

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>VII</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Stand des Wissens .....	2
1.2.1 Experimentelle und analytische Betrachtungen .....	2
1.2.2 Numerische Untersuchungen .....	5
1.3 Zielsetzung .....	8
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>9</b>
2.1 Allgemeine Akustikgrundlagen .....	9
2.1.1 Schalldruckpegel .....	9
2.1.2 Schmalband-Fourieranalyse .....	10
2.1.3 Schallschnelle, -intensität, -leistung und Impedanz .....	11
2.1.4 Schall und Pseudoschall .....	12
2.2 Theorie von Rossiter Pseudoschall .....	12
2.3 Allgemeine Edge-Tone Theorie .....	15
2.4 Helmholtzresonator .....	18
2.5 Navier-Stokes .....	21
2.5.1 Massenbilanz .....	21
2.5.2 Impulsbilanz .....	22
2.5.3 Energiebilanz .....	22
2.5.4 Allgemeine Form der Transportgleichung .....	23
2.5.5 Diskretisierung .....	23
2.5.6 Finite Volumen .....	24
2.5.7 Diskretisierung des Konvektionsterms .....	25
2.5.8 Diskretisierung des Zeitterms .....	27
2.5.9 Druckkorrektur .....	28
2.5.10 Turbulenzmodellierung .....	28
2.5.11 Standard-k- $\epsilon$ -Modell .....	29
2.5.12 Rechenverfahren .....	30
2.6 Lattice-Boltzmann Methode .....	30
2.6.1 Top-down versus bottom-up .....	31
2.6.2 Boltzmann Gleichung .....	32
2.6.3 Kollisionsoperator .....	33
2.6.4 Gleichgewichtsverteilung .....	35
2.6.5 Lattice-Boltzmann Gleichung .....	35
2.6.6 Diskretisierung .....	37
2.6.7 Multiskalen Analyse .....	38
2.6.8 Turbulenzmodellierung .....	40
2.6.9 Rechenverfahren .....	41

<b>3</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>42</b>
3.1	Messtechnik . . . . .	42
3.2	Rechteckige Kavitäten . . . . .	43
3.2.1	Der Helmholtzresonator . . . . .	43
3.2.2	Flache Kavitäten . . . . .	48
3.3	Heckklappenspalt . . . . .	50
3.3.1	Vergleich A3/S3 . . . . .	51
3.3.2	Verstimmerleiste . . . . .	55
3.3.3	Kreuzkorrelation . . . . .	56
3.3.4	CFD Ausblick . . . . .	57
3.4	Motorhaubenspalt . . . . .	58
3.4.1	Ziergitterposition . . . . .	60
3.4.2	Störmäßignahmen zum Ziergitterpfeifen . . . . .	61
3.4.3	Hitzdrahtmessungen . . . . .	64
<b>4</b>	<b>CFD Simulation</b>	<b>69</b>
4.1	Helmholtzresonator . . . . .	70
4.1.1	Basissimulation . . . . .	70
4.1.2	Geschwindigkeitsreihe . . . . .	76
4.1.3	Frequenzanalyse . . . . .	78
4.2	Heckklappenspalt . . . . .	86
4.2.1	Simulationsmethodik . . . . .	86
4.2.2	Qausi-3D Simulation PowerFLOW . . . . .	89
4.2.3	2D Simulation mit PowerFLOW . . . . .	92
4.2.4	2D Simulation mit Navier-Stokes . . . . .	94
4.2.5	Frequenzanalyse . . . . .	98
4.3	Motorhaubenspalt . . . . .	102
4.3.1	Simulationsmethodik . . . . .	103
4.3.2	Simulationsergebnis . . . . .	104
<b>5</b>	<b>Bewertung und Ausblick</b>	<b>109</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>111</b>