

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b>	<b>I</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>IV</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation und Zielsetzung . . . . .	3
1.2 Literaturüberblick . . . . .	8
1.3 Aufbau und Gliederung . . . . .	9
<b>2 PKW-Getriebe</b>	<b>11</b>
2.1 Übersicht PKW-Getriebe . . . . .	11
2.2 Handschaltgetriebe . . . . .	12
2.2.1 Kupplung . . . . .	14
2.2.2 Temperatureigenschaften der Kupplung . . . . .	16
2.2.3 Synchronisierung . . . . .	18
2.3 Automatisiertes Handschaltgetriebe . . . . .	22
2.4 Doppelkupplungsgetriebe . . . . .	24
2.5 Kurzzusammenfassung Kapitel 2 . . . . .	27
<b>3 Modellbildung Getriebe</b>	<b>29</b>
3.1 Literaturüberblick Getriebemodelle . . . . .	31
3.2 Getriebemodellierung . . . . .	34
3.2.1 Grundlagen der Mechanik . . . . .	34
3.2.2 Modellstruktur ASG . . . . .	39
3.2.3 Kupplungsmodell . . . . .	41
3.3 Getriebeaktuatorik . . . . .	42
3.3.1 Hydraulische Grundlagen . . . . .	42
3.3.2 Kupplungssteller . . . . .	44
3.4 Temperaturmodell der Kupplung . . . . .	45
3.5 Kurzzusammenfassung Kapitel 3 . . . . .	48

<b>4 Entwicklung der Versuchsumgebung</b>	<b>51</b>
4.1 Aufbau und Funktionsweise . . . . .	52
4.1.1 Mechanischer Aufbau . . . . .	53
4.1.2 Elektrischer Aufbau . . . . .	54
4.1.3 Funktionsweise . . . . .	54
4.2 Funktionale Sicherheit . . . . .	56
4.3 Prüfstandsautomatisierung . . . . .	56
4.4 Messtechnik . . . . .	58
4.4.1 Messdatensynchronisierung . . . . .	58
4.4.2 Sensorik und Messdatenverarbeitung . . . . .	59
4.5 Entwicklung eines PrüfstandsmodeLLs . . . . .	62
4.5.1 Experimentelle Parameterbestimmung . . . . .	62
4.5.1.1 Bestimmung der Reibungseigenschaften . . . . .	62
4.5.1.2 Bestimmung der Zeitkonstanten der elektrischen	
Maschinen . . . . .	63
4.5.1.3 Bestimmung der Signallaufzeit . . . . .	64
4.5.2 Modellaufbau des Prüfstandes . . . . .	65
4.5.3 Beispielanwendung: Simulation Kupplungsversuch . . . . .	66
4.6 Kurzzusammenfassung Kapitel 4 . . . . .	67
<b>5 Methodenauswahl</b>	<b>69</b>
5.1 Automatisierte Parameterfindung . . . . .	70
5.2 Auswahl einer Identifikationsmethode . . . . .	71
5.3 Neuronale Netze . . . . .	73
5.3.1 Eingesetzte Neuronale Netze . . . . .	73
5.3.2 Lernalgorithmus . . . . .	78
5.4 Strukturierte Rekurrente Neuronale Netze . . . . .	79
5.4.1 Modellierung im Zustandsraum . . . . .	79
5.4.2 Lerngesetz für das SRNN . . . . .	81
5.4.3 Beispielanwendung: elektrische Maschine . . . . .	83
5.5 Erweiterung auf zweidimensionale Probleme . . . . .	90
5.6 Kurzzusammenfassung Kapitel 5 . . . . .	96
<b>6 Identifikation der Getriebeparameter</b>	<b>99</b>
6.1 Identifikation Antriebsmaschinen . . . . .	99
6.2 Identifikation Einmassenschwungrad . . . . .	102
6.2.1 Versuchsbeschreibung . . . . .	103
6.2.2 Ergebnisse der Trägheitsbestimmung . . . . .	104
6.2.3 Kurzzusammenfassung Einmassenschwungrad . . . . .	106

6.3	Identifikation der Kupplung . . . . .	107
6.3.1	Kupplungsaktuator . . . . .	108
6.3.2	Torsionsfeder . . . . .	110
6.3.3	Kupplungskapazität . . . . .	112
6.3.3.1	Versuchsaufbau . . . . .	113
6.3.3.2	Versuchsdurchführung . . . . .	114
6.3.4	Kurzzusammenfassung Kupplung . . . . .	117
6.4	Identifikation der Reibung . . . . .	118
6.4.1	Versuchsbeschreibung . . . . .	119
6.4.2	Ergebnisse der Reibungs- und Trägheitsbestimmung . . . . .	121
6.4.3	Kurzzusammenfassung Lagerreibung . . . . .	123
6.5	Identifikation des Verzahnungsspiels . . . . .	123
6.5.1	Kurzzusammenfassung Lose . . . . .	126
<b>7</b>	<b>Validierung des Modells</b>	<b>127</b>
7.1	Vergleich mit dem ASG-Modell . . . . .	127
7.1.1	Vergleich stationärer Betriebspunkte . . . . .	128
7.1.2	Vergleich dynamischer Versuche . . . . .	130
7.1.3	Aussagekraft des parametrierten Getriebemodells . . . . .	131
7.2	Anwendung auf ein Doppelkupplungsgetriebemodell . . . . .	132
7.2.1	Kupplungskapazität DKG . . . . .	132
7.2.2	Identifikation Reibmoment DKG . . . . .	135
7.2.3	Ergebnisse der Identifikation . . . . .	136
7.3	Allgemeine Bewertung des Modellfehlers . . . . .	138
7.4	Kurzzusammenfassung Kapitel 7 . . . . .	139
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>141</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>		<b>146</b>
<b>Nomenklatur</b>		<b>149</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>		<b>153</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>		<b>156</b>
<b>A Anhang Kapitel 4</b>		<b>159</b>
A.1	Programmbeispiel Messdatensynchronisation . . . . .	159
A.2	Formeln Signalverarbeitung . . . . .	160
<b>B Anhang Kapitel 5</b>		<b>161</b>
B.1	Bestimmung der Reibung durch statische Betriebspunkte . . . . .	161
B.2	Herleitung der partiellen Ableitungen . . . . .	162
B.2.1	Eindimensionaler Fall . . . . .	163
B.2.2	Zweidimensionaler Fall . . . . .	166
B.3	Parameterdimensionen der SRNN . . . . .	175

<b>C Anhang Kapitel 6</b>	<b>177</b>
C.1 Experimentelle Bestimmung der Getriebereibung . . . . .	177
C.2 Experimentelle Bestimmung der Federsteifigkeit . . . . .	178
C.3 Untersuchung der Verdrehsteifigkeit . . . . .	179
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>183</b>
Eigene und betreute Arbeiten . . . . .	213