

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Digitale Revolution und Disruption der Mobilität	1
1.2	Kostenoptimale Auslegung von Elektrofahrzeugen notwendig	1
1.3	Virtuelle Methoden als Schlüssel	2
2	Optimierungsmethoden in der Fahrzeugentwicklung (Stand der Technik)	3
2.1	Einleitung	3
2.2	Komponentengrobdimensionierung und Topologieoptimierung	3
2.3	Komponentenoptimierung und Feindimensionierung	6
2.4	Folgerung und Ausblick	7
3	Lösungsansatz	9
3.1	Ziel und Vorgehen	9
3.2	Modellreduktion durch Linearisierung	11
3.3	Optimierung	14
4	Gesamtfahrzeugsimulation	19
4.1	Gekoppelte Simulation und Co-Simulation	19
4.2	Numerische Stabilität der Co-Simulation	22
4.3	Verbesserung der numerischen Stabilität	24
5	Aufbau und thermische Belastung eines batterieelektrischen Fahrzeugs	31
5.1	Gesamtfahrzeug	31
5.2	Elektrische Maschine	32
5.3	Leistungselektronik	36
5.4	Traktionsbatterie	38
5.5	Kühlsystem und Wärmeschutzregelung	41
6	Der Weg zur Co-Simulation	45
6.1	Vom Einzelmodell zur Co-Simulation	45
6.2	Thermische Modellierung	47
6.3	Plausibilisierung	53
7	Messung und Validierung	61
7.1	Messung am Gesamtfahrzeug	61
7.2	Validierung des Gesamtsystems	67
7.3	Messunsicherheiten	75

8 Umsetzung des Lösungsansatzes	83
8.1 Vorbereitung / Preprocessing	83
8.2 Berechnung	91
8.3 Resultataufbereitung / Postprocessing	94
9 Ergebnisse	101
9.1 Randbedingungen und Grundsätze	101
9.2 Kostenoptimale Auslegung mit festen Temperaturgrenzen	102
9.3 Kostenoptimale Auslegung mit variablen Temperaturgrenzen	103
9.4 Berechnung virtueller Kosten von Anforderungen	104
9.5 Berechnung virtueller Kosten für Parameter	105
9.6 Sensitivitätsanalyse und Stabilitätsbereiche	106
9.7 Betrachtung von Preis-, Kosten- und Stückzahlprognosen	110
10 Diskussion der Resultate	113
10.1 Metaanalyse und thermische Design Guidelines	113
10.2 Übertragbarkeit auf andere Fahrzeug- und Antriebskonzepte	114
10.3 Einschränkungen und Potenzial der Resultate	115
10.4 Ausblick und zukünftige Arbeiten	116
11 Zusammenfassung	117
Literaturverzeichnis	119
Anhang A: Kostenbetrachtung	129
A.1 Stand der Forschung	129
A.2 Methode der Kostenanalyse	130
A.3 Analyse relativer Kosten aus der Literatur	135
Anhang B: Änderungskosten und Wärmetransport	143
B.1 Bezug von Kosten auf Eigenschaftsänderungen	143
B.2 Änderungskosten der thermischen Masse	143
B.3 Änderungskosten des Wärmeübergangs	144
B.4 Änderungskosten der Maximaltemperatur	147
B.5 Physikalische Beschreibung des Wärmetransports	150
Anhang D: Matlab-Code	153
C.1 Einlesen der Mess- und Simulationsdaten	153
C.2 Bilden der Matrix A und B	157
C.3 Berechnung	167
C.4 Postprocessing	174