Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

1.1 Einführung und Motivation 1

1.2 Ziele und Aufbau der Arbeit 2

2 Körperschallentkopplung in Abgasanlagen **4**

2.1 Anregung durch Schwingungsquellen 4

2.2 Entkoppelelemente in Abgasanlagen 5

3 Maschinenakustische Grundlagen der Körperschallentkopplung **8**

3.1 Prinzipien der Schwingungsisolation 8

3.2 Kirchhoffsche Sätze - Elektromechanische Analogie 10

3.3 Maschinendynamisches Modell zur Körperschallentkopplung 12

3.4 Matrizenformulierung der Bewegungsgleichungen 14

3.4.1 Vierpolgleichungen axialer Körperschalldämmung 15

3.4.2 Achtpolbeschreibung der Biegeschwingung 17

3.4.3 Synthese der Teilsysteme 19

3.5 Entkopplung höherer Schwingfrequenzen 20

4 Nichtlineare dynamische Systeme **24**

4.1 Nichtlineares Schwingverhalten von Entkoppelelementen 24

4.2 Nichtlineare Systeme 25

4.3 Nichtlineare Federkennlinien 26

4.4 Trockene Reibung 27

4.5 Lineare Ersatzmodelle 29

4.6 Numerische Untersuchung nichtlinearer Schwingungungsentkoppler 32

4.6.1 System mit nichtlinearer Federkennlinie 32

4.6.2 System mit trockener Reibung 34

5 Theorie der messtechnischen Identifikation von Schwingungsentkopplern 36
5.1 Nichtparametrische Frequenzgangsmessung 36
5.2 Eigenschaften breitbandiger Testsignale 37
5.3 Frequenzgangsmessung mit monofrequenter Anregung 39
5.4 Linearitätstests 41
5.5 Bestimmung der axialen Transfersteifigkeit 42
5.5.1 Ermittlung nach DIN ISO 10846 42
5.5.2 Erweiterung des Frequenzbereichs durch Differenzbildung 42
5.6 Vierpolermittlung mittels Umkehrverfahren 44
5.7 Bestimmung der Biegesteifigkeiten 46
5.7.1 Messtechnische Ermittlung der lateralen und rotatorischen Steifigkeiten 46
5.7.2 Erweiterung des Frequenzbereichs 48
5.7.3 Berücksichtigung der Prüflingsmasse 50
5.7.4 Numerische Untersuchungen 50
5.8 Dynamisches Messen nichtlinearer Systemparameter 54
5.8.1 Steifigkeitskennlinien 54
5.8.2 Reibung 57
5.8.3 Numerische Untersuchung der Messmethoden 58
5.8.4 Zusammenfassung der numerischen Ergebnisse 65

6 Prüfstand 66
6.1 Beschreibung des Prüfstandsaufbaus 66
6.2 Messung der Kräfte und Beschleunigungen 68
6.3 Anordnungen zur longitudinalen und lateralen Anregung 69

7 Messergebnisse 72
7.1 Prüflinge 72
7.2 Axiale Schwingungsübertragung 72
7.2.1 Transfersteifen der Schlauchleitungen 77
7.2.2 Linearisierte Transfersteife 78
7.3 Laterale und rotatorische Steifigkeiten 80
7.3.1 Referenzmessungen 80
7.3.2 Messungen an Entkoppelelemten 80
7.4 Messung nichtlinearer Modellparameter 84

7.4.1 Nichtlinearer Steifigkeitsverlauf 84
7.4.2 Coulomb-Modell 87
7.4.3 Masing-Modell 87
7.4.4 Anmerkung zu Elementen mit unstetiger Kennlinie 90
7.5 Zusammenfassung der Messergebnisse 92
7.6 Diskussion der Messunsicherheit 93
7.6.1 Bemerkung zur Erzeugung harmonischer Anregungen 95
7.7 Kontaktstelleneinfluss der Flanschverbindung 96

8 Kopplung mit dem Gesamtsystem **98**
8.1 Vibroakustik einer Abgasanlage 98
8.2 Anregung durch Körperschallquellen 99
8.3 Modellierung einer Referenz AGA 101
8.4 Durchgangsdämmung bei gegebener Eingangsimpedanz 102
8.5 Auswahl optimaler Entkoppelelemente 103
8.6 Integration nichtlinearer Modelle 108

9 Zusammenfassung und Ausblick **110**

10 Literaturverzeichnis **112**

A Berechnung der AGA-Dynamik **120**
A.1 Grundelemente 120
A.2 Rohrkrümmersteifigkeit 122
A.3 Modellierung des Endschalldämpfers 128

B Transfersteifen der Entkoppelelemente **131**

C Symbolverzeichnis **133**