

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort des Autors	3
Abkürzungsverzeichnis	9
Kurzfassung	17
Abstract	19
1 Einleitung	21
1.1 Motivation der Arbeit	21
1.2 Aufbau der Arbeit	23
2 Grundlagen und Stand der Technik	27
2.1 Lithium-Ionen-Zellen	27
2.1.1 Verwendete Materialien und deren Ausdehnungscharakteristik	29
2.1.2 Stromverteilung in Lithium-Ionen-Zellen	33
2.1.3 Produktionsprozess und Fehlerbilder	34
2.2 Berechnung magnetischer Felder	36
2.2.1 Ermittlung der Stromverteilung	37
2.2.2 Von der Stromverteilung zum Magnetfeld	40
2.2.3 Vom Magnetfeld zur Stromverteilung	43
2.3 Magnetfeldsensoren	48
2.4 Zelldickenänderung	51
2.5 Wirbelstrom-Prinzip	53

3 Messung der Stromverteilung	55
3.1 Sensor	55
3.2 Messaufbau	57
3.3 Kalibrierung	58
3.4 Beschreibung des Experiments	59
3.5 Ergebnisse	60
3.5.1 Stromverteilung bei konstanter Entladung	60
3.5.2 Experimentelle Bestimmung der Sensordistanz	62
3.5.3 Zellen mit Ableitern auf derselben Seite	63
3.5.4 Erkennbare Ströme	65
4 Defektdetektion durch Messung der Stromverteilung	69
4.1 Sensor und Messaufbau	69
4.2 Zellvorbereitung	72
4.3 Ergebnisse	76
4.3.1 Zellen ohne Defekte	76
4.3.2 Zellen mit fehlerhaften Schweißnähten	78
4.3.3 Zellen mit Defekten in den Elektroden	80
4.3.4 Zellen mit Defekten zwischen den Elektroden	84
4.3.5 Fehlererkennung in mehrschichtigen Zellen	87
4.3.6 Anwendbarkeit für die Serienproduktion	88
5 Messung der Zelldickenänderung	91
5.1 Sensor	91
5.2 Messaufbau	94
5.2.1 Druckvorrichtung	94
5.2.2 Validierungssystem	95
5.3 Kalibrierung	96
5.3.1 Sensor-Simulation	96
5.3.2 Simulationsmatrix	97
5.3.3 Ergebnisse der Parametervariation	100
5.3.4 Kalibrierungsfunktion	103
5.3.5 Geschätzte Auflösung	104
5.3.6 Validierung	105
5.3.7 Vergleich mit dem Stand der Technik	106

5.4 Ergebnisse	107
5.4.1 Messung des Lade- und Entladezyklus	109
5.4.2 Stromabhängigkeit der Dilatation	110
5.4.3 Messung der blockierenden Eigenschaften von Referenz- elektroden	111
6 Ortsaufgelöste Alterungsanalyse durch Messung der Zelldicken- änderung	113
6.1 Sensor und Messaufbau	113
6.2 Beschreibung des Experiments	116
6.2.1 Gemessene Zelle	116
6.2.2 Prüfverfahren zur Zellalterung	117
6.2.3 Evaluierungsmethodik	118
6.3 Ergebnisse	119
6.3.1 Zelldickenwachstum - 1 C-Zyklen	120
6.3.2 Zelldickenwachstum - schnelle Ladezyklen	122
6.3.3 Zelldickenwachstum - Ratentest	127
6.3.4 DVA und räumliche DDA - 1 C-Zyklen	130
6.3.5 DVA und räumliche DDA - 3 C-Zyklen	135
7 Zusammenfassung und Ausblick	139
7.1 Zusammenfassung	139
7.2 Ausblick	141
Literaturverzeichnis	143
Abbildungsverzeichnis	159
Tabellenverzeichnis	163
A Anhang	165
Bereits veröffentlichte Teile dieser Arbeit	171
Lebenslauf	173