

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis.....	XI
1 Einleitung und Übersicht	1
1.1 Fokus des Buches.....	3
1.2 Gliederung.....	6
2 Simulation im Automobilbereich	9
2.1 Einsatzgebiete von Simulationsverfahren.....	9
2.1.1 Spezifikation.....	11
2.1.2 Konstruktion.....	11
2.1.3 Virtuelle Produktentwicklung.....	12
2.1.4 Rapid Prototyping.....	13
2.1.5 Prototypen.....	15
2.1.6 Serienfahrzeug.....	15
2.1.7 Fertigung.....	16
2.1.8 Modellpflege.....	16
2.2 Moderne Simulationswerkzeuge.....	16
2.2.1 Allgemeine Simulationswerkzeuge.....	17
2.2.2 Automobilspezifische Simulationswerkzeuge.....	19
2.3 Zusammenfassung.....	19
3 Modellbildung der Fahrzeugdynamik	21
3.1 Aufbau und Struktur des Fahrzeugmodells.....	21
3.2 Stellsysteme im Kraftfahrzeug.....	23
3.2.1 Antrieb.....	23
3.2.2 Bremse.....	28
3.2.3 Lenkung.....	31
3.3 Bewegung der Reifen und Räder.....	33
3.3.1 Rotatorische Bewegungen der Räder.....	34
3.3.2 Translatorische Bewegungen der Räder.....	36
3.4 Fahrzeugbewegung parallel zur Fahrbahnoberfläche.....	42
3.5 Bewegung der Fahrzeugkarosserie.....	44
3.6 Relativbewegung zwischen Rädern und Karosserie.....	46
3.7 Zusammenfassung.....	51

4 Parametrierung des Fahrzeugmodells	53
4.1 Klassifikation der Modellparameter	53
4.2 Identifikation zeitvarianter Fahrzeugparameter	57
4.2.1 Offline-Schätzung der Fahrzeugmasse aus Fahrversuchen	60
4.2.2 Direkte Online-Schätzung der Fahrzeugmasse im Fahrbetrieb	63
4.2.3 Indirekte Online-Schätzung der Fahrzeugmasse	67
4.3 Zusammenfassung	75
5 Offline-Implementierung und Validierung des Fahrzeugmodells	77
5.1 Offline-Implementierung des Fahrzeugmodells	77
5.2 Validierung des Fahrzeugmodells	79
5.2.1 Validierung des Modells der Horizontaldynamik	80
5.2.2 Validierung des Modells der Vertikaldynamik	87
5.3 Fehlerquellen in der Simulation	89
5.3.1 Strukturelle Modellfehler	90
5.3.2 Parametrische Modellfehler	91
5.3.3 Auswirkungen von Modellfehlern auf die Simulation	92
5.3.4 Ansätze zur Reduktion von Modellfehlern	93
5.4 Zusammenfassung	93
6 Hybride Modellbildung	95
6.1 Grundlagen der Systemanalyse	95
6.2 Einordnung des Begriffs „Hybrides Modell“	97
6.3 Strukturen semiphysikalischer Modelle	99
6.3.1 Ersetzen von Teilkomponenten physikalischer Modelle	100
6.3.2 Kopplung von physikalischen und experimentellen Modellen	100
6.4 Experimentelle Modellbildung von Teilsystemen	105
6.4.1 Darstellungsformen nichtlinearer statischer Kennfelder	105
6.5 Modellierung dyn. nichtlinearer Systeme mit Neuronalen Netzen	114
6.5.1 Neuronale Netze mit externer Dynamik	114
6.5.2 Neuronale Netze mit interner Dynamik	124
6.6 Zusammenfassung	128
7 Ersetzen von Teilsystemen des Fahrzeugmodells	129
7.1 Identifikation des Verbrennungsmotors	129
7.1.1 Einsatz von Polynomen	131
7.1.2 Einsatz von Neuronalen Netzen	134
7.1.3 Einsatz von Fuzzy-Identifikationsverfahren	136
7.1.4 Vergleich der Verfahren	138
7.2 Identifikation der Radaufhängung	140
7.3 Identifikation der Wankdynamik	146
7.4 Struktur des semiphysikalischen Fahrzeugmodells	155
7.5 Zusammenfassung	157

8 Kopplung physikalischer und experimenteller Modelle	159
8.1 Adaption des Fahrzeugmodells an veränderliche Fahrzeugmassen	160
8.1.1 Struktur des Hybriden Modells.....	160
8.1.2 Training des Hybriden Modells.....	162
8.1.3 Generalisierung des Hybriden Modells.....	163
8.2 Adaption des Fahrzeugmodells an veränderliche Fahrbahnreibwerte	166
8.2.1 Struktur des Hybriden Modells.....	166
8.2.2 Training des Hybriden Modells.....	167
8.2.3 Generalisierung des Hybriden Modells.....	169
8.3 Zusammenfassung	173
9 Beobachtung externer Fahrwiderstände	175
9.1 Grundlagen nichtlinearer Zustandsbeobachter.....	175
9.2 Nichtlineare Zustandsbeobachter mit zeitvarianter Fehlerdifferentialgleichung.....	178
9.2.1 Struktur des nichtlinearen Beobachters.....	178
9.2.2 Analyse der Beobachtbarkeit des Systems	181
9.3 Entwurf eines Beobachters für die Fahrbahnsteigung	182
9.3.1 Struktur des Beobachters.....	182
9.3.2 Beobachtbarkeitsanalyse des Systems.....	183
9.3.3 Berechnung der zeitvarianten Beobachtermatrix	184
9.4 Ergebnisse der Beobachtung der Fahrbahnsteigung.....	186
9.5 Zusammenfassung	189
10 Implementierung des Fahrzeugmodells	191
10.1 Echtzeitimplementierung des Fahrzeugmodells.....	191
10.1.1 Hardware.....	191
10.1.2 Software	194
10.2 Ergebnisse der Echtzeitsimulation	196
10.3 Visualisierung der Simulationsergebnisse	199
10.3.1 Koordinatensysteme der Fahrzeugbewegung	199
10.3.2 Transformation der Koordinatensysteme.....	202
10.3.3 Darstellung der Fahrzeugbewegung in RealMotion	208
10.4 Zusammenfassung.....	209
11 Anwendungsbeispiele des Fahrzeugmodells	211
11.1 Dynamisches Übergangsverhalten	211
11.2 Charakteristische Übertragungsfunktionen.....	218
11.3 Zusammenfassung.....	224
12 Zusammenfassung	227
Literatur	231
Sachverzeichnis	243