

## Kurzfassung

# **Untersuchungen zur Bewertung der Detaillierungstiefe strukturmechanischer Modelle am Beispiel von Flugtriebwerksstrukturen**

Schlüsselwörter: Finite Elemente Methode, Modellkorrelation, Modellanpassung, Modellvergleich, Strukturmechanik, Modellierung, Flugtriebwerke, Modalanalyse

Die Modellierung strukturmechanischer Problemstellungen und deren Berechnung mit Hilfe geeigneter Simulationsverfahren, wie der Methode der Finiten Elemente, ist von zentraler Bedeutung um die Leistungsfähigkeit, Qualität und Nachhaltigkeit von Produkten zu verbessern sowie Produktionskosten und Gewichte zu senken. Durch den Einsatz von Struktursimulationen lässt sich das Verhalten des Produktes vorhersagen, noch bevor physische Gegenstücke zur Verfügung stehen. Zur Simulation des Strukturverhaltens muss die reale Problemstellung zunächst durch eine Reihe von Annahmen in ein Ersatzmodell überführt werden. Die Qualität der Vorhersage wird dabei maßgeblich von den getroffenen Modellierungsannahmen beeinflusst. Daher ist es von großer Wichtigkeit die Auswirkungen der getroffenen Annahmen und die damit verbundenen Unsicherheiten zu kennen und einschätzen zu können, um eine hinreichende Modellqualität zu sichern. Darüber hinaus werden effiziente Modelle benötigt, die schnelle Vorhersagen ermöglichen und damit zur Verkürzung der Entwicklungszeiten beitragen.

Die vorliegende Arbeit untersucht Möglichkeiten zur Überprüfung des Einflusses unterschiedlicher Modellierungsannahmen auf die Vorhersage strukturmechanischer Problemstellungen im Kontext der virtuellen Produktentwicklung von Flugtriebwerken und liefert einen Beitrag zur Untersuchung und Bewertung der damit verbundenen Unsicherheiten. Anstelle eines erfahrungsbasierten Ansatzes wird die Möglichkeit zur vergleichenden Analyse von Modellen aufgegriffen, um die Beeinflussung der Vorhersage zu bewerten. Im Fokus der Untersuchungen steht der Vergleich von Modellen mit unterschiedlicher Detaillierungstiefe. Als Anwendungsbeispiele dienen typische Triebwerksstrukturen, welche Teile des abgeleiteten mechanischen Gesamttriebwerksmodells bilden. Dazu werden zunächst die wichtigsten Methoden und Verfahren zur Validierung und Verifizierung von Strukturmodellen dargestellt und als Grundlage verwendet, um ein Rahmenwerk sowie neue Methoden für den Vergleich von Simulationsergebnissen zu entwickeln. Darin werden die notwendigen Schritte zur Durchführung von Modellvergleichen vorgestellt und die wichtigsten Aspekte zur Quantifizierung und Bewertung möglicher Unterschiede sowie zur Reduktion identifizierter Fehler zusammengefasst. Weiterhin wird die praktische und programmiertechnische Umsetzung eines Post-Prozessors vorgestellt sowie ein automatisierter Prozess zur Modellanpassung und Bewertung entwickelt. Um den Aufbau von Modellen mit unterschiedlichem Detailgrad zu verbessern, wird darüber hinaus eine CAE-getriebene CAD-Modellierungsstrategie vorgestellt, die eine parametergesteuerte und variable Änderung der Detaillierungstiefe der Modelle ermöglicht. Abschließend werden die entwickelten Methoden und Prozesse auf unterschiedliche Triebwerksstrukturen auf Komponenten- und Baugruppenebene angewendet und auf verschiedenen Ebenen miteinander verglichen.

Die Arbeit kommt zu dem Schluss, dass die Durchführung von Modellvergleichen und die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Prozesse und Methoden sinnvolle Ergänzungen zur erfahrungsbasierten Modellbildung innerhalb des virtuellen Entwurfsprozesses darstellen.

## Abstract

# **Investigations on the evaluation of the structural-mechanical model fidelity by the example of aircraft engine structures**

**Keywords:** finite element method, model correlation, model updating, model comparison, structural mechanics, modeling, aircraft engines, modal analysis

The modeling of structural mechanical problems and their calculation with the help of suitable simulation methods, such as the finite element method, is of central importance in order to improve the performance, quality and sustainability of products and to reduce production costs and weights. By using structure simulations, the behavior of the product can be predicted even before physical counterparts are available. To simulate the structural behavior, the real-world problem must first be transferred to a mathematical model using a series of modeling assumptions. The quality of the prediction is significantly influenced by the assumptions made. It is therefore of great importance to know and assess the effects of the assumptions made as well as the associated uncertainties in order to ensure adequate model quality. In addition, efficient models are required that enable fast predictions and thus contribute to shortening development times.

The present work examines possibilities for checking the influence of different modelling assumptions on the prediction of structural mechanical problems in the context of the virtual product development of aircraft engines and provides a contribution to the investigation and evaluation of the associated uncertainties. Instead of an experience-based approach, the possibility of comparative analyses of models is used in order to evaluate the influence on the simulation prediction. The focus of the investigations is the comparison of models with different levels of fidelity. Typical engine structures, which form parts of the derived mechanical whole engine model, serve as application examples. To this end, the most important methods and procedures for the validation and verification of structural models are presented and used as a basis for developing a framework and new methods for comparing simulation results. It introduces the steps necessary to carry out model comparisons and summarizes the most important aspects for quantifying and evaluating possible differences and for reducing identified errors. Furthermore, the practical and programming implementation of a post-processor is presented and an automated process for model adaptation and evaluation is developed. In order to improve the structure of models with different levels of fidelity, a CAE-driven CAD modeling approach is also presented, which enables a parameter-controlled and variable change in the level of detail of the models. Finally, the developed methods and processes are applied to different engine structures at component and assembly level and are compared with one another by different types of analysis.

The thesis comes to the conclusion that the use of model comparisons and the processes and methods developed within the scope of this thesis represent useful additions to the experience-based modeling approach within the virtual design process.