

Titel der Studien/Diplomarbeit

Studien/Diplomarbeit

von

cand. aer.

durchgeführt am

Institut für Aerodynamik und Gasdynamik

der Universität Stuttgart

und bei (Name der Firma /

Forschungseinrichtung etc. bei externen Arbeiten).

Stuttgart, im (Monat) (Jahr)

Aufgabenstellung

An diese Stelle wird die Aufgabenstellung der Arbeit eingebunden.

Übersicht

Nach der Titelseite des Berichtes und dem Aufgabenblatt soll das Wesentliche aus dem Inhalt der Arbeit in wenigen Sätzen zusammengefasst werden. Diese Übersicht soll keine Formeln und möglichst keine Literaturhinweise enthalten.

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung	ii
Übersicht	iii
Inhaltsverzeichnis	iv
Nomenklatur	v
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	2
2.1 Strömungsmechanische Grundlagen	2
2.1.1 Euler-Gleichungen	2
2.1.2 Navier-Stokes-Gleichungen	3
2.2 Disconstinuous Galerkin Verfahren	3
2.2.1 Räumliche Diskretisierung	3
3 Verifizierung	4
3.1 Strömungsmechanische Grundlagen	4
4 Ergebnisse	5
4.1 Verschiedene Sektionen	5
4.1.1 Verschiedene Untersektionen	5
5 Zusammenfassung	6
Literaturverzeichnis	7
Anhang	8

Nomenklatur

a_i	[-]	Polynomkoeffizient
c_f	[-]	Reibungswiderstandsbeiwert der turbulent umströmten ebenen Platte
c_{wV}	[-]	volumenbezogener Widerstandsbeiwert
D	[m]	Durchmesser
L	[m]	Körperlänge
$n_{krit.}$	[-]	kritischer Anfachungsfaktor (relevant für die Umschlagsberechnung)
Re_L	[-]	längenbezogene Reynoldszahl
Re_V	[-]	volumenbezogene Reynoldszahl
r	[m]	Radius
U_∞	[m/s]	Anströmgeschwindigkeit
V	[m ³]	Volumen
W	[N]	Widerstand
x, y, z	[m]	kartesische Koordinaten
α	[°]	Anstellwinkel
ν	[m ² /s]	kinematische Viskosität des Strömungsmediums
ρ	[kg/m ³]	Dichte des Strömungsmediums

1 Einleitung

Ich will hier meinen Text sehen! Sie führt in die Problematik ein, skizziert die Motivation und Zielsetzung sowie das geplante Vorgehen und die angestrebten Ergebnisse und sollte ca. 1 - 2 Seiten umfassen.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Cras elit. Nunc tempor tortor in leo. Nam lectus tortor, pharetra pellentesque, iaculis ut, pretium sed, sem. Nunc congue, sapien id euismod congue, nisl enim mollis sapien, sed suscipit turpis turpis vitae diam. Praesent quam. Cras eleifend. Morbi elementum fermentum tellus. Morbi arcu metus, laoreet molestie, sodales quis, luctus non, eros. Cras ligula. Sed ultrices. Nullam interdum nonummy lectus. Quisque congue hendrerit libero. Donec urna. Vestibulum luctus, massa non pulvinar nonummy, erat ipsum ultricies tortor, a convallis nibh mi non orci.

Vivamus diam libero, blandit a, malesuada in, egestas accumsan, nunc. Nulla a tellus. Nullam varius. Donec commodo felis in dolor. Cras eleifend, tellus commodo mollis gravida, orci dui iaculis elit, sit amet scelerisque arcu justo non diam. Aenean ipsum lacus, rutrum vel, bibendum vitae, laoreet sed, nisl. Nunc iaculis ante vestibulum odio. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Duis nec sapien. Quisque interdum quam imperdiet eros. Nulla vitae arcu cursus ante pharetra tincidunt. In at mauris. Phasellus pharetra, mi eu accumsan commodo, diam odio consectetur ligula, a ullamcorper nulla augue et augue. Vivamus diam. Curabitur at lorem. Vestibulum volutpat leo quis metus. Proin metus neque, dapibus a, laoreet quis, ullamcorper eget, magna.

Nam eu dolor a nisl faucibus suscipit. Nulla interdum sapien id lectus. Curabitur fringilla pulvinar nibh. Aenean porta luctus purus. Cras dictum mauris quis velit. Nullam pharetra pede at risus. Nullam orci sapien, porttitor eu, iaculis et, bibendum ultricies, ipsum. Mauris eget justo. Donec semper auctor tortor. Mauris a ante et magna facilisis mollis. Proin sem turpis, interdum quis, fermentum aliquet, faucibus scelerisque, quam. In mi nibh, facilisis eu, euismod sed, luctus ut, sapien. Etiam ut dui eget libero dapibus elementum.

2 Grundlagen

Die Grundlage zur Verifizierung ist SunwinT. Um zu verstehen, welche Grundlagen untersucht werden sollen, wird in diesem Kapitel zunächst eine Übersicht über die physikalischen Grundlagen und später eine kurze Herleitung des mathematischen Verfahrens zur Lösung der Differentialgleichungen gegeben.

2.1 Strömungsmechanische Grundlagen

Um eine Strömung physikalisch beschreiben zu können, werden mehrere Erhaltungssätze angewendet:

- Massenerhaltung
- Impulsverhaltung (in vektorieller Form)
- Energieerhaltung

2.1.1 Euler-Gleichungen

Durch Vernachlässigung der Wärmeübertragung und Reibung können die Navier-Stokes-Gleichungen zu den Euler-Gleichungen vereinfacht werden.

$$\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{F}_{inv}(U)) = 0^1 \quad (2.1)$$

\vec{U} beschreibt dabei die konservativen Erhaltungsgrößen

$$\vec{U} = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho w \\ \rho E \end{pmatrix}, \quad (2.2)$$

wobei ρ für die Dichte, $(\vec{v}) = (u, v, w)$ für die Geschwindigkeiten in drei Raumdimensionen und E für die totale Energie steht, welche sich aus der inneren Energie e und der kinetischen Energie zusammensetzt

$$E = e + \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2). \quad (2.3)$$

$(\vec{F}_{inv}(U))$ bezeichnet in Gl.(2.1) den reibungsfreien Flusstensor ($\vec{F}_{inv} = (F_{inv}^x, F_{inv}^y, F_{inv}^z,)$):

$$F_{inv}^{\vec{x}} = \begin{pmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + p \\ \rho uv \\ \rho uw \\ (\rho E + p)u \end{pmatrix}, \quad F_{inv}^{\vec{y}} = \begin{pmatrix} \rho v \\ \rho uv \\ \rho v^2 + p \\ \rho vw \\ (\rho E + p)v \end{pmatrix}, \quad F_{inv}^{\vec{z}} = \begin{pmatrix} \rho w \\ \rho uw \\ \rho vw \\ \rho w^2 + p \\ (\rho E + p)w \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

Unter Zuhilfenahme der thermischen und kalorischen Zustandsgleichung für ideale Gase schließt sich schließlich das Gleichungssystem

$$p = (\gamma - 1)(\rho E - \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2)). \quad (2.5)$$

Dabei repräsentiert γ den adiabaten Exponent. Fr Luft gilt $\gamma=1.4$.

2.1.2 Navier-Stokes-Gleichungen

Sollen nun auch Reibung und Wärmeübertragung berücksichtigt werden, müssen die bereits vorgestellten Euler-Gleichungen (Gl. 2.1) um einen reibungsbehafteten Flussterm F_{vis} erweitert werden. Dadurch wird eine Strömung so allgemein wie möglich beschrieben.

$$\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{F}_{inv}(U)) - \nabla \cdot (\vec{F}_{vis}(U, \nabla U)) = 0 \quad (2.6)$$

Wie auch der reibungslose Flussterm, repräsentiert auch der viskose Term $F_{vis} = (F_{vis}^x, F_{vis}^y, F_{vis}^z)$ alle Raumrichtungen. Dieser berücksichtigt zum einen den Spannungstensor τ

$$\tau = \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix}, \quad (2.7)$$

fr den gilt:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) \quad (2.8)$$

2.2 Discontinous Galerkin Verfahren

In diesem Kapitel wird das in SUNWinT implementierte DG Verfahren skizziert. Da ein räumlich und zeitlich getrennter Ansatz gewählt wurde, wird zunächst auf die räumliche und im Anschluss daran auf die zeitliche Diskretisierung eingegangen.

2.2.1 Räumliche Diskretisierung

Als Grundlage dient die Euler-Gleichung in differentieller konservativer Form

3 Verifizierung

Beim Modellieren und Simulieren kann nach Roy [1] prinzipiell in zwei Fehlerquellen unterschieden werden. Es gibt physikalische Modellierungsfehler und mathematische Fehler. Ersteres wird der Sparte der Validierung zugeordnet, die sich unter anderem mit falschen Vereinfachungen beschäftigt oder dem Gültigkeitsbereich bestimmter Modelle. Dies steht bei der Prüfung eines implementierten Verfahrens allerdings an letzter Stelle, da dafür die Richtigkeit der Gleichungen und des Codes vorausgesetzt werden muss. Die Verifizierung der Gleichungen sowie die Verifizierung des Codes sind beides rein mathematische Verfahren, die lediglich prüfen ob die Gleichungen richtig gelöst werden. Die Validierung hingegen überprüft, ob die richtigen Gleichungen gelöst werden. [2].

3.1 Strömungsmechanische Grundlagen

Um eine Strömung physikalisch beschreiben zu können, werden mehrere Erhaltungssätze angewendet:

- Massenerhaltung
- Impulsverhaltung (in vektorieller Form)
- Energieerhaltung

4 Ergebnisse

Der Darstellung der Ergebnisse ist ein besonderer Abschnitt zu widmen, evtl. unterteilt in experimentelle und theoretische Ergebnisse und Vergleich zwischen Theorie und Messung. Aus der Diskussion der Ergebnisse sind auch Schlussfolgerungen und Empfehlungen abzuleiten. Auftretende Diskrepanzen und unplausible Ergebnisse sind klar herauszustellen, mögliche Ursachen sind zu diskutieren.

4.1 Verschiedene Sektionen

4.1.1 Verschiedene Untersektionen

5 Zusammenfassung

Für den eiligen Leser ist die Vorgehensweise zusammen mit den wesentlichen Ergebnissen am Schluss in einer "Zusammenfassung" klar herauszustellen. Diese soll ausführlicher sein als die "Übersicht" am Anfang der Arbeit. Auch diese Zusammenfassung soll möglichst keine Formeln enthalten.

Literaturverzeichnis

- [1] T.M. SMITH C.C. OBER C.J. ROY, C.C. NELSON: *Verification of Euler/Navier-Stokes codes using the method of manufactured solutions*. International Journal for Numerical Methods in Fluids, No. 44, S. 599–620, 2004.
- [2] D. PELLETIER D. TREMBLEY, S. TIENNE: *Code Verification and the Method of Manufactured Solutions for Fluid-Structure Interaction Problems*. Conference Paper, 2006.

Anhang

Hierher gehören zur Dokumentation Tabellen, Messprotokolle, Rechnerprotokolle, Konstruktionszeichnungen, kurze Programmausdrucke und Ähnliches.