

# Inhaltsverzeichnis

<b>VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN UND SYMBOLE.....</b>	<b>XIII</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2 STAND DER FORSCHUNG .....</b>	<b>3</b>
2.1 Elektrische Antriebe in der Automobilindustrie.....	3
2.2 Prozesskette zur Fertigung eines Stators mit Hairpinwicklung .....	5
2.3 Laserstrahlschweißen von Kupfer.....	10
2.4 Laserstrahlschweißen von Hairpinwicklungen .....	18
2.5 Qualitätsmerkmale und Prüftechnik .....	20
2.5.1 Zerstörungsfreie Prüftechnik .....	21
2.5.2 Zerstörende Prüftechnik .....	23
<b>3 ABLEITUNG DER ZIELSTELLUNG.....</b>	<b>25</b>
3.1 Zusammenfassung des Forschungsstandes und Ableitung der Forschungsfragen.....	25
3.2 Struktur der Arbeit.....	27
<b>4 EXPERIMENTELLES VORGEHEN.....</b>	<b>31</b>
4.1 Werkstoffe.....	31
4.2 Laserstrahlschweißen .....	32
4.2.1 Zentraler Versuchsaufbau .....	32
4.2.2 Ersatzmodell: Einzelne Hairpinpaare .....	34
4.2.3 Initialer Parametersatz .....	35
4.2.4 Vergleichsparametersatz .....	36
4.3 Analyseverfahren.....	38
4.3.1 Prozessbegleitende Röntgenbildgebung.....	38
4.3.2 Trägergasheißextraktion .....	40
4.3.3 Thermografie.....	41
4.3.4 Schwingungsprüfung.....	41

4.4 Qualitätsmerkmale der Hairpin-Schweißverbindung .....	42
4.5 Statistische Versuchsplanung .....	42
<b>5 QUALIFIZIERUNG DER PRÜFMETHODEN.....</b>	<b>47</b>
5.1 Prüfmethode für abisolierte Leiterenden.....	47
5.2 Röntgen-Computertomographie .....	51
5.2.1 Aufbau und Anordnung .....	52
5.2.2 Analysemethode .....	53
5.3 Prozessbegleitende Prüfmethoden .....	56
5.3.1 Versuchsaufbau.....	56
5.3.2 Methode zur Bildverarbeitung mit der Hochgeschwindigkeitskamera .....	57
5.3.3 Methode zur Auswertung akustischer Signale .....	59
5.3.4 Ergebnisse der prozessbegleitenden Prüfmethoden .....	61
5.4 Diskussion und Bewertung der Prüfmethoden im Kontext der Prozessentwicklung und Serienfertigung.....	65
<b>6 FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN .....</b>	<b>69</b>
6.1 Beschreibung von Grenzmustern .....	69
6.2 Thermische Anforderungen .....	71
6.3 Anforderungen der Schwingfestigkeit.....	73
6.3.1 Schwingversuch am Stator .....	73
6.3.2 Schwingversuch am einzelnen Hairpinpaar.....	83
6.4 Anforderung an die Spritzerbildung .....	87
6.5 Diskussion und Zusammenfassung zur Definition der Qualitätsmerkmale .....	88
<b>7 PROZESSEINFLÜSSE.....</b>	<b>91</b>
7.1 Randbedingungen des Schweißprozesses .....	91
7.1.1 Übersicht der Parameter des Schweißprozesses .....	91
7.1.2 Charakterisierung des Schweißprozesses.....	95

7.1.3	Randbedingungen und Grenzen der Anlagentechnik.....	97
7.2	Untersuchungen zu Faktoren mit Effekt auf die Anbindungsfläche....	101
7.3	Untersuchungen zu Faktoren mit Effekt auf die Porosität.....	107
7.3.1	Prozessporen.....	110
7.3.2	Metallurgische Poren .....	115
7.4	Untersuchungen zu Faktoren mit Effekt auf die Spritzeranzahl .....	120
7.5	Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Untersuchung der Prozesseinflüsse .....	124
7.5.1	Einordnung der Versuchsergebnisse .....	124
7.5.2	Bewertung hinsichtlich der Übertragbarkeit vorgestellter Ergebnisse im Kontext der Serienfertigung.....	127
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>	<b>131</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>135</b>	
<b>PUBLIKATIONEN .....</b>	<b>149</b>	
<b>BETREUTE STUDENTISCHE ARBEITEN .....</b>	<b>151</b>	
<b>ANHANG .....</b>	<b>153</b>	