

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Formelverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzungen	1
1.2 Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen	4
2.1 Permanentmagneterregte Synchronmaschine (PSM)	4
2.1.1 Aufbau und Funktionsweise eines Permanentmagnetrotors	4
2.1.2 Technologische Anforderungen an Permanentmagnetrotoren elektrischer Traktionsantriebe	6
2.2 Unwucht	8
2.2.1 Arten von Unwuchten	9
2.2.2 Zulässige Unwucht	14
2.2.3 Auswuchtprozess	16
2.2.4 Zulässige Unwuchtänderung	19
3 Stand der Forschung und Technik	22
3.1 Auslegung und Konstruktion von Permanentmagnetrotoren	22
3.2 Unwuchtbeiträge in der Produktion von Permanentmagnetrotoren	26
3.2.1 Wellenfertigung	26
3.2.2 Blechpaketherstellung	27
3.2.3 Magnetherstellung	29
3.2.4 Magnetmontage und -fixierung	30
3.2.5 Welle-Nabe-Verbindung	32
3.2.6 Auswuchten	33
3.2.7 Magnetisieren	34
3.3 Unwuchtänderungen im Betrieb von Permanentmagnetrotoren	35
3.3.1 Belastung des Rotorblechpakets	35
3.3.2 Mögliche Verformungen und Relativbewegungen	37

3.3.3	Maßnahmen zur Reduzierung von Unwuchtänderungen	45
3.4	Forschungsbedarf	49
<b>4</b>	<b>Zielsetzungen und Vorgehensweise</b>	<b>51</b>
4.1	Verständnis im Betrieb auftretender Unwuchtänderungen	51
4.2	Reduzierung im Betrieb auftretender Unwuchtänderungen	52
4.3	Vorgehensweise	53
4.3.1	Priorisierung erwarteter Unwuchtänderungen (Forschungsfrage 1)	53
4.3.2	Validierung auftretender Unwuchtänderungen (Forschungsfrage 2)	54
4.3.3	Maßnahmen zur Reduzierung im Betrieb auftretender Unwuchtänderungen (Forschungsfrage 3)	55
<b>5</b>	<b>Priorisierung erwarteter Unwuchtänderungen</b>	<b>56</b>
5.1	Definition produkt- und prozesseitiger Randbedingungen	56
5.2	Identifikation zu erwartender Verformungen und Relativbewegungen	59
5.2.1	Analyse erwarteter Fertigungsabweichungen	60
5.2.2	Analyse erwarteter Montageabweichungen	62
5.2.3	Ableitung erwarteter Verformungen und Relativbewegungen	64
5.3	Quantifizierung erwarteter Verformungen und Relativbewegungen	65
5.3.1	Rotorwelle	65
5.3.2	Blechpaket	66
5.3.3	Magnete	68
5.3.4	Magnetfixierung	69
5.3.5	Wuchtscheibe	69
5.3.6	Zugstab	70
5.4	Bewertung zu erwartender Unwuchtänderungen	70
5.4.1	Modellierung möglicher Unwuchtänderungen	71
5.4.2	Numerische Versuchsplanung	72
5.4.3	Ergebnisse des numerischen Versuchsplans	74
5.5	Zusammenfassung	76
<b>6</b>	<b>Validierung auftretender Unwuchtänderungen</b>	<b>77</b>

---

6.1	Auslegung einer Referenzgeometrie	77
6.2	Zielsetzungen, Messgrößen und Belastungsparameter der experimentellen Validierung	82
6.3	Aufbau eines Schleuderprüfstands	83
6.3.1	Anforderungen und Funktionsstruktur	84
6.3.2	Konstruktive Umsetzung	85
6.3.3	Steuerungstechnische Umsetzung	88
6.3.4	Aufbau und Inbetriebnahme	89
6.3.5	Bewertung von Messunsicherheiten	90
6.4	Bewertung von Fertigungsabweichungen	93
6.4.1	Wellen	93
6.4.2	Blechpakete	94
6.4.3	Magnete	101
6.5	Bewertung von Montageabweichungen	101
6.5.1	Magnetmontage	102
6.5.2	Schrumpfprozess des Blechpakets auf die Welle	103
6.6	Bewertung von Verformungen und Relativbewegungen	108
6.6.1	Blechpaket ohne Magnettaschen	109
6.6.2	Zwei Blechpakete ohne Magnettaschen	115
6.6.3	Blechpaket mit Magneten	117
6.6.4	Einfluss einer Temperaturbelastung	121
6.7	Schleuderversuche an industriell hergestellten Blechpaketen	123
6.7.1	Blechpaket mit Single-Stack-Molding	124
6.7.2	Blechpaket mit federnder Magnetfixierung	126
6.8	Zusammenfassung	128
<b>7</b>	<b>Maßnahmen zur Reduzierung von Unwuchtänderungen</b>	<b>133</b>
7.1	Handlungsfelder entlang der Auslegung und Produktion von PM-Rotoren	133
7.2	Methodik zur Identifikation der Ursachen von Unwuchtänderungen	135
7.3	Adaptiver Schleuderprozess	136
7.4	Planlaufminimale Montage	141

7.5	Konstruktive Anpassungen	144
7.6	Proof-of-Concept eines neuartigen Leichtbaurotors	147
7.7	Zusammenfassung	149
8	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>151</b>
8.1	Zusammenfassung	151
8.2	Ausblick	152
9	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>153</b>
	<b>Publikationsliste</b>	<b>I</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XIV</b>
	<b>Anhang</b>	<b>XVI</b>