

Inhaltsverzeichnis

Abstract	1
Zusammenfassung	3
1 Einleitung	5
1.1 Motivation und Ziel der Arbeit	5
1.1.1 Demontage von Batteriesystemen	6
1.1.2 Skalierung von Batteriezellen	7
1.2 Forschungsfragen	9
1.2.1 Die erste Forschungsfrage	9
1.2.2 Die zweite Forschungsfrage	10
1.2.3 Die dritte Forschungsfrage	11
1.3 Publikationen	16
1.4 Aufbau der Arbeit	16
2 Grundlagen zur Batteriezelle	19
2.1 Lithium-Ionen Batteriezellen	19
2.1.1 Aufbau und Funktionsweise	20
2.1.2 Bauformen	21
2.1.3 Relevante Kenngrößen	22
2.2 Elektrischer Widerstand	23
2.3 Produktionsschritte	26
2.3.1 Elektrodenfertigung	26
2.3.2 Zellausbaufertigung	30
2.3.3 Zell-Finishing	33
3 Grundlagen zur Demontage	35
3.1 Demontagemodi	35

3.1.1	Demontagetiefe	35
3.1.2	Demontagetechnik	36
3.1.3	Demontagesequenz	37
3.1.4	Automatisierungsgrad	37
3.2	Demontagestrategieplanung	38
4	Untersuchung von Demontageszenarien für Elektrofahrzeugbatterien – ein Multimethodenansatz	41
4.1	Preprocessing	42
4.1.1	Produkt-Preprocessing	42
4.1.2	Prozess-Preprocessing	44
4.1.3	Produkt-Prozess-Preprocessing	46
4.2	Modellbildung	46
4.2.1	Modellaufbau	47
4.2.2	Agenten	47
4.2.3	Modelllogik	49
4.2.4	Demontageroute	51
4.3	Fallstudie	53
4.3.1	Batterie	54
4.3.2	Demontagestation	57
4.3.3	Referenzszenario	59
4.3.4	Visualisierung der Demontageschritte	60
4.3.5	Strecken	63
4.3.6	Auslastung der Werkzeuge	65
4.3.7	Einfluss der Roboterdynamik	67
4.3.8	Positionierung der Batterie	68
4.4	Ausblick	70
4.4.1	Evaluation der Methodik	70
4.4.2	Evaluation der Ergebnisse	71
5	Kreislaufwirtschaftsstrategien als Teil der Demontageplanung	73
5.1	Methodik	73
5.1.1	Aufbau des Demontageoptimierers	74
5.1.2	Erstellung der Ausgangspopulation	75
5.1.3	Evaluation einer Population	79
5.1.4	Selektion und Rekombination	80

5.1.5	Mutation	82
5.2	Fallstudie	84
5.2.1	Modellannahmen	84
5.2.2	Zustandsszenarien	86
5.2.3	Modellergebnisse	88
5.3	Ausblick	90
6	Zelldesigns und Produktionstechnologien für die Demontagefreundlichkeit	93
6.1	Rundzellen im Automobilbereich	94
6.2	Produktanalyse	95
6.2.1	Untersuchung der Zelleigenschaften	95
6.2.2	Untersuchung des Zelldesigns	100
6.3	Ergebnisse der Produktanalyse	102
6.3.1	Zelleigenschaften	102
6.3.2	Wickeldesign	109
6.4	Generische Beschreibung	115
6.4.1	Wickeldesign	115
6.4.2	Wickelkontaktierung	116
6.5	Produktionstechnologien	120
6.5.1	Anforderungen an die Wickelanlage	120
6.5.2	Wickelaufgaben und Produktionsschritte	121
6.5.3	Materialfluss und Module der Wickelanlage	125
6.6	Ausblick	128
7	Zusammenfassung und Ausblick	131
	Abkürzungsverzeichnis	133
	Tabellenverzeichnis	139
	Abbildungsverzeichnis	141
	Literaturverzeichnis	149
	Veröffentlichungen	161
	Curriculum Vitae	165

Danksagung

169
