

Inhaltsverzeichnis

Disclaimer	i
Vorwort	ii
Zusammenfassung	iii
Abstract	iv
Inhaltsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	xi
Symbolverzeichnis	xi
Gliederung der Arbeit	xviii
1 Einleitung und Motivation	1
1.1 Motivation für die Entwicklung rein elektrisch angetriebener Fahrzeuge	2
1.1.1 Globale gesetzliche Rahmenbedingungen	2
1.1.2 Globale wirtschaftliche Rahmenbedingungen	5
1.1.3 Wettbewerb	7
1.2 Herausforderungen bei der Entwicklung von rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen	8
1.2.1 Reichweite	8
1.2.2 Laden und Vorkonditionieren	9
1.2.3 Wirtschaftlichkeit	11
1.2.4 Insassenkomfort	12
1.3 Zielsetzung der Arbeit	13
2 Qualitative Systemanalyse	15
2.1 Grundlagen der Wärmeübertragung in Fahrzeugen	15
2.1.1 Reine Wärmeleitung (Konduktion)	16
2.1.2 Konvektiver Wärmeübergang	20
2.1.3 Wärmeübergang in Verbindung mit Phasenwechseln	21
2.1.4 Wärmedurchgang	22
2.1.5 Wärmestrahlung	23

2.2	Energiewandler in rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen	25
2.2.1	Energiewandlung/Energiewandlungsketten	25
2.2.2	Thermische Bilanzierung von Systemen	30
2.3	Systeme zur thermischen Konditionierung in rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen	32
2.3.1	Temperaturniveaus/-grenzen	32
2.3.2	Passive Systeme zum Kühlen	33
2.3.3	Aktive Systeme zum Heizen und Kühlen	34
2.3.4	Kreislauftopologien	37
2.3.5	Steuer- und Regelsysteme zur thermischen Konditionierung	39
2.4	Thermische Speicher und Senken in rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen	40
2.4.1	Traktionsbatterie	40
2.4.2	Elektrische Maschine	41
2.4.3	Fahrgastraum	42
3	Lösungsansatz und methodisches Vorgehen	43
3.1	Struktureller Lösungsansatz	43
3.2	Methodischer Lösungsansatz	44
3.2.1	Gekoppelte Gesamtfahrzeugsimulation	44
3.2.2	Eingesetzte numerische Optimierungsverfahren	47
3.3	Bewertungsmethodik	48
3.3.1	Definition repräsentativer Lastprofile für Grenzbetriebsbetrachtungen	49
3.3.2	Definition repräsentativer Lastprofile für kundenrelevanten Betrieb	52
3.3.3	Definition relevanter Bilanzräume und -grenzen	56
3.3.4	Ansatz zur ganzheitlichen Systembewertung mittels Systemleistungsindex	60
4	Aufbau und Validierung der Gesamtfahrzeugsimulation	69
4.1	Komponenten und Systeme	70
4.1.1	Pulswechselrichter	70
4.1.2	Elektrische Maschine	71
4.1.3	Validierung des E-Antriebs-Moduls	72
4.1.4	Traktionsbatterie	74
4.1.5	Getriebe / Differential / Antriebswellen	76
4.1.6	Ladegerät	76
4.1.7	Niedervolt-Bordnetz und DCDC-Wandler	77
4.1.8	Fahrgastraum	78
4.2	Fluidkreisläufe	81
4.2.1	Motorkreislauf und Kühlluftpfad	82
4.2.2	Heiz-/Batteriekreislauf	84
4.2.3	Kältemittelkreislauf	86
4.3	Gesamtfahrzeug	86
4.3.1	Fahrwiderstandsdefinierende Parameter	86

4.3.2	Rekuperationsstrategie	88
4.3.3	Steuerung/Regelung auf Gesamtfahrzeugebene	89
5	Quantitative Systemanalyse	91
5.1	Quantitative Systemanalyse unter Grenzbetriebsbedingungen	91
5.2	Quantitative Systemanalyse unter kundenrelevanten Betriebsbedingungen	96
5.3	Szenarieneinflussanalyse	100
6	Ansatz zur ganzheitlichen Systemoptimierung	103
6.1	Wärmequellen- und -senkenanalyse	103
6.2	Modellierung der Wärmepumpe	105
6.3	Quantitative Systemanalyse des optimierten Gesamtsystems im Grenzbetrieb	106
6.4	Quantitative Systemanalyse des optimierten Gesamtsystems im kundenrelevanten Betrieb	109
7	Fazit und Ausblick	112
A	Anhang A	A
A.1	Downhill-Simplex-Verfahren (nach Nelder und Mead)	A
B	Anhang B	C
B.1	Wärmeübergangskoeffizient eines Rohres	C
B.2	Berechnung des Colburn-Faktors	D
C	Anhang C	F
C.1	Systembewertung im Kundenbetrieb (Basis)	F
C.2	Systemverhalten Szenarieneinflussanalyse	G
	Literaturverzeichnis	H