

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Motivation der Arbeit	1
1.2 Struktur der Arbeit	3
1.3 Überblick relevanter Literatur zu hochfrequenten Bremsgeräuschen	4
1.3.1 Instabilitätsmechanismen	5
1.3.2 Robustheit von Eigenwerten reiberregter Systeme	6
1.3.3 Stabilität nichtlinearer Lösungen reiberregter Schwingungen	6
1.3.4 Sensitivität reiberregter Schwingungen	7
1.3.5 Optimierung von Substrukturen	8
2 Grundlagen der Modellierung und Berechnung reiberregter Flatterschwingungen an Reibungsbremsen	11
2.1 Mechanische Einordnung des Bremsenquietschens	11
2.2 Modellierung von Reibungsbremsen	12
2.2.1 Modellierung von Komponenten	13
2.2.2 Modellierung der Reibfläche	14
2.2.3 Modellvalidierung	16
2.3 Lösung des Eigenproblems	18
2.4 Eigenwertstabilität	21
3 Robustheit reiberregter Flatterschwingungen	25
3.1 Bedeutung der Robustheit von Eigenwerten	26
3.2 Untersuchung der Robustheit an einem Minimalbeispiel	27
3.2.1 Modellierung und statistischer Ansatz	27
3.2.2 Robustheit auf Systemebene	29
3.2.3 Robustheit auf modaler Ebene	36
3.2.4 Auftretenswahrscheinlichkeit reiberregter Flatterschwingungen	41
4 Der Einfluss nichtlinearer Fügestelleneigenschaften auf reiberregte Flatterschwingungen	45
4.1 Bifurkationsverhalten und Stabilität reiberregter Schwingungen	45
4.2 Dominante Nichtlinearitäten und Fügestellen	48

4.3	Bifurkationsszenarien unter Fügestelleneinfluss	49
4.3.1	Modellierung	49
4.3.2	Amplitudenmaximierung bei stetigen Eigenschaften	52
4.3.3	Bifurkationsverhalten bei nicht-glatten Eigenschaften	56
4.4	Anwendbarkeit von Stabilitätsapproximationen	61
4.4.1	Approximationsverfahren für periodische Lösungen	61
4.4.2	Abschätzung kritischer Parameterbereiche	64
5	Identifikation dominanter Substruktureigenschaften bei reiberregten Flatterschwingungen	67
5.1	Sensitivitätsanalyse für reiberregte Flatterschwingungen	67
5.2	Differentiation von Systemmatrizen	69
5.2.1	Sensitivitätsanalyse bei FE-Modellen	69
5.2.2	FE-Modelle als Kopplung modaler Substrukturen	71
5.3	Identifikation dominanter Substrukturen	72
5.4	Identifikation dominanter modaler Substruktureigenschaften	78
6	Bestimmung und Realisierung optimaler modaler Substruktureigenschaften zur Vermeidung reiberregter Flatterschwingungen	87
6.1	Modale Entkopplung und Manipulation von Substrukturen	87
6.2	Bestimmung optimaler Substrukturparameter	89
6.3	Modale Strukturoptimierung für Substrukturen	92
7	Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick	101
A	Innere Resonanz und reiberregte Flatterschwingungen	105
B	Der Einfluss entfernter Systemmoden auf die Stabilität	113
C	Streuung der Aufklingraten von Bremsgeräuschen im Laborversuch	117
D	Schemata der modalen Interaktion	121
E	Systemmatrizen und Parameter für das Minimalmodell	127
F	Substrukturreduktion bei reiberregten Flatterschwingungen	129
Literaturverzeichnis		135