

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Technische Problemstellung . . . . .	1
1.2	Motivation . . . . .	2
1.3	Literaturübersicht . . . . .	3
1.4	Thema und Gliederung der Arbeit . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Elastische Systeme mit Reibkontakt</b>	<b>8</b>
2.1	Kinematik . . . . .	8
2.1.1	Allgemein . . . . .	9
2.1.2	Kontakt . . . . .	12
2.2	Kinetik . . . . .	15
2.2.1	Mechanisches Prinzip . . . . .	15
2.2.2	Potentiallose Kräfte . . . . .	17
2.2.3	Kontakt . . . . .	18
2.2.3.1	Beitrag der Normalspannung . . . . .	19
2.2.3.2	Beitrag der Scherspannungen . . . . .	20
2.2.3.3	Gesamte virtuelle Arbeit . . . . .	23
2.3	Diskretisierung . . . . .	24
2.3.1	Diskretisierung ohne Kontakt . . . . .	29
2.3.2	Diskretisierung der Kontakte . . . . .	32
2.3.2.1	Lagrangesche Multiplikatoren . . . . .	34
2.3.2.2	Penalty-Verfahren . . . . .	40
2.3.2.3	Spezielle Ansatzfunktionen . . . . .	44

<b>3 Zur Stabilität stationärer Lösungen</b>	<b>49</b>
3.1 Grundsätzliches zur Stabilität . . . . .	49
3.2 Energetische Vorbetrachtung . . . . .	52
3.3 Stabilität des diskretisierten Systems . . . . .	54
3.3.1 Matrizeneigenschaften und Stabilität . . . . .	57
3.3.2 Eigenwerte und Eigenvektoren . . . . .	58
3.3.2.1 Symmetrien des komplexen Spektrums, Eigenvektoren . . .	59
3.3.2.2 Existenz reeller Eigenvektoren . . . . .	60
3.3.2.3 Reelle Darstellung von Eigenvektoren . . . . .	61
3.3.3 Zusammenhang zwischen Eigenvektoren und Eigenwerten: der Rayleigh-Quotient . . . . .	63
3.3.3.1 Lineares Eigenwertproblem . . . . .	63
3.3.3.2 Quadratische Eigenwertprobleme . . . . .	64
3.3.3.3 Orientierung der Rechtseigenvektoren . . . . .	64
3.3.4 Parametereinfluss auf das Eigenwertspektrum . . . . .	67
3.3.4.1 Einfache Eigenwerte . . . . .	69
3.3.4.2 Halbeinfache Eigenwerte . . . . .	69
3.3.4.3 Nicht-derogatorische Eigenwerte . . . . .	70
3.4 Instabilitätsszenarien . . . . .	73
3.4.1 Systeme ohne geschwindigkeitsproportionale Einflüsse . . . . .	73
3.4.1.1 Parametereinfluss ohne Reibungskräfte . . . . .	74
3.4.1.2 Lageabhängige Reibungskräfte . . . . .	75
3.4.2 System mit geschwindigkeitsabhängigen Einflüssen . . . . .	80
3.4.2.1 Nicht-zirkulatorische Systeme . . . . .	81
3.4.2.2 Zirkulatorische Systeme . . . . .	85

<b>4 Quietschen von Scheibenbremsen</b>	<b>96</b>
4.1 Problembeschreibung . . . . .	96
4.1.1 Allgemein . . . . .	96
4.1.2 Experimentelle Ergebnisse . . . . .	98
4.1.2.1 Aufbau der Bremse und des Prüfstandes . . . . .	98
4.1.2.2 Bremsenquietschen . . . . .	101
4.1.3 Vorüberlegungen und grundsätzliche Modellelemente . . . . .	106
4.1.4 Kinematik . . . . .	107
4.1.4.1 Bremsscheibe . . . . .	108
4.1.4.2 Bremsbeläge . . . . .	113
4.1.4.3 Kontakte . . . . .	115
4.1.5 Kinetik . . . . .	117
4.1.6 Diskretisierung . . . . .	120
4.2 Stabilität . . . . .	126
4.2.1 Eigenwerte des reibungsfreien Systems . . . . .	127
4.2.1.1 Bremsscheibe . . . . .	127
4.2.1.2 Bremsscheibe und Beläge im reibungsfreien Kontakt . . . . .	130
4.2.2 Stabilität des reibungsbehafteten Systems . . . . .	133
4.2.2.1 Stabilität ohne Dissipation und gyroroskopische Einflüsse . . . . .	133
4.2.2.2 Stabilität unter Berücksichtigung sämtlicher Einflüsse . . . . .	141
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>153</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>158</b>