



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Masterarbeit

Studiendepartment Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

**Untersuchungen zum korrelationsbasierten
Transitionsmodell in ANSYS CFD**

Michael Fehrs

04. Oktober 2011

Inhaltsverzeichnis

Kurzreferat	III
Aufgabenstellung	IV
Eidesstattliche Erklärung	V
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XII
Liste der Symbole	XIII
Liste der Abkürzungen	XVI
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund der Arbeit	1
1.2 Technische Relevanz und Stand der Technik	2
2 Strömungsmechanische Grundlagen	4
2.1 Laminare und turbulente Strömungen	4
2.2 Grenzschichten an Körpern	5
2.2.1 Grenzschichteigenschaften	6
2.2.2 Besonderheiten und Aufbau der turbulenten Grenzschicht	7
2.2.3 Lokaler und globaler Reibungsbeiwert	10
2.2.4 Grenzschichten und die Aerodynamik von Tragflügeln	12
2.2.5 Ablösen der Grenzschicht	13
2.3 Phänomenologie der Turbulenz	15
2.4 Transition in Grenzschichten	17
2.4.1 Transitionsarten	18
2.4.2 Einflussgrößen auf die Transition	23
2.4.3 Intermittenz	24
3 Turbulenzmodellierung	26
3.1 Zeitliche Mittelung der Navier-Stokes-Gleichungen	26
3.2 Schließungsproblem und Zweigleichungs-Turbulenzmodelle	28
3.3 SST k - ω -Modell	29
3.3.1 Transformation des k - ϵ -Modells	30
3.3.2 Formulierung des Baseline Modells	33
3.3.3 Formulierung des SST k - ω -Modells	34
3.4 Abnahme der Turbulenz im freien Strömungsfeld	34
3.4.1 Analytische Lösung	34
3.4.2 Beispiele eines freien Strömungsfelds	37
3.4.3 Auslöschen des Effekts	38

4	Transitionsbestimmung	40
4.1	Möglichkeiten der Transitionsberücksichtigung	40
4.1.1	Direkte Numerische Simulation	40
4.1.2	Large Eddy Simulation	40
4.1.3	Niedrig-Reynoldszahl-Modelle	41
4.1.4	e^n -Methoden	43
4.1.5	Empirische Korrelationsmodelle	44
4.2	Das γ - Re_θ -Transitionsmodell	45
4.2.1	Zeitliche Entwicklung des Modells	46
4.2.2	Empirische Korrelation	47
4.2.3	$\tilde{Re}_{\theta t}$ -Transportgleichung	49
4.2.4	Die Schergeschwindigkeits-Reynoldszahl nach van Driest	51
4.2.5	Intermittenz-Transportgleichung	52
4.2.6	Intermittenz und laminare Ablösungen	56
4.2.7	Kopplung von Transitions- und Turbulenzmodell	58
4.2.8	Weitere Funktionen und Anmerkungen	59
5	Validierung des γ-Re_θ-Transitionsmodells	62
5.1	Ebene Platte: T3-Testserie	62
5.1.1	T3-Testserie: Geometrie, Gitter und Randbedingungen	64
5.1.2	T3-Testserie: Übersicht über die Grundfälle und Pre-Processing	65
5.1.3	T3-Testserie: T3A	67
5.1.4	T3-Testserie: T3B	72
5.1.5	T3-Testserie: T3A-	74
5.1.6	T3-Testserie: T3C-Fälle	75
5.1.7	T3-Testserie: Gittereinfluss und Konvergenz	78
5.1.8	T3-Testserie: Zusammenfassende Bewertung	80
5.2	Verdichter: Zierke & Deutsch DCA-Profil	81
5.2.1	Zierke & Deutsch-Verdichter: Geometrie, Gitter und Randbedingungen	82
5.2.2	Zierke & Deutsch-Verdichter: Ergebnisse	85
5.2.3	Zierke & Deutsch-Verdichter: Gittereinfluss und Konvergenz	92
5.2.4	Zierke & Deutsch-Verdichter: Zusammenfassende Bewertung	95
5.3	Tragflügel: Aerospatale-A Profil	96
5.3.1	Aerospatale-A: Geometrie, Gitter und Randbedingungen	96
5.3.2	Aerospatale-A: Ergebnisse	99
5.3.3	Aerospatale-A: Gittereinfluss und Konvergenz	101
5.3.4	Aerospatale-A: Zusammenfassende Bewertung	105
6	Konzeptionelle Betrachtung einer Profilmströmung	106
6.1	Pre-Processing	106
6.2	Solver	108
6.3	Post-Processing	110
6.4	Fazit	113
7	Zusammenfassung	114
8	Schlussbemerkung	116
	Literaturverzeichnis	117
A	Validierung: Ergänzende Abbildungen	122
A.1	Ebene Platte	122

A.2	Zierke & Deutsch-Verdichter	132
A.3	Tragflügel: Aerospatiale-A	133
B	NACA 1412: Ergänzende Abbildungen	140

Kurzreferat

Diese Arbeit behandelt die Transitionsmodellierung in modernen CFD-Codes am Beispiel des ANSYS CFD $\gamma-Re_\theta$ -Transitionsmodells. Transition stellt den Übergang einer laminaren in eine turbulente Strömung dar. Bei der rechnergestützten Strömungssimulation wird meist auf eine Berücksichtigung der Transition verzichtet, da der überwiegende Anteil technisch relevanter Strömungen vollständig turbulent ist und laminare Grenzschichtbereiche kaum Einfluss auf den gesamten Strömungszustand haben. Zusätzlich besteht ein Mangel an verlässlichen Werkzeugen, um den Transitionsprozess bei ingenieurmäßigen Fragestellungen zu erfassen.

Die Annahme, dass nur turbulenten Strömungen Bedeutung beigemessen werden muss, ist dahingehend zu korrigieren, dass die Transition immer dann zu berücksichtigen ist, wenn eine weitere Optimierung von Hochleistungsmaschinen vorgenommen werden soll. Dies gilt sowohl für die Formgebung von Stromlinienkörpern als auch für die komplizierten Strömungszustände in Turbomaschinen.

Das $\gamma-Re_\theta$ -Transitionsmodell stellt ein empirisches Korrelationsmodell dar, das durch seine rein lokale Formulierung für die Nutzung in CFD-Codes für unstrukturierte Gitter geeignet ist. Durch das Transitionsmodell wird das SST $k-\omega$ -Modell um zwei partielle Differentialgleichungen erweitert, die das Einsetzen der Transition (Intermittenz-Transportgleichung) und die Verteilung der kritischen Strömungsgröße, bei der die Transition einsetzt, im Strömungsfeld steuern ($\tilde{Re}_{\theta t}$ -Transportgleichung). Neben der Formulierung des Modells werden die strömungsmechanischen Grundlagen des Transitionsprozesses und die Grundlagen der Turbulenzmodellierung dargestellt. Anhand von Versuchsdaten zu Strömungen an einer ebenen Platte, in einer Verdichter-kaskade und um ein Tragflügelprofil wird eine Validierung des Modells durchgeführt. Hierbei kann am Beispiel des Verdichterprofils, angeströmt bei einem negativen Inzidenzwinkel, und dem Tragflügelprofil bei hohem Anstellwinkel die technische Relevanz der Transition aufgezeigt werden.

Neben der allgemeinen Eignung Transitionsvorgänge angemessen genau abzubilden, zeigt sich, dass der Wahl von Turbulenzgrößen auf den Rändern des Strömungsfelds eine große Bedeutung bei der Bestimmung der Transition zukommt. Durch die Nutzung des Transitionsmodells steigen die Anforderungen im Pre-Processing, die Rechenzeiten und der Aufwand bei der Interpretation der Ergebnisse.