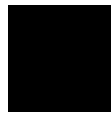


kassel
university



press

**Entwurf und Optimierung der zweidimensionalen Gitterströmung
axialer Turbomaschinenbeschaufelungen mit Neuronalen Netzen
und Genetischen Algorithmen**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) im Fachbereich Maschinenbau
der Universität Gesamthochschule Kassel

vorgelegt von Dipl.-Inform. Michael Uelschen aus Hannover

Kassel, August 2000

Als Dissertation vom Fachbereich Maschinenbau angenommen am 14. Oktober 1999

Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Lawrenz

Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Niehuis

Tag der mündlichen Prüfung:

28. April 2000

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Uelschen, Michael

Entwurf und Optimierung der zweidimensionalen Gitterströmung axialer Turbomaschinenbeschaufelungen mit Neuronalen Netzen und Genetischen Algorithmen / Michael Uelschen. - Kassel : kassel univ. press, 2000. - XVI, 176 S. : Ill.

Zugl.: Kassel, Univ., Diss. 2000

ISBN 3-933146-38-0

© 2000, kassel university press GmbH, Kassel

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsschutzgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Umschlaggestaltung: 5 Büro für Gestaltung, Kassel

Druck und Verarbeitung: Zentraldruckerei der Universität Gesamthochschule Kassel

Printed in Germany

Zusammenfassung

Durch die ständig wachsende Anzahl von geometrischen und aerodynamischen Parametern ist es für den Menschen zunehmend schwieriger, Abhängigkeiten und Zusammenhänge im Auslegungsprozeß axialer Turbomaschinen vorteilhaft einzubeziehen. In dieser Arbeit wird ein zweidimensionales Entwurfsverfahren auf der Basis periodischer B-Spline-Funktionen entwickelt. Vorhandene Profile lassen sich dabei mit Hilfe einer Approximation in diese mathematische Darstellung überführen. Durch eine Simulated Annealing Optimierung kann die Anzahl der zur Beschreibung notwendigen Parameter minimiert werden. Ein C-Netz bildet die Basis der aerodynamischen Analyse. Die Berechnung der Strömung erfolgt mit einem Stromfunktionsansatz auf S_1 -Stromflächen und ist iterativ mit einem Grenzschichtverfahren gekoppelt. Künstliche neuronale Netze werden im Profilentwurf eingesetzt, um Zusammenhänge zwischen Geometrie und Aerodynamik abzubilden. Dieses führt zu einem schnellen Werkzeug zum Entwurf und zur Bewertung von Profilen. Um speziellen Anforderungen angepaßte Beschaukelungen zu erhalten, ist eine weitergehende aerodynamische Optimierung notwendig. Hierzu wird ein genetischer Algorithmus eingesetzt, der sich am biologischen Vorbild der Evolution orientiert und auf Selektion, Mutation und Rekombination basiert.

Schlüsselwörter: Approximation, B-Spline-Funktion, Genetischer Algorithmus, Gittergenerierung, Grenzschicht, Neuronales Netz, Optimierung, S_1 -Stromfläche, Simulated Annealing, Stromfunktion

Abstract

Due to the steady growing number of geometric and aerodynamic parameters, it is increasingly difficult for the human being to include dependencies and correlations in the design process of modern axial turbomachines. In this work a two-dimensional design method is developed, based on the geometrical definition of profiles by periodic b-spline functions. By means of approximation of existing profiles it is possible to get a uniform mathematical description. In a simulated annealing algorithm the number of parameters which is necessary to describe a profile is being minimized. The aerodynamic analysis starts with the generation of a C-grid. The flow is computed on S_1 -surfaces using a stream function approach and is combined iteratively with a boundary layer calculation. An artificial neural network is being used in the profile design in order to model the connection between geometry and aerodynamic. This leads to a fast tool to design and to evaluate profiles. A further aerodynamic optimization is necessary to deal with the predefined constraints of the blade. In the optimization we use a genetic algorithm which tries to adapt the biological principle of evolution and is based on selection, mutation and crossover.

Keywords: approximation, boundary layer, b-spline function, genetic algorithm, grid generation, neural network, optimization, S_1 -surface, simulated annealing, stream function

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Strömungsmaschinen des Instituts für Thermische Energietechnik an der Universität Gesamthochschule in Kassel. An dieser Stelle möchte ich allen danken, die zum Erfolg der vorliegenden Dissertation beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Lawrenz, der mir die einmalige Möglichkeit bot, beim Aufbau seines neu gegründeten Fachgebiets mitzuwirken. Sein in mich gesetztes Vertrauen und die Bereitschaft, mir jederzeit meine Fragen zur Auslegung von Turbomaschinen zu beantworten, waren entscheidende Beiträge zum Gelingen dieser Arbeit.

Bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhard Niehuis bedanke ich mich herzlich für die Übernahme des Korreferats.

Bei meinen Kollegen und Kolleginnen am Fachgebiet Strömungsmaschinen bedanke ich mich für die gute Zusammenarbeit und das angenehme Arbeitsklima. Die gemeinsamen Diskussionen und Anregungen waren oftmals eine wertvolle Hilfe.

Meinen Eltern danke ich dafür, daß sie mir meine Ausbildung ermöglichten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Turbomaschinenentwurf und Strömungsberechnung	1
1.2	Künstliche und berechenbare Intelligenz	3
1.3	Inhalt dieser Arbeit	4
2	Geometrischer Entwurf mit B-Spline-Funktionen	7
2.1	Entwurfsebene axialer Profile	7
2.2	Freiformprofile	9
2.2.1	Bézier-Funktionen	9
2.2.2	B-Spline-Funktionen	11
2.2.3	Approximation und Interpolation	15
2.2.4	Erweiterungen	21
2.3	3D-Geometrie	23
2.3.1	Tensorprodukt-B-Spline-Flächen	23
2.3.2	Skinning	24
2.4	Implementierte Verfahren	25
2.5	Andere Ansätze und Ausblick	27
3	Numerische Strömungsberechnung	29
3.1	Überblick	29
3.2	Elliptische Gittergenerierung	30
3.2.1	Transformation	31
3.2.2	Der Ansatz von Steger und Sorensen	32
3.2.3	Diskretisierung und iterative Lösung	33
3.2.4	Konturpunktverteilung	34
3.2.5	Mehrstufige Gitter	39
3.2.6	Implementierte Verfahren	40
3.3	Stromfunktionsverfahren	43
3.3.1	Einführung und Grundgleichungen	43
3.3.2	Geometrie der S_1 -Stromfläche	44
3.3.3	Hauptgleichung des Stromfunktionsverfahrens	44
3.3.4	Dichtebestimmung	46
3.3.5	Randbedingungen	48

3.3.6	Kuttasche Abflußbedingung	49
3.3.7	Diskretisierung	50
3.3.8	Iterative Lösung	55
3.4	Grenzschichtverfahren	58
3.4.1	Grundgleichungen	59
3.4.2	Algorithmus	60
3.4.3	Beispiel einer ebenen Plattengrenzschicht	69
3.4.4	Koppelung mit Stromfunktionsverfahren	69
3.4.5	Profilverluste	71
3.5	Nachrechnung	77
3.5.1	Verdichterprofil FVV-V1	77
3.5.2	Verdichterprofil MAN-GHH-1-S1	80
4	Approximation mit neuronalen Netzen	83
4.1	Einführung	83
4.2	Künstliche neuronale Netze	84
4.2.1	Abbildung neuronaler Netze	84
4.2.2	Lernverfahren	86
4.3	Stuttgarter Neuronale Netze Simulator (SNNS)	89
4.4	Profilentwurf	91
4.4.1	Netzarchitektur	92
4.4.2	Aufbau der Datenbasis und Training	96
4.4.3	Approximationsgüte und Generalisierungseigenschaften	97
4.5	Ausblick	105
5	Optimierung	107
5.1	Optimierungsverfahren	107
5.2	Mutations-Selektions-Algorithmen	108
5.2.1	Der Mutationsoperator	108
5.2.2	Simulated Annealing	110
5.2.3	Beispiel: Geometrieoptimierung	113
5.2.4	Weitere Ansätze	118
5.3	Genetische Algorithmen	118
5.3.1	Einführung	119
5.3.2	Die C++ Klassenbibliothek GALib (MIT)	123
5.3.3	Approximation mit B-Spline-Funktionen	124
5.4	Optimierung von Profilen	127
5.4.1	Zielfunktion und Genom	128
5.4.2	Inverser Entwurf	128
5.4.3	Direkter Entwurf	130
5.5	Ausblick	137
6	Resümee	139

A Algorithmen und Bildanhang	141
A.1 Algorithmus von de Boor	141
A.2 Ausgewählte Wölbungs- und Dickenverteilungen	143
A.3 Konturpunktverteilung	145
A.4 Profilentwurf mit neuronalen Netzen	148
A.5 Approximation mit Simulated Annealing	159
Literaturverzeichnis	165

