

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b>                                                           | <b>xi</b> |
| <b>1 Einleitung</b>                                                                    | <b>1</b>  |
| 1.1 Technischer Hintergrund . . . . .                                                  | 1         |
| 1.2 Stand der Technik und Abgrenzung zu vorherigen Arbeiten .                          | 3         |
| 1.3 Zielsetzung und Gliederung . . . . .                                               | 5         |
| <b>2 Entwicklung eines Dämpfungsmodells für elektrische Maschinen</b>                  | <b>7</b>  |
| 2.1 Modelle zur Analyse des Schwingungsverhaltens von elastischen Strukturen . . . . . | 10        |
| 2.2 Hysteresemodelle . . . . .                                                         | 13        |
| 2.3 Werkstoffdämpfung von Bauteilen . . . . .                                          | 17        |
| 2.4 Fügestellendämpfung . . . . .                                                      | 18        |
| 2.5 Dämpfung durch Fluide . . . . .                                                    | 24        |
| 2.6 Superposition der Dämpfungsanteile in einem Systemmodell .                         | 27        |
| 2.7 Messverfahren zur Ermittlung von Dämpfungskenngößen . .                            | 28        |
| <b>3 Homogenisierungsverfahren</b>                                                     | <b>31</b> |
| 3.1 Überblick der Methoden . . . . .                                                   | 32        |
| 3.2 Homogenisierungsverfahren für Blechpakete . . . . .                                | 35        |
| 3.3 Homogenisierungsverfahren für Drahtwicklungssysteme . . . .                        | 40        |
| <b>4 Verfahren zur Planung von experimentellen Modalanalysen</b>                       | <b>47</b> |
| 4.1 Überblick der Methoden . . . . .                                                   | 48        |
| 4.2 Verfahren zur optimalen Anregungspunktplatzierung . . . . .                        | 49        |
| 4.3 Verfahren zur optimalen Messpunktplatzierung . . . . .                             | 54        |
| 4.4 Anwendung für elektrische Maschinen . . . . .                                      | 55        |
| 4.5 Fazit und Erkenntnisse . . . . .                                                   | 60        |
| <b>5 Dämpfung von Komponenten elektrischer Maschinen</b>                               | <b>61</b> |
| 5.1 Gehäuse . . . . .                                                                  | 61        |
| 5.2 Blechpaket . . . . .                                                               | 70        |
| 5.3 Baugruppe - Gehäuse und Blechpaket . . . . .                                       | 75        |

|          |                                                                                               |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4      | Baugruppe - Gehäuse, Blechpaket und Wicklung . . . . .                                        | 79         |
| 5.5      | Baugruppe - Lagerdeckel mit Schraubverbindungen . . . . .                                     | 88         |
| 5.6      | Fazit und Erkenntnisse . . . . .                                                              | 95         |
| <b>6</b> | <b>Dämpfung auf Systemebene</b>                                                               | <b>97</b>  |
| 6.1      | Berechnung der modalen Dämpfungsgrade einer elektrischen Maschine . . . . .                   | 98         |
| 6.2      | Experimentelle Modalanalyse mit einem robotergestützten 3D-Laser-Doppler-Vibrometer . . . . . | 101        |
| 6.3      | Messergebnisse . . . . .                                                                      | 105        |
| 6.4      | Modellkorrelation . . . . .                                                                   | 113        |
| 6.5      | Fazit und Erkenntnisse . . . . .                                                              | 119        |
| <b>7</b> | <b>Anwendung der Verfahren in einem Systemmodell zur Luft- und Körperschallanalyse</b>        | <b>123</b> |
| 7.1      | Systemmodell zur Luft- und Körperschallanalyse . . . . .                                      | 124        |
| 7.2      | Analyse der magnetischen Kraftanregungen . . . . .                                            | 129        |
| 7.3      | Abgleich der Berechnungsergebnisse mit Messungen . . . . .                                    | 134        |
| 7.4      | Fazit und Erkenntnisse . . . . .                                                              | 137        |
| <b>8</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                                                           | <b>141</b> |
| <b>A</b> | <b>Anhang</b>                                                                                 | <b>147</b> |
| A.1      | Homogenisierungsverfahren . . . . .                                                           | 147        |
| A.2      | Dämpfungsmodellierung des Gehäuses . . . . .                                                  | 149        |
| A.3      | Dämpfungsmodellierung eines Blechpakets . . . . .                                             | 150        |
| A.4      | Dämpfungsmodellierung der Wicklung . . . . .                                                  | 152        |
| A.5      | Modellkorrelation für eine elektrischen Maschine . . . . .                                    | 156        |
| A.6      | Modellkorrelation des Systemmodells zur Luft- und Körperschallanalyse . . . . .               | 160        |
|          | <b>Symbolverzeichnis</b>                                                                      | <b>155</b> |
|          | <b>Eigene Veröffentlichungen</b>                                                              | <b>163</b> |
|          | <b>Betreute Abschlussarbeiten</b>                                                             | <b>165</b> |
|          | <b>Lebenslauf</b>                                                                             | <b>167</b> |