



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Kurzfassung | III |
| Summary | V |
| 1 Einleitung und Motivation | 1 |
| 1.1 Grundlagen und Stand der Wissenschaft | 2 |
| 1.2 Ziele der Arbeit und wissenschaftlicher Beitrag | 11 |
| 1.3 Vorgehensweise und Aufbau | 11 |
| 2 Nutzungsverhalten, klimatische Randbedingungen und thermische Anforderungen | 13 |
| 2.1 Nutzungsverhalten bei Elektrofahrzeugen | 13 |
| 2.2 Klimatische Randbedingungen | 15 |
| 2.3 Relevante Randbedingungen und thermische Anforderungen | 15 |
| 2.4 Thermische Anforderungen des Innenraums | 17 |
| 2.5 Typische klimatische Randbedingungen für die drei Betriebsmodi Heizen, Kühlen und Entfeuchten | 18 |
| 2.6 Thermische Anforderungen des Antriebsstrangs | 21 |
| 3 Systemkomponenten des Heiz- und Kühlsystems | 23 |
| 3.1 Elektrischer Zuheizler | 23 |
| 3.2 Umgebungswärmeübertrager | 24 |
| 3.3 Kompakter Kältemittelkreislauf | 25 |
| 3.4 Thermischer Energiespeicher | 30 |
| 4 Methode zur strukturierten Herleitung erforderlicher thermischer Energieströme | 35 |
| 4.1 Annahmen zur Ableitung idealisierter Energieströme | 35 |
| 4.2 Definition von Systemkomponente, virtuellem Knoten und Funktion | 36 |
| 4.3 Eigenschaften der erforderlichen virtuellen Knoten | 41 |
| 4.4 Beschreibung der erforderlichen Funktionen | 44 |
| 4.5 Simulationsmodell und Berechnung der Betriebsarten | 46 |
| 4.6 Beispiele zur Veranschaulichung der energieflussbasierten Methode | 47 |
| 4.7 Diskussion und wissenschaftliche Einordnung | 48 |
| 5 Strukturierte Herleitung erforderlicher thermischer Energieströme für das untersuchte BEV | 51 |
| 5.1 Dynamische Nutzungs- und Klima-Randbedingungen auf Basis von 48 repräsentativen Tagesfahrzyklen | 51 |
| 5.2 Betrachtung von zwei simulierten Tagesverläufen | 52 |
| 5.3 Statistische Analyse für die Region USA | 58 |
| 6 Graphenbasierte Methode zur Simulation generischer Fluidkreisläufe | 67 |
| 6.1 Definition von Verschaltung und Verschaltungsplan | 67 |
| 6.2 Übersicht über das Simulationsmodell | 68 |
| 6.3 Methode zur thermischen Simulation beliebiger Verschaltungen | 71 |
| | VII |



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.4 | Methode zur Berechnung von Verschaltungen aus Verschaltungsplänen bei gegebenen Stellwerten | 75 |
| 6.5 | Diskussion und wissenschaftliche Einordnung | 77 |
| 7 | Realisierung der erforderlichen thermischen Energieströme durch ein Sekundärkreislaufsystem | 81 |
| 7.1 | Freiheitsgrade bei der Realisierung von Funktionen | 81 |
| 7.2 | Herleitung eines Verschaltungsplans | 83 |
| 7.3 | Betrachtung von drei praxisrelevanten Fragestellungen | 88 |
| 8 | Energieflussoptimierte Integration eines thermischen Energiespeichers | 97 |
| 8.1 | Anwendungen für einen thermischen Speicher | 97 |
| 8.2 | Vor- und Nachteile eines thermischen Speichers | 98 |
| 8.3 | Dimensionierung des thermischen Speichers | 98 |
| 8.4 | Anpassung Verschaltungsplan und Betriebssystem | 103 |
| 8.5 | Reichweitenanalyse mit Berücksichtigung der klimaabhängigen Unsicherheit | 104 |
| 9 | Zusammenfassung und Ausblick | 109 |
| | Anhang | 111 |
| A | Dynamische Temperatur- und Leistungsbedarfe der Innenraumklimatisierung | 113 |
| A.1 | Aufgaben der Fahrzeugklimatisierung | 113 |
| A.2 | Modellierung des Fahrgastraums | 114 |
| A.3 | Modellierung des Klimageräts | 116 |
| A.4 | Modellierung und Anpassung des Klimareglers | 119 |
| A.5 | Simulation instationärer Klimatisierungsbedarfe | 123 |
| B | Dynamische Temperatur- und Leistungsbedarfe des Antriebsstrangs | 127 |
| B.1 | Angenommene Fahrzeugparameter | 129 |
| B.2 | Modellierung von Längsdynamik und Antriebsstrang | 130 |
| B.3 | Modellierung der Hochvolt-Batterie | 131 |
| B.4 | Thermische Modellierung der elektrischen Antriebskomponenten | 132 |
| B.5 | Simulation typischer Verlustwärmern | 134 |
| C | Graphen zur Beschreibung von thermodynamischen Systemen | 135 |
| D | Listen, Tabellen und Übersichten | 143 |
| D.1 | Übersicht Heiz- und Kühlsysteme für BEVs und PHEVs | 143 |
| D.2 | Auftrittshäufigkeiten von klimatischen Randbedingungen | 147 |
| D.3 | Automatisch generierte Übersicht aller Funktionen | 150 |
| D.4 | Übersicht prozessnaher Regler und Betriebsstrategie | 151 |
| D.5 | Überblick Simulationsmodell | 153 |
| D.6 | Modell Kühlerlüfter | 154 |
| E | Alle identifizierten energieflussbasierten Betriebsarten | 155 |
| | Nomenklatur | 169 |
| | Literaturverzeichnis | 175 |