

Berichte aus der Luft- und Raumfahrttechnik

**Peter Flassig**

**Unterstützende Optimierungsstrategien zur robusten  
aerodynamischen Verdichterschaufelauslegung**

Shaker Verlag  
Aachen 2011

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Cottbus, BTU, Diss., 2011

Copyright Shaker Verlag 2011

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0580-6

ISSN 0945-2214

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Unterstützende Optimierungsstrategien zur robusten aerodynamischen Verdichterschaufelauslegung**

Schlüsselwörter: *Robustheit, Verdichterauslegung, Aerodynamik, Mehrkriterien-Optimierung*

Auf dem Gebiet der virtuellen Entwicklung von Verdichterschaufeln ist das Konzept der numerischen Mehrkriterien-Optimierung zu einem wichtigen Bestandteil gereift. Durch die automatisierte Suche nach optimalen Lösungen steht dem Entwurfsingenieur ein wichtiges Werkzeug zur Verfügung, um den gewachsenen Anforderungen an heutige Verdichter entgegen zu können und Lösungen für komplexe Problemstellungen auch unter dem Druck von immer kürzer werdenden Entwurfszyklen zu finden.

Ein wesentliches Ziel für zukünftige Triebwerksgenerationen ist, die Überarbeitung (engl. *Rework*) von bereits entwickelten Produkten zu vermeiden. Hierzu rückt das Bewusstsein des Ingenieurs immer mehr darauf, real stets vorhandene Unsicherheiten aufgrund von Produktionsstreuungen oder variierenden Umwelteinflüssen bereits während der Auslegung zu berücksichtigen. Im Ergebnis kann damit ein Entwurf gefunden werden, der deutlich dazu beiträgt, spätere Überarbeitungen infolge von Robustheitsdefiziten zu vermeiden. Eine rein auf Determinismus fußende Auslegungsphilosophie kann dies nicht leisten, da sie stets nur das ideale Verhalten betrachtet oder an die Grenzen der Anforderungen geht, wohl aber Entwicklungsstrategien, die Optimierung und Robustheit koppeln und damit zugleich robuste und bestmögliche Entwürfe suchen.

Ein wesentlicher Aspekt dieser Arbeit besteht deshalb darin, unterstützende Strategien und Prozesse für die robuste, aerodynamische Verdichtergestaltung zu entwickeln. Es wird gezeigt, wie eine deterministische Problemformulierung in eine probabilistische Entwurfsaufgabe überführt werden kann, wie repräsentative Stichproben von Eingangsstreuungen erzeugt werden, und wie Antwortflächenverfahren und Parallelisierungskonzepte erheblich zur Rechenzeitreduktion beitragen können. Am Beispiel einer robustheits- und zuverlässigkeitsbasierten Optimierung einer Verdichterschaufelsektion unter realen Produktionsstreuungen wird nicht nur die Notwendigkeit einer solchen Auslegungsprozedur gezeigt, es wird auch vielmehr die Machbarkeit aus industrieller Sicht demonstriert.

## **Optimisation Strategies Supporting Robust Aerodynamic Compressor Blade Design**

Keywords: *robust design, aerodynamic compressor design, multi-objective optimisation*

Within the field of virtual compressor blade design the concept of numerical multi-objective optimisation has become an important part. The application of automated search for optimal design solutions enables the design engineer to face the enormous performance demands on today's compressors and to provide solutions for complex and challenging designs tasks, even under the pressure of shorter development times.

A major goal for future generations of aero engines is a significant reduction of reworking time. Here, consideration of uncertainties due to manufacturing noise or varying environmental conditions will provide assistance and become an essential part for aero-engine engineering. In general, influence of uncertainties on system's performance is addressed by robustness analysis. The application of such an analysis during system development yields designs which will reduce the amount of rework forced by non-robust behaviour. Coupling of nominal design optimisation and robustness assessment provides a strategy beyond pure optimal deterministic design philosophy, which clearly helps to achieve both optimal performance and avoidance of unnecessary rework by sufficient robustness.

A key result of this thesis is a collection of several strategies for design process integration, supporting robustness analysis and optimal aerodynamic compressor optimisation. It is shown how deterministic design problems can be transformed into probabilistic design problems, how sets of random samples representing given input uncertainties should be generated, and how response surface methodologies as well as parallelisation concepts can reduce computational costs. An example of this work is a robustness- and reliability-based multi-objective optimisation for a compressor blade section under realistic manufacturing uncertainties which impressively demonstrates the benefits and the necessity of a robustness-based design procedure, and further shows the technical feasibility from an industrial point of view.