

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	ii
1 Einleitung und Zielsetzungen	1
2 Erkenntnisstand für die alternativen Antriebe	5
2.1 Systemarchitektur eines Plug-In-Hybridfahrzeugs	5
2.2 Elektrische und mechanische Antriebsleistungen	9
2.3 Permanent erregte Synchronmaschinen	11
2.4 Leistungselektroniken	12
2.5 Lithium-Ionen-Eisenphosphat-Batterien	16
2.5.1 Auswirkungen des Niedertemperaturverhaltens	18
2.5.2 Mechanismen des Hochtemperaturverhaltens	18
2.5.3 Erfassung des Alterungszustands eines LiFePO ₄ Zellsystems	20
2.6 Betrachtung weiterer Hochvoltkomponenten	21
2.7 Stand der Technik zum Wärmemanagement der Hochvoltsysteme	23
2.8 Anwendungen von Kühl- und Heizmethoden	29
2.8.1 Wärmeübertragung in den eingesetzten Bauteilen	30
2.8.2 Bedeutung der Kühlsystemauslegung	32
3 Beitrag für das Wärmemanagement	35
3.1 Einfluss der thermischen Konditionierung auf die Alterungsmechanismen	37
3.2 Innovative Konzeption für verschiedene Komponenten	38
3.3 Vorgehensweise	40
3.4 Experimentelle Bedingungen und die betrachteten Fahrzyklen	42
3.5 Thermische Initialisierung des Antriebsstranges und empirische Alterungsbestimmungen	44
4 Erstellung eines Modells des Hochvoltsystems der thermisch-elektrischen Eigenschaften und der Alterung	45
4.1 Anforderungen und Zweck der Modellierung	45



4.2	Struktur der Gesamtmodellierung	47
4.2.1	Definierte Annahmen der Modellierung	49
4.3	Modellierung einer Synchronmaschine	51
4.3.1	Thermisch-elektrisches Ersatzschaltbild von Rotor und Stator	56
4.3.2	Bedarfsgerechte Kühlung in der rein elektrischen Fahrt	59
4.4	Modellierung eines Drei-Phasen-Inverters	60
4.4.1	Thermisches Ersatzschaltbild des Halbleiteraufbaus	63
4.4.2	Lebensdauer- und Zuverlässigkeitsberechnung	67
4.5	Modellierung eines Lithium-Ionen-Batteriesystems	78
4.5.1	Thermisch-elektrisches Ersatzschaltbild des Zellsystems	79
4.5.2	Identifikation des Alterungszustands des Zellsystems	82
4.5.3	Auswirkungen des State of Health auf die elektrischen Zustände der Zellen	83
4.5.4	Auswirkungen der kalendarischen und zyklischen Alterung auf den Ka- pazitätsverlust	86
4.6	Modellierung eines Gleichspannungswandlers und des Niedervoltbordnetzes . .	90
4.7	Modellierung eines Ladegeräts	91
4.8	Wertebereiche und Einschränkungen	92
5	Entwurf und Aufbau eines Versuchsträgers	94
5.1	Anforderungen und Zweck der thermisch-elektrischen Messtechnik	94
5.2	Thermische Sensorik für die Bestimmung der Stellgrößen und Validierung der Modellierung	97
5.2.1	Bestimmung der thermischen Widerstände und der Wärmeübergänge in dem Stator	98
5.2.2	Bestimmung der thermischen Widerstände und der Wärmeübergänge in den Halbleiterbrücken	100
5.2.3	Bestimmung der thermischen Widerstände und der Wärmeübergänge in dem Zellsystem	101
6	Validierung der Modellierung und Analyse der ausgewählten Betriebszustände	103
6.1	Bewertung der Systemmodellierung und der Einfluss auf die Signalgenauigkeit	103
6.1.1	Validierung der Betriebsstrategie	104
6.1.2	Validierung der wesentlichen Hochvoltkomponenten	105
6.2	Ladevorgang und thermische Grenzwertbetrachtung des Energiespeichers . . .	106
6.3	Auswirkungen der transienten Zyklen auf die Zustände des Hochvoltsystems .	108
7	Realisierung und Bewertung der adaptiven thermischen Strategien	111
7.1	Zuverlässigkeitsanforderungen und die Berechnung der Lebensdauerzustände .	112



7.2	Lebensdauerorientierte Konditionierung der Leistungselektronik	114
7.2.1	Resultate der Autobahnfahrt und Konsequenzen der Erhöhung der Kühl- wassertemperatur	118
7.2.2	Resultate im städtischen Verkehr und Auswirkung des Eingreifens . . .	119
7.3	Lebensdauerorientierte Konditionierung eines Energiespeichers	121
7.3.1	Resultate der Autobahnfahrt und Konsequenzen der Erhöhung der Kühl- wassertemperatur	125
7.3.2	Resultate in unkritischen Belastungsprofilen	126
7.3.3	Resultate im städtischen Verkehr und Auswirkung des Eingreifens . . .	127
7.3.4	Dimensionierung der Stellgrößen für den Energiespeicher	129
7.4	Vorteile der neuartigen Kühlalgorithmen	131
8	Zusammenfassung und Ausblick	135
	Literaturverzeichnis	147
	Nomenklatur	148
	Tabellenverzeichnis	154
	Abbildungsverzeichnis	161
A	Thermische Eigenschaften der Kühlmedien	162
B	Zyklen für die Zuverlässigkeitsbestimmung	163