

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Hintergrund . . . . .	1
1.2	Zielsetzung . . . . .	3
1.3	Gliederung der Arbeit . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Einführende Grundlagen</b>	<b>7</b>
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
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung und Entwicklung an Luftfedern</b>	<b>41</b>
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	Elastokinetik 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
<b>4</b>	<b>Thermodynamisches Systemverhalten</b>	<b>61</b>
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
<b>5</b>	<b>Systemverhalten unter Berücksichtigung der Balgmembran</b>	<b>95</b>
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
<b>6</b>	<b>Abschätzung innerer Normalkräfte an Luftfederbeinen</b>	<b>157</b>
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	Mehrkörpersimulation am Federbein . . . . .	181
6.3.1	Prinzip der Mehrkörpersimulation . . . . .	181
6.3.2	Parametrisches Federbeinmodell . . . . .	183
6.3.3	Simulation und Ergebnisse . . . . .	187
6.4	Rückschlüsse für die Gestaltung von Luftfederbeinen . . . . .	191
<b>7</b>	<b>Schlussbetrachtung</b>	<b>193</b>
7.1	Zusammenfassung . . . . .	193
7.2	Ausblick . . . . .	197
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>201</b>
<b>A</b>	<b>Näherungsintegral der Volumenfunktion</b>	<b>217</b>
<b>B</b>	<b>Simulationsparameter</b>	<b>219</b>
<b>C</b>	<b>Ergänzende Tabellen</b>	<b>221</b>
<b>D</b>	<b>Ergänzende Abbildungen</b>	<b>225</b>