

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung	1
1.2 Stand der Technik	2
1.3 Einordnung und Aufbau der Arbeit	10
2 Grundlagen	13
2.1 Strömungsakustische Grundlagen	13
2.2 Akustische Grundlagen	16
2.2.1 Schallausbreitung im Freifeld	16
2.2.2 Schallausbreitung im Raum	17
2.2.3 Nachhallzeit	24
2.3 Signalverarbeitung in der Akustik	26
2.3.1 Fourier Transformation	26
2.3.2 Logarithmierte Darstellung	30
2.3.3 Frequenzbewertung	31
2.3.4 Schallquellenlokalisierung mittels Beamforming	32
2.3.5 Psychoakustische Parameter	35
2.4 Grundlagen Hörversuche	40
2.4.1 Hörversuchdesign	40
2.4.2 Versuchsmethodik	41
2.5 Versuchsplanung und Auswertung	43
3 Fahrzeugklimatisierung und Schallquellen	47
4 Geräuschqualität von Klimatisierungssystemen	53
4.1 Probandenstudie	54
4.2 Konsistenz und Konkordanz	56
4.3 Präferenzreihenfolge	59
4.4 Korrelationsanalyse	60
4.5 Quantifizierung Modulationen	65
5 Versuchsaufbau und Messtechnik	75
5.1 Versuchsanlagen	75
5.1.1 Reflexionsarmer Halbraum	75

5.1.2	Funktionsgeräuscheprüfstand	75
5.1.3	Fahrzeugmodell	76
5.2	Versuchsaufbau	79
5.3	Messaufbau	82
5.3.1	Umgebungsparameter und Betriebspunkt	82
5.3.2	Mikrofonmessungen	83
5.3.3	Nachhallzeitmessungen	85
5.3.4	Mikrofonarraymessungen	86
5.3.5	Messdatenerfassung	87
6	Raumakustik der Messumgebungen	89
6.1	Nachhallzeiten	89
6.2	Modalanalyse	91
6.2.1	SAE Körper	91
6.2.2	Serienfahrzeug 1	99
6.2.3	Serienfahrzeug 2	102
7	Klimageräteakustik bei verschiedenen Betriebs- und Umgebungsrandbedingungen	105
7.1	Betriebspunkte	105
7.2	Referenztestfall - Serienfahrzeug 1	106
7.3	Akustikraum	114
7.3.1	Auswertung akustischer Parameter	114
7.3.2	Schallquellenlokalisierung	117
7.4	Fahrzeugmodell	123
7.5	Vergleich der Schallfelder in verschiedenen Messumgebungen	126
7.6	Nachbildung von Serienbedingungen im Fahrzeugmodell	130
8	Schallanalyse in Abhängigkeit der Fahrzeuginnenraumparameter	137
8.1	Raumlänge / Raumvolumen	137
8.2	Scheibenneigungswinkel	142
8.3	Heckform	145
8.4	Sitze	147
8.5	Zwischenfazit	153
9	Validierung der Ergebnisse	155
9.1	Vergleich der Schallfelder in verschiedenen Umgebungen	155
9.2	Identifikation der Einflussparameter mit Hilfe eines Versuchsplans	160
10	Designentwurf eines Prüfstandes für die akustische Bewertung von Fahrzeugklimatisierungssystemen	175
11	Zusammenfassung	179

Literaturverzeichnis	184
Anhang	196
A Klimageräteakustik bei verschiedenen Betriebs- und Umgebungsrandbedingungen	198
A.1 Akustikraum	198
A.2 Fahrzeugmodell	201
B Schallanalyse in Abhängigkeit von Fahrzeuginnenraumparametern	204
B.1 Scheibenneigungswinkel	204
B.2 Heckform	206
C Validierung der Ergebnisse	210
C.1 Versuchsaufbauten	210
C.2 Lautheit	211