

Abkürzungsverzeichnis	i
Formelzeichen- und Symbolverzeichnis	v
1. Einleitung	1
1.1. Motivation	3
1.2. Zielstellung und Eingrenzung	4
1.3. Strukturierung der Arbeit	7
1.4. Begriffsdefinitionen	9
1.5. Standardisierungen	11
2. Stand der Technik	13
2.1. Funktionale Gestaltung von Fahrdynamik- und Fahrkomforteigenschaften	15
2.2. Objektivierung der Vertikaldynamik	18
2.3. Virtuelle Auslegung von Fahrwerkskomponenten	23
2.3.1. Simulative Grundauslegung in der Konzeptphase	23
2.3.2. Modellierung von Fahrwerkskomponenten	24
2.3.3. Virtuelle Fahrverhaltensabstimmung	26
2.4. Forschungsfragen	28
3. Methodik und Werkzeuge	31
3.1. Abgeleitete Methoden aus der Signalanalyse im Zeit- und Frequenzbereich	33
3.1.1. Grundlagen der diskreten Fourier-Transformation	33
3.1.2. Entwicklung einer Methode zur Schwingungsidentifikation	39
3.1.2.1. Harmonische Approximation einer Zeitreihe	39
3.1.2.2. Blocklängenvariation zur leakagefreien Schwingungsidentifikation	43
3.1.2.3. Anwendung der Methode	47
3.1.3. Mittelnde Verfahren im Frequenzbereich	48
3.1.3.1. Methode zur optimalen Datensegmentierung	49
3.1.3.2. Kohärenzfunktion	51
3.2. Abgeleitete Methoden der Modellierung	53
3.2.1. Analyse linearer Systeme	54
3.2.1.1. Mechanisch-rheologische und schwingungsfähige Systeme	60
3.2.1.2. Viertelfahrzeugmodell	65
3.2.2. Modellierung von Reibungseffekten	70
3.2.2.1. Reibungseffekte im Fahrwerk und Reibungsmodelle	70
3.2.2.2. Generische Beschreibung des Reibungsmodells nach Dahl	72
3.2.2.3. Analytische Lösung des Dahl-Modells	75
3.3. Abgeleitete Methoden der Systemidentifikation	76
3.3.1. Kriterien zur Quantifizierung der Identifikationsgüte	77
3.3.1.1. Kriterien im Zeitbereich	77
3.3.1.2. Kriterium im Frequenzbereich	80
3.3.2. Generierung geeigneter Anregungen zur effizienten Identifikation	81
3.3.3. Direkte Identifikation nichtparametrischer Modelle im Frequenzbereich	81
3.3.3.1. Wide-Band-Identifikation anhand gemittelter Spektren	82
3.3.3.2. Entwicklung einer Narrow-Band-Methode	83

3.3.3.3. Diskussion der Methoden anhand von Sweepanregungen	84
3.4. Fahrbahninduzierter Vertikalkomfort	87
3.4.1. Straßenklassierung zur Beschreibung stochastischer Fahrzeuganregungen	87
3.4.2. Betriebsbereichsermittlung der Komponenten im Gesamtfahrzeug	90
4. Virtualisierung des Subsystems Wankstabilisierung	93
4.1. Messmethodik und -ergebnisse	96
4.1.1. Stabilisatorprüfstand	96
4.1.1.1. Ermittlung der prüfstandsseitigen Massen	97
4.1.1.2. Kinematik des Stabilisatorprüfstands	98
4.1.2. Signalaufbereitung	101
4.1.3. Vordentifikation des Übertragungsverhaltens	102
4.1.4. Messprogramm zur funktionalen Systembeschreibung	105
4.1.5. Diskussion der Messergebnisse anhand nichtparametrischer Identifikation	105
4.2. Modellierung und Validierung	108
4.2.1. Parametrierung eines linearen Ersatzmodells im Frequenzbereich	108
4.2.2. Modellierung nichtlinearer Hystereseeffekte	111
4.2.3. Funktionales Grey-Box-Modell der Wankstabilisierung	112
4.2.4. Funktionales White-Box-Modell der Wankstabilisierung	113
4.2.5. Modellvalidierung im Zeitbereich	117
5. Virtualisierung der Komponente Zusatzfeder	119
5.1. Messmethodik und -ergebnisse	122
5.1.1. Generisches Messprogramm zur funktionalen Komponentenbeschreibung	122
5.1.2. Diskussion der Messergebnisse	125
5.2. Entwicklung eines funktionalen Zusatzfedermodells	126
5.2.1. Modellierung und Parameteridentifikation	126
5.2.1.1. Modellbedatung mit quasistatischen Messungen	127
5.2.1.2. Modellbedatung mit dynamischen Messungen	129
5.2.2. Validierung	134
6. Messung und Simulation einer Komponentenvariation im Gesamtfahrzeug	137
6.1. Versuchsträger und Manöver	139
6.2. Bewertung der Reproduzierbarkeit und Auswahl repräsentativer Messungen . .	141
6.2.1. Motivation und Entwicklung der Methode	141
6.2.2. Anwendung auf die Realmessungen	148
6.2.2.1. Auswahl repräsentativer Messungen eines Fahrzeugsettings . .	149
6.2.2.2. Fahrverhaltenspreisung unterschiedlicher Fahrzeugsettings . .	151
6.3. Auswertung im Zeit- und Frequenzbereich	152
6.4. Vergleich mit Gesamtfahrzeugsimulation der Komponentenvariation	154
7. Zusammenfassung und Ausblick	159
7.1. Diskussion der Forschungsfragen	161
7.2. Zusammenfassung	163
7.3. Empfehlungen für weiterführende Arbeiten	165

8. Literatur	I
Abbildungsverzeichnis	XXV
Tabellenverzeichnis	XXXIII
Anhang	XXXVII
A. Ergänzungen zu Standardisierungen	A-2
A.1. Standardisiertes Viertelfahrzeugmodell	A-2
A.2. Standardisierte Übertragungsfunktion	A-5
B. Ergänzungen zur Signalanalyse	A-7
B.1. Ergänzungen zum Harmoniegrad	A-7
B.2. Flussdiagramm zum Algorithmus der Blocklängenvariation	A-8
B.3. Auflösbare Frequenzen bei einer höherdimensionalen Zeitreihe	A-10
B.4. Ergänzungen zur Anwendung der Schwingungsidentifikation	A-10
C. Ergänzungen zur Modellierung und Identifikation	A-11
C.1. Ergänzungen zur Hysterese eines allgemeinen linearen Systems	A-11
C.2. Erläuterungen zum Maxwell-Element	A-14
C.3. Generische Methode zur Modellbildung wegerregter Systeme	A-15
C.4. Ergänzungen zu Gütemaßen im Zeitbereich	A-16
D. Ergänzungen zum Modell der Wankstabilisierung	A-17
D.1. Abgleich der Modellierung für skalierte Anregungen	A-17
D.2. Sensitivitätsanalyse	A-18
E. Ergänzungen zu den Realfahrzeugmessungen und -simulationen	A-20
E.1. Daten des Versuchsträgers	A-20
E.2. Lokale Synchronisation der Realfahrzeugmessungen	A-20
E.3. Paarweise gemittelter CNRMSE für alle Fahrzeugsettings	A-23
E.4. Ergänzungen zur Messauswertung im Zeit- und Frequenzbereich	A-24
E.5. Objektive Kennwerte der Zusatzfedersettings	A-26