

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XI
Symbolverzeichnis	XIII
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation . . . . .	1
1.2 Zielsetzung . . . . .	3
1.3 Wissenschaftstheoretische Einordnung der Arbeit . . . . .	4
1.3.1 Grundlegende Erkenntnisperspektive . . . . .	4
1.3.2 Forschungsmethodologie . . . . .	5
1.4 Forschungsfrage . . . . .	8
1.5 Aufbau der Arbeit . . . . .	9
<b>2 Grundlagen des Betrachtungsbereichs</b>	<b>13</b>
2.1 Produktarchitektur Lithium-Ionen-Batteriezele . . . . .	13
2.1.1 Aufbau und Funktionsweise . . . . .	13
2.1.2 Formfaktoren und Geometrie . . . . .	16
2.1.3 Produktmerkmale . . . . .	18
2.1.4 Prozessmerkmale . . . . .	21
2.1.5 Zwischenfazit . . . . .	23
2.2 Produktionsprozess Lithium-Ionen-Batteriezele . . . . .	23
2.2.1 Elektrodenfertigung . . . . .	25
2.2.2 Zellassemblierung . . . . .	28
2.2.3 Zellfinishing . . . . .	30
2.2.4 Zwischenfazit . . . . .	32
2.3 Ausschussproblematik im Wiederanlauf . . . . .	33
2.4 Handlungsbedarf aus der Praxis . . . . .	36
<b>3 Grundlagen des Gestaltungsbereichs</b>	<b>39</b>
3.1 Anforderungen an die Methodik . . . . .	42
3.1.1 Inhaltliche Anforderungen . . . . .	43

3.1.2	Formale Anforderungen . . . . .	45
3.1.3	Kriterien inhaltlicher und formaler Anforderungen . . . . .	46
3.2	Theorien des Produktionsanlaufs . . . . .	50
3.2.1	Einordnung der Produktentwicklung . . . . .	52
3.2.2	Einordnung der Prozessentwicklung . . . . .	54
3.2.3	Einordnung des Wiederanlaufs . . . . .	56
3.2.3.1	Arten von Produktionsanläufen . . . . .	60
3.2.3.2	Logistisches Wachstum im Produktionsanlauf . . . . .	63
3.2.3.3	Zielsystem des Produktionsanlaufs . . . . .	66
3.2.4	Regressionsanalyse zur Auswertung von Produktionsanlaufdaten . . .	69
3.2.5	Aufstellen von Versuchsplänen zur Analyse von Produktionsanlaufdaten	73
3.2.5.1	Vollfaktorieller Versuchsplan . . . . .	73
3.2.5.2	D-optimaler Versuchsplan . . . . .	75
3.3	Ganzheitliche Ansätze der Produktionsanlaufplanung . . . . .	76
3.3.1	Gestaltung des Produktionsanlaufs nach MAUE . . . . .	77
3.3.2	Performance Management im Produktionsanlauf nach RENNER . . . .	78
3.3.3	Management von Serienanläufen nach SCHMITT . . . . .	79
3.3.4	Optimierung von Anlaufmanagement nach STADLER . . . . .	80
3.3.5	Ramp-Up Management nach TÜCKS . . . . .	81
3.3.6	Integrierte Messtechnik für Prozessketten nach KÖLMEL . . . . .	83
3.3.7	Simulationsbasierte Anlaufunterstützung nach LANZA . . . . .	84
3.3.8	Bewertung der Herstellkosten nach SCHÜNEMANN . . . . .	85
3.3.9	Analyse komplexer Prozessketten nach WESTERMEIER . . . . .	86
3.3.10	Modellierung vernetzter Wirkbeziehungen nach WINKLER . . . . .	87
3.3.11	Auswahl von Fertigungsressourcen nach HEIMES . . . . .	89
3.3.12	Anlauforientierte Technologieplanung nach NAU . . . . .	90
3.3.13	Konfiguration der Produktmixflexibilität nach NOWACKI . . . . .	91
3.3.14	Gestaltung von Fertigungssystemen nach STAUDER . . . . .	92
3.4	Handlungsbedarf aus der Theorie . . . . .	93
<b>4</b>	<b>Konzeption der Methodik</b>	<b>97</b>
4.1	Grundlagen der Modellierungstheorie . . . . .	97
4.1.1	Allgemeine Modellierungstheorie . . . . .	97
4.1.2	Systemtechnik . . . . .	99
4.2	Aufbaustruktur der Methodik . . . . .	103
4.2.1	Grobkonzept der Methodik . . . . .	103
4.2.2	Definition der Ablaufstruktur . . . . .	107
4.3	Zwischenfazit . . . . .	108

<b>5</b>	<b>Detaillierung der Methodik</b>	<b>111</b>
5.1	Detaillierung des Initiierungsmoduls . . . . .	112
5.1.1	Aufnahme des existierenden Gesamtprozesses . . . . .	112
5.1.2	Definition der Qualitätsmerkmale der Batteriezelle . . . . .	117
5.1.3	Zusammenfassung des Initiierungsmoduls . . . . .	123
5.2	Detaillierung des Analysemoduls . . . . .	124
5.2.1	Analyse prozessübergreifender Wirkzusammenhänge . . . . .	125
5.2.1.1	Verhalten lokaler Qualitätsparameter . . . . .	125
5.2.1.2	Verhalten globaler Qualitätsparameter . . . . .	129
5.2.2	Analyse des Einschaltverhaltens der einzelnen Prozessschritte . . . . .	131
5.2.3	Analyse der physisch-mathematischen Modellierung . . . . .	137
5.2.4	Zusammenfassung des Analysemoduls . . . . .	156
5.3	Detaillierung des Gestaltungsmoduls . . . . .	157
5.3.1	Modellierung der Wiederanlaufplanung . . . . .	157
5.3.2	Überprüfen des Wiederanlaufprozesses . . . . .	163
5.3.3	Zusammenfassung des Gestaltungsmoduls . . . . .	167
5.4	Zusammenfassung der Methodik . . . . .	168
<b>6</b>	<b>Validierung der Methodik an der Batteriezellproduktion</b>	<b>171</b>
6.1	Anwendung der Methodik . . . . .	171
6.1.1	Initiierungsmodul . . . . .	172
6.1.2	Analysemodul . . . . .	175
6.1.3	Gestaltungsmodul . . . . .	193
6.2	Kritische Reflexion . . . . .	199
6.2.1	Abgleich mit den inhaltlichen Anforderungen . . . . .	199
6.2.2	Abgleich mit den formalen Anforderungen . . . . .	201
6.2.3	Reflexion der Ergebnisse . . . . .	201
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>203</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>207</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>221</b>
A.1	Kausalitätsdiagramme der Prozessschritte . . . . .	221
A.2	Qualitätsabhängigkeitsmatrizen der Prozessschritte . . . . .	225
A.3	Wiederanlaufmodell in MATLAB SIMULINK . . . . .	227
A.4	Prüfstands Aufbau und Parameterset . . . . .	228