



# Inhaltsverzeichnis

<b>Kapitel 1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Allgemeine Einführung in das Forschungsthema .....	1
1.2	Aufgabenstellung .....	2
1.3	Struktur der Arbeit .....	3
<b>Kapitel 2</b>	<b>Behaglichkeit und Komfortaspekte im Flugzeug</b> .....	<b>4</b>
2.1	Entwicklung der Komfortanforderungen in Flugzeugkabinen .....	4
2.2	Aktuelle Tendenzen in der Komfortverbesserung .....	5
2.3	Definition von Behaglichkeit und ihrer Einflussfaktoren .....	7
2.4	Thermische Behaglichkeit .....	8
2.4.1	Das thermische Behaglichkeitsempfinden des Menschen .....	9
2.4.2	Thermoregulierung .....	9
2.5	Die Einflussgrößen für thermische Behaglichkeit .....	11
2.5.1	Körperliche Betätigung .....	12
2.5.2	Bekleidung .....	12
2.5.3	Temperatur der Luft und der Umschließungsflächen / Strahlungsasymmetrie .....	12
2.5.4	Luftfeuchte .....	15
2.5.5	Raumluftbewegung .....	15
2.5.6	Einordnung des Flugfalls .....	16
2.5.7	Zusammenfassung der anzustrebenden Komfortparameter .....	19
2.6	Kriterien für thermische Behaglichkeit .....	20
2.6.1	Die drei Qualitätskategorien der thermischen Behaglichkeit .....	20
2.6.2	PMV-Index (predicted mean vote) .....	22



2.6.3	PPD-Index (predicted percentage of dissatisfied).....	23
2.6.4	Messgeräte.....	23
2.6.5	Nutzung der Daten zur Raumklimaoptimierung.....	24
<b>Kapitel 3</b>	<b>Aufbau eines Flugzeugquerschnitts.....</b>	<b>25</b>
3.1	Grundsätzlicher Aufbau.....	25
3.2	Hülle.....	27
3.3	Isolierung des Flugzeugumpfes.....	27
3.3.1	Primärisolierung.....	28
3.3.2	Sekundärisolierung.....	29
3.4	Bereiche des Flugzeugumpfes.....	29
3.4.1	Crown.....	29
3.4.2	Kabine.....	30
3.4.3	Dreiecksbereich.....	31
3.4.4	Cargo-Compartment.....	32
3.4.5	Bilge.....	33
<b>Kapitel 4</b>	<b>Aufbau einer konventionellen Flugzeugklimaanlage.....</b>	<b>34</b>
4.1	Aufgaben des Belüftungssystems.....	34
4.2	Klimazonen.....	35
4.3	Luftversorgung der Kabine.....	36
4.3.1	Strömungsverhältnisse in der Kabine.....	39
4.3.2	Luftströmung im Dreiecksbereich und in der Bilge.....	40
4.4	Gegenüberstellung idealer und realer Durchströmung der Flugzeugkabine.....	40
<b>Kapitel 5</b>	<b>Grundlagen der Simulation.....</b>	<b>43</b>
5.1	Einteilung der verschiedenen Modellierungsansätze.....	43
5.2	Modelica.....	45
5.3	Verwendete Modelica Bibliotheken.....	45
5.3.1	Konnektoren.....	45
5.3.2	Wärmeübertragungsglieder.....	46
5.3.3	Wärmekapazität.....	46
5.3.4	Wärmequellen.....	47



5.3.5	Medium .....	48
5.3.6	Volumen (PortVolume).....	48
5.3.7	Strömungswiderstandsmodell.....	48
5.3.8	Quellen und Senken .....	49
5.3.9	Rohrmodell .....	50
<b>Kapitel 6</b>	<b>Untersuchungen am Modellteststand.....</b>	<b>53</b>
6.1	Auslegung und Dimensionierung des Teststandes.....	54
6.2	Aufbau und Funktion des Teststandes .....	56
6.2.1	Regelung und Messwertaufnahme .....	60
6.3	Überprüfung der Kabinenströmung des Teststandes .....	62
6.4	Messungen am Teststand .....	65
6.4.1	Versuche zur Bestimmung des Temperaturverhaltens des Teststand-Ductings.....	65
6.4.2	Versuche zur Bestimmung des Temperaturverhaltens der Kabinenzonen .....	68
6.5	Modellierung und Simulation des Teststandes mit Modelica .....	70
6.5.1	Rohrsimulation mit Parameterstudie und Sensitivitätsanalyse.....	70
6.5.2	Kabinensimulation mit und ohne Wärmekapazitäten .....	77
<b>Kapitel 7</b>	<b>Modellierung einer klimatisierten Flugzeugkabine mit Modelica.....</b>	<b>80</b>
7.1	Annahmen und Zielsetzung.....	80
7.2	Modelle.....	82
7.2.1	Wärmedurchgangsmodell einer Wand (HeatFlowThroughWall).....	82
7.2.2	Flugzeughülle (Skin2ambient).....	84
7.2.3	Volumenstromquelle (PredescribedVolumeFlowRateT,X).....	85
7.2.4	Rezirkulation (RecirculationPump).....	85
7.2.5	Sitz (Chair).....	86
7.2.6	Kabinenwand-Modell (CabinWallWithRiserduct/WithoutRiserduct).....	87
7.2.7	Kabinendaten (CabinDataTableDoubleAisle).....	89
7.2.8	Erweiterbare Connectoren (ExpendableConnector).....	91
7.2.9	Kabinensegment (A340_500_section).....	91
7.2.10	Klimazone (AirconditioningZone).....	95
7.2.11	Flugzeugmodell .....	95



7.3	Simulationsergebnisse .....	95
7.3.1	Systemantwort auf Temperatursprünge.....	95
7.3.2	Das Kabinenmodell als Regelstrecke .....	98
7.3.3	Simulation von Flugtestdaten (Blindstudie).....	99
7.3.4	Best-Aim Methode .....	102
<b>Kapitel 8</b>	<b>Untersuchung einer alternativen Klimatisierungsform .....</b>	<b>103</b>
8.1	Simulationsmodell .....	104
8.2	Simulationsergebnisse .....	106
8.3	Auswirkungen des Einsatzes von Kühlflächen auf den Passagierkomfort.....	109
8.3.1	Operative Raumtemperatur $\vartheta_{OP}$ .....	110
8.3.2	Strahlungstemperaturasymmetrie $\Delta\vartheta_S$ .....	113
8.3.3	PPD-Index .....	114
8.4	Zusammenfassung zur Anwendung von Kühldecken.....	117
<b>Kapitel 9</b>	<b>1D/3D-Kopplung .....</b>	<b>119</b>
9.1	Gegenüberstellung von Feld- und Systemsimulation .....	119
9.2	Kopplung von System- und Feldsimulation .....	120
9.2.1	Allgemeine Gedanken zur 1D/3D-Kopplung .....	120
9.2.2	Anwendungsbeispiel einer 1D/3D-Kopplung.....	122
<b>Kapitel 10</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick.....</b>	<b>124</b>
10.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	124
10.2	Betrachtung der Untersuchungsgrenzen .....	125
10.3	Ausblick .....	128
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>130</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>136</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>138</b>