

Inhaltsübersicht

Inhaltsübersicht	I
Inhaltsverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	XI
Tabellenverzeichnis.....	XVII
Formelverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis.....	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung.....	4
1.3 Forschungskonzeption	4
1.4 Forschungsfrage	9
1.5 Aufbau der Arbeit	10
2 Validierung und Zertifizierung von Lithium-Ionen-Batteriesystemen	13
2.1 Grundlagen der Funktionsweise von Lithium-Ionen-Batterien.....	13
2.2 Regularien für die Batterieentwicklung	45
2.3 Anforderungen und Prüfungen im Validierungs- und Zertifizierungsprozess.....	54
2.4 Handlungsbedarf aus der Praxis	76
3 Grundlagen der Validierung und Zertifizierung im Produktentwicklungsprozess .	79
3.1 Anforderungen an die Methodik	79
3.2 Methoden zur Gestaltung der Qualitätssicherung im Produktentstehungsprozess	81
3.3 Ansätze der methodischen Testplanung.....	98
3.4 Handlungsbedarf aus der Theorie	103
4 Konzeption einer Methodik zur Gestaltung des Prüfprozesses	107
4.1 Grundlagen der Konzeption einer Methodik	107
4.2 Strukturierung und Visualisierung der Methodik	109
4.3 Zwischenfazit	114
5 Detaillierung der Methodik	115
5.1 Detaillierung des Initiierungsmoduls.....	115
5.2 Detaillierung des Analysemoduls.....	130

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsübersicht	I
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XVII
Formelverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung.....	4
1.3 Forschungskonzeption.....	4
1.3.1 Wissenschaftstheoretischer Bezugsrahmen.....	5
1.3.2 Forschungsmethodologisches Vorgehen.....	6
1.4 Forschungsfrage.....	9
1.5 Aufbau der Arbeit.....	10
2 Validierung und Zertifizierung von Lithium-Ionen-Batteriesystemen	13
2.1 Grundlagen der Funktionsweise von Lithium-Ionen-Batterien.....	13
2.1.1 Aufbau von Batteriesystemen.....	13
2.1.1.1 Batteriezelle.....	14
2.1.1.2 Batteriemodul und Batteriepack.....	19
2.1.2 Sicherheitsrisiko von Lithium-Ionen-Batteriesystemen.....	33
2.1.2.1 Elektrische Gefährdung.....	34
2.1.2.2 Thermische Gefährdung.....	34
2.1.2.3 Mechanische Gefährdung.....	37
2.1.2.4 Chemische Gefährdung.....	37
2.1.3 Technische Maßnahmen zur Risikominimierung.....	39
2.1.4 Zielkonflikt zwischen Energie- bzw. Leistungsdichte und Sicherheit.....	43
2.1.5 Zwischenfazit.....	44
2.2 Regularien für die Batterieentwicklung.....	45

2.2.1	Begriffsverständnis und Grundlagen	45
2.2.2	Internationale und nationale Institutionen	48
2.2.3	Relevante Normen und Regularien für die Lithium-Ionen-Batterie.....	49
2.2.4	Zwischenfazit	54
2.3	Anforderungen und Prüfungen im Validierungs- und Zertifizierungsprozess.....	54
2.3.1	Validierung und Verifizierung im Entwicklungsprozess.....	54
2.3.2	Prüfanforderungen an das Batteriesystem entlang des Entwicklungsprozesses	55
2.3.2.1	Prüfungen zur Verifizierung der mechanischen Anforderungen	59
2.3.2.2	Prüfungen zur Verifizierung der elektrischen Anforderungen	65
2.3.2.3	Prüfungen zur Verifizierung der thermischen Anforderungen	68
2.3.2.4	Prüfungen zur Verifizierung der chemischen Anforderungen	73
2.3.3	Herausforderungen in der Validierung und Verifizierung von Batteriesystemen .	74
2.3.4	Zwischenfazit	76
2.4	Handlungsbedarf aus der Praxis	76
3	Grundlagen der Validierung und Zertifizierung im Produktentwicklungsprozess .	79
3.1	Anforderungen an die Methodik.....	79
3.1.1	Inhaltliche Anforderungen	80
3.1.2	Formale Anforderungen	80
3.2	Methoden zur Gestaltung der Qualitätssicherung im Produktentstehungsprozess.....	81
3.2.1	Konstruktive Methoden der Qualitätssicherung	84
3.2.1.1	Vorgehensmodelle	84
3.2.1.2	Quality Function Deployment	93
3.2.1.3	Zwischenfazit	94
3.2.2	Analytische Methoden der Qualitätssicherung	94
3.2.2.1	Statische Verfahren	95
3.2.2.2	Dynamische Verfahren	95
3.2.2.3	Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse.....	95
3.2.2.4	Zwischenfazit	97
3.3	Ansätze der methodischen Testplanung.....	98
3.3.1	Parallelisierung von Systemintegrationstests nach KIRCHMAYR.....	98
3.3.2	Testautomatisierung nach DUSTIN.....	99

3.3.3	Testgetriebene Entwicklung nach BECK	100
3.3.4	Agiles Testvorgehen nach CRISPIN	101
3.3.5	Kombinatorisches Testen nach COHEN und OSTER	103
3.4	Handlungsbedarf aus der Theorie	103
4	Konzeption einer Methodik zur Gestaltung des Prüfprozesses	107
4.1	Grundlagen der Konzeption einer Methodik	107
4.1.1	Allgemeine Modelltheorie	107
4.1.2	Systemtechnik	108
4.2	Strukturierung und Visualisierung der Methodik	109
4.2.1	Definition einer Aufbaustruktur	109
4.2.2	Definition der Ablaufstruktur	111
4.2.3	Visualisierung der Methodik	113
4.3	Zwischenfazit	114
5	Detaillierung der Methodik	115
5.1	Detaillierung des Initiierungsmoduls	115
5.1.1	Definition der Produkthanforderungen	116
5.1.1.1	Bestimmung der Eingangsinformationen	116
5.1.1.2	Bestimmung der relevanten Produkthanforderungen	119
5.1.1.3	Zusammenfassung der ersten Phase	120
5.1.2	Definition der Prüfanforderungen	121
5.1.2.1	Identifikation der relevanten Normen und Standards	121
5.1.2.2	Bestimmung der Prüfanforderungen	124
5.1.2.3	Bestimmung der Prozessanforderungen	124
5.1.2.4	Zusammenfassung der zweiten Phase	126
5.1.3	Aufbau einer Produktarchitektur	127
5.1.3.1	Erzeugung der Eingangsinformationen	127
5.1.3.2	Bewertung der Zusammenhänge zwischen Produktausprägungen und Produkthanforderungen	128
5.1.3.3	Zusammenfassung der dritten Phase	129
5.2	Detaillierung des Analysemoduls	130
5.2.1	Bestimmung der Zusammenhänge zwischen den Prüfanforderungen innerhalb eines Testfalls	130

5.2.1.1	Bewertung der Affinität der Prüfanforderungen	131
5.2.1.2	Bewertung der Korrelation der Prüfanforderungen.....	133
5.2.1.3	Zusammenfassung der vierten Phase.....	134
5.2.2	Bestimmung der Zusammenhänge zwischen den Start- und Endbedingungen verschiedener Testfälle	134
5.2.2.1	Erzeugung der Eingangsinformationen	135
5.2.2.2	Bewertung der Kompatibilität der Start- und Endbedingungen	138
5.2.2.3	Zusammenfassung der fünften Phase.....	139
5.2.3	Bestimmung der Wirkzusammenhänge zwischen Produktstruktur und Prüfanforderungen	140
5.2.3.1	Bewertung der Zusammenhänge zwischen Produkt- und Prüfanforderungen.....	140
5.2.3.2	Bewertung des Zusammenhangs zwischen Prüfanforderungen und Produktausprägungen.....	141
5.2.3.3	Zusammenfassung der sechsten Phase	142
5.3	Detaillierung des Gestaltungsmoduls	142
5.3.1	Kombination der Prüfungen	143
5.3.1.1	Bestimmung der Kombinationen	143
5.3.1.2	Festlegung und Bewertung der kombinierten Prüfanforderungen.....	146
5.3.1.3	Zusammenfassung der siebten Phase	148
5.3.2	Sequenzierung der Prüfungen	149
5.3.2.1	Bestimmung der Reihenfolge der Prüfungen	149
5.3.2.2	Bewertung der Prüfreihenfolge	151
5.3.2.3	Zusammenfassung der achten Phase.....	153
5.3.3	Auswahl von Subsystemen	153
5.3.3.1	Erzeugung der Eingangsinformationen	154
5.3.3.2	Definition der Subsysteme	155
5.3.3.3	Kritische Reflexion der Subsysteme.....	156
5.3.3.4	Zusammenfassung der neunten Phase.....	156
5.4	Zwischenfazit	157
6	Anwendung der Methodik	159
6.1	Anwendungsbeispiel Entwicklung einer Traktionsbatterie.....	159

6.1.1 Unternehmensprofil	159
6.1.2 Initiierungsmodul.....	160
6.1.3 Analysemodul	162
6.1.4 Gestaltungsmodul.....	166
6.2 Kritische Reflexion	171
6.3 Zwischenfazit	173
7 Zusammenfassung und Ausblick	175
8 Literaturverzeichnis	179
9 Anhang	201