

# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung . . . . .	IX
Abstract . . . . .	XI
Abbildungsverzeichnis . . . . .	XVI
Tabellenverzeichnis . . . . .	XIX
1 Einleitung . . . . .	1
1.1 Stand des Wissens . . . . .	2
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	5
2 Stand der Technik . . . . .	7
2.1 Fahrbetriebsmessung . . . . .	8
2.2 Nachfahrversuche . . . . .	9
2.3 Rechnerische Methoden . . . . .	13
2.3.1 Mehrkörpersimulation . . . . .	13
2.3.1.1 Gummilagermodell (MKS-Bushing) . . . . .	15
2.3.1.2 Hydrolagermodell Adams/Car Ride (MKS-Hydrobushing) . . . . .	15
2.3.1.3 Controller in Adams . . . . .	19
3 Theorie des Hydrolagers . . . . .	23
3.1 Aufgabe einer Aggregatelagerung . . . . .	23
3.2 Elastomere . . . . .	25
3.2.1 Payne Effekt . . . . .	26
3.2.2 Mullins Effekt . . . . .	28
3.2.3 Einfluss der Temperatur . . . . .	28
3.2.4 Elastomere für Aggregatelager . . . . .	29
3.3 Aufbau des Hydrolagers . . . . .	32
3.4 Definition der Lagerkenngrößen . . . . .	34
3.4.1 Statische Steifigkeit . . . . .	34
3.4.2 Dynamische Steifigkeit und Verlustwinkel . . . . .	35
4 Experimente . . . . .	39
4.1 Nachfahrversuche mit Hydrolagern . . . . .	40
4.1.1 Iterationsgüte . . . . .	41
4.1.2 Vergleich im Zeitbereich . . . . .	42

4.1.3 Vergleich im Frequenzbereich . . . . .	43
4.1.4 Vergleich im Häufigkeitsbereich . . . . .	43
4.2 Prüfprogramm für die virtuelle Lagerparametrierung . . . . .	46
4.2.1 Prüfprogramm für die Vertikalrichtung . . . . .	47
4.2.1.1 Ermittlung der statischen Kennlinie in Vertikalrichtung . . . . .	47
4.2.1.2 Ermittlung der dynamischen Kennlinien in Vertikalrichtung . . . . .	49
4.2.2 Prüfprogramm für die Längsrichtung . . . . .	49
4.3 Signale für Hydrolagervalidierung . . . . .	51
5 Modellbildung . . . . .	53
5.1 Allgemeines . . . . .	53
5.2 Rheologische Modelle . . . . .	54
5.2.1 Allgemeiner Lösungsweg bei Elementkombinationen im Zeitbereich . . . . .	54
5.2.2 Hooke'sche Feder . . . . .	54
5.2.3 Newton'sche Dämpfer . . . . .	58
5.2.4 Saint-Venant'sches Reibungselement . . . . .	60
5.2.5 Maxwell Modell . . . . .	61
5.2.6 Kelvin-Voigt Modell . . . . .	64
5.2.7 Fraktionales Element . . . . .	66
5.2.8 Prandtl Modell . . . . .	67
5.3 Motorlagermodell (Molar) . . . . .	68
5.3.1 Motorlagermodell in Vertikalrichtung . . . . .	68
5.3.2 Motorlagermodell in Fahrtrichtung . . . . .	73
5.3.3 Abbildung der statischen Hysterese . . . . .	76
5.3.4 Übersprechverhalten . . . . .	80
5.4 Simulinkmodell des Motorlagers . . . . .	81
5.5 MKS Modell des Motorlagers . . . . .	83
5.6 Abschließende Bemerkungen . . . . .	85
6 Parameteridentifikation . . . . .	87
6.1 Modellvorbereitung . . . . .	88
6.2 Klassifikation des Optimierungsproblems . . . . .	90
6.3 Optimierungsmethoden . . . . .	91
6.3.1 Genetische Algorithmen . . . . .	91
6.3.2 Fmincon Interior-Point Algorithm . . . . .	92
6.3.2.1 Lagrange-Multiplikationsregel und notwendige Bedingung . . . . .	93
6.3.2.2 Hinreichende Bedingung . . . . .	94

6.3.2.3 Optimierungsaufgabe . . . . .	94
6.4 Optimierungskriterien . . . . .	95
6.4.1 Zeitsignal . . . . .	96
6.4.2 Rainflow-Zählung . . . . .	96
6.4.3 Lineare Schadensakkumulations-Hypothese . . . . .	96
6.4.4 Übertragungsfunktion (Frequenzbereich) . . . . .	98
6.5 Optimierungsergebnisse . . . . .	98
7 Modellrechnungen . . . . .	101
7.1 Simulation auf virtuellen 2k-Prüfstand . . . . .	103
7.1.1 Sinus-Sweep Signale . . . . .	104
7.1.2 Rauschanregungen . . . . .	107
7.1.3 Nachfahrversuche . . . . .	109
7.2 MKS Gesamtfahrzeugsimulation . . . . .	111
7.2.1 Fahrzeugsimulation . . . . .	113
7.2.2 Lagerverhalten . . . . .	117
8 Parameterstudien auf einem virtuellen mehraxialen Schwingtisch . . . . .	121
8.1 Einfluss der statischen Vorlast . . . . .	122
8.2 Einfluss der statischen Kennlinie auf die Simulationsergebnisse . . . . .	123
8.3 Koppeleffekte . . . . .	124
9 Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	127
10 Appendix . . . . .	131
10.1 Ablaufprozess bei Hydrolagersimulation . . . . .	131
10.2 Auswertung der Gesamtfahrzeugsimulationen . . . . .	132
Literatur . . . . .	137