

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Abbildungsverzeichnis.....	XI
Tabellenverzeichnis	XIX
Abkürzungsverzeichnis	XXI
Symbolverzeichnis	XXIII
Zusammenfassung.....	XXV
Abstract	XXXI
1 Einleitung	1
2 Kfz-Kühlerlüfter – Stand der Technik.....	3
2.1 Einbausituation, Aufbau und Design	3
2.2 Untersuchungsmethoden.....	4
2.3 Optimierungsansätze.....	7
2.4 Einfluss der Laufradzuströmung.....	9
3 Grundlagen	13
3.1 Aerodynamische Schallentstehung und Beurteilung	13
3.1.1 Grundlegende Schallentstehungsmechanismen.....	13
3.1.2 Schallentstehung bei Ventilatoren	14
3.2 Wirbelidentifikation und Wirbelstärke	18
3.3 Empfindungsgröße Tonalität	21
3.4 Kohärenzfunktion	23

4	Experimentelle und numerische Vorgehensweisen	25
4.1	Versuchs- und Simulationsplanung	25
4.2	Prüfstands Aufbau.....	29
4.3	Versuchsdurchführung.....	32
4.3.1	Strömungsmessungen	32
4.3.2	Akustikmessungen.....	33
4.4	Numerische Strömungssimulation	37
4.4.1	Digitales Modell des Versuchsaufbaus.....	37
4.4.2	Randbedingungen und weitere Einstellungen	42
4.4.3	„Messungen“ in der Simulation.....	44
5	Validierung Prüfstand und Simulationsmodell	45
5.1	Fahrzeugmessungen.....	45
5.1.1	Ergebnisse der Strömungsmessungen	45
5.1.2	Ergebnisse der Akustikmessungen	47
5.2	Validierung des Prüfstands	50
5.2.1	Überprüfung der Strömung.....	50
5.2.2	Überprüfung der akustischen Komponenten	52
5.3	Validierung des Simulationsmodells	59
5.3.1	Konvergenz und Gitterstudie.....	59
5.3.2	Überprüfung der Strömung.....	62
5.3.3	Überprüfung der akustischen Komponenten	64
6	Untersuchung der tonalen Schallentstehung	67
6.1	Voruntersuchungen am Prüfstand.....	67
6.1.1	Aeroakustischer Anteil am Gesamtlüftergeräusch	67
6.1.2	Lokalisierung der Schallquellen am Lüfter	70

6.2	Prüfstands-Messergebnisse für die einzelnen Bauteile.....	72
6.2.1	Spaltabdichtung zwischen Kühler und Lüfter	72
6.2.2	Motorhaltestreben.....	75
6.2.3	Sonstige anströmseitige Zargenelemente	77
6.2.4	Kühlergrill und Querträger	79
6.2.5	Kühlerpaket	80
6.2.6	Zusammenfassung und Diskussion der Messergebnisse.....	82
6.3	Simulationsergebnisse für die Laufradzuströmung	84
6.3.1	Mittlere Zuströmgeschwindigkeit.....	84
6.3.2	Wirbelstrukturen in der Zuströmung	85
6.3.3	Zusammenfassung und Diskussion der Simulationsergebnisse	86
6.4	Ergebnisse von Demonstratoren	88
6.4.1	Versuchsrandbedingung	88
6.4.2	Lüfter mit optimierter Zarge.....	89
6.4.3	Kühlmodul mit größerem Kühler-Lüfter-Abstand	95
6.4.4	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse..	100
7	Schlussfolgerungen und Ausblick	103
	Literaturverzeichnis	105
	Anhang	115
A1.	Nachhallzeit in Fahrzeug und Prüfstand.....	115
A2.	Überprüfung Einfluss von Reflexionen an der Motorfront...	116
A3.	Weitere Ergebnisse der Demonstratoren am Fahrzeug.....	117