

# INHALTSVERZEICHNIS

## KURZFASSUNG

## ABSTRACT

## NOMENKLATUR

### 1 EINLEITUNG

1.1	Inhalt und Aufbau der Arbeit.....	1
-----	-----------------------------------	---

### 2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND EINORDNUNG IN DIE LITERATUR

2.1	Grenzschicht .....	3
2.1.1	Scherschicht und hydrodynamische Stabilitätstheorie .....	4
2.2	Wirbelnachlauf eines kreisförmigen Zylinders .....	6
2.3	Wirbelablösemechanismus .....	7
2.4	Visualisierung mittels Q-Kriterium .....	8
2.5	Strouhal-Zahl und Ablöswinkel .....	9
2.6	Kräfte auf einen umströmten Zylinder.....	10
2.7	Turbulenzgrad und Oberflächenrauigkeit.....	11
2.8	Korrelationslänge (engl. „correlation length“) .....	13
2.9	Aeroakustische Schallentstehung .....	15
2.9.1	Akustische Effekte durch Nachlaufkörper.....	16
2.9.2	Phasenbedingung einer akustischen Resonanz bzw. einer globalen Instabilität .....	18
2.10	Endplatten .....	19
2.11	Strömungsinduzierte Schwingungen .....	19
2.11.1	Allgemeine Schwingungsgleichung in der Mechanik .....	19
2.11.2	Hydrodynamische Masse.....	22
2.11.3	Massenverhältnis .....	23
2.11.4	Lock-in.....	23
2.11.5	Ablösemuster .....	27
2.11.6	Galloping .....	33
2.12	Interferenzeffekte.....	36

2.12.1	Statische Untersuchungen.....	37
2.12.2	Dynamische Untersuchungen .....	41
2.12.3	Zusammenfassung Interferenzeffekte.....	48

### 3            **UNTERSUCHUNG DER AEROAKUSTIK**

3.1	Leiser Freistrahл .....	49
3.2	Design of Experiments (DoE) .....	53
3.2.1	Auswahl des Versuchsplanes.....	54
3.3	Versuchsaufbau.....	58
3.3.1	DoE-Einflussgrößen .....	59
3.3.2	Aufbau des Zylinders.....	60
3.4	Vorversuche bzgl. der DoE-Einflussfaktoren.....	60
3.4.1	Einflussgröße: Turbulenzgrad .....	61
3.4.2	Einflussgröße: Plattenlänge .....	67
3.4.3	Einflussgröße: Plattendicke .....	68
3.4.4	Einflussgröße: Plattenversatz.....	70
3.4.5	Einflussgröße: Strömungsgeschwindigkeit / Reynolds-Zahl.....	70
3.4.6	Wahl der Versuchsraumgrenzen.....	70
3.4.7	Überführung in dimensionslose Parameter.....	71
3.5	Mess- und Verfahreinstellungen.....	72
3.6	Zielgrößen.....	73
3.6.1	Referenzmessungen .....	77
3.7	Versuchsergebnisse.....	79
3.7.1	Zielgröße $(g/d)SDV, max$ .....	81
3.7.2	Zielgröße $Lp\_A(g/d)SDV, max$ .....	84
3.7.3	Zielgröße $(f\_WAF)dim$ .....	87
3.7.4	Zielgrößenregressionsfunktionen .....	90
3.8	Validierungsmessungen .....	91
3.8.1	Validierung innerer Versuchsraum.....	92
3.8.2	Validierung äußerer Versuchsraum (Extremwerte).....	93
3.9	Erweiterung des Versuchsraums um den Zylinderdurchmesser.....	96
3.9.1	Schalldruckreferenzmessung .....	97
3.9.2	Ergebnisanalyse der Versuchsraumerweiterung.....	100
3.10	Diskussion.....	101
3.11	Langzeitmessung und Wellenlängenhypothese .....	105

3.11.1	Einfluss der Plattenverschiebung auf den Schalldruckpegel .....	106
3.11.2	Globale Instabilität.....	109
3.11.3	Direkte Bestimmung der Wirbelkonvektionsgeschwindigkeit.....	111
3.11.4	Diskussion.....	120
3.12	Hysterese-Effekt .....	121
3.12.1	Transiente Strömungssimulationen mit bewegtem Netz .....	121
3.12.2	Diskussion.....	124
<b>4</b>	<b>UNTERSUCHUNG DER AERODYNAMIK</b>	
4.1	Windkanal.....	126
4.2	Starrer Zylinder.....	127
4.2.1	Particle Image Velocimetry (PIV) .....	127
4.2.2	Versuchsaufbau - starrer Zylinder .....	128
4.2.3	Definition des Ablösepunktes und des Ablöswinkels.....	129
4.2.4	Versuchsergebnisse.....	130
4.3	Der elastisch gelagerte Zylinder .....	135
4.3.1	Systemauslegung zur Realisierung des Lock-in Effekts .....	135
4.3.2	dynamischer Versuchsaufbau .....	137
4.3.3	Beschleunigungsmessung .....	139
4.3.4	Phasenuntersuchung .....	139
4.3.5	Versuchsergebnisse.....	140
4.4	Diskussion Aerodynamik.....	149
<b>5</b>	<b>NUMERISCHE HAUPTUNTERSUCHUNG</b>	
5.1	Strömungsmechanische Grundlagen .....	152
5.2	Finite-Volumen-Methode .....	152
5.3	Turbulenzmodellierung.....	153
5.4	Netzerstellung und Setup.....	153
5.4.1	Allgemeine Netzkriterien.....	154
5.5	Validierung der Simulationsergebnisse .....	156
5.5.1	Strouhal-Zahl .....	156
5.5.2	Zeitschrittweitenanalyse .....	159
5.5.3	Auftriebsbeiwert 2D .....	159
5.5.4	Statisches Netz.....	160
5.5.5	Fluid-Struktur-Interaktion (FSI) .....	163
5.5.6	Dynamisches Netz .....	164

5.6	Ergebnisse der statischen Betrachtung .....	167
5.6.1	Ablösewinkel .....	167
5.6.2	Auftriebsbeiwert .....	171
5.6.3	Ablösefrequenz .....	172
5.6.4	Visuelle Analyse mittels Q-Kriterium .....	172
5.6.5	Asymmetrie der Auftriebskräfte .....	174
5.7	Ergebnisse der dynamischen Betrachtung .....	176
5.7.1	Validierung des Experiments nach Feng .....	176
5.7.2	Numerische Untersuchung des Wirbelablösemusters.....	180
5.7.3	Numerische Untersuchung einer Zylinder/Quader-Konfiguration.....	184
5.8	Diskussion Numerik .....	194
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b>	
6.1	Ausblick.....	205
6.1.1	Übertragung der Ergebnisse auf das <i>Energy Harvesting</i> in Wasser.....	205
6.1.2	DoE-Analyse.....	206
6.1.3	Numerische Untersuchungen.....	207
6.1.4	Superresonanz.....	208
<b>7</b>	<b>ANHANG</b>	
7.1	Begriffe und Definitionen des DoE-Verfahrens .....	210
7.2	Das automatische Traversiersystem .....	213
7.3	DoE-Versuchsplan .....	214
7.4	Dominanz der Tonalität auf $Lp(A)$ .....	215
7.5	Validität von $Lp(A)$ für $(g/d)SDV, start$ .....	216
7.6	DoE-Versuchsergebnisse .....	218
7.7	Zielgrößenbewertung - Zusatz - .....	219
7.7.1	Zielgröße $(g/d)SDV, start$ .....	219
7.7.2	Zielgröße $\Delta(g/d)start, max$ .....	221
7.7.3	Zielgröße $(p_A)dim$ .....	222
7.8	DoE-Regressionskoeffizienten .....	223
7.9	Vergleich des 2P Wirbelablösemusters .....	224
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	