

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Kurzfassung	II
Abstract.....	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
Symbolverzeichnis.....	VI
1 Einleitung.....	12
1.1 Motivation und Ziel dieser Arbeit.....	13
1.2 Historie.....	17
1.3 Stand der Technik	19
1.3.1 Entwickelte Radnabenmaschinen	19
1.3.2 Geschaltete Reluktanzmaschinen in Zentral-Traktionsantrieben	28
1.3.3 Vergleich aktuell verbreiteter Traktionsmaschinen-Technologien	31
2 Aufbau und Funktionsprinzip der Geschalteten Reluktanzmaschine	34
2.1 Aufbau und Wirkungsweise.....	34
2.1.1 Reluktanz	34
2.1.2 Reluktanzkraft	35
2.1.3 Bauweise.....	36
2.2 Energieumsatz und Drehmoment-Entwicklung.....	42
2.2.1 Drehmomentgleichung	50
2.3 Grundlegende Umrichtertopologien und deren Steuerungsverfahren	53
2.3.1 Halbgesteuerte H4-Brücken-Topologie.....	53
2.3.2 C- Dump Topologie.....	56
3 Forschungsprojekt SR4Wheel.....	60
3.1 Idee des Felgenantriebes und der Fahrzeugintegration.....	60
3.2 Projektübersicht und Forschungsinhalt.....	63
3.3 Festlegung von zu erreichenden Zielgrößen / Lastenheft	67
4 Machbarkeitsstudie und Voruntersuchungen // Evo 0	70
4.1 Konzeption, Konstruktion und Ausführung.....	74
4.1.1 Elektromagnetische Auslegung	75
4.1.2 Prototypische Leistungselektronik & Maschinensteuerung.....	86
4.1.3 Mechanische Konstruktion	89

4.1.4	Ausführung	90
4.2	Validation der FEM-Simulation	92
4.2.1	Statische Vermessung der Maschine	94
4.2.2	Dynamische Vermessung der Maschine.....	97
4.3	Verifikation des mechanischen / elektrischen / thermischen Konzeptes	102
5	Software-Tools zur ganzheitlichen Entwicklung einer RN-SRM.....	106
5.1	Entwicklung eines Mehrkörper-Temperaturmodells in MATLAB Simulink	106
5.1.1	Konzeption und Entwicklung.....	106
5.1.2	Validierung mittels realer Messergebnisse.....	115
5.1.3	Verwendung zur thermischen Auslegung der Maschine.....	116
5.2	Entwicklung eines Maschinenmodells auf Basis von MATLAB-Simulink ..	118
5.2.1	Problemstellung der FEM-Simulation.....	118
5.2.2	Konzeption und Entwicklung.....	119
5.2.3	Validierung des Modells durch Vergleich mit der FEM-Simulation	124
5.2.4	Zeiteffiziente Untersuchung bestehender Maschinen-Geometrien	127
6	Entwicklung einer bauraumneutralen getriebelosen RN-SRM // Evo I.....	130
6.1	Konzeption der integrierten Leistungselektronik.....	130
6.1.1	Power Electronic Module // PEM.....	131
6.1.2	Switched Reluctance Motor Control Unit // SRMCU	138
6.2	Elektromagnetisches Design	143
6.3	Mechanisches Design.....	153
6.4	Fertigungsverfahren	162
6.5	Prüfstands-Vermessung und Validation der Simulationsergebnisse	164
6.6	Installation und Inbetriebnahme im Fahrzeug	167
7	Weiterentwicklung der RN-SRM zum Verbau auf der Vorderachse // Evo 2	170
7.1	Elektromagnetisches Design	170
7.2	Mechanisches Design.....	172
7.3	Fertigung, Inbetriebnahme & Installation im Fahrzeug.....	176
8	Systemüberblick	182
8.1	Hochvolt-Topologie.....	182
8.2	Steuergeräte-Topologie.....	184
8.3	Implementierte Fahrdynamik-Algorithmen der eTCM	186
9	Validierung und Evaluierung grundlegender Funktionen.....	192

9.1	Überprüfung auf Erfüllung der definierten Ziele.....	192
9.2	Versuchs- sowie Applikationsfahrten	195
9.2.1	Effizienz-Vermessung sowie Verbesserungsansätze.....	195
9.2.2	Applikation Schlupfkontrolle	200
9.2.3	Applikation Torque-Vectoring	202
10	NVH-Verhalten der Radnaben-SRM	208
10.1	Geräuschübertragungspfade der SRM	208
10.2	Unterschiedliche Möglichkeiten der Akustik-Einflussnahme.....	215
10.2.1	Möglichkeiten des Hardware Designs	215
10.2.2	Möglichkeiten des Software Designs.....	220
10.3	Validation des Single-Pulse Betriebes durch Akustik-Vermessung	226
10.4	Übersicht über die Wirksamkeit der Maßnahmen.....	228
11	Ergebnis des Forschungsprojektes SR4Wheel.....	230
11.1	Fazit der Forschung	230
11.2	Ansätze zur Weiterentwicklung	232
11.2.1	Analyse des potentiellen Zielmarktes	232
11.2.2	Mechanische und elektrische Weiterentwicklungsansätze	234
11.2.3	Kostenanalyse eines Antriebsstranges in Vorserie	242
12	Zusammenfassung und Ausblick	244
A	Abbildungsverzeichnis	I
B	Tabellenverzeichnis	VIII
C	Literaturverzeichnis	X
Anhang.....		XIV
Lebenslauf		XXV
Aufstellung der Publikationen im Projekt-Kontext.....		XXVII
Weitere Publikationen		XXVII
Liste aller Veröffentlichungen (inkl. Print- und Digital-Medien).....		XXVIII
Aufstellung der betreuten Abschlussarbeiten		XXXI