
Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einführung	1
1.1 Motivation	2
1.2 Stand der Technik	4
1.3 Ziele der Arbeit	19
1.4 Vorgehensweise und Aufbau	22
2 Grundlagen	24
2.1 Modellprädiktive Regelung (MPC)	24
2.1.1 Prinzip der MPC	24
2.1.2 Sollwertregelung mittels linearer MPC	26
2.1.3 Erweiterung auf nichtlineare MPC	30
2.2 Experimentelle Modellbildung	31
2.2.1 Lineare Modellidentifikation nach dem ARMAX-Verfahren	33
2.2.2 Modellierung mittels mehrerer linearer Modelle	34
2.2.3 Künstliche neuronale Netze	35
3 Prädiktionsmodell auf Basis mehrschichtiger Perzeptrone (MLP)	44
3.1 Datengrundlage	47
3.2 Geeignete Netzeingänge	49
3.3 Netzstruktur	63
3.3.1 Hyperparameteroptimierung mittels Bayes'scher Optimierung	63
3.3.2 Optimierter Ein-Schritt-Prädiktor	65
3.4 Weitere Ansätze für die Prädiktion	69
3.4.1 Lineares gesamtzeitliches Modell	70
3.4.2 Mehrere lineare Modelle	70
3.4.3 Physikalisches Modell	72
3.5 Vergleich des optimierten MLP-Modells mit weiteren Modellen über einen Prädiktionshorizont	74
4 Positions-MPC mit neuronalem Multimodell-Ansatz	77

4.1	MLP-Modellansätze für die Anwendung in der MPC	77
4.1.1	Wiederholtes Anwenden der Ein-Schritt-Prädiktion	77
4.1.2	Einheitsmodell-Ansatz: Ein Modell für alle Prädiktionsschritte .	79
4.1.3	Multimodell-Ansatz: Ein Modell pro Prädiktionsschritt	82
4.1.4	Vergleich der MLP-Ansätze für die Prädiktion	85
4.2	Nichtlineare Optimierung mit neuronalem Multimodell	87
4.2.1	Zusammensetzung des Kostenfunktional und Aufbau des Opti- mierungsproblems	87
4.2.2	Analytische Berechnung der Gradienten für effiziente nichtlineare Optimierung	91
4.2.3	Umsetzung von Geschwindigkeitsbeschränkungen	93
5	Simulationsergebnisse	95
5.1	Beschreibung des nichtlinearen Streckenmodells	95
5.2	Bewertung der Längspositionsregelung	97
5.3	Simulation der Szenarien	99
5.3.1	Szenario 1: Langsamfahrt	101
5.3.2	Szenario 2: Fahrt mit dynamischen Beschleunigungen	106
5.3.3	Szenario 3: Fahrt mit höheren Geschwindigkeiten und Geschwin- digkeitsbegrenzung	107
5.3.4	Szenario 4: Dynamische Stadtfahrt	110
5.4	Anmerkungen zur Echtzeitfähigkeit	112
5.5	Vergleich mit weiteren Regelansätzen	113
5.6	Zusammenfassung und erweiterte Diskussion der Simulationsergebnisse	121
6	Zusammenfassung und Ausblick	124
A	Anhang	129
A.1	Ergänzende Tabellen	129
A.2	Ergänzende Abbildungen	130
	Abbildungsverzeichnis	133
	Tabellenverzeichnis	135
	Literaturverzeichnis	136