

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	vii
1. Einleitung	1
2. Grundlagen	5
2.1. Werkstoff Elektroband	5
2.2. Weichmagnetisches Verhalten von Elektroband	8
2.2.1. Makroskopisch messbares Materialverhalten	8
2.2.2. Atomarer Magnetismus	10
2.2.3. Mikrostruktur von Elektroband	16
2.2.4. Magnetisierungsprozess	20
2.2.5. Eisenverluste	25
2.3. Mechanische Spannungen in rotierenden elektrischen Maschinen	30
2.3.1. Statische mechanische Belastungen	30
2.3.2. Dynamische mechanische Belastungen	31
3. Magnetische Messtechnik	37
3.1. Sensoren zur Messung magnetischer Feldgrößen	37
3.1.1. Magnetische Feldstärke	37
3.1.2. Magnetische Flussdichte	41
3.2. Sensoren zur Charakterisierung von Elektroband	45
3.2.1. Epstein-Rahmen	45
3.2.2. Single Sheet Tester	47
3.2.3. Zug-Druck Single Sheet Tester	49
3.2.4. Single Sheet Tester für rotierende Magnetisierungen .	51
3.2.5. Zug-Druck Single Sheet Tester für rotierende Magne- tisierungen	54
3.3. Neuartiger Zug-Druck Single Sheet Tester mit drehbarem Joch	56
4. Messtechnische Charakterisierung des Villari-Effekts	65
4.1. Magneto-Mechanische Vektor-Hysteresse Messungen	65
4.2. Unidirektionale Messungen des Villari-Effekts bei Drehung des Magnetisierungsjochs	67

4.3. Analyse und Bewertung	73
5. Kopplung des Villari-Effekts mit mikrostrukturellen Materialparametern	81
5.1. Betrachtete mikrostrukturelle Materialparameter	82
5.1.1. Korngröße	83
5.1.2. Legierung	85
5.1.3. Blechdicke	86
5.2. Korrelation Magnetischer Messungen mit mikrostrukturellen Materialparametern	87
5.2.1. Mikrostruktur der unterschiedlichen betrachteten Elektrobandgüten	87
5.2.2. Messpunkte Magneto-Mechanischer Charakterisierung	88
5.2.3. Messergebnisse	91
5.3. Fazit	95
6. Weichmagnetische Materialmodellierung	103
6.1. Magnetisierungsmodellierung	103
6.1.1. Skalare Standardformulierung	103
6.1.2. Eindimensionales Magneto-Mechanisches Magnetisierungsmodell	104
6.1.3. Entwickeltes vektorielles Magnetisierungsmodell	104
6.2. Eisenverlustmodellierung	107
6.2.1. Eindimensionale Magneto-Mechanische Eisenverlustformulierung	107
6.2.2. Pragmatische Erweiterung auf reale Feldortskurven	108
6.2.3. Vektorielle Erweiterung der IEM Eisenverlustformulierung	109
6.2.4. Zweidimensionale Eisenverlustberechnung unter Berücksichtigung des Villari-Effekts	113
7. FE-Simulation einer PMSM unter Berücksichtigung des zweidimensionalen Villari-Effekts	123
7.1. Simulationskette	123
7.2. Strukturdynamische Simulation	124
7.3. Magnetische Simulation	130
7.3.1. Simulation der magnetischen Flussdichteverteilung	131
7.3.2. Einsatz des entwickelten vektoriellen Magneto-Mechanischen Eisenverlustmodells im Post-Processing	134

8. Gezielte Nutzung von Eigenspannungen im magnetischen Kreis elektrischer Maschinen	139
8.1. Mechanische Eigenspannungen	140
8.2. Auswirkung prägungsinduzierter mechanischer Eigenspannungen auf die Magnetisierbarkeit von Elektrobänd	141
8.2.1. Vermessung homogen geprägter Proben	148
8.2.2. Überlagerung von prägungsinduzierten Eigenspannungen mit extern angelegten Kräften	149
8.2.3. Bewertung der Nutzung von Eigenspannungen zur magnetischen Flussführung	153
9. Zusammenfassung und Ausblick	155
A. Mechanische Spannungen	161
1.1. Mechanische Spannungsformen	161
1.2. Allgemeiner und zweidimensionaler Spannungszustand	163
1.3. <i>Mohr'scher</i> Spannungskreis	165
1.4. Mechanischer Verformungszustand	168
1.5. Festigkeitslehre	169
B. Aktueller Stand der vektoriellen Charakterisierung bei zweidimensionalen Spannungszuständen	177
2.1. Charakterisierung des <i>Villari</i> -Effekts am sechsschenkligem ZD-RSST	177
2.2. Charakterisierung des <i>Villari</i> -Effekts bei unidirektionalen Magnetisierungen am vierschenkligem ZD-RSST	181
C. Mechanische Materialparameter	189
3.1. Mischungsregel	189
3.2. Randbedingungen	194
3.3. Kontaktbedingungen	195
3.4. Vernetzung von mechanischem Modell	197
Eigene Veröffentlichungen	203
Betreute Abschlussarbeiten	205
Lebenslauf	207