

Inhaltsverzeichnis

Content

1	Einleitung: Kostenreduktion durch Prozessverbesserung in der Formierung.....	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Problemstellung.....	3
2	Stand der Technik: Produktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen	5
2.1	Aufbau und Funktion der Lithium-Ionen-Batteriezelle	5
2.1.1	Aufbau einer Batteriezelle	6
2.1.2	Materialien einer Lithium-Ionen-Batteriezelle	8
2.1.3	Funktionsweise einer Lithium-Ionen-Batteriezelle	23
2.1.4	Zwischenfazit.....	26
2.2	Herstellung einer Lithium-Ionen-Batteriezelle	27
2.2.1	Elektrodenfertigung einer Lithium-Ionen-Batteriezelle	28
2.2.2	Assemblierung einer Lithium-Ionen-Batteriezelle	29
2.2.3	Finalisierung einer Lithium-Ionen-Batteriezelle	30
2.2.4	Kernherausforderungen der Finalisierung.....	34
2.2.5	Zwischenfazit.....	36
2.3	Qualitätsbeurteilung einer Lithium-Ionen-Batteriezelle	36
2.3.1	Qualitätskriterien in der Finalisierung von Lithium-Ionen-Batteriezellen	36
2.3.2	Methoden zur Qualitätsbestimmung.....	41
2.4	Kennzahlbasierte Betrachtung einer Lithium-Ionen-Batteriezelle.....	47
2.4.1	Kostenbetrachtung der Lithium-Ionen-Batteriezellproduktion	49
2.4.2	Wertschöpfungsstrukturen in der Batteriezellproduktion	56
2.4.3	Zwischenfazit.....	57
2.5	Technische Produkt- und Prozessmodellierung	58
2.5.1	Modellierung des Prozesses und der Parameter	59
2.5.2	Theoretische Untersuchung der Prozessparameter	61
2.5.3	Zwischenfazit und Definition der Untersuchungsparameter	70
3	Zielsetzung und Vorgehensweise.....	71
3.1	Zielsetzung	71
3.2	Wissenschaftstheoretische Einordnung der Arbeit	72
3.3	Wissenschaftliche Fragestellungen	74
3.4	Aufbau der Arbeit	76
4	Umsetzung: Entwicklung des Versuchsdesigns zur Parameteruntersuchung.....	79
4.1	Definition der Lithium-Ionen-Batteriezelle	79
4.2	Beschreibung der Untersuchungsvorrichtung	81
4.3	Definition des Versuchsdesigns	87
4.3.1	Definition der Versuche.....	87

4.3.2	Standardisierung der Versuchsdurchführung	97
4.3.3	Definition der Testmethoden	100
4.4	Zwischenfazit der Umsetzung.....	105
5	Ergebnisevaluierung: Prozessparameteruntersuchung in der Zellfinalisierung.....	107
5.1	Vorversuche zur Validierung der Hypothese	109
5.1.1	Einfluss der Umgebungsbedingungen auf die Formierungszeit.....	109
5.1.2	Analyse der Umgebungs- und Zelltemperatur in der Formierung	113
5.1.3	Analyse der mechanischen Belastung während der Formierung.....	123
5.1.4	Qualitätsbeurteilung nach der Konditionierung	126
5.1.5	Zwischenfazit.....	128
5.2	Prozesszeitoptimierung mittels mechanischer Verspannung	129
5.2.1	Prozesszeitoptimierung der Formierungszeit	130
5.2.2	Kapazitätsbeurteilung	131
5.2.3	Zwischenfazit.....	138
5.3	Implikationen der Druckentwicklung während der Formierung.....	140
5.4	Implikationen der Temperaturentwicklung während der Formierung	150
5.5	Konditionierung und zyklische Alterung	156
5.5.1	Konditionierung.....	156
5.5.2	Zyklische Alterung	157
5.5.3	Zwischenfazit.....	161
5.6	Fehleruntersuchung	162
5.6.1	Post-mortem-Untersuchung.....	162
5.6.2	Einordnung der Ergebnisse.....	164
5.6.3	Zwischenfazit.....	166
5.7	Verifizierungsversuche zum Abgleich der Ergebnisse	167
5.7.1	Prozesszeit der Formierung	167
5.7.2	Kapazität der formierten Testzellen	168
5.7.3	Druckentwicklung während der Formierung.....	169
5.7.4	Zyklische Alterung der Testzellen.....	169
5.7.5	Zwischenfazit.....	171
5.8	Zwischenfazit	171
6	Entwicklung und Aufbau einer integrierten Formierungsvorrichtung	175
6.1	Anforderungsanalyse an die Formierungsvorrichtung.....	176
6.2	Umsetzung der Formierungsvorrichtung	179
6.3	Wirtschaftlichkeits- und Skalierungsanalyse	183
6.4	Zwischenfazit	186
7	Zusammenfassung und Ausblick	189
7.1	Zusammenfassung.....	189
7.2	Ausblick	192
8	Literaturverzeichnis	199

A	Anhang.....	217
A.1	Wissenschaftliche Ansätze zur thermischen Beeinflussung	217
A.2	Wissenschaftliche Ansätze zur mechanischen Beeinflussung	223
A.3	Maschinen und Anlagen.....	225
A.4	Darstellungen der Versuchsvorrichtung.....	225
A.5	Residuen des linearen Kramers-Kronig-Validierungstests	227
A.6	Darstellung der Zelloberflächentemperatur aus den Vorversuchen.....	228
A.7	Darstellungen des konzeptionellen Designs des entwickelten Formierungswarenrägers.....	234
A.8	Bilder des umgesetzten Formierungswarenrägers	239
A.9	Bill of Material (BOM) des Warenrägerkonzeptes	241