

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichenkonvention</b>	<b>XIII</b>
<b>Formelzeichenverzeichnis</b>	<b>XIV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Stand der Wissenschaft und Technik . . . . .	2
1.2 Abgrenzung und Zielsetzung der Dissertation . . . . .	5
<b>2 Das Luftspaltfeld elektrischer Synchronmaschinen</b>	<b>7</b>
2.1 Strombelagswellen der Statorwicklung . . . . .	9
2.2 Wicklungsfaktor . . . . .	10
2.3 Leitwertwellen des Luftspalts . . . . .	11
2.4 Flussdichtewellen . . . . .	13
2.5 Einfluss der Schrägung . . . . .	15
<b>3 Drehmomentbildung und Geräuschberechnung elektrischer Maschinen</b>	<b>17</b>
3.1 Maxwell'sche Grenzflächenkräfte und Zugspannungswellen . . . . .	17
3.2 Drehmomentbildung . . . . .	19
3.3 Geräuschberechnung elektrischer Maschinen . . . . .	21
3.3.1 Strukturdynamische Modellierung . . . . .	22
3.3.2 Kopplung von elektromagnetischer und strukturdynamischer Domäne . . . . .	28
3.3.3 Akustische Modellierung . . . . .	30
<b>4 Modifikation der Maschinengeometrie zur Beeinflussung des Luftspaltfelds</b>	<b>33</b>
4.1 Bewertungsgrößen für Luftspaltfelder . . . . .	33
4.2 Vorstellung der Referenzgeometrie . . . . .	34
4.3 Modifikation der Rotorgeometrie . . . . .	36
4.3.1 Sinuspolaußenkontur . . . . .	37
4.3.2 Zusätzliche Einzelflussperren . . . . .	40
4.3.3 Sinuskavitäten . . . . .	45
4.3.4 Rotorpolweitenmodulation . . . . .	54
4.3.5 Bewertung der Rotormodifikationen . . . . .	67
4.4 Modifikation der Statorgeometrie . . . . .	68
4.4.1 Tangentiale Variation der Nutschlitze . . . . .	68
4.4.2 Axiale Variation der Nutschlitze . . . . .	83

4.4.3	Bewertung der Statormodifikationen . . . . .	90
<b>5</b>	<b>Einfluss der Modifikation der Blechschnitte auf das Maschinenverhalten</b>	<b>93</b>
5.1	Maschinenverhalten im Leerlauf . . . . .	95
5.1.1	Rotormodifikationen . . . . .	95
5.1.2	Statormodifikationen . . . . .	97
5.2	Drehmoment und Pendelmomente im Lastbetrieb . . . . .	100
5.2.1	Rotormodifikationen . . . . .	101
5.2.2	Statormodifikationen . . . . .	105
5.3	Oberflächenschwingungen und abgestrahlter Schalldruckpegel . . . . .	114
5.3.1	Referenzmaschine . . . . .	114
5.3.2	Rotormodifikationen . . . . .	118
5.3.3	Axiale Nutschlitzmodulation . . . . .	123
5.4	Verluste und Wirkungsgrad . . . . .	128
5.5	Bewertung der Modifikationen . . . . .	134
<b>6</b>	<b>Messtechnische Validierung</b>	<b>137</b>
6.1	Aufbau des Prüfstands . . . . .	137
6.2	Vergleich von Messung und Vorausberechnung . . . . .	138
6.2.1	Induzierte Spannung im Leerlauf . . . . .	139
6.2.2	Grenzkennlinie . . . . .	141
6.2.3	Wirkungsgrad im gesamten Betriebsbereich . . . . .	146
6.2.4	Oberflächenschnelle . . . . .	149
<b>7</b>	<b>Kombination von Stator- und Rotormodifikationen</b>	<b>155</b>
7.1	Leerlauf . . . . .	157
7.2	Drehmomentverhalten im Lastbetrieb . . . . .	158
7.3	Wirkungsgrad . . . . .	161
7.4	Geräuschanalyse . . . . .	163
7.5	Bewertung der modifizierten Maschine . . . . .	166
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>169</b>
<b>A</b>	<b>Maschinendaten</b>	<b>173</b>
A.1	Maschinendaten der Referenzmaschine . . . . .	173
A.2	Parameter für einen Rotor mit Sinuskavitäten . . . . .	174
A.3	Maschinendaten der Prototypen . . . . .	174
<b>B</b>	<b>Simulationsergebnisse und Modifikationsansätze</b>	<b>175</b>
B.1	Einfluss der tangentialen Nutschlitzmodulation . . . . .	175
B.2	Akustisches Verhalten im Hochlauf . . . . .	178
B.3	Einfluss der Modifikationen auf die Wirbelstromverluste in den Permanentmagneten . . . . .	179
B.4	Kombination von Stator- und Rotormodifikationen und Vergleich mit einer gestaffelten Maschine . . . . .	179

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	<b>XI</b>
<b>C Messtechnische Validierung</b>	<b>181</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>183</b>