

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	1
1.1	Motivation	8
1.2	Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	10
1.3	Stand der Forschung.....	13
1.3.1	Pilotenmodelle für das Steuerverhalten	13
1.3.2	Modelle für die Gefährdungsbewertung.....	20
1.4	Zielsetzung und Abgrenzung.....	23
2	Wirbelschleppensimulation.....	24
2.1	Basissoftware der Flugsimulation	25
2.2	Physik des Wirbels.....	29
2.3	Wirbelschleppenmodellierung für die Flugsimulation	30
2.4	Wirbelinduzierte Geschwindigkeiten am Flugzeug.....	34
2.5	Implementierung der Wirbelschleppen in die Flug-simulation.....	37
3	Simulatorversuch	39
3.1	Aufbau des Simulatorcockpits	40
3.2	Testszenarien.....	42
3.3	Datenstatistik.....	44
3.4	Fragebögen	45
3.5	Auswertung der Fragebögen	46
4	Grundlagen zu neuronalen Netzen.....	51
4.1	Aufbau des Kapitels	51
4.2	Das Neuron – biologisches Vorbild, mathematische Formulierung	54
4.3	Das neuronale Netz.....	56
4.4	Netzparameter	62
4.4.1	Eingangssignale	62
4.4.2	Aktivierungsfunktionen.....	63
4.5	Lernverfahren - Optimierungsverfahren	63
4.5.1	Überwachtes Lernen.....	64
4.5.2	Lernen mit Referenzmodell.....	78
4.6	Lernparameter	88
4.6.1	Initialisierungsgewichte	88

4.6.2	Lernrate	88
4.6.3	Trägheitsterm	89
4.6.4	Abbruchkriterien.....	89
4.7	Zusammenfassung.....	90
5	Erweitertes, quasilineares Pilotenmodell.....	93
5.1	Quasilineares Pilotenmodell (Basismodell)	95
5.2	Erweiterungsansatz.....	97
5.2.1	Aufbau des neuronalen Netzes	97
6	Pilotenmodelle auf Basis neuronaler Netze	101
6.1	Netzeingänge.....	101
6.2	Totzeiten.....	102
6.3	Netzwerkarchitektur.....	103
6.4	Statisches Pilotenmodell	105
6.5	Adaptives Pilotenmodell.....	106
7	Beschreibung der Testumgebung.....	109
7.1	Implementierung der PM in die Testumgebung.....	110
8	Ergebnisse und Diskussion.....	115
8.1	Bewertungsmethodiken für PM im Zeitbereich	117
8.1.1	Äquivalenztest für den Mittelwertvergleich.....	120
8.1.2	Äquivalenztest für den Varianzvergleich	123
8.2	Vergleich Pilot-Regler	125
8.3	Crossover Pilotenmodell	127
8.3.1	Rollachse	127
8.3.2	Nickachse.....	130
8.3.3	Äquivalenztest	132
8.4	Erweitertes quasilineares Pilotenmodell (ErQL)	137
8.4.1	Rollachse	137
8.4.2	Äquivalenztest	139
8.5	Statisches Pilotenmodell auf Basis neuronaler Netze	143
8.5.1	Rollachse	143
8.5.2	Nickachse.....	144
8.5.3	Äquivalenztest	146
8.6	Adaptives Pilotenmodell auf Basis neuronaler Netze.....	150

8.6.1	Rollachse	150
8.6.2	Nickachse.....	152
8.6.3	Äquivalenztest	153
8.7	Zusammenfassung.....	156
9	Modell zur Gefährdungsbewertung	161
9.1	Multi-Parameter Gefährdungsmodell	162
9.1.1	Gefährdungsdefinition	163
9.1.2	Modellierung der Gefährdungsenveloppe	165
9.1.3	Parametergrenzen	168
9.1.4	Ergebnisse.....	174
9.1.5	Zusammenfassung.....	176
9.2	Clusteranalyse.....	178
9.2.1	Grundlagen der Clusteranalyse.....	178
9.2.2	Eingangsdaten	182
9.2.3	Ergebnisse.....	184
9.2.4	Zusammenfassung.....	192
10	Zusammenfassung und Ausblick	194
A.1	Analytische Lösung der Optimierungsaufgaben	199
A.2	Fehlerfunktion	203
A.3	Programmcode des Backpropagation-Algorithmus.....	204
A.4	Liste der aufgezeichneten Signale.....	207
A.5	Pilotenfragebögen.....	211
A.6	Kinematisches Problem.....	214
A.7	Hinweise zur Testumgebung der Pilotenmodelle	216
A.8	Boxplots.....	217
A.9	Vergleich Crossover PM und Piloten	218
A.10	Erweitertes quasilineares PM	234
A.11	Statisches PM auf Basis neuronaler Netze	242
A.12	Adaptives PM auf Basis neuronaler Netze.....	257
A.13	Enveloppen des Gefährdungsmodells.....	272
A.14	Flugparametergrenzen.....	275
A.15	Clusterzentren	277
	Literaturverzeichnis	278