Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	vii
I Formelzeichen	vii
II Indizes	x
III Abkürzungen	xiii
IV Dimensionslose Kennzahlen	xiv
1 Einleitung	1
2 Stand des Wissens und der Technik	3
2.1 Kondensation und Wasseransammlung im Flugzeug	3
2.2 Möglichkeiten der Reduktion der Kondensation und Wasseransammlung	8
2.3 Auswahl der Methoden	9
2.4 Bisherige Arbeiten zur Untersuchung des Feuchtetransports	11
3 Strömungsverhältnisse im Flugzeug	15
3.1 Wandaufbau in Kabine und Frachtraum	15
3.1.1 Primärisolierung	16
3.1.2 Sekundärisolierung	17
3.2 Hauptaufgaben des Lüftungssystems	19
3.2.1 Kabine	19
3.2.2 Cargo-Compartment	20
3.3 Strömungsverlauf	20

3.3.1	Versorgungsluft	20
3.3.1.1	Temperatur- und Druckregelung in der Kabine	24
3.3.1.2	Air-Conditioning-Packs	24
3.3.2	Kabine	25
3.3.2.1	Hauptströmungen	25
3.3.2.2	Nebenströmung	27
3.3.3	Dreiecksbereich	29
3.3.4	Cargo-Compartment	30
3.3.5	Bilge	31
4	Physikalische und numerische Grundlagen	33
4.1	Zustandsgrößen feuchter Luft	33
4.2	Wärmeübertragung	37
4.2.1	Wärmeleitung	37
4.2.2	Konvektiver Wärmeübergang	38
4.2.3	Wärmestrahlung	40
4.2.4	Wärmedurchgang	40
4.3	Stofftransport durch Diffusion	41
4.4	Strömungswiderstand und Ausflussfunktion	43
4.5	Messtechnik	45
4.6	Erhaltungsgleichungen	46
4.6.1	Massenerhaltung	46
4.6.2	Impulserhaltung	46
4.6.3	Skalare Erhaltungsgleichungen	47
4.7	Grundlagen der numerischen Strömungsmechanik	48
4.7.1	Finite-Volumen-Methode	49
4.7.1.1	Approximation der Flächenintegrale	50
4.7.1.2	Approximation der Volumenintegrale	50

4.7.1.3	Interpolation der Variablenwerte an der KV-Oberfläche	51
4.7.1.4	Implementierung der Randbedingungen	52
4.7.2	Linearisierung der Quellterme	52
4.7.3	Lösung linearer Gleichungssysteme	54
4.7.4	Lösungsalgorithmen	55
5	Systemsimulationen der Strömungen im Rumpfquerschnitt	57
5.1	Einführung in die objektorientierte Modellierung	58
5.1.1	Modellierungssprache MODELICA	60
5.1.2	Simulationsumgebung DYMOLA	63
5.1.3	MODELICA-Modellbibliothek THERMOFLUID	65
5.2	Modellerstellung mit DYMOLA/MODELICA	66
5.2.1	Komponentenbibliothek <i>FlueGas</i>	67
5.2.2	Voluminamodelle	71
5.2.2.1	Adiabates Kontrollvolumen	71
5.2.2.2	Kontrollvolumen mit Wärmeübertragung	72
5.2.2.3	Diskretisiertes Rohrmodell	73
5.2.3	Widerstandsmodelle	75
5.2.3.1	μ -Widerstandsmodell	76
5.2.3.2	Regressions-Widerstandsmodell	76
5.2.3.3	Lineares Widerstandsmodell	76
5.2.4	Quellen und Senken	78
5.2.4.1	Temperaturmodell	78
5.2.4.2	Massenquelle und -senke	78
5.3	Identifikation und Ermittlung der Simulationsparameter	79
5.3.1	Bisherige Arbeiten zur Parameterermittlung	80
5.3.2	Sensitivitätsanalyse	81
5.3.3	Experimentelle Ermittlung der strömungsmechanischen Parameter	83

5.3.3.1	Versuchsaufbau	84
5.3.3.2	Versuchsdurchführung	88
5.3.3.3	Messdatenauswertung	89
5.3.3.4	Messergebnisse	92
5.3.3.5	Vergleich der Messergebnisse mit Literaturwerten	95
5.4	Simulationsergebnisse	96
5.4.1	Simulationen ohne sorptive Trocknung	97
5.4.2	Simulationen mit sorptiver Trocknung	101
5.5	Verifikation und Validation	102
5.5.1	Verifikation des DYMOLA/MODELICA-Modells	102
5.5.2	Validation des DYMOLA/MODELICA-Modells	107
5.5.2.1	Versuchsaufbau	109
5.5.2.2	Versuchsdurchführung	112
5.5.2.3	Versuchsergebnisse	114
6	Simulationen des Feuchtetransportes in der Isolierung	119
6.1	1D-Simulationen mit MATLAB	120
6.1.1	Aufbau des Programms	120
6.1.2	Definition des Isolierungsaufbaus	121
6.1.3	Randbedingungen	124
6.1.4	Simulationsergebnisse	127
6.2	2D-Simulationen mit STAR-CD	132
6.2.1	Gittergenerierung	132
6.2.2	Randbedingungen	135
6.2.3	Benutzerdefinierte Subroutinen	137
6.2.3.1	Materialspezifische Diffusion	137
6.2.3.2	Phasenwechsel	137
6.2.4	Simulationsergebnisse	141

6.2.4.1	Numerische Einstellungen	142
6.2.4.2	Temperaturverlauf	142
6.2.4.3	Relative Feuchte	145
6.2.4.4	Wasserdampfkonzentration	145
6.2.4.5	Kondensatmengen	147
6.3	Verifikation der Simulationen	152
6.4	Validationsmessungen	154
6.4.1	Modellversuchsstand	154
6.4.1.1	Versuchsaufbau	154
6.4.1.2	Messgeräte und Anlagenkomponenten	157
6.4.1.3	Versuchsdurchführung	159
6.4.1.4	Messergebnisse	162
6.4.1.5	Diskussion der Ergebnisse	169
6.4.2	A310-Seitenteil	169
6.4.2.1	Versuchsaufbau und -durchführung	169
6.4.2.2	Messergebnisse	172
6.4.2.3	Diskussion der Ergebnisse	173
6.4.3	ARCTIC-Cell	174
6.4.3.1	Versuchsaufbau und -durchführung	174
6.4.3.2	Messergebnisse	176
6.5	Vergleich 2D-Simulation-Messung	178
7	Zusammenfassung	183
7.1	Ausblick	186
	Literatur	189
A	Systemsimulationen der Kabinenströmung	195
B	Simulationen zum Feuchtetransport in Isolierungen	211

Abbildungsverzeichnis **219**

Tabellenverzeichnis **228**