

**Inhaltsverzeichnis**

Inhaltsverzeichnis	vii
Nomenklatur	xi
1 Einleitung	1
2 Technische Charakteristika des Fenestrons	3
2.1 Operative Vorteile des Fenestrons	3
2.2 Aerodynamik des Fenestrons	5
2.3 Akustik des Fenestrons	7
2.3.1 Aeroakustische Quellterme	7
2.3.2 Lärmquellen am Fenestron	12
2.4 Stand der Forschung in der Reduzierung von Fenestronlärm	16
3 Passive, indirekte Maßnahmen der Lärmreduzierung	26
3.1 Verschiedene indirekte Lärmreduzierungsmaßnahmen im Überblick	26
3.2 Zweidimensionale Theorie zur Beschreibung des Absorptionsverhaltens von Helmholtz-Resonatoren	29
3.2.1 Herleitung des Absorptionsgrades	30
3.2.2 Herleitung der komplexen Wandimpedanz	34
3.2.3 Herleitung der komplexen Wandimpedanz eines Helmholtz-Resonators	36
3.2.4 Herleitung der Reibungsimpedanz eines Helmholtz-Resonators	37
3.2.5 Herleitung der Massenimpedanz eines Helmholtz-Resonators	39
3.2.6 Herleitung der Bohrungsaustrittsimpedanz eines Helmholtz-Resonators	40

3.2.7 Absorptionsverhalten eines Helmholtz-Resonators nach der zweidimensionalen Theorie	41
3.2.8 Schräger Schalleinfall	46
3.3 Dreidimensionale Theorie zur Beschreibung des Absorptionsverhalten von Helmholtz-Resonatoren	48
3.3.1 Herleitung der Eintrittsimpedanz eines Helmholtz Resonators	51
3.3.2 Herleitung der Reibungsimpedanz eines Helmholtz Resonators	53
3.3.3 Herleitung der Massenimpedanz eines Helmholtz Resonators	53
3.3.4 Herleitung der Bohrungsaustrittsimpedanz eines Helmholtz Resonators	53
3.3.5 Absorptionsverhalten eines Helmholtz-Resonators nach der dreidimensionalen Theorie	56
3.4 Empirische Modelle zur Beschreibung des Absorptionsverhalten von Helmholtz-Resonatoren	57
3.4.1 Empirisches Modell zur Beschreibung des Absorptionsverhalten von Helmholtz-Resonatoren nach Ingard mit Erweiterungen von Brown	61
3.4.2 Empirisches Modell zur Beschreibung des Absorptionsverhaltens von Helmholtz-Resonatoren bei hohem Schalldruckpegel nach Hersh und Walker	63
3.4.3 Empirisches Modell zur Beschreibung des Absorptionsverhaltens von Helmholtz-Resonatoren bei hohem Schalldruckpegel und einer anliegenden Strömung nach Hersh und Walker	70
4 Versuchsaufbauten und Meßtechnik	76
4.1 Impedanzrohr	76
4.1.1 Bestimmung der Absorptionseigenschaften eines Helmholtz-Resonators im Impedanzrohr durch Messung der Schalldruckverteilung	77
4.1.2 Bestimmung der Absorptionseigenschaften eines Helmholtz-Resonators im Impedanzrohr durch die Zwei-Mikrofon-Methode	79
4.2 Helmholtz-Resonator Prüfstand	81
4.2.1 Bestimmung der Absorptionseigenschaften eines Helmholtz-Resonators im Helmholtz-Resonator Prüfstand	82

<b>4.3 Fenestronprüfstand</b>	<b>83</b>
<b>4.3.1 Strömungstechnische Messungen</b>	<b>88</b>
<b>4.3.2 Bestimmung der Absorptionseigenschaften eines Helmholtz-Resonators im Fenestronprüfstand durch die Zwei-Mikrofon-Methode</b>	<b>89</b>
<b>4.3.3 Schalleistungsmessungen</b>	<b>91</b>
<b>5 Erarbeitung einer geeigneten Helmholtz-Resonatorgeometrie</b>	<b>93</b>
<b>5.1 Lage der Helmholtz-Resonatoren auf dem Fenestronmantel</b>	<b>95</b>
<b>5.2 Bestimmung des Fenestronschubes</b>	<b>96</b>
<b>5.3 Messung der Schalldruckverteilung auf dem Fenestronmantel</b>	<b>101</b>
<b>5.4 Berechnung der Eintrittsimpedanz</b>	<b>109</b>
<b>5.5 Bestimmung der Reibungsimpedanz, Massenimpedanz und Bohrungsaustrittsimpedanz ohne den Einfluß einer anliegenden Strömung</b>	<b>115</b>
<b>5.5.1 Beschreibung des Programmsystems Absorp</b>	<b>116</b>
<b>5.5.2 Ergebnisse der numerischen Simulation</b>	<b>117</b>
<b>5.5.3 Validierung der numerischen Simulation</b>	<b>119</b>
<b>5.5.4 Mehrlochresonatoren</b>	<b>122</b>
<b>5.6 Bestimmung der Reibungsimpedanz, Massenimpedanz und Bohrungsaustrittsimpedanz mit dem Einfluß einer anliegenden Strömung</b>	<b>126</b>
<b>5.7 Berechnung der Verlustleistung</b>	<b>133</b>
<b>6 Integration der Helmholtz-Resonatoren in das Fenestronmodell</b>	<b>138</b>
<b>6.1 Integration der Einzelresonatoren</b>	<b>138</b>
<b>6.2 Integration der Mehrlochresonatoren</b>	<b>143</b>
<b>7 Messungen am Fenestronprüfstand</b>	<b>145</b>

---

7.1 Übertragung der Meßergebnisse auf den Originalfenestron	153
8 Aufgaben für die Zukunft	154
9 Zusammenfassung	158
10 Literaturverzeichnis	162
Anhang A: Daten unterschiedlicher Fenestrons	166
Anhang B: Technische Zeichnungen zum Fenestronprüfstand	168
Anhang C: Fotos des Fenestronprüfstandes	173
Anhang D: Meßergebnisse	177