

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XVII
Formelzeichen	XIX
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>3</b>
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
<b>3 Elektromagnetisch erregte Schwingungen</b>	<b>19</b>
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
<b>4</b>	<b>Rotor-Lager-Schwingungen</b>	<b>39</b>
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
<b>5</b>	<b>Schwingungen der Anbauposition</b>	<b>79</b>
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

---

<b>6</b>	<b>Zur Betriebsfestigkeit der elektrischen Maschine und deren Erprobung</b>	<b>97</b>
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
<b>7</b>	<b>Ergebnis und Ausblick</b>	<b>113</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>117</b>

Zur Betriebsfestigkeit elektrischer Maschinen in  
Elektro- und Hybridfahrzeugen

Henger, M.

2013, XX, 123 S. 67 Abb., 5 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-00706-5