



BEUTH HOCHSCHULE  
FÜR TECHNIK  
BERLIN

University of Applied Sciences

Fachbereich II Mathematik - Physik - Chemie

## **Bachelorarbeit**

von

Zbigniew Michalek

zur Erlangung  
des akademischen Grades  
Bachelor of Science (Ba.Sc.)

im Studiengang  
Mathematik

Thema:

Untersuchungen zur Bestimmung  
aerodynamischer Kenngrößen  
eines Fahrzeugmodells mit der  
CFD Software ANSYS CFX

Betreuer: Prof. Dr. Frank Haußer  
Betreuer extern: Dr. rer. nat. Andreas Spille-Kohoff  
Gutachter: Prof. Dr. Yuri Luchko

Eingereicht: 2. Juni 2014



# Inhalt

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Symbolverzeichnis .....</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Einführung und Motivation .....	1
1.2 Ziel der Arbeit .....	4
1.3 Aufbau der Arbeit.....	4
<b>2 Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>6</b>
2.1 Physikalische Betrachtung von Strömungen .....	6
2.1.1 Strömungsformen .....	6
2.1.2 Kompressible und inkompressible Strömungen .....	7
2.1.3 Fließverhalten.....	8
2.1.4 Stationäre und instationäre Strömungen.....	8
2.2 Strömungskennzahlen .....	8
2.2.1 Die Machzahl.....	9
2.2.2 Die Reynolds-Zahl .....	9
2.3 Transportgleichungen .....	10
2.3.1 Gleichung zur Massenerhaltung .....	10
2.3.2 Gleichung zur Impulserhaltung .....	13
2.3.3 Reynolds gemittelte Navier-Stokes-Gleichungen .....	15
2.3.4 Turbulenzmodelle .....	16
<b>3 Aerodynamische Kenngrößen .....</b>	<b>19</b>
3.1 Widerstandskraft.....	19
3.1.1 Flächenwiderstand .....	20
3.1.2 Formwiderstand.....	21
3.2 Dimensionslose Kennzahlen .....	23
3.2.1 Widerstandskoeffizient.....	23
3.2.2 Auftriebskoeffizient .....	26
3.3 Aerodynamik im Fahrzeugbau .....	26



<b>4</b>	<b>Numerische Strömungsuntersuchung</b> .....	<b>29</b>
4.1	Vorgehensweise einer Numerischen Berechnung mit ANSYS CFX .....	30
4.2	Geometrie .....	30
4.3	Berechnungsgitter .....	32
4.3.1	Netzstudie .....	32
4.3.2	Vernetzungsstrategien .....	33
4.3.3	Diskretisierung .....	37
4.4	Simulationsvorbereitung .....	42
4.5	Berechnung .....	44
4.6	Auswertung .....	45
<b>5</b>	<b>Voruntersuchung am generischen Fahrzeugmodell Ahmed Körper</b> .....	<b>47</b>
5.1	Das Fahrzeugmodell Ahmed Körper .....	47
5.2	Berechnungsgitter und Gitterstudie .....	49
5.3	Simulationsbedingungen .....	53
5.4	Nebenrechnung .....	54
5.5	Berechnungsergebnisse .....	56
5.6	Parametrisierung des Fließheckwinkels .....	60
5.7	Berechnungen für unterschiedliche Anströmwinkel .....	63
5.8	Einströmung mit unterschiedlichen Grenzschichten .....	67
<b>6</b>	<b>Strömungsuntersuchung am generischen Fahrzeugmodell DrivAer</b> .....	<b>72</b>
6.1	Das DrivAer Modell .....	73
6.1.1	Das DrivAer Modell im GroWiKa .....	73
6.1.2	Das DrivAer Modell für numerische Berechnungen .....	79
6.1.3	Strömungsgebiet für numerische Berechnungen .....	82
6.2	Berechnungsgitter .....	84
6.2.1	Gitterstudie .....	88
6.2.2	Ergebnisse für den Auftriebskoeffizienten <i>clift</i> .....	89
6.2.3	Ergebnisse für den Auftriebskoeffizienten <i>cdrag</i> .....	90
6.2.4	Diskussion der Ergebnisse der Gitterstudie .....	91
6.3	Simulationsbedingungen .....	93
6.4	Transiente Berechnung des Halbmodells .....	94
6.5	Berechnung für unterschiedliche Anströmwinkel .....	96
6.5.1	Diskussion der Ergebnisse .....	99
6.5.2	Diskussion des Widerstandskoeffizienten .....	101
6.5.3	Diskussion des Auftriebskoeffizienten .....	102



6.5.4	Schlussfolgerung .....	103
<b>7</b>	<b>Fazit und Ausblick .....</b>	<b>105</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>107</b>



## 7 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das generische Fahrzeugmodell Ahmed Körper sich mit einem qualitativ guten Berechnungsgitter stationär sehr gut berechnen lässt. Der einfache geometrische Aufbau lässt Schlüsse zu, in der Ursache und Wirkung klar erkennbar werden. Diese Erkenntnisse, wie die Beeinflussung des Auftriebs durch Veränderungen der Geschwindigkeit zwischen Boden und Fahrzeug, aber auch die Einflussnahme der Strömungsablösung, sind auf andere, komplexere Modelle übertragbar.

Ist man jedoch an Berechnungen von realen Fahrzeugen interessiert, so ist das Berechnen von komplexeren Modellen unabhkömmlich. Detailreiche Fahrzeugmodelle lassen sich nicht stationär berechnen und machen transiente Untersuchungen notwendig. Eine qualitative Vernetzung der turbulenten Gebiete ist dabei sehr Anspruchsvoll und liefert eine Vielzahl an Volumenelementen. Die Kombination mit instationären Berechnungen führt daher zu langen Rechenzeiten trotz hoher Rechenleistung.

Die Untersuchung des generischen Fahrzeugmodells DrivAer liefert grundlegende Erkenntnisse über die Gebiete des Strömungsvolumens, welche eine detaillierte Vernetzung erfordern, wie die Radkästen. Auch die Wechselwirkung zwischen der Größe eines Volumenelementes und dem notwendigen Zeitschritt ist aus der Gitterstudie gut ableitbar. Die Berechnungen des Widerstandskoeffizienten über alle Anströmwinkel sowie die des Auftriebskoeffizienten bei schräger Anströmung erweisen sich als zufriedenstellend. Die Abweichungen der Berechnungs- und der Messergebnisse über alle Reynolds-Zahlen liegen in der gleichen Größenordnung, dabei fallen die der Simulation sogar geringer aus. Die Berechnung des Auftriebskoeffizienten bei frontaler Anströmung jedoch, variiert trotz detaillierter Nachbildung des GroWiKa's etwas stärker, verglichen mit den Messergebnissen. Diese Disparität ist nicht eindeutig auf Rechenfehler zurückzuführen. Da die Messergebnisse keine Spiegelsymmetrie um den neutralen Anströmwinkel aufweisen, ist eine genauere Analyse des Geschwindigkeitsprofil der Anströmung zu untersuchen. Denkbar ist hier, dass im GroWiKa nicht im Blockprofil angeströmt wird und dadurch Asymmetrien in den Messungen verursacht werden.

Für weiterführende Berechnungen bietet sich eine Untersuchung an, welche den Detaillierungsgrad der Anbauteile, wie Außenspiegel, Türgriffe, aber auch offene und drehende Räder mit Reifen, berücksichtigt. Dabei ist lokal eine Verfeinerung des Berechnungsgitters notwendig, wobei die Erfahrungen der Gitterstudien an dieser Stelle weitere Hilfestellungen bieten. Zur Anregung befindet sich in der beiliegenden DVD eine Animation einer Anlaufrechnung mit einer Geometrie mit Türgriffen und offenen, drehenden Rädern.



Liegt der Fokus für weitere Untersuchungen auf einem realen Modell, so ist der Einfluss des NACA Profils zu ermitteln, da hier Abweichungen im Auftriebskoeffizienten zu erwarten sind. Die untersuchten Fälle liefern einen guten Überblick der Gebiete, die turbulente Strömungen beinhalten, und der Einflussfaktoren, die in Wechselwirkung zueinander stehen. Lokal kann in diesen Gebieten das Netz verfeinert werden. Dabei können die weniger turbulenten Gebiete vergrößert werden. Eine gute Ausgangsposition ist das zuletzt generierte Netz, welches nicht weiter untersucht werden konnte.