

# Inhaltsverzeichnis

<b>Anglizismen</b>	<b>1</b>
<b>Abstract</b>	<b>2</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>6</b>
1.1 Motivation . . . . .	6
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	8
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>10</b>
2.1 Grundlagen des Aufbaus einer Batteriezelle . . . . .	10
2.1.1 Bauformen . . . . .	13
2.1.2 Elektrolyt . . . . .	14
2.1.3 Anode . . . . .	15
2.1.4 Kathode . . . . .	15
2.1.5 Alterungseffekte . . . . .	16
2.2 Aufbau einer Traktionsbatterie . . . . .	19
2.2.1 Komponenten . . . . .	19
2.2.2 Energiedichte . . . . .	21
2.3 Thermal Runaway . . . . .	22
2.3.1 Ablauf eines TRs . . . . .	22
2.3.2 Triggertemperatur . . . . .	24
2.3.3 Ventinggas . . . . .	29
2.4 Thermal Propagation . . . . .	30
2.4.1 Konduktion und Konvektion . . . . .	31
2.4.2 Beschreibende Größen . . . . .	33
2.4.3 Maßnahmen gegen TP . . . . .	36

2.5	Lichtbögen . . . . .	38
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>41</b>
3.1	Verwendete Batteriezelle . . . . .	42
3.2	Statistische Versuchsplanning . . . . .	43
3.2.1	Aufbau der Vorversuche zum Trigger „Nagel“ . . . . .	43
3.2.2	Entwicklung der Versuchsmatrix . . . . .	45
3.3	Versuchsstand für TP-Untersuchungen . . . . .	47
3.3.1	Beschreibung des Aufbaus . . . . .	47
3.3.2	Beschreibung Durchführung . . . . .	54
3.4	Lichtbogentests . . . . .	56
3.4.1	Gaszusammensetzung Autoklav . . . . .	56
3.4.2	Aufbau zur Messung der Paschenkurve . . . . .	57
3.4.3	Lichtbogenuntersuchungen in realem Ventinggas . . . . .	60
<b>4</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>64</b>
4.1	Ergebnisse Vorabuntersuchungen . . . . .	64
4.1.1	Vorversuche zum Trigger Nagel . . . . .	64
4.1.2	Zyklisierung der Zellen . . . . .	67
4.2	Ergebnisse ARC Vorversuche . . . . .	72
4.3	Einfluss der Gaszusammensetzung in der Batterie . . . . .	73
4.4	Untersuchungen zu TP . . . . .	77
4.4.1	Optimale Triggermethode . . . . .	77
4.4.2	Qualifizierung Prüfstand . . . . .	82
4.4.3	Einfluss SoC und T auf Propagationsparameter . . . . .	87
4.4.4	Propagationsverhalten für gealterte Zellen . . . . .	93
4.5	Lichtbögen . . . . .	98
4.5.1	Ermittelte Paschenkurven in Gas ohne Partikel . . . . .	98
4.5.2	Verwendung von realem Ventinggas ohne Partikelfilter . . . . .	99
4.5.3	Partikelanalyse . . . . .	107
<b>5</b>	<b>Ausblick</b>	<b>114</b>
<b>A</b>	<b>Zyklisierung der Zellen, SoC 50 %</b>	<b>116</b>
<b>B</b>	<b>Übersicht über eingesetzte Messmittel</b>	<b>117</b>

---

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>118</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>122</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>123</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>133</b>
<b>Veröffentlichungen</b>	<b>142</b>
<b>Curriculum Vitae</b>	<b>143</b>
<b>Danksagung</b>	<b>144</b>