

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ziele und Forschungsfragen	1
1.2	Motivation und Einordnung in einen globalen Kontext	2
1.3	Struktur, Inhalte und Vorgehen der Arbeit	4
2	Hardwaretechnologien zur Steigerung von Effizienz und Leistungsdichte	7
2.1	Definition von Leistungsdichte und Effizienz	8
2.1.1	Leistungsdichte	8
2.1.2	Effizienz	9
2.1.3	Ableitung allgemeiner Einflussgrößen	10
2.2	Siliziumkarbidleistungshalbleiter	13
2.2.1	Stand der Technik, Forschung und Anwendung	14
2.2.2	Allgemeine Bauteileigenschaften von SiC-MOSFETs	16
2.2.3	Gegenüberstellung von SiC-MOSFET und Si-IGBT	26
2.2.4	Abgrenzung gegenüber GaN-Leistungshalbleitern	28
2.2.5	Übersicht und Vergleich aktueller SiC-MOSFET-Bau- elemente	31
2.2.6	Zwischenfazit zu SiC-MOSFETs	38
2.3	Kompakte Stromsensorik	39
2.3.1	Bekanntes Messverfahren	39
2.3.2	Bauformen besonders kompakter kommerzieller Strom- sensoren	41
2.3.3	Messprinzip der Rogowskispule	42
2.3.4	Anordnung zur Messung von Gleichstromanteilen	44
2.3.5	Realisierung von Rogowskispulen auf Platinenmaterial	46
2.3.6	Auswertung von ersten Messungen	46
2.3.7	Bewertung und Ausblick	48

2.4	Schaltungstopologien mit zeitlich versetzt angesteuerten Halbbrücken	49
2.4.1	Stand der Technik unterschiedlicher Interleaving-Verfahren	50
2.4.2	Interleaved-Betrieb mit individuellen Glättungsinduktivitäten	52
2.4.3	Interleaved-Betrieb mit gekoppelten Glättungsinduktivitäten	56
2.4.4	du/dt -Filterung mit parallelen Halbbrücken	61
2.4.5	Pulsmusterverschiebung beim Betrieb von mehrphasigen elektrischen Maschinen	65
2.4.6	Gemeinsame Bewertung der versetzt angesteuerten Schaltungstopologien	72
2.5	Intelligente Treiberelektronik	73
2.5.1	Stand der Technik von intelligenten Gatetreiberschaltungskonzepten	74
2.5.2	Entwurf eines Systems mit intelligenten Treiberstufen	76
2.5.3	Mögliche Eigenschaften und Vorteile	77
2.5.4	Herausforderungen	80
2.5.5	Bewertung	80
2.6	Zusammenfassung der untersuchten und entwickelten Technologien	81
3	Strukturelle und methodische Ansätze	83
3.1	Spannung des Hochvoltbordnetzes	84
3.1.1	Stand der Technik	84
3.1.2	Einfluss der Bordnetzspannung auf die Leistungsdichte leistungselektronischer Wandler	85
3.1.3	Stand der Normung	90
3.1.4	Vorschlag einer Bordnetzstruktur	91
3.1.5	Wahl einer optimalen Bordnetzspannung	93
3.1.6	Bewertung	94
3.2	Systementwurf auf der Grundlage von Funktionsmodulen	95
3.2.1	Stand der Technik	95
3.2.2	Mögliche Synergieeffekte	96
3.2.3	Fahrzeuginnenbordnetz bestehend aus Funktionsmodulen	97
3.2.4	Mögliche Ausführung der Funktionsmodule	98
3.2.5	Bewertung	100

3.3	Methoden zur Verlustleistungsberechnung	100
3.3.1	Bekannte Methoden	101
3.3.2	Neue hybride Berechnungsmethode	104
3.3.3	Zusammenfassung und Bewertung	110
3.4	Messtechnische Bestimmung verlustrelevanter Bauteilparameter	111
3.4.1	Stand der Technik	111
3.4.2	Vermessung von Durchlasseigenschaften	112
3.4.3	Doppelpulsversuch zur Vermessung von Schalteigenschaften	112
3.4.4	Durchführung von Doppelpulsen in der Anwendung	114
3.4.5	Herausforderungen	115
3.4.6	Optimierung der Doppelpulsmessung bei Verwendung einer Rogowskispule	116
3.4.7	Bewertung dieser Messmethode	120
3.4.8	Indirekte Messmethode zur Bestimmung von Schaltverlusten	122
3.5	Zusammenfassung der strukturellen und methodischen Ansätze	124
4	Validierung der technologischen Ansätze in ausgewählten Fahrzeugkomponenten	125
4.1	Bidirektionaler Gleichstromsteller	126
4.1.1	Zielsetzung	127
4.1.2	Topologieauswahl	128
4.1.3	Verlustleistungsberechnung	129
4.1.4	Aufbau des Prototyps	131
4.1.5	Inbetriebnahme, Messergebnisse und Analyse	136
4.1.6	Vergleich mit anderen entwickelten Wandlern	140
4.1.7	Zusammenfassung und Bewertung	143
4.2	Trafoloses Schnellladegerät	144
4.2.1	Zielsetzung	144
4.2.2	Entwicklung der Schaltungstopologie	145
4.2.3	Auslegung und Entwurf des Prototypen	149
4.2.4	Inbetriebnahme, Messergebnisse und Analyse	153
4.2.5	Vergleich mit kommerziellen Ladegeräten	160
4.2.6	Zusammenfassung und Bewertung	161
4.3	Antriebswechselrichter	162
4.3.1	Zielsetzung	163

4.3.2	Auslegung und Verlustleistungsberechnung	163
4.3.3	Konstruktion des Demonstrators	171
4.3.4	Messergebnisse und Analyse	178
4.3.5	Vergleich mit anderen Aufbauten	186
4.3.6	Bewertung	187
5	Bewertung der untersuchten Optimierungsansätze	189
5.1	Einzelbewertungen	189
5.1.1	Siliziumkarbidleistungshalbleiter	189
5.1.2	Kompakte Stromsensorik	190
5.1.3	Intelligente Treiberelektronik	191
5.1.4	Interleaved-Betrieb mit individuellen Glättungsinduktivitäten	192
5.1.5	Interleaved-Betrieb mit gekoppelten Glättungsinduktivitäten	193
5.1.6	Spannungslage und Bordnetztopologie	193
5.1.7	Verlustleistungsberechnung	194
5.2	Bewertung der untersuchten Technologien im Zusammenspiel .	195
5.2.1	Kompakte Strommessung und intelligente Treiber . . .	195
5.2.2	Intelligente Treiber für SiC-Leistungshalbleiter	195
5.2.3	Intelligente Treiber und kompakte Strommessung für Interleaved-Technologien	196
5.2.4	SiC-Leistungshalbleiter und Interleaved-Technologien . .	196
5.2.5	Verlustleistungsberechnungsmethode und SiC-Leistungshalbleiter	197
5.2.6	Verlustleistungsberechnungsmethode und Interleaved-Schaltungen mit gekoppelten Glättungsinduktivitäten	197
5.2.7	Einsatz der Optimierungsansätze in modularer Struktur	198
5.3	Zusammenfassung der Bewertungen	198
6	Zusammenfassung und Ausblick	199
	Literatur	203
	Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Indizes	225
	Lebenslauf	231