

# Kurzfassung

Verschärfte Gesetzgebungen und zunehmendes Umweltbewusstsein erfordern eine kontinuierliche Weiterentwicklung des Verbrennungsmotors. Insbesondere die mechanische Wirkungsgradsteigerung durch Reibungsreduktion erweist sich als zielführende Maßnahme zur Verbrauchs- und somit CO<sub>2</sub>-Emissionsreduzierung. Innerhalb des Entwicklungsprozesses werden vielfältige experimentelle und virtuelle Methoden eingesetzt, wobei letztere immer bedeutender werden. Die Modellierung und Parametrierung realer Reibungssysteme ist mit diversen Herausforderungen verbunden. Zu diesen zählt die Kenntnis über Einzelparametereinflüsse und -wechselwirkungen in komplexen physikalisch basierten Modellen, welche wiederum einen Einfluss auf die Qualität des Simulationsergebnisses ausüben.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Reibungsmodellierung in Kurbeltrieb, Zylinderkopfeinheit, Steuer- und Riementrieb eines Ottomotors. Mithilfe einer entwickelten Methodik zur systematischen und objektiven Parameteranalyse wird das Vertrauen in die Simulationsergebnisse sowie das allgemeine Modellverständnis gesteigert. Im Kern der Methodik liegt die Adaption und Durchführung einer umfassenden Parameteridentifikation mithilfe der Elementareffekt-Methode als Sensitivitätsanalyseverfahren. Als zentraler Anwendungsfall der Methodik wird die Modellkalibrierung betrachtet, in welcher der reduzierte Satz sensitiver Modellparameter enthalten ist. Unter Zuhilfenahme repräsentativer Messdaten der jeweiligen Teilsysteme und unter Anwendung eines genetischen Optimierungsalgorithmus findet der Abgleich zwischen Messung und Simulation statt. Aufgrund der Methodikanwendung kann eine Verbesserung der Kalibrierung gemäß der quantitativen Gütekriterien *mean absolute percent error* (MAPE) und *root mean square error* (RMSE) erzielt werden. Darüber hinaus wird die Prognosefähigkeit der kalibrierten Modelle im Rahmen ausgewählter Beispiele adressiert und bewertet. Hieraus werden über eine Fallunterscheidung die notwendigen Schritte für den jeweiligen Anwendungsbereich abgeleitet.

Die Methodik kann als Leitfaden und Validierungsprozess verstanden werden, mit dem Ziel die Transparenz der Parametereinflüsse sowie des Modellverhaltens zu fördern. Gleichzeitig wird durch die Methodikanwendung die Modellkomplexität verringert, was zur Steigerung von Modellverständnis sowie vereinfachter Handhabung beiträgt. Ein weiterer Vorteil liegt in der Allgemeingültigkeit und modellunabhängigen Anwendbarkeit.

# Abstract

Stricter legislation and increasing environmental awareness are pushing the continuous improvement of the internal combustion engine. In particular, work on reducing friction has proven to increase mechanical efficiency, and this is a targeted measure for reducing fuel consumption and thus CO<sub>2</sub>-emissions. A variety of experimental and virtual methods are used to improve efficiency, and the latter is becoming more and more important. However, modelling and parameterization of real friction systems are associated with challenges. These include knowledge of individual parameter influences and interactions between physically based models, which in turn influence the quality of the simulation result.

The focus of this thesis is the friction modelling in various gasoline engine components, which are the crank train, the cylinder head unit, the chain, and the belt drive. However, a simplified modeling yields low confidence in the simulation results. Therefore, the development of a methodology for systematic and objective parameter analysis is necessary, in order to increase confidence, as well as general understanding of system behavior. The core of this methodology is the adaptation and implementation of a comprehensive parameter identification using the Elementary Effect method as a sensitivity analysis method. The main use of this methodology is the model calibration, which contains a reduced set of sensitive model parameters. Representative measurement data (obtained in the respective engine components) are necessary for the calibration to take place. Furthermore, a genetic optimization algorithm is used to find a match between measurement and simulation. Based on the methodological application, an improvement in calibration according to the quantitative criteria *mean absolute percent error* (MAPE) and *root mean square error* (RMSE) can be achieved. In addition, the predictability of the calibrated models is addressed and evaluated in the context of selected examples. This leads to a case distinction to derive necessary steps for the respective application.

The methodology can be understood as a guide and validation process with the aim of promoting the transparency of parameter influences as well as model behaviour. Simultaneously, the application reduces model complexity. Thus, it contributes to increasing model understanding and easier handling. Generality and model independent applicability are advantageous aspects of the methodology.