

# Inhaltsverzeichnis

<b>Disclaimer</b>	i
<b>Vorwort</b>	ii
<b>Zusammenfassung</b>	iii
<b>Abstract</b>	iv
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	v
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	viii
<b>Tabellenverzeichnis</b>	xi
<b>Symbolverzeichnis</b>	xi
<b>Gliederung der Arbeit</b>	xviii
<b>1 Einleitung und Motivation</b>	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
<b>2 Qualitative Systemanalyse</b>	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	Fahrgastrraum . . . . .	42
<b>3</b>	<b>Lösungsansatz und methodisches Vorgehen</b>	<b>43</b>
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 Grenzbetriebsberechnungen . . . . .	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
<b>4</b>	<b>Aufbau und Validierung der Gesamtfahrzeugsimulation</b>	<b>69</b>
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	Fahrgastrraum . . . . .	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
<b>5</b>	<b>Quantitative Systemanalyse</b>	<b>91</b>
5.1	Quantitative Systemanalyse unter Grenzbetriebsbedingungen . . . . .	91
5.2	Quantitative Systemanalyse unter kundenrelevanten Betriebsbedingungen . . . . .	96
5.3	Szenarieneinflussanalyse . . . . .	100
<b>6</b>	<b>Ansatz zur ganzheitlichen Systemoptimierung</b>	<b>103</b>
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
<b>7</b>	<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>112</b>
<b>A</b>	<b>Anhang A</b>	<b>A</b>
A.1	Downhill-Simplex-Verfahren (nach Nelder und Mead) . . . . .	A
<b>B</b>	<b>Anhang B</b>	<b>C</b>
B.1	Wärmeübergangskoeffizient eines Rohres . . . . .	C
B.2	Berechnung des Colburn-Faktors . . . . .	D
<b>C</b>	<b>Anhang C</b>	<b>F</b>
C.1	Systembewertung im Kundenbetrieb (Basis) . . . . .	F
C.2	Systemverhalten Szenarieneinflussanalyse . . . . .	G
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>H</b>