

Echtzeit-Testumgebung zur Prognose der aktiven Schallreduktion in Flugzeugkabinen

Von der Fakultät für Maschinenbau
der
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

Norbert Hövelmann
aus Rendsburg

Hamburg 2014

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VIII
Formelzeichen und Symbole	X
Abkürzungen	XIV
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung.....	2
1.2 Ziel und Inhalt der Arbeit.....	4
2 Stand der Technik	7
2.1 Lärmphänomene in Propellerflugzeugen.....	7
2.1.1 Propellerlärm.....	8
2.1.2 Luftschalltransmission durch die Seitenwand.....	9
2.1.3 Weitere Lärmphänomene.....	10
2.2 Maßnahmen zur Lärmreduktion in Flugzeugkabinen.....	11
2.3 Akustische Kabinentestumgebungen.....	14
2.3.1 Prüfstand FARF.....	16
2.3.2 Prüfstand ATC.....	18
2.3.3 Prüfstand THF.....	19
2.3.4 Prüfstand LMA.....	21
2.3.5 Weitere Prüfstände.....	22
2.3.6 Diskussion der Prüfstände in Bezug auf die relevanten Aufgabenstellungen.....	22
3 Grundlagen	26
3.1 Grundgleichungen der Technischen Akustik.....	26
3.1.1 Fluidschall.....	26
3.1.2 Körperschall.....	27
3.1.3 Fluid-Struktur-Kopplung.....	28
3.2 Übertragungsverhalten bei harmonischer Anregung.....	29
3.3 Entwurfsprozess für mechatronische Systeme.....	31
4 Überblick über den Entwurfsprozess der Testumgebung	33
4.1 Funktionen der Testumgebung.....	33
4.2 V-Modell für die Prognose der aktiven Lärminderung ab einem frühen Entwicklungszeitpunkt.....	34

5	Entwurfsprozess I: Basis-Umgebung	38
5.1	Aufgabenstellung für den Entwurfsprozess I	38
5.2	Anforderungen an die Basis-Umgebung	40
5.3	Systementwurf der Basis-Umgebung.....	40
5.4	Domänenspezifischer Entwurf der Basis-Umgebung	40
5.4.1	Domäne Akustik	40
5.4.2	Domäne Holzbau	44
5.4.3	Domäne Maschinenbau	46
5.4.4	Domäne Elektrotechnik	46
5.4.5	Domäne Regelungstechnik	47
5.4.6	Domäne Messtechnik	47
5.5	Systemintegration des Kabinenkörpers und des Messsystems	48
5.5.1	Montage des Holzkörpers im Labor	48
5.5.2	Integration des Messsystems in den Holzkörper	49
5.6	Eigenschaftsabsicherung der Basis-Umgebung	50
5.7	Zusammenfassung und Folgerungen.....	57
6	Entwurfsprozess II: Elementare Nachbildung eines zu erwartenden Primärschallfeldes.....	59
6.1	Aufgabenstellung für den Entwurfsprozess II.....	59
6.2	Anforderungen an das Primärfeld	61
6.3	Systementwurf für die Primärfeldeinstellung	61
6.4	Domänenspezifischer Entwurf des Primärfeldes	62
6.4.1	Domäne Elektro-Akustik.....	62
6.4.2	Domäne Akustik	62
6.5	Systemintegration zur Nachbildung des Primärfeldes	64
6.6	Eigenschaftsabsicherung bzgl. des gewünschten Primärfeldes.....	66
6.7	Zusammenfassung und Folgerungen.....	69
7	Entwurfsprozess III: Anpassung eines ANC-Systems	72
7.1	Aufgabenstellung für den Entwurfsprozess III	72
7.2	Anforderungen an das ANC-System.....	72
7.3	Systementwurf des ANC-Systems	72
7.3.1	Sekundärfeldanalyse	73
7.3.2	Abgrenzung der Teilsysteme.....	74
7.4	Domänenspezifischer Entwurf.....	75
7.4.1	Domäne Elektro-Akustik	75
7.4.2	Domäne Digitale Signalverarbeitung	77

7.4.3	Domäne Regelungstechnik	78
7.4.4	Domäne Messtechnik	79
7.5	Systemintegration des ANC-Systems	80
7.6	Eigenschaftsabsicherung des ANC-Systems	81
7.7	Zusammenfassung und Folgerungen	84
8	Zusammenfassung und Ausblick	86
Anhang	89
A:	Eigenschaften verschiedener Kabinenakustik-Prüfstände	89
B:	FEM-Formulierung zur Fluid-Akustik	93
C:	Ausgewählte Flugzeugdaten	94
D:	Eigenmoden und -frequenzen der FEM-Modelle	95
E:	Berechnungen zur Schalldruckverteilung bei Anregung durch innere Schallquelle	97
F:	Ergänzungen zur Wirkung einer Kautschukmatte	100
G:	Wirkung der Keil-Absorber-Wände in der Laborhalle	101
H:	Zum proportionalen Verhalten des vibroakustischen Systems	103
I:	Alternative Positionen von Fehlermikrofonen	105
K:	Positionen der ANC-Komponenten	107
L:	Beispielrechnung zur Kopplung der Moden eines Luftvolumens und einer Struktur	108
M:	Berechnungen der Lautsprecheransteuerungen	109
Literatur	110