

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	4
2 Elektromobilität und mobile Energiespeicher	7
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
3 Produktentstehung und Kostenprognosemethoden	23
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
4 Ansätze zur Prognose von Materialkosten für Li-Ionen Batteriezellen	51
4.1 GAINES UND CUENCA – Costs of Lithium-Ion Batteries for Vehicles	51
4.2 AMIRALUT 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
5 Technologiebasiertes Materialkostenmodell für innovative Li-Ionen Batteriezellen	55
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
6	Anwendung und Bewertung des Materialkostenmodells	147
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
7	Zusammenfassung und Ausblick	159
7.1	Zusammenfassung	159
7.2	Ausblick	161
A	Batteriezellverkaufspreisdegressionen	187
B	Rabattstaffelungen	189
C	Gesamtausnutzungsgradkurven	197