen sein. Derzeit besteht bereits seitens der europäischen Automobilindustrie (ACEA) eine freiwillige Beschränkung im Flottenverbrauch (Commitment on CO₂ Emission Reductions from New Passenger Cars). Die sich daraus ableitenden hohen Anforderungen bedingen bei dem ohnehin bereits sehr fortgeschrittenen Entwicklungsstand der Motorentechnik besondere Maßnahmen, um weitere Optimierungspotenziale erschließen zu können und damit zukünftige Zielwerte zu erreichen.

Ein weiteres aktuelles Charakteristikum von modernen Konzepten für Verbrennungsmotoren ist die Erhöhung der Systemfreiheitsgrade. So lassen sich beispielsweise durch den Einsatz der Common Rail (CR) - Technik die Einspritzparameter nahezu beliebig beeinflussen. Ebenso ermöglicht der vollvariable Ventiltrieb (VVT)

weit gehende Eingriffe bei der Steuerung der Ladungswechselorgane. Insgesamt führt dies zu einer drastischen Erhöhung der Optimierungsparameter und der Systemkomplexität.

Ein wesentliches Hilfsmittel zur Lösung dieser aufwändigen und komplexen Optimierungsaufgaben besteht im vermehrten Einsatz von Simulationswerkzeugen. In Zusammenhang mit diesem Trend wird



Bereiche der Simulation am Verbrennungsmotor

häufig von „virtuellem Motor“ gesprochen, womit die möglichst vollständige Vorausberechnung aller für den Motor relevanten Vorgänge gemeint ist. Die Abbildung zeigt einen grundsätzlichen Überblick über die dabei abzudeckenden Bereiche für den Verbrennungsmotor. Diese reichen von der Simulation der Strömungsvorgänge, der Verbrennung und der Schadstoffbildung bis hin zur Festigkeits- und Akustikberechnung.

Auf Grund der Komplexität der ablaufenden Vorgänge im Verbrennungsmotor bestehen höchste Anforderungen an die einzelnen Simulationsprogramme. Bei der Entwicklung von Simulationswerkzeugen muss deshalb zwangsläufig auf vereinfachende Modellannahmen zurückgegriffen werden. Der Komplexitätsgrad der Modelle ist so festzulegen, dass einerseits eine möglichst realitätsnahe Wiedergabe der Vorgänge und andererseits die praktische Anwendbarkeit gegeben ist.

Konkret werden im Christian Doppler Laboratorium für Thermodynamik des Verbrennungsmotors Modelle zur Simulation der Verbrennung, des Wärmeübergangs und der Schadstoffbildung

entwickelt. So konnte beispielsweise bereits erfolgreich ein null-dimensionales Berechnungsmodell zur Simulation des Brennverlaufs, der die Umsetzung der in den Brennraum eingebrachten Kraftstoffenergie beschreibt, und der NO_x-Bildung bei der dieselmotorischen Verbrennung entwickelt werden. Des Weiteren wird intensiv an einem quasidimensionalen Modell zur Beschreibung des brennraumseitigen Wandwärmeeüberganges gearbeitet. Durch die Einbeziehung der relevanten geometrischen Größen kann damit eine wesentlich detailliertere Berechnung der für die Festigkeitsberechnung erforderlichen thermischen Randbedingungen erfolgen.

Da ein Großteil der Gesamtemissionen während des Motorwärmelaufs entsteht, werden auch Arbeiten zur Entwicklung eines Modells zur Simulation des Aufwärmverhaltens von Verbrennungsmotoren durchgeführt. Die Struktur des Motors wird dabei als thermisches Netzwerk abgebildet. Im Vergleich zu Berechnungen mit der Finiten-Elemente-Methode ist die Anzahl der Elemente (Knoten) erheblich reduziert. Durch die Kopplung des Modells mit Programmen zur Simulation des Motorprozesses und des gesamten Antriebsstranges gelingt in weiterer Folge die Optimierung des Fahrzeugwärmemanagements.

Zudem stellt die Verifikation der Simulationsmodelle einen integralen Bestandteil der Modellentwicklung im Christian Doppler Laboratorium für Thermodynamik des Verbrennungsmotors dar, weshalb sich spezielle Projektmodule mit der Entwicklung geeigneter Analysemethoden, wie der optischen Verbrennungsdiagnostik und der instationären Wärmestrommesstechnik, beschäftigen.

Die Ergebnisse der Arbeiten des Laboratoriums konnten bereits erfolgreich bei internationalen Kongressen und in Fachzeitschriften publiziert werden. Ebenso resultieren aus den Aktivitäten des Laboratoriums eine Habilitation, zwei Dissertationen sowie eine Reihe von Diplomarbeiten.

By virtual engine one understands the finally complete simulation of all engine processes with the target to reveal further optimization potentials. This applies particularly to the reduction of fuel consumption and pollutant emissions. The Christian Doppler Laboratory for Thermodynamics of the Internal Combustion Engine aims to supply a contribution to the implementation of this vision. The emphasis of the activities is thereby on the simulation of the engine processes.

Consequently models are developed for the simulation of combustion, heat transfer and pollutant formation. For example, a zero-dimensional calculation model has been successfully developed for the simulation of the heat release rate and the NO_x formation in Diesel engines. Furthermore a quasi-dimensional model for the description of the wall heat transfer in the combustion chamber is developed. By considering geometric information this model determines more exact thermal boundary conditions for strength calculations. Since the majority of emissions is emitted during engine warm-up, a model for the simulation of the thermal behavior of internal combustion engines is developed. The engine structure is represented as a thermal network. Contrary to calculations with the Finite Element Method, the number of elements (nodes) is drastically reduced. The coupling of this model with programmes for the simulation of the engine cycle and the whole drive-train allows the optimization of the thermal management in vehicles.

Generally the verification of simulation models represents an integral part of the model development process in our Laboratory. For this purpose measurements of various test engines are carried out. In addition it includes the further development of suitable analysis methods, as for example optical combustion diagnostics or instantaneous heat flux measuring techniques.