

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Inhaltsverzeichnis | I |
| Nomenklatur | III |
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1. Motivation | 1 |
| 1.2. Stand der Forschung | 2 |
| 1.2.1. <i>Coandaeffekt</i> | 2 |
| 1.2.2. Konventionelle Hochauftriebssysteme | 3 |
| 1.2.3. Dimensionsloser Impulsbeiwert | 5 |
| 1.2.4. Hochauftriebssysteme mit aktiver Strömungskontrolle | 6 |
| 1.2.5. Einfluss der Stromlinienkrümmung auf die Turbulenz | 18 |
| 1.3. Zielsetzung | 22 |
| 2. Numerische Strömungssimulation | 25 |
| 2.1. Strömungslöser | 25 |
| 2.1.1. <i>Navier-Stokes</i> -Gleichungen | 25 |
| 2.1.2. <i>Favre</i> - und <i>Reynoldsgemittelte Navier-Stokes</i> -Gleichungen | 27 |
| 2.1.3. Wirbelviskositätsmodelle | 29 |
| 2.1.3.1. <i>Spalart-Allmaras</i> -Turbulenzmodell | 30 |
| 2.1.3.2. <i>Spalart-Allmaras</i> -Turbulenzmodell mit Krümmungskorrektur | 30 |
| 2.1.3.3. <i>Menter SST</i> -Turbulenzmodell | 31 |
| 2.1.4. <i>Reynoldsspannungsmodelle</i> | 32 |
| 2.1.4.1. <i>SSG/LRR-ω</i> -Turbulenzmodell | 33 |
| 2.1.5. Diskretisierung | 34 |
| 2.1.5.1. Raumdiskretisierung | 34 |
| 2.1.5.2. Flussdiskretisierung | 34 |
| 2.1.5.3. Zeitdiskretisierung | 35 |
| 2.1.6. Beschleunigungsverfahren | 36 |
| 2.2. Bestimmung des Impulsbeiwerts in den Simulationen | 37 |
| 3. Aerodynamischer Entwurf des Windkanalmodells | 39 |
| 3.1. Entwurf von Profilen mit Zirkulationskontrolle | 39 |
| 3.2. Numerische Sensitivitätsuntersuchung zur Profilgeometrie | 41 |
| 3.2.1. Klapengeometrie | 42 |
| 3.2.2. Spalthöhe | 44 |
| 3.2.3. Profiltiefe | 45 |
| 3.2.4. Ergebnisse der numerischen Sensitivitätsuntersuchung | 46 |

| | |
|--|------------|
| 3.3. Dreidimensionale Simulation des ausgewählten Hochauftriebssystems | 46 |
| 4. Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen | 51 |
| 4.1. Versuchsaufbau | 51 |
| 4.1.1. Windkanal | 51 |
| 4.1.2. Tragflügelmodell | 51 |
| 4.1.3. Leitungssystem zur Zuführung von Druckluft | 53 |
| 4.2. Vermessung der Strahlqualität | 54 |
| 4.3. Bestimmung des Impulsbeiwerts im Experiment | 55 |
| 4.4. Druckmessungen | 57 |
| 4.4.1. Fixierung der Transition | 58 |
| 4.4.2. Profilmessungen | 58 |
| 4.4.3. Nachlaufmessungen | 60 |
| 4.4.4. Genauigkeit der Druckmessungen | 63 |
| 4.5. Particle Image Velocimetry | 64 |
| 4.5.1. Ausblasespalt | 66 |
| 4.5.2. <i>Coanda</i> -fläche | 67 |
| 4.5.3. Hinterkante | 68 |
| 4.5.4. Bestimmung der Turbulenz aus den experimentellen Daten | 69 |
| 4.5.5. Genauigkeit der Messungen mit der Particle Image Velocimetry | 71 |
| 5. Ergebnisse der numerischen Strömungssimulationen | 73 |
| 5.1. Räumliche Diskretisierung des Strömungsfelds | 73 |
| 5.2. Zweidimensionale Simulation der Profilumströmung | 75 |
| 5.2.1. Ergebnisse der zweidimensionalen Simulationen | 76 |
| 5.2.2. Vergleich mit dem Experiment | 77 |
| 5.2.2.1. Anstellwinkelkorrektur | 77 |
| 5.2.2.2. Druckverteilungen | 78 |
| 5.2.2.3. Geschwindigkeitsprofile und <i>Reynoldsspannungen</i> | 79 |
| 5.3. Dreidimensionale Simulation der Modellumströmung | 84 |
| 5.3.1. Ergebnisse der dreidimensionalen Simulationen | 85 |
| 5.3.2. Vergleich mit dem Experiment | 87 |
| 5.3.2.1. Wandstromlinien | 87 |
| 5.3.2.2. Druckverteilungen | 88 |
| 5.3.2.3. Integrale Kraftbeiwerte | 89 |
| 5.3.2.4. Geschwindigkeitsprofile und <i>Reynoldsspannungen</i> | 90 |
| 6. Zusammenfassung | 95 |
| Literaturverzeichnis | 97 |
| A. Tabellen | 111 |
| B. Abbildungen | 115 |