

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis	XV
Formelzeichen	XVII
1 Einleitung	1
1.1 Stand der Technik	3
1.2 Gegenstand der Arbeit	5
1.3 Gliederung der Arbeit	6
2 Grundlagen neuronaler Netzwerke	7
2.1 Neuronale Netze im Feld der künstlichen Intelligenz	8
2.2 Technische Umsetzung eines biologischen Vorbilds	10
2.2.1 Das künstliche Neuron	11
2.2.2 Netzwerktopologien	12
2.3 Lernverfahren	18
2.3.1 Backpropagation-Algorithmus	19
2.3.2 Herausforderungen der Nutzung Online-trainierter neuronaler Netzwerke in Regelungsanwendungen	25
3 Strukturvariable Regelung	27
3.1 Gleitzustandsregelung	30
3.1.1 Verhalten im Gleitzustand	32
3.1.2 Erreichbarkeit und Existenz des Gleitzustands	34
3.1.3 Ideales und reales Schalten	36
3.2 Gleitzustandsverfahren höherer Ordnung	38
3.2.1 Twisting-Algorithmus	40
3.2.2 Erreichbarkeits- und Existenzbedingung des Twisting-Algorithmus	43
4 Gleitzustandstrainingsverfahren für neuronale Netzwerke	45
4.1 Regelung des Netzwerkfehlers	46
4.2 Definition der Schaltfunktion	47
4.3 Gleitzustandstraining erster Ordnung	48

4.3.1	Beschreibung des Stellgesetzes	50
4.3.2	Berechnung der Lernrate	51
4.3.3	Untersuchung des Gleitzustandstrainings erster Ordnung	58
4.4	Gleitzustandstraining zweiter Ordnung	74
4.4.1	Berechnung der Lernrate mit erweiterter Kontraktionsbedingung . . .	75
4.4.2	Untersuchung des Einflusses von τ_s auf das Netzwerktraining	79
4.4.3	Untersuchung der gegenseitigen Beeinflussung von τ , τ_s und λ	85
5	Regelungskonzept	91
5.1	Nichtlineare dynamische Inversion	93
5.1.1	Grundlegendes Prinzip der dynamischen Inversion	93
5.1.2	Linearisierende Zustandsrückführung	98
5.1.3	Referenzgrößen und Inversionsfehler	100
5.1.4	Linearregler der Fehlerdynamik	102
5.1.5	Pseudo-Control Hedging	104
5.2	Erweiterung durch neuronale Netzwerke	107
5.2.1	Fehlerdynamik des erweiterten Systems	109
5.2.2	Beschränktheitsbetrachtung des adaptiven Reglers	110
6	Simulationsumgebung und Reglerumsetzung	115
6.1	Umsetzung als Flugregler	116
6.1.1	Simulationsumgebung	116
6.1.2	Reglerumsetzung	120
6.2	Umsetzung als Fahrzeugregler	130
6.2.1	Simulationsumgebung	130
6.2.2	Reglerumsetzung	132
7	Darstellung ausgewählter Ergebnisse	139
7.1	Flugsimulation	139
7.1.1	Nominalfall mit leichten Parameterunsicherheiten	140
7.1.2	Netzwerkverhalten bei sprunghaftem Inversionsfehler	143
7.1.3	Erhebliche Parameterunsicherheiten mit Schwerpunktverschiebung .	147
7.2	Fahrsimulation	151
7.2.1	Langzeituntersuchung mit leichten Parameterunsicherheiten	151
7.2.2	Netzwerkverhalten bei Reifenplatzer	155
7.3	Fahrversuch	156
7.3.1	Fehlerausgleich auf einfachem Rundkurs	157
7.3.2	Fehlerausgleich auf anspruchsvollem Rundkurs	161
8	Zusammenfassung und Ausblick	165
8.1	Zusammenfassung	165
8.2	Ausblick und künftige Fragestellungen	170

Literaturverzeichnis	173
A Abbildungen zu den Gleitzustandsverfahren	185
B Erweiterung der Beschränktheitsuntersuchung	189
C Weitere Ergebnisse	191
C.1 Flugsimulation	191
C.2 Fahrsimulation	192
C.3 Fahrversuch	194