

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 Wirbelschleppe 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	Gefährnungsdefinition	163
9.1.2	Modellierung der Gefährnungsenveloppe	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 Gefährnungsmodells.....	272
A.14	Flugparametergrenzen.....	275
A.15	Clusterzentren	277
	Literaturverzeichnis	278