



Laura Stöhr (Autor)

# Untersuchung von Wiederaufbereitungsmethoden von Lithium-Ionen-Zellen



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8842>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation dieser Arbeit . . . . .	1
1.2	Ziel dieser Arbeit . . . . .	2
1.3	Aufbau dieser Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1	Elektrochemische Zellen . . . . .	5
2.1.1	Definition . . . . .	5
2.1.2	Aufbau und Bestandteile . . . . .	6
2.1.3	Funktion . . . . .	7
2.2	Lithium-Ionen-Zellen . . . . .	8
2.2.1	Funktion . . . . .	8
2.2.2	Elektroden . . . . .	9
2.2.3	Elektrolyt . . . . .	13
2.2.4	Solid Electrolyte Interphase (SEI) . . . . .	16
2.2.5	Separator . . . . .	17
2.2.6	Stromableiter . . . . .	18
2.2.7	Ladeverfahren . . . . .	18
2.2.8	Alterungsmechanismen . . . . .	19
2.2.9	Tiefenentladung . . . . .	23
2.3	Charakteristische Größen von Lithium-Ionen Zellen . . . . .	25
2.3.1	Spannung und Überspannung . . . . .	25
2.3.2	Kapazität und C-Rate . . . . .	26
2.3.3	Ladezustand, Entladetiefe und Gesundheitszustand . . . . .	27
2.3.4	Widerstand . . . . .	28
2.3.5	Impedanzspektrum und Ersatzschaltbild . . . . .	29
2.4	Charakterisierungsmethoden . . . . .	31

---

2.4.1	Ruhespannungsmessung . . . . .	31
2.4.2	Kapazitätsmessung . . . . .	32
2.4.3	Elektrochemische Impedanzspektroskopie . . . . .	32
2.4.4	Stromsprung-Messung . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Materialien und Methoden</b>	<b>35</b>
3.1	Materialien und Geräte . . . . .	35
3.1.1	Lithium-Ionen-Zellen . . . . .	35
3.1.2	Messumgebung . . . . .	36
3.1.3	Elektrische Kontaktierung . . . . .	37
3.1.4	Materialien und Chemikalien zur Elektrolytherstellung . . . . .	38
3.1.5	Öffnung und Befüllung der Zellen . . . . .	39
3.1.6	Zellabdichtung . . . . .	40
3.2	Charakterisierungsmethoden . . . . .	41
3.2.1	Vorgehen . . . . .	41
3.2.2	Ruhespannungsmessung . . . . .	42
3.2.3	Kapazitätsmessung . . . . .	43
3.2.4	Elektrochemische Impedanzspektroskopie . . . . .	44
3.2.5	Stromsprungmessung . . . . .	46
3.2.6	Strompulsentladung . . . . .	47
3.3	Kapazitätsbestimmung durch Ruhespannungsmessung und Strom- pulsentladung . . . . .	48
3.4	Wiederaufbereitungsmethoden . . . . .	51
3.4.1	Vorgehen - Gesamtüberblick . . . . .	51
3.4.2	Tiefenentladung . . . . .	52
3.4.3	Elektrolytzugabe . . . . .	56
<b>4</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>63</b>
4.1	Kapazitätsbestimmung durch Ruhespannungsmessung und Strom- pulsentladung . . . . .	63
4.2	Tiefenentladung . . . . .	66
4.3	Schrittweise Tiefenentladung der LG-MH1 Zellen . . . . .	66
4.3.1	Elektrochemische Impedanzspektroskopie . . . . .	66
4.4	Schrittweise Tiefenentladung der Samsung-15L Zellen . . . . .	70
4.4.1	Elektrochemische Impedanzspektroskopie . . . . .	70

---

---

4.5	Tiefenentladung mit zeitlichem Abbruchkriterium . . . . .	73
4.5.1	Elektrochemische Impedanzspektroskopie . . . . .	73
4.6	Kapazitätsmessung . . . . .	76
4.7	Elektrolytzugabe mit LP40 . . . . .	77
4.7.1	Elektrochemische Impedanzspektroskopie . . . . .	77
4.8	Elektrolytzugabe mit 1 M LiPF <sub>6</sub> in EMC/DEC (1:19) . . . . .	80
4.8.1	Elektrochemische Impedanzspektroskopie . . . . .	80
4.9	Elektrolytzugabe mit 1,5 M LiPF <sub>6</sub> in EMC/DEC (1:19) . . . . .	83
4.9.1	Elektrochemische Impedanzspektroskopie . . . . .	83
4.10	Elektrolytzugabe mit 2 M LiPF <sub>6</sub> in EMC/DEC (1:19) . . . . .	85
4.10.1	Elektrochemische Impedanzspektroskopie . . . . .	85
4.11	Stromsprung-Messung . . . . .	88
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> . . . . .	<b>93</b>
5.1	Zusammenfassung dieser Arbeit . . . . .	93
5.2	Ausblick . . . . .	94
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> . . . . .	<b>95</b>
	<b>Formelzeichen</b> . . . . .	<b>97</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b> . . . . .	<b>99</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b> . . . . .	<b>101</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	<b>103</b>
	<b>Danksagung</b> . . . . .	<b>111</b>

---