Experimentelle und numerische Analysen an bewegten Profilen bei kleinen Reynoldszahlen

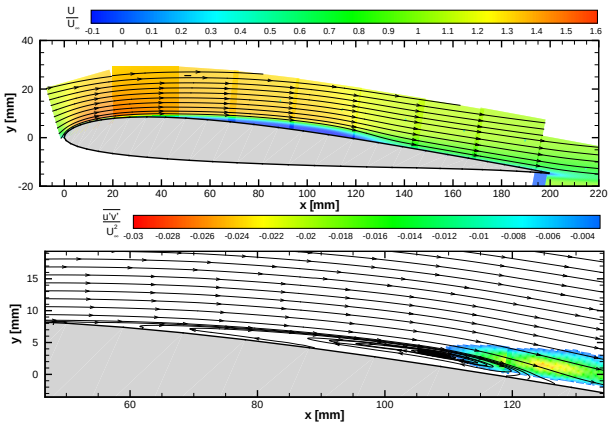
Ulrich Scholz

Motivation

Durch den Einsatz von unbemannten Kleinflugzeugen (Micro Aerial Vehicles) mit Abmessungen im Zentimeterbereich werden sich in der Zukunft die gegenwärtigen Grenzen des Fernerkundung verschieben lassen, vor allem in Gebiete die vormals nur schwer zugänglich waren oder nur unter erhöhter Gefahr untersucht werden konnten. Aus aerodynamischer Sicht, besteht die Herausforderung vor allem im Verständnis und der Beherrschung von Effekten, die bei kleinen Reynoldszahlen ($Re = U_\infty l / \nu$) auftreten. Hierzu gehört vor allem die laminare Ablöseblase. Des Weiteren ist der Schlagflug bei kleinen Abmessungen als Antriebskonzept effizienter als der Propellerantrieb. Die Effizienz dieses Antriebskonzepts kann durch eine geeignete Verwindung unter den aerodynamischen Lasten des Flügels noch erhöht werden, wobei für die Effizienz die laminare Ablöseblase ein entscheidender Faktor ist. Für die Grundlagenuntersuchungen in diesem Projekt wird der schlagende Flügel durch ein zweidimensionales Modell ersetzt. Die Profilbewegung besteht aus einer geführten, sinusförmigen Hubbewegung und einer Nickbewegung, die sich in Folge der aerodynamischen, der Feder- und der Massenträgheitskräfte einstellt.

Laminare Ablöseblase

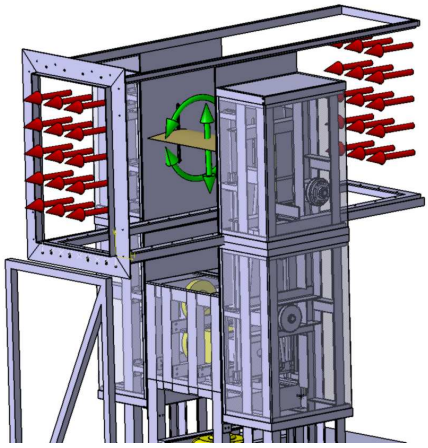
Laminare Ablöseblasen treten bei Reynoldszahlen von 10^4 bis 10^6 an diesen Profilen auf. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass die Strömung aufgrund eines Druckanstiegs noch in der laminaren Region ablöst. Da die Scherschicht zwischen dem Rückströmgebiet und der Außenströmung instabil ist, findet in der Scherschicht der Transistionsprozeß statt. Durch den turbulenten Impulsaustausch legt sich die Strömung wieder an und schließt die Blase im zeitlichen Mittel, wie in Abb. 1 dargestellt.



Laminare Ablöseblase bei $Re = 60000$ und $\alpha = 4$ř
Oben: normiertes Geschwindigkeitsfeld
Unten: normierte Scheinschubspannung grösser als 0

Experimentelle Untersuchungen

In ersten experimentellen Untersuchungen wurde zunächst die laminare Ablöseblase hochaufgelöst vermessen, um einen Datensatz für Validierungsrechnungen zu erhalten. Weitere Vorversuche an einem schwingenden Profil im Wasserkanal zeigen eine deutliche Phasenverschiebung der laminaren Ablöseblase in Bezug auf Messungen bei stationären Verhältnissen. Die Experimente im Wasserkanal haben jedoch den Nachteil, dass ein Turbulenzgrad von $Tu = 0,8\%$ vorherrscht. Messungen bei kleineren Turbulenzgraden sind erst im Leisen Niedergeschwindigkeits Windkanal Braunschweig (LNB) möglich, wofür ein Schlagapparat entworfen wurde, der es erlaubt, Hubfrequenzen von 10Hz bei einer Amplitude von $0,1$m zu erreichen.



Schlagapparat

Numerische Untersuchungen

Die numerischen Untersuchungen basieren auf dem Strömungslöser FLOWer mit einer Erweiterung für die Transitionsvorhersage. Die Transitionsvorhersage beruht auf einer direkten Lösung der Orr-Sommerfeld Gleichungen mittels des Stabilitätscodes Coast3, der die Anfachungsraten harmonischer Wellen bei paralleler Strömung ermitteln kann. Bei instationärer Strömung kann dieses Verfahren in ähnlicher Weise angewendet werden. Die Nickbewegung wird durch eine gewöhnliche Differentialgleichung beschrieben, die mittels eines Runge-Kutta-Verfahrens 4. Ordnung gelöst wird. Als Kopplungsparameter gehen der Nickwinkel ϕ und die Beiwerte für den Auftrieb, den Widerstand und das Moment ein. Die Kopplung selbst wird in der schwachen Form mit einem gestaffelten Verfahren durchgeführt. D.h., der Strömungslöser übergibt zum neuen Zeitpunkt t_{n+1} die Kraft- und Momentenbeiwerte an den Strukturlöser und dieser berechnet damit den neuen Wert von ϕ_{n+1}.