

BestMasters

Sascha Trübelhorn

Ein POD-ROM-Verfahren für stationäre Strömungsprobleme

Anwendung auf einen
aerodynamischen Testfall
mit Nebenbedingungen



Springer Spektrum

BestMasters

Mit „BestMasters“ zeichnet Springer die besten Masterarbeiten aus, die an renommierten Hochschulen in Deutschland, Österreich und der Schweiz entstanden sind. Die mit Höchstnote ausgezeichneten Arbeiten wurden durch Gutachter zur Veröffentlichung empfohlen und behandeln aktuelle Themen aus unterschiedlichen Fachgebieten der Naturwissenschaften, Psychologie, Technik und Wirtschaftswissenschaften.

Die Reihe wendet sich an Praktiker und Wissenschaftler gleichermaßen und soll insbesondere auch Nachwuchswissenschaftlern Orientierung geben.

Sascha Trübelhorn

Ein POD-ROM-Verfahren für stationäre Strömungsprobleme

Anwendung auf einen aerodynamischen
Testfall mit Nebenbedingungen

Mit einem Geleitwort von
Prof. Dr. Andreas Meister



Springer Spektrum

Sascha Trübelhorn
Universität Kassel, Deutschland

BestMasters

ISBN 978-3-658-13314-6

ISBN 978-3-658-13315-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-658-13315-3

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

Springer Spektrum

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Geleitwort

Die aerodynamische Auslegung und Konstruktion von Flugzeugen stellt auch heutzutage immer noch einen wichtigen Bereich im Rahmen der Luftfahrt dar. Numerische Verfahren sind aufgrund der immensen Kosten für die Planung und Durchführung von Experimenten dabei unabdingbar. Aber auch die numerischen Verfahren werden aufgrund der stetig steigenden Anforderungen hinsichtlich der geforderten Genauigkeit der Resultate und der zunehmenden Komplexität der physikalischen Randbedingungen immer rechenzeit- und damit kostenintensiver. Will man ganze Testserien zur Abdeckung von eingehenden Parameterräumen durchführen, die beispielsweise durch Variation der Reynolds- oder Mach-Zahl, aber auch des Anstellwinkels der Luftströmung zum Flugobjekt entstehen, so sind immense Rechenzeiten erforderlich, ohne damit den Parameterraum in seiner Gesamtheit abdecken zu können. An dieser Stelle spielen Reduced-Order Models eine zentrale Rolle, da mit ihnen Näherungslösungen aus bestehenden Rechnungen auch für Szenarien erzeugt werden können, zu denen keine Simulationen vorliegen. Diese Vorgehensweise bedarf dann jedoch einer gezielten, physikalisch sinnvollen Konstruktion dieser Näherungslösungen im Parameterraum. An dieser Aufgabenstellung setzt die Masterarbeit von Herrn Sascha Trübelhorn an.

Die Nutzung eines vom Autor beschriebenen Reduced-Order Models setzt ein Erzeugendensystem aus Full-Order-Lösungen voraus, das mit Hilfe eines Finite-Volumen-Verfahrens für unterschiedliche Parameterwerte bestimmt wird. Generell ist man jedoch an einer Basis anstelle eines Erzeugendensystems interessiert. Daher erzeugt Herr Trübelhorn zunächst auf der Grundlage einer Karhunen-Loeve-Zerlegung ein linear unabhängiges System aus sogenannten POD-Moden, die eine Basis beschreiben. Durch eine Linearkombination dieser Moden wird dann für einen gegebenen Parameterwert eine Näherungslösung bestimmt. Der Autor beschreibt und beweist dabei sehr gut verständlich wie auf der Basis der Eigenwerte der Korrelationsmatrix die POD-Moden bestimmt werden können. Hiermit liegt eine Orthonormalbasis vor, die eine exakte Rekonstruktion aller Snapshots als Linearkombination ermöglicht.

Die Fragestellung, der sich Herr Trübelhorn abschließend stellt, liegt in der Berechnung des POD-Koeffizientenvektors zu einem gegebenen Parameterwert. Hierzu werden drei verschiedene Interpolationsansätze, die Thin-Plate-Spline Interpolation, die bilineare und die bikubische Interpolation vorgestellt und diskutiert.

Numerische Ergebnisse runden die Masterarbeit sehr gelungen ab. Nach einer Erstellung der sogenannten Snapshot-Basis, also einer Menge von Testrechnungen, die den Parameterraum in angemessener Weise abdecken, werden zahlreiche Zwischenlösungen im Parameterraum verglichen.

Die Masterarbeit zeichnet sich durch eine klare und exakte Formulierung aus und liefert eine solide Basis für weitere Forschungsarbeiten in diesem hochaktuellen und spannenden Themenbereich.

Kassel, im November 2015

Prof. Dr. Andreas Meister

Vorwort

Diese Masterarbeit beschloss mein Masterstudium der Mathematik an der Universität Kassel vom Wintersemester 2012/2013 bis zum Sommersemester 2014. Zum Zeitpunkt der Abgabe meiner Masterarbeit vor über einem Jahr war mir die Reihe *BestMasters* des Springer Spektrum Verlages noch nicht bekannt. Mein Erstgutachter Prof. Dr. Andreas Meister machte mich darauf aufmerksam und schlug meine Arbeit zur Veröffentlichung im Rahmen dieser Buchreihe vor. Zu meiner großen Freude hielt die Arbeit einer Prüfung des Verlages stand. Ich bin mir der damit verbundenen Wertschätzung meiner Arbeit bewusst und spreche Herrn Meister für die Empfehlung meiner Arbeit sowie Frau Göhrisch-Radmacher vom Springer Spektrum Verlag für die sehr freundliche Kommunikation zur Klärung der Formalitäten meine Dankbarkeit aus.

An dieser Stelle möchte ich auch noch einmal dem Betreuer und Zweitgutachter dieser Masterarbeit, Prof. Dr. Philipp Birken danken. Die Bereitstellung des aktuellen, relevanten und hochinteressanten Themas des Reduced-Order Modeling, die kontinuierliche und kompetente Hilfe bei zahlreichen Fragen und Problemen meinerseits sowie die Gewährung der Möglichkeit, meine Arbeit vorab im Rahmen eines Kurzaufenthaltes an der Universität Lund in einem Seminarvortrag präsentieren zu können und dabei viel nützliches Feedback zu bekommen, waren die optimalen Voraussetzungen, welche aus meiner Sicht zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Ebenfalls danke ich Veronika Straub für die freundliche Starthilfe bei der Einarbeitung in die mir bis dahin noch unvertraute Programmiersprache C++ und den in dieser Arbeit zur Berechnung der stationären Lösungen benutzen Finite-Volumen-Code.

Meine Verlobte Vanessa kannte ich während des Entstehungsprozesses dieser Arbeit noch kaum. Dennoch gilt ihr mein herzlichster Dank dafür, dass sie das vergangene Jahr allen gemeinsam durchlebten Turbulenzen zum Trotz – oder vielleicht auch gerade deshalb – zum besten meines bisherigen Lebens gemacht hat.

Kassel, im November 2015

Sascha Trübelhorn

The time you enjoy wasting is not wasted time.
— Marthe Troly-Curtin