

Inhaltsverzeichnis

Abstract	1
Zusammenfassung	3
1 Einleitung	5
1.1 Motivation	5
1.2 Aufbau der Arbeit	8
2 Grundlagen	11
2.1 Lithium-Ionen Zelle	11
2.1.1 Funktionsweise	12
2.1.2 Halbzellenpotentiale	14
2.1.3 Ruhespannung	16
2.1.4 Überspannungen	17
2.1.5 Aufbau und Bauformen	18
2.1.6 Kenngrößen	19
2.1.7 Elektrisches Ersatzschaltbild	21
2.1.8 Thermisches Ersatzschaltbild	26
2.2 Charakterisierungsmethoden	29
2.2.1 Kapazitätsbestimmung	29
2.2.2 Polarisations- und Innenwiderstandsmessung	30
2.2.3 Ermittlung der Ruhespannungskennlinie	31
2.2.4 Differentielle Kapazitätsanalyse (ICA)	31
2.2.5 Differentielle Spannungsanalyse (DVA)	32
3 Stand der Batteriesysteme	33
3.1 Aufbau	33
3.2 Verschaltung	35

3.3	Elektrische Kontaktierung	36
3.4	Thermisches Management	38
3.4.1	Luftkühlung	38
3.4.2	Fluidkühlung	40
3.4.3	Weitere Kühlmethoden	41
3.5	Thermische Anbindung	43
4	Selbsttragendes Batteriemodul	47
4.1	Anforderungen	47
4.1.1	Zellkontaktierung	48
4.1.2	Feuchtigkeitschutz	48
4.1.3	Lebensdauer	49
4.1.4	Automotive-Standards	49
4.1.5	Keine weiteren tragenden Elemente	49
4.1.6	Thermisches Management	50
4.1.7	Sicherheit	51
4.1.8	Modularität und Skalierbarkeit	51
4.1.9	Gaskanäle	51
4.2	Zelle als konstruktives Element	52
4.3	Modulkonstruktion	52
4.3.1	Zellanzahl und Zellanordnung	53
4.3.2	Detaillkonstruktion Submodul	54
4.3.3	Skalierung	56
4.4	Integrierte Zellüberwachungseinheit	58
4.4.1	Mechanische Integration	58
4.4.2	Kommunikation	59
4.4.3	Passives Balancing	60
4.4.4	Energiesparmodus	60
4.5	Master-Managementsystem	62
4.6	Gehäuse und Kühlsystem	62
5	Druckkontaktierter Zellverbinder	63
5.1	Theoretische Betrachtung	64
5.2	Beschaffenheit des positiven Zellpols	68
5.3	Messaufbau	70
5.4	Kontaktwiderstand Pluspol	71

5.4.1	Messroutine	72
5.4.2	Materialkonstanten und Oberflächenbeschaffenheit	73
5.4.3	Fremdschichten	76
5.4.4	Kontaktfläche	76
5.4.5	Druckverteilung	78
5.4.6	Kontaktpaste	79
5.4.7	Ergebnisse und Diskussion	80
5.5	Schlussfolgerung	84
6	Polkühlung und Mantelkühlung	85
6.1	Zellstruktur und thermische Eigenschaften	86
6.2	Versuchsaufbau	90
6.2.1	Zellpräparation	91
6.2.2	Kühlsysteme	91
6.3	Stationärer thermischer Zustand	93
6.4	Kühlleistungen	94
6.4.1	Polkühlung	95
6.4.2	Mantelkühlung	95
6.5	Generierte Wärmeleistung	96
6.6	Zelltemperatur	98
6.6.1	Mantelkühlung	99
6.6.2	Polkühlung	101
6.7	Vergleich	103
6.8	Messunsicherheiten	105
6.9	Schlussfolgerung	105
7	Kühlmethode und Zellalterung	107
7.1	Versuchsdurchführung	108
7.2	Kühlleistungen	109
7.3	Zyklentest	111
7.3.1	Oberflächentemperatur	111
7.3.2	Kapazität	113
7.3.3	Innenwiderstände	115
7.3.4	Differenzielle Kapazitätsanalyse	116
7.4	Schlussfolgerung	119

8 Ausblick	121
Abkürzungsverzeichnis	123
Tabellenverzeichnis	131
Abbildungsverzeichnis	133
Literaturverzeichnis	137
Veröffentlichungen	145
Curriculum Vitae	147
Danksagung	149