

Methoden für die beschleunigte aerodynamische Optimierung von Turbinenschaufeln

Ziele der Flugtriebwerksentwicklung sind unter anderem die Auslegung von noch effizienteren Triebwerken und die Reduktion des Entwicklungsaufwands für diese. Durch automatisierte Entwurfsprozesse kann beides erreicht werden. In der vorliegenden Arbeit werden solche automatisierten Entwurfsprozesse für den aerodynamischen Turbinenschaufelentwurf als beispielhafte Teilaufgabe des Gesamttriebwerksentwurfs betrachtet und Methoden für die schnelle zwei- und dreidimensionale aerodynamische Optimierung von Turbinenschaufeln in einem industriellen Umfeld untersucht und angewendet.

Dazu werden die betrachteten industriellen Entwurfsaufgaben als nichtlineare, restringierte Optimierungsprobleme aufgefasst. Es werden parametrische Modelle der Geometrie entwickelt wie auch automatisierte Entwurfsevaluationen, die auf numerischen Strömungssimulationen basieren. Diese werden mit vorhandenen Methoden aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen zu automatisierten Optimierungsprozessen kombiniert.

Eine Entwurfsaufgabe ist die aerodynamische Auslegung einer Schaufelsektion. Dafür werden die industriellen Entwurfsanforderungen formalisiert und in einen automatisierten Entwurfsprozess überführt, welcher dieselben zertifizierten Programme wie beim manuellen Entwurf verwendet. Hiermit kann die Profilauslegung schnell und mit wenig manuellem Aufwand erfolgen und führt zu deutlich verbesserten Profilen.

Bei der aerodynamischen Auslegung des ersten Stators von Hochdruckturbinen für Flugtriebwerke tritt ein geometrischer Spezialfall auf, der vom herkömmlichen Sektionsentwurfsprozess nicht erfasst wird. Hierfür wird zusätzlich eine neue Parametrisierungsstrategie entwickelt, mit welcher die Formulierung zusätzlicher Nebenbedingungen entfällt. Die Wirksamkeit dieser Methode wird ebenfalls anhand von Sektionsoptimierungen gezeigt.

Bei der aerodynamischen Optimierung einer Turbinenschaufel in 3D zeigt sich, dass aufgrund der höheren Komplexität weitere Verbesserungen erforderlich sind. 3D-Strömungssimulationen werden mit einem CFD-Löser, der auf Grafikkarten rechnet, vor allem durch eine höhere Rechenleistung der Hardware beschleunigt. Anhand einer Methode zur Reduktion der Entwurfsvariablen werden die einflussreichsten identifiziert und somit das Optimierungsproblem vereinfacht, ohne die Entwurfsfreiheit wesentlich einzuschränken. Außerdem wird ein stärker auf das Optimierungsproblem spezialisierter Optimierungsalgorithmus verwendet, der mithilfe von Antwortflächen aus der gleichen Anzahl von Entwurfsauswertungen mehr Informationen über das Optimierungsproblem gewinnen kann. Somit gelingt auch für den komplexeren 3D-Turbinenschaufelentwurf ein erfolgreicher Optimierungsprozess.

Methods for the Accelerated Aerodynamic Optimization of Turbine Blades

Goals in jet engine development are among others the design of more efficient engines and a reduced effort in designing them. Automated design processes are one method for achieving both. In this thesis such automated design processes are applied to aerodynamic turbine blade design as a sub-task of the whole engine design. Methods for fast aerodynamic 2D and 3D optimization of turbine blades in an industrial environment are investigated and applied.

For this purpose, the selected industrial design tasks are considered to be nonlinear constrained optimization problems. Parametric models of the blade geometry and automated design evaluations based on numerical flow simulations are developed. They are combined with existing methods from different scientific disciplines into automated optimization processes.

One design task is the aerodynamic design of blade sections. The industrial design requirements are formalized and transferred into an automated design process which uses the same certified tools as in manual design. In this way the section design can be performed quickly and with little manual effort, resulting in clearly improved profiles. The aerodynamic design of the first stator of high pressure turbines is subject to a geometrical special case which is not covered by the common section design process. For this case, a new parameterization strategy is developed, making the formulation of additional constraints dispensable. The effectiveness of this method is demonstrated with further section optimizations.

Aerodynamic optimization of a turbine blade in 3D shows that due to the higher complexity further improvements are necessary. 3D flow simulations are accelerated by using a CFD solver running on graphics processing units in order to primarily benefit from their higher computational power. A method for reduction of design parameters is used to identify the most influential ones and thus easing the optimization problem. Furthermore, an optimization algorithm which is more specialized on the optimization problem is used. By using response surfaces more insight about the optimization problem can be gained with the same number of design evaluations. By doing so a successful optimization process is demonstrated for the 3D design of turbine blades as well.