

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XVII
Formelzeichen	XIX
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Rotor-Lager-Systeme	4
2.1.1 Aufbau von Wälzlagern	5
2.1.2 Modellierung des Rillenkugellagers	5
2.1.3 Schwingungen des Rotor-Lager-Systems	7
2.2 Elastische Mehrkörpersimulation	8
2.2.1 Beschreibung starrer Körper	9
2.2.2 Beschreibung elastischer Körper	9
2.2.3 Reduktionsverfahren	10
2.3 Elektromagnetische Kräfte in mechanischen Strukturen	13
2.4 Methoden der rechnerischen Betriebsfestigkeit	14
2.4.1 Nennspannungskonzept	15
2.4.2 Hypothesen der linearen Schadensakkumulation	16
3 Elektromagnetisch erregte Schwingungen	19
3.1 Physikalische Beschreibung elektromagnetischer Kräfte	19
3.1.1 Berechnung elektromagnetischer Kräfte	20
3.1.2 Analytische Beschreibung der Zugspannungswellen	22
3.2 Implementation elektromagnetischer Kräfte	24
3.2.1 Modale Kräfte	24
3.2.2 Anwendung am N -Massen-Schwinger	25
3.2.3 Ergebnisse am N -Massen-Schwinger	27
3.3 Implementation der Kräfte in ein Maschinenmodell	30
3.3.1 Berechnung elektromagnetischer Kräfte im Luftspalt	31
3.3.2 Modellierung des elastischen Mehrkörpersystems	31

3.3.3	Implementation der berechneten Kräfte	32
3.3.4	Prüfaufbau	33
3.3.5	Vergleich von Messung und Berechnung	34
3.4	Ergebnis	38
4	Rotor-Lager-Schwingungen	39
4.1	Modellbildung des Rotor-Lager-Systems	43
4.2	Lösen der Systemgleichung im Frequenzbereich	47
4.2.1	Harmonische Balance-Methode	47
4.2.2	Ergebnis der harmonischen Balance-Methode	52
4.2.3	Einflussanalyse	54
4.2.4	Höher Harmonische Balance-Methode	56
4.2.5	Ergebnis der höher harmonischen Balance-Methode	58
4.3	Lösen der Systemgleichungen im Zeitbereich	65
4.3.1	Erweiterte Dämpfungsbetrachtung	65
4.3.2	Ergebnis	66
4.4	Parameterabgleich und Vergleich mit Messwerten	70
4.4.1	Messaufbau und Durchführung	71
4.4.2	Ergebnis der Messung	72
4.4.3	Abgleich der Berechnungsparameter	74
4.5	Ergebnis	75
5	Schwingungen der Anbauposition	79
5.1	Fahrzeugmessung im Standardlastfall	79
5.2	Fahrzeugmessung im Sonderlastfall	83
5.2.1	Autobahnfahrt	83
5.2.2	Beschleunigungsfahrt	84
5.2.3	Schlechtwegstrecken	85
5.3	Kombination der Lastfälle	87
5.4	Normprofil elektrischer Komponenten im Kraftfahrzeug	89
5.4.1	Quantitativer Vergleich	90
5.4.2	Qualitativer Vergleich	91
5.5	Ergebnis	95

6	Zur Betriebsfestigkeit der elektrischen Maschine und deren Erprobung	97
6.1	Einfluss elektromagnetischer Kräfte	97
6.2	Einfluss axialer Rotor-Lager-Schwingungen	98
6.2.1	Axiale Rotor-Lager-Schwingungen im Fahrzeug	98
6.2.2	Axiale Rotor-Lager-Schwingungen im Normprofil	101
6.3	Vergleich dynamischer Belastungen	103
6.3.1	Vergleichsmethode	103
6.3.2	Fahrzeug und Normprofil: Auswirkungen auf die Belastung	104
6.3.3	Bedeutung des Vergleichs für die Definition des Normprofils	106
6.4	Maßnahmen zur Reduktion der Belastung	107
6.5	Lebensdauer der elektrischen Maschine	109
7	Ergebnis und Ausblick	113
	Literaturverzeichnis	117