Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis VIII

Kurzzusammenfassung XI

Abstract XII

1 Einleitung 1

1.1 Bedeutung batterieelektrischer Speicher für die Energiewende 1

1.2 Umfang und Struktur dieser Arbeit 2

2 Grundlagen und Methoden 4

2.1 Elektrochemische Grundlagen 4

2.2 Elektrochemische Charakterisierungsmethoden 7

2.3 Physikochemische Charakterisierungsmethoden 9

2.3.1 Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie 9

2.3.2 Raman-Spektroskopie 10

2.3.3 Rasterelektronenmikroskopie, energiedispersive Röntgenspektroskopie und weiche Röntgenemissionsspektroskopie 12

2.3.4 Physisorptionsmessung 13

2.3.5 Elementaranalyse 14

2.3.6 Thermogravimetrische Analyse und dynamische Wärmestromdifferenz-kalorimetrie 14

2.4 Prozesse der Komposit-Materialherstellung 15

2.4.1 Polykondensation von Ethylenglycol und Citronensäure 15

2.4.2 Thermische Umwandlung von Polyacrylnitril 16

3 Stand der Technik 18

3.1 Lithium-Ionen-basierte Batterien 18
3.2 Silicium-basierte Anoden 23
3.3 Silicium-Kohlenstoff Komposit-Materialien 28
3.3.1 Kohlenstoffverbindungen für Silicium-Kohlenstoff Komposite 29
3.3.2 Struktureller Aufbau von Silicium-Kohlenstoff Kompositen 30
3.4 Industrielle Ansätze für Silicium-basierte Anoden 35
3.5 Silicium-basierte Anoden in Festkörperbatterien 37
4 Evaluation der Kohlenstoffummantelung von Silicium-Kohlenstoff Kompositen 40
4.1 Quantifizierung des an der Oberfläche des Komposits verfügbaren Siliciums 40
4.2 Experimentalteil 43
4.3 Strukturelle Eigenschaften von Ein- und Mehrschalen-Kompositen 47
4.4 Elektrochemische Eigenschaften von Si@SCS und Si@MCS Kompositen 57
4.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung 62
5 Evaluation der Degradationsmechanismen von Si/C Kompositen 63
5.1 Herstellung von Mehrschalen-Kompositen 63
5.1.1 Experimentalteil 64
5.1.2 Evaluation von Mehrschalen-Kompositen 67
5.2 Evaluation von Leitadditiven für Silicium-basierte Anoden 71
5.2.1 Experimentalteil 72
5.2.2 Elektrochemische Evaluation und post-mortem REM-Analyse 74
5.3 Evaluation Hohlraum-strukturierter Si/C Komposite 81
5.3.1 Physikochemische und elektrochemische Methoden 81
5.3.2 Herstellung Hohlraum-strukturierter Si/C Mehrschalen-Komposite 83
5.3.3 Elektrochemische Evaluation Hohlraum-strukturierter Si/C Mehrschalen-Komposite 87
5.4 Ableitung industrienaher Prozesse zur Herstellung von Si/C Kompositen 94

5.5 Einfluss Silicium-basierter Anoden auf die Energiedichte auf Zellebene 96

5.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung 97

6 Evaluation von Silicium-Anoden in Festkörperbatterien 98

6.1 Experimentalteil 99

6.2 Evaluation von Silicium-Li_6PS_5Cl Anoden und Feststoffelektrolyt-freien Silicium Anoden 104

6.3 Evaluation Feststoffelektrolyt-freier Anoden für ASSBs 111

6.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung 115

7 Zusammenfassung und Ausblick 117

7.1 Zusammenfassung 117

7.2 Ausblick 119

Anhang 121

Literaturverzeichnis 144

Lebenslauf 165

Danksagung 166

Selbstständigkeitserklärung 167