

Kurzfassung

Ein Beitrag zur automatischen Berechnung von Kennfeldern für Axialverdichter auf Grundlage von dreidimensionaler Strömungssimulation

Christian Janke

Schlüsselwörter: Verdichterkennfeld, Aerodynamik, 3D CFD, Pumpgrenze, variable Statoren, Netzanpassung, Optimierung, Strömungsfeld-Initialisierung, mehrstufige Verdichter, Prozessintegration, strukturelle Verformung

In der industriellen Praxis erfolgt das numerische Ermitteln von Verdichterkennfeldern bislang auf Grundlagen von eindimensionalen Methoden. Bei diesen Simulationen werden Sekundärströmungen, die das Betriebsverhalten des Verdichters maßgeblich beeinflussen, nur durch Korrelationen erfasst, weshalb nach Abschluss des Verdichterauslegungsprozesses das Kennfeld aufwendig in einem manuellen Prozess mit dreidimensionalen Methoden nachgerechnet werden muss. In dem stark fehleranfälligen Prozess werden verschiedene Betriebspunkte mit unterschiedlicher Drehzahl berechnet und zugehörige Drehzahllinien durch Drosseln in Richtung der Betriebsgrenzen erhalten. Für diese Berechnungen müssen variable Statoren rotiert und das Strömungsfeld geeignet initialisiert werden. Die Teilschritte sind von enormer Wichtigkeit, da die Iteration der Strömungssimulation im Teillastbereich oft zu divergieren droht und somit kein komplettes Kennfeld ermittelt werden kann.

Diese Arbeit stellt sich zur Aufgabe, das Berechnen von Verdichterkennfeldern in einen automatischen Prozess zu überführen und so das Ermitteln von Kennfeldern von Leerlaufdrehzahl bis zu Drehzahlen größer als die Auslegungsdrehzahl zu ermöglichen. Dabei erfolgt das Berechnen einzelner Drehzahllinien durch das Lösen von verschiedenen Optimierungs- und Nullstellen-Such-Problemen, bei denen Pumpen, Sperren und der max. Wirkungsgrad ermittelt werden. Für Berechnungen von Teillastzuständen werden variable Statoren automatisch rotiert und entsprechende Netze angepasst. Dabei werden Teilspalte sowie Netzzellen-Anzahlen analytisch nachgeführt und Netzqualitäts-beeinflussende Parameter durch Lösen eines Optimierungsproblems eingestellt. Diese Netze werden mit einer geeigneten Startlösung initialisiert, wofür zum Beispiel sogenannte quasi-zweidimensionale Berechnungen und Interpolationsalgorithmen auf Grundlage von Verfahren zur orthogonalen Zerlegung von Matrizen verwendet werden. Anschließende Strömungssimulationen werden von einer Konvergenzkontrolle begleitet, welche die Berechnung abbricht, sobald physikalische Größen wie Wirkungsgrad oder Totaldruckverhältnis konvergiert sind. Mit diesem Prozess werden erfolgreich Drehzahllinien eines 4,5-stufigen Hochdruckverdichters von Leerlaufdrehzahl bis zu 102,5% der Auslegungsdrehzahl berechnet. Die Betriebspunktanalyse des gewonnenen Prozesses wird abschließend dahingehend erweitert, dass die Rotorgeometrie an den jeweiligen Lastzustand angepasst wird.

Abstract

A Contribution to the Automatic Computation of Compressor Maps for Axial Compressors by Means of Three-Dimensional Flow Simulations

Christian Janke

Schlüsselwörter: compressor map, aerodynamics, 3D CFD, surge line, variable stator vanes, mesh adaptation, optimization, flow field initialization, multi-stage compressor, process integration, structural deformation

In common industrial practice, compressor maps are computed by means of a one-dimensional code, where secondary flow phenomena are captured by correlations only. Therefore, finally the compressor map has to be computed manually by utilizing a three-dimensional code after the aerodynamic design has been fixed. During this error-prone process different operation conditions are simulated where associated speed lines are obtained by throttling towards their operating limits manually. In order to perform such computations, variable stator vanes have to be adjusted and furthermore an initial guess of the flow field needs to be specified which is crucial since the subsequent iteration often tends to diverge. Thus, accounting for a complete compressor map may not be possible.

The present thesis aims at the development of strategies to overcome this bottleneck which allows to compute complete compressor maps from idle to overspeed automatically. The computation of a single speed line is treated by various optimization and root-search tasks. In order to perform computations at part speed conditions, variable stator vanes are rotated and associated meshes are adjusted automatically. For this adjustment gaps at hub and shroud are aligned with the annulus, the number of mesh cells is updated, and mesh-quality influencing parameters are obtained from optimization. Furthermore, flow fields are initialized by either performing so called quasi two-dimensional computations or by utilizing an interpolation approach based on orthogonal decomposition of pre-computed flow fields. The subsequent computation is observed by a convergence checker which terminates the computation as soon as physical quantities such as efficiency or total pressure ratio have settled down. The strategies are validated by computing a compressor map for a 4.5-stage high pressure compressor, where speed lines from idle to overspeed are generated. Finally, the analysis process for a single operation point is extended to account for a load-adjustment of rotor geometries apart from design point condition.