

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation . . . . .	1
1.2	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Elektromobilität und mobile Energiespeicher</b>	<b>7</b>
2.1	Historische Entwicklung von Batteriezelle und Elektromobilität . . . . .	7
2.2	Batteriezellen in der Elektromobilität . . . . .	9
2.3	Li-Ionen Batteriezelle . . . . .	11
2.3.1	Funktionsweise und Aufbau . . . . .	11
2.3.2	Zellformate und -bauformen . . . . .	13
2.3.3	Zellkonfiguration . . . . .	15
2.3.4	Zellchemien . . . . .	16
2.4	Grundlagen der Li-Ionen Batteriezellauslegung . . . . .	18
2.4.1	Balancierung von Anode zu Kathode . . . . .	19
2.4.2	Überstand von Anode zu Kathode . . . . .	19
2.4.3	Überstand von Separator zu Anode . . . . .	20
2.5	Herstellung von Li-Ionen Batteriezellen . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Produktentstehung und Kostenprognosemethoden</b>	<b>23</b>
3.1	Produktentstehungsprozess . . . . .	23
3.1.1	Lebenszyklusorientiertes Management . . . . .	25
3.2	Kostenprognosemethoden – Grundlagen . . . . .	26
3.2.1	Kostenrechnung . . . . .	26
3.2.2	Kostenprognosemethoden . . . . .	29
3.3	Bewertung ausgewählter Kostenprognosemethoden . . . . .	32
3.3.1	Lern- und Erfahrungskurvenmethode . . . . .	33
3.3.2	Kilokostenmethode . . . . .	46
3.3.3	VDI-Materialkostenmethode . . . . .	48
3.3.4	Detailkalkulation . . . . .	49
3.3.5	Einordnung der Kostenprognosemethoden in den integrierten Produktlebenszyklus . . . . .	50
<b>4</b>	<b>Ansätze zur Prognose von Materialkosten für Li-Ionen Batteriezellen</b>	<b>51</b>
4.1	GAINES UND CUENCA – Costs of Lithium-Ion Batteries for Vehicles . . . . .	51
4.2	AMIRAULT ET AL. – Battery Weight Model . . . . .	52
4.3	NELSON ET AL. – Battery Performance and Cost Model . . . . .	52
4.4	Bewertung der Kostenmodelle und Ableitung des Forschungsbedarfs . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Technologiebasiertes Materialkostenmodell für innovative Li-Ionen Batteriezellen</b>	<b>55</b>
5.1	Herausforderungen und Anforderungen . . . . .	55
5.2	Einführung in die Gesamtkonzeption . . . . .	57

5.3	Voruntersuchung am Beispiel der 18650 Li-Ionen Batteriezellen . . . . .	58
5.3.1	Allgemeiner Überblick zur Studienlage . . . . .	59
5.3.2	Grundanalyse zum Zelltyp 18650 . . . . .	60
5.3.3	Kostendegression am Beispiel der 2,4 Ah 18650 . . . . .	62
5.3.4	Zusammenfassung . . . . .	81
5.4	Rohstoffmodell . . . . .	82
5.4.1	Theorie zur Preisentwicklung . . . . .	82
5.4.2	Rohstoffe . . . . .	89
5.4.3	Trend- und Preisprognose . . . . .	104
5.4.4	Empirische Untersuchung auf der Komponentenebene und Modellbildung am Beispiel des Kathodenaktivmaterials . . . . .	106
5.4.5	Zusammenfassung . . . . .	115
5.5	Lernkurvenmodell . . . . .	115
5.5.1	Ausgangsbasis für die Datenerhebung . . . . .	116
5.5.2	Exemplarische Bestimmung der Rabattstaffelung am Beispiel NMC . . . . .	119
5.5.3	Rabattstaffelungen für weitere Komponenten der BEF-Zelle . . . . .	123
5.5.4	Exemplarische Bestimmung der Gesamtausnutzungsgradkurve am Beispiel NMC . . . . .	124
5.5.5	Gesamtausnutzungsgradkurven für weitere Komponenten . . . . .	129
5.5.6	Zusammenfassung . . . . .	129
5.6	Massenmodell . . . . .	130
5.6.1	Kenngrößen des Massenmodells . . . . .	131
5.6.2	Bestimmung der geometrischen Abmessungen des Elektroden-Separator-Schichtpakets . . . . .	132
5.6.3	Bestimmung der Oberfläche des Elektroden-Separator-Schichtpakets pro Li-Ionen Batteriezelle . . . . .	137
5.6.4	Bestimmung der elektrischen Zelleigenschaften . . . . .	138
5.6.5	Bestimmung der Komponentenmassen . . . . .	139
5.6.6	Validierung des Massenmodells . . . . .	143
5.6.7	Anwendung des Massenmodells . . . . .	144
<b>6</b>	<b>Anwendung und Bewertung des Materialkostenmodells</b>	<b>147</b>
6.1	Aktuelle Zellchemie C/NMC . . . . .	147
6.2	Innovative Zellchemie Si/Li-Reiches NMC . . . . .	150
6.3	Bewertung des Materialkostenmodells . . . . .	152
6.3.1	Sensitivitätsanalyse . . . . .	152
6.3.2	Einsatzfelder . . . . .	154
6.3.3	Starken und Schwachen bezogen auf den Anforderungskatalog . . . . .	156
6.3.4	Einschränkungen . . . . .	158
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>159</b>
7.1	Zusammenfassung . . . . .	159
7.2	Ausblick . . . . .	161
<b>A</b>	<b>Batteriezellverkaufspreisdegressionen</b>	<b>187</b>
<b>B</b>	<b>Rabattstaffelungen</b>	<b>189</b>
<b>C</b>	<b>Gesamtausnutzungsgradkurven</b>	<b>197</b>