

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	XI
Abstract	XIII
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	5
2.1 Fahrsimulatoren	6
2.1.1 Anwendungsgebiete	7
2.1.2 Bestandteile der Simulationsumgebung	8
2.1.3 Fahrsimulatoren ohne Bewegungssystem	9
2.1.4 Fahrsimulatoren mit Bewegungssystem	10
2.1.5 Übersicht über realisierte Fahrsimulatoren mit Bewegungssystem	12
2.1.6 Der Stuttgarter Fahrsimulator	13
2.2 Antriebsstrangprüfstände	15
2.2.1 Allgemeines zu Antriebsstrangprüfständen	15
2.2.2 Der Antriebsstrang- und Hybridprüfstand	17
2.3 Kopplung von Fahrsimulator und Antriebsstrangprüfstand	20
2.4 Messfahrzeuge	20
2.4.1 Unterschiede zu Prüfstandsversuchen	21
2.4.2 Einteilung	22
2.4.3 Einsatzbereiche	22
2.4.4 Messtechnik	23
3 Kopplung von Fahrsimulator und Antriebsstrangprüfstand	25
3.1 Simulationsebene	25
3.1.1 Fahrdynamikmodell	25
3.1.2 Reifenmodell	29
3.2 Technikebene	31

3.2.1	Datenübertragung zwischen Simulator und Prüfstand . . .	31
3.2.2	Mechanischer Aufbau am Prüfstand	33
3.3	Regelungstechnik	34
3.3.1	Übertragungsglieder und Stabilitätskriterien des Regelkreises	34
3.3.2	Drehzahlregelung der angetriebenen Räder	38
3.3.3	Regelkreis für die Fahrpedalposition	43
3.3.4	Sonstige regelungstechnische Zusammenhänge	45
3.4	Durchführung von Fahrten im Koppelbetrieb	45
3.5	Weitere Anwendungsmöglichkeiten der Kopplung	48
3.5.1	Untersuchungen zur funktionalen Sicherheit elektrischer Antriebsstränge	49
3.5.2	Untersuchungen zum Energieverbrauch im kundenrelevanten Fahrbetrieb	49
3.5.3	Untersuchungen zum Schwingungsverhalten des Antriebsstrangs	51
3.5.4	Verlagerung der Antriebsapplikation von der Teststrecke in den Fahr Simulator	53
4	Gewinnung von Messdaten zur Modellerstellung	55
4.1	Datenaufzeichnung an Fahr Simulator und Prüfstand	55
4.1.1	Messtechnik	56
4.1.2	Einsatzprofile	56
4.2	Messungen mit Realfahrzeugen	57
4.2.1	Messtechnik	57
4.2.2	Einsatzprofile	61
5	Verfahren zur Schätzung von Modellparametern	63
5.1	Vergleich zwischen Modell und Prozess	63
5.2	Klassifizierung der Verfahren	64
5.3	Einige gängige Verfahren im Überblick	66
5.4	Methode der kleinsten Fehlerquadrate	68
5.5	Künstliche neuronale Netze	69
5.5.1	Einführung	70
5.5.2	Training künstlicher neuronaler Netze	73
5.5.3	Trainingsalgorithmen	77
5.5.4	Anwendung bei nicht vollständiger Abdeckung des Zustandsraums durch den Trainingsdatensatz	79
6	Ergebnisse der Erstellung von Antriebsstrangmodellen aus Messdaten	85

6.1	Erstellung eines Antriebsstrangmodells anhand von Simulatorfahrten mit realem Antriebsstrang	86
6.2	Antrieb eines Elektrofahrzeugs mit PMSM	98
6.2.1	Modellierung des elektrischen Stroms auf der Gleichstromseite der Leistungselektronik	101
6.2.2	Modellierung des Antriebsmomentes an den Radnaben . .	111
6.3	Batteriemodell	114
6.4	Exkurs: Ermittlung der Parameter der Fahrdynamikgleichung anhand realer Messfahrten	116
6.4.1	Parameterschätzung unter idealen Bedingungen	118
6.4.2	Parameterschätzung unter Einschränkungen	119
7	Zusammenfassung und Ausblick	123
	Abkürzungen und Formelzeichen	125
	Literaturverzeichnis	135