

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Gliederung der Arbeit	4
2 Einführende Grundlagen	7
2.1 Aufbau und Funktion von Luftfedern	7
2.1.1 Bauformen und Aufbau	7
2.1.2 Arbeitsweise	10
2.1.3 Deformationsverhalten von Rollbälgen	11
2.2 Grundlagen elastomerer Werkstoffe	18
2.2.1 Innerer Aufbau	18
2.2.2 Abhängigkeit von der Temperatur	19
2.2.3 Hyperelastizität / Entropieelastizität	21
2.2.4 Viskoelastizität	22
2.2.5 Wirkung aktiver Füllstoffe	25
2.3 Eigenschaften der Festigkeitsträger	32
2.4 Grundlagen des Schwingungskomforts	34
2.4.1 Präzisieren des Komfortbegriffs	34
2.4.2 Wahrnehmung von Schwingungen	36
2.4.3 Charakteristische Schwingungsphänomene	37
3 Stand der Forschung und Entwicklung an Luftfedern	41
3.1 Systemverhalten von Luftfedern	42
3.1.1 Zustandsänderung des eingeschlossenen Gases	42
3.1.2 Eigensteifigkeit der Balgmembran	43
3.1.3 Luftfedern als Mehrkammern-System	44
3.1.4 Luftfederdämpfer	45
3.1.5 Mehrdimensionale Beschreibung von Luftfedern	47
3.2 Einfluss von Luftfedern auf den Schwingungskomfort	48
3.2.1 Den Schwingungskomfort unterstützende Eigenschaften	48
3.2.2 Den Schwingungskomfort mindernde Eigenschaften	50

3.3	Systembetrachtung am Federbein	51
3.3.1	Kräfte am Federbein	52
3.3.2	Erste konstruktive Zusammenhänge	53
3.3.3	Elastokinematik in der Achse	54
3.4	Diskussion und Fazit	56
3.4.1	Zustandsänderung im Luftvolumen	56
3.4.2	Walkverhalten	57
3.4.3	Innere Normalkräfte auf die Dämpferdichtung	59
4	Thermodynamisches Systemverhalten	61
4.1	Thermodynamisches System	61
4.2	Mechanisches Ersatz-System	64
4.3	Linearisiertes System	69
4.3.1	Übertragungsverhalten im Frequenzbereich	71
4.3.2	Bestimmung der Volumenfunktion	74
4.4	Simulation und Validierung	78
4.4.1	Aufbau des thermodynamischen Modells	78
4.4.2	Parametrisierung	79
4.4.3	Validierung	80
4.5	Modifikation des Systemverhaltens	84
4.5.1	Lastabhängigkeit des Systemverhaltens	84
4.5.2	Steifigkeitsdesign an Rollbalg-Luftfedern	88
5	Systemverhalten unter Berücksichtigung der Balgmembran	95
5.1	Messung von Walkkräften	95
5.1.1	Messverfahren	96
5.1.2	Ergebnisse	97
5.2	Phänomenologisches Modell der Walkkraft	100
5.2.1	Tribo-elastisches Verhalten	102
5.2.2	Viskoelastisches Verhalten	110
5.3	Simulation und Validierung	117
5.3.1	Aufbau und numerische Umsetzung	117
5.3.2	Parametrisierung	121
5.3.3	Validierung	128
5.3.4	Diskussion	130
5.3.5	Amplituden-Frequenz-Kennfeld des Gesamtsystems Luftfeder	132
5.4	Einflüsse auf das Walkverhalten	133
5.4.1	Identifikation potenzieller Einflussfaktoren	134
5.4.2	Auswahl	137

5.4.3	Versuchsplanung	139
5.4.4	Versuchsdurchführung	141
5.4.5	Auswertung	143
5.4.6	Ergebnisse Axialbalg	147
5.4.7	Ergebnisse Kreuzlagenbälge	150
5.5	Abschließende Einordnung der Ergebnisse	155
6	Abschätzung innerer Normalkräfte an Luftfederbeinen	157
6.1	Elastische Strukturen am Federbein	157
6.1.1	Das Faltenlager	159
6.1.2	Prinzip der Kraftformulierung	161
6.1.3	Mechanisches Ersatzmodell	164
6.2	Experimentelle Ermittlung der Steifigkeiten	165
6.2.1	Versuchsaufbau	165
6.2.2	Messluftfedern	168
6.2.3	Versuchsplanung und -durchführung	170
6.2.4	Auswertung	172
6.2.5	Ergebnisse	174
6.3	Mehrköpersimulation am Federbein	181
6.3.1	Prinzip der Mehrköpersimulation	181
6.3.2	Parametrisches Federbeinmodell	183
6.3.3	Simulation und Ergebnisse	187
6.4	Rückschlüsse für die Gestaltung von Luftfederbeinen	191
7	Schlussbetrachtung	193
7.1	Zusammenfassung	193
7.2	Ausblick	197
Literaturverzeichnis		201
A	Näherungsintegral der Volumenfunktion	217
B	Simulationsparameter	219
C	Ergänzende Tabellen	221
D	Ergänzende Abbildungen	225