

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
Formelzeichen	VII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Problemstellung und Forschungsziele	2
1.3 Struktur der Arbeit und Forschungsmethodik	4
1.4 Veröffentlichungen	6
2 Stand der Technik	7
2.1 Grundlagen der Modellierung und Simulation	7
2.1.1 Grundlegende Definitionen und Terminologie	7
2.1.2 Arten von Modellen und Simulationen	8
2.1.3 Qualitätsmerkmale von Modellen und Simulationen	10
2.2 Stochastische Modellierung und Simulation	11
2.2.1 Wahrscheinlichkeitstheorie	11
2.2.2 Definition stochastischer Modelle und Simulationen	16
2.3 Grundlagen der Validierung	19
2.3.1 Grundphilosophischer Ansatz	19
2.3.2 Grundlegende Definitionen und Terminologie	20
2.3.3 Konventionelle Validierungsprozesse	22
2.4 Statistische Validierung	23
2.4.1 Grundlegender Ansatz, Definitionen und Terminologie	24
2.4.2 Fehler und Unsicherheiten	25
2.4.3 Statistische Validierungsmethoden und Prozesse	26
2.4.4 Vorteile statistischer Validierungsmethoden und Prozesse	30
2.5 Aktuelle Validierung in der Fahrzeugtechnik	31
2.5.1 Analyse der Validierungsmethoden und Prozesse	32
2.5.2 Kritik an der aktuellen Validierung	36
2.5.3 Forschungslücke und Potenzial der statistischen Validierung	37

3 Vorgehen zur Entwicklung einer Validierungsmethode	39
3.1 Forschungsfragen	39
3.2 Anforderungen an die Methode	40
3.3 Statistisches Validierungskonzept und Vorarbeit	43
4 Methode und statistisches Validierungsframework.....	45
4.1 Verifikationsdomäne	47
4.2 Kalibrierungsdomäne	49
4.3 Validierungsdomäne	51
4.3.1 Parameterkonfigurationen.....	51
4.3.2 System- und Anwendungsbeurteilung	51
4.3.3 Modell- und Anwendungsbeurteilung	52
4.3.4 Validierungsmetrik und Entscheidungsfindung.....	53
4.3.5 Unsicherheitslernen	54
4.4 Anwendungsdomäne	57
4.4.1 Anwendungsparameterkonfigurationen	58
4.4.2 Modellsimulation und Anwendungsbewertung	58
4.4.3 Unsicherheitsvorhersage und -integration.....	58
4.4.4 Anwendungsentscheidung	59
5 Anwendung I: Validierung einer modularen Verbrauchssimulation mit Realdaten .	61
5.1 Versuchsaufbau und -durchführung.....	61
5.1.1 Versuchsaufbau	62
5.1.2 Versuchsdurchführung und Szenarien	63
5.2 Aufbau der Simulationsumgebung.....	63
5.2.1 Framework für modulare Gesamtfahrzeugsimulationen	64
5.2.2 Längsdynamikmodell Nutzerorientierte Elektromobilität (NEmo)	64
5.3 Statistische Validierung des Simulationsmodells	65
5.3.1 Verifikationsdomäne	65
5.3.2 Kalibrierungsdomäne	66
5.3.3 Validierungsdomäne	68
5.3.4 Anwendungsdomäne	73
5.4 Ergebnisse.....	74
5.4.1 Konfidenzanalyse der Ergebnisse	75
5.4.2 Relativer Vergleich von Ergebnissen.....	77

6 Anwendung II: Validierung einer Fahrdynamiksimulation mit virtuellen Daten	79
6.1 Versuchsaufbau und Simulationsmodell	79
6.1.1 Methode der erzeugten Universen	79
6.1.2 Virtuelle Validierungsdaten durch ein Zweispurmodell	80
6.1.3 Zu validierendes Einspurmodell	82
6.2 Verifikations- und Kalibrierungsdomäne.....	82
6.3 Validierungsdomäne	83
6.4 Anwendungsdomäne	85
7 Bewertung und Diskussion	87
7.1 Validierung der Prädiktionsmethode	87
7.1.1 Plausibilisierung und Robustheit der Prädiktionsmethode.....	87
7.1.2 Validierungsstudie mit zusätzlichen Testdaten.....	88
7.1.3 Diskussion der Prädiktionsmethode.....	89
7.2 Validierung der Gesamtmethode	90
7.2.1 Aussagekraft der Ergebnisse des Frameworks	90
7.2.2 Vergleich des Frameworks mit bestehenden Methoden.....	94
7.2.3 Absicherung des Gesamtkonzeptes	95
7.3 Überprüfung der Anforderungen.....	96
7.4 Beantwortung der Forschungsfragen	96
7.5 Erfüllung der Forschungsziele.....	98
8 Zusammenfassung und Ausblick	99
8.1 Zusammenfassung	99
8.2 Ausblick	100
Abbildungsverzeichnis	i
Tabellenverzeichnis	iii
Literaturverzeichnis	v
Vorveröffentlichungsliste	xxv
Betreute Studienarbeiten	xxvii
Anhang	xxix