

Analyse und Simulation strömungsinduzierter Geräuschemissionen: Äolstöne im Bereich unterkritischer REYNOLDS-Zahlen

von Bachelor of Science

Christoph Fischer

Von dem Fachbereich Ingenieurwissenschaften II

Mechanical Engineering

der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

- M.Sc. -

Prüfungsausschuss:

Vorsitzender / 1. Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. S. Frank

2. Gutachter:

Dr. rer. nat. A. Spille-Kohoff

Berlin 2007

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| | 1.1 Ziel der Arbeit | 3 |
| | 1.2 Äolstöne – der Wind als Musikant..... | 3 |
| | 1.3 Aufgabenstellung | 6 |
| 2 | Grundlagen der Strömungsakustik | 9 |
| | 2.1 Übersicht | 9 |
| | 2.2 Akustische Grundlagen..... | 11 |
| | 2.3 Lautstärkewahrnehmung | 14 |
| | 2.4 Mathematische Beschreibung von Schallwellen | 17 |
| 3 | Grundlagen der Äolstonbildung | 21 |
| | 3.1 Einführung | 21 |
| | 3.2 Strömungsmechanische Grundlagen..... | 22 |
| | 3.2.1 Potentialtheoretische Zylinderumströmung | 22 |
| | 3.2.2 Reibungsbehaftete Zylinderumströmung | 28 |
| | 3.3 Aerodynamisch angeregte Schwingungen | 32 |
| | 3.4 Die Wirbelablösungsfrequenz..... | 37 |
| | 3.5 Unterscheidung der Strömungsregime | 39 |
| | 3.6 Charakteristische Größen aus Experimenten | 42 |
| 4 | Grundlagen der numerischen Strömungssimulation | 45 |
| | 4.1 Grundgleichungen | 45 |
| | 4.1.1 Kontinuitätsgleichung | 45 |
| | 4.1.2 Impulsgleichungen | 47 |
| | 4.1.3 Energiegleichung | 50 |
| | 4.2 Turbulenzmodellierung | 51 |
| | 4.3 Diskretisierung | 58 |
| 5 | Numerische Simulation der Strömung um einen Kreiszyylinder | 66 |
| | 5.1 Laminare Strömung um den Kreiszyylinder | 70 |
| | 5.2 Turbulente Strömung um den Kreiszyylinder..... | 73 |
| | 5.3 Ergebnisse..... | 75 |

| | |
|--|------------|
| 5.4 Auswertung..... | 117 |
| 6 Experimentelle Untersuchung der Umströmung von Kreiszyklindern..... | 124 |
| 6.1 Aufbau des Versuchsstandes | 124 |
| 6.2 Durchführung | 126 |
| 6.3 Messungen | 127 |
| 6.4 Auswertung..... | 129 |
| 7 Zusammenfassung und Ausblick | 134 |
| 8 Nomenklatur | 135 |
| 9 Literaturverzeichnis | 139 |

7 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend ist zu sagen, dass in einem weiteren Versuchsverlauf nur dünne Durchmesser verwendet werden müssten, um so eindeutige, von den Ventilatorgeräuschen unterscheidbare Ergebnisse zu erzielen. Man könnte den beschriebenen Resonanzfall auch zu einem Vorteil bei der Tonerzeugung machen, da in diesem Fall der Ton lauter erklingen würde. Die Eigenfrequenz des Drahtes lässt sich leicht bestimmen, wenn man das Drahtmaterial, die Länge und das Gewicht kennt.

Die Ergebnisse der Simulation konnten leider nicht genau mit den Experimenten bestätigt werden. Zum Bau einer Windharfe sollten sie dennoch ausreichen. Eine konstante Windgeschwindigkeit herrscht in der Realität sehr selten.

Solange die Durchmesser mit gleichen angenommen Werten wie STROUHAL-Zahl, Geschwindigkeit und Frequenz bestimmt werden, hat die Windharfe am Ende auch einen harmonischen Klang, da das Frequenzverhältnis der Töne zueinander gleich bleibt.

Die Ergebnisse aus den Simulationen sind zufrieden stellend. Auch hier würden weitere Anpassungen (z. B. der Intensität) letzte Unsicherheiten ausräumen.

Die nächste Herausforderung im Bereich Computersimulation stellt mit Sicherheit die Simulation einer durch Strömung bewegten Saite dar.