

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XIII</b>
<b>Nomenklatur</b>	<b>XV</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>XIX</b>
<b>Abstract</b>	<b>XXI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund und Motivation . . . . .	1
1.2 Literaturübersicht . . . . .	2
1.2.1 Studien mittels Navier-Stokes basierender Methoden . . . . .	4
1.2.2 Studien mittels der Lattice-Boltzmann-Methode . . . . .	8
1.3 Zielsetzung und Arbeitshypothesen . . . . .	10
1.4 Aufbau der Arbeit . . . . .	11
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>12</b>
2.1 Ventilatoren . . . . .	12
2.1.1 Aufgaben von Ventilatoren . . . . .	12
2.1.2 Klassifizierung von Ventilatoren . . . . .	12
2.1.3 Kenngrößen von Ventilatoren . . . . .	14
2.1.4 Kennlinien von Ventilatoren . . . . .	16
2.2 Akustik . . . . .	17
2.2.1 Grundbegriffe der Akustik . . . . .	18
2.2.2 Signalverarbeitung . . . . .	19
2.3 Grundlagen der Schallentstehung . . . . .	22
2.3.1 Aerodynamische Schallentstehung und Elementarstrahler . . . . .	22
2.3.2 Schallquellen und -entstehungsmechanismen bei Ventilatoren . . . . .	23
2.4 Lattice-Boltzmann-Methode . . . . .	28
2.5 Grundlagen der Öl-Anstrich-Methodik . . . . .	31
2.5.1 Bestandteile einer Anstrichfarbe . . . . .	32
2.5.2 Mischverhältnis der Anstrichfarbe . . . . .	32
2.5.3 Interpretationstechnik der Anstrichbilder . . . . .	33
<b>3 Experimenteller Aufbau</b>	<b>34</b>
3.1 Versuchsaufbau des Radialventilatorprüfstands . . . . .	34
3.2 Beschreibung des analysierten Radialventilators . . . . .	38
3.3 Sensortik und Datenerfassung . . . . .	40
3.4 Versuchsaufbau und -durchführung von Hochfahrtests und Resonanzversuchen	41

## Inhaltsverzeichnis

3.5 Versuchsaufbau und -durchfuhrung zur Erstellung der Öl-Anstrichbilder . . . . .	42
<b>4 Numerisches Setup . . . . .</b>	<b>44</b>
4.1 PowerFLOW, Release 6-2019 R2 . . . . .	44
4.1.1 Softwaremodule . . . . .	44
4.1.2 Simulationsablauf . . . . .	44
4.1.3 Gittererstellung . . . . .	46
4.1.4 Physikalische Modellierung . . . . .	47
4.2 Simulationsmodell . . . . .	47
<b>5 Basisanalyse . . . . .</b>	<b>52</b>
5.1 Einfluss des numerischen Gitters . . . . .	52
5.1.1 Untersuchte Gittervarianten . . . . .	52
5.1.2 Ergebnisse . . . . .	55
5.1.3 Zwischenfazit . . . . .	61
5.2 Untersuchung der Simulationsmachzahl . . . . .	61
5.2.1 Untersuchte Machzahlen . . . . .	61
5.2.2 Ergebnisse . . . . .	62
5.2.3 Zwischenfazit . . . . .	64
5.3 Variation der Betriebspunkte . . . . .	64
5.3.1 Ergebnisse . . . . .	64
5.3.2 Zwischenfazit . . . . .	69
<b>6 Tonale Analyse . . . . .</b>	<b>70</b>
6.1 Erweiterte Gitterstudie mit Spiralgehäuse . . . . .	70
6.1.1 Untersuchte Gittervarianten . . . . .	70
6.1.2 Ergebnisse . . . . .	73
6.2 Variation der Zungengeometric und Betriebspunkte . . . . .	78
6.2.1 Untersuchte Zungenvarianten . . . . .	78
6.2.2 Ergebnisse . . . . .	79
6.3 Analyse der tonalen Schallkomponenten . . . . .	86
6.4 Visuelle Analyse mit Spiralgehäuse . . . . .	90
6.5 Zwischenfazit . . . . .	99
<b>7 Breitbandige Analyse . . . . .</b>	<b>100</b>
7.1 Untersuchte Einbauvarianten im Zustömbereich . . . . .	100
7.2 Erweiterte Gitterstudie mit Installationseffekt . . . . .	101
7.2.1 Untersuchte Gittervarianten . . . . .	101
7.2.2 Ergebnisse . . . . .	102
7.3 Variation der Betriebspunkte mit Installationseffekt . . . . .	112
7.3.1 Ergebnisse . . . . .	112
7.4 Visuelle Analyse mit Installationseffekt . . . . .	119
7.5 Zwischenfazit . . . . .	122
<b>8 Analyse der Simulationsergebnisse . . . . .</b>	<b>123</b>
8.1 Stromungstopologie . . . . .	123
8.1.1 Einfluss des Volumenstroms . . . . .	123
8.1.2 Detaillierte Betrachtung der Strömung im Optimalpunkt . . . . .	127

8.2 Schallquellen und -entstehungsmechanismen . . . . .	134
8.2.1 Übersicht der zu analysierenden Frequenzbereiche . . . . .	135
8.2.2 Schallquellenlokalisierung . . . . .	136
8.2.3 Schallentstehungsmechanismen . . . . .	147
<b>9 Zusammenfassung</b>	<b>151</b>
<b>10 Ausblick</b>	<b>154</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>156</b>
<b>A Volumenstrom-Messeinrichtung: FLT-Düse</b>	<b>168</b>
<b>B Hochfahrtest</b>	<b>170</b>
<b>C Resonanzversuche</b>	<b>171</b>
<b>D Fehleranalyse</b>	<b>173</b>
<b>E Untersuchung des Netzeinflusses bei Off-Design-Bedingungen</b>	<b>178</b>
<b>F Visuelle Analyse der Simulation mittels Anstrichbilder</b>	<b>180</b>
<b>Betreute Arbeiten</b>	<b>189</b>
<b>Lebenslauf</b>	<b>190</b>