

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

XXIII

1	Einleitung und Motivation	1
1.1	Produktion eigenschaftsoptimierter Lithiumionenbatterieelektroden .	2
1.2	Struktur der Arbeit	4
2	Theoretische Grundlagen und Stand des Wissens	5
2.1	Lithiumionenbatterie	6
2.1.1	Funktionsprinzip der Lithiumionenbatterie	6
2.1.2	Funktionsmaterialien der Elektrodenbeschichtung	7
2.1.3	Interaktionen der Funktionsmaterialien	11
2.2	Herstellung von Elektrodenbeschichtungen	16
2.2.1	Prozessschema	16
2.2.2	Suspensionsformulierung für Batteriematerialien	18
2.3	Strukturausbildung in Batterieelektroden	26
2.3.1	Prozess-Struktur-Funktionen	26
2.3.2	Struktur-Eigenschaft-Funktionen	27
2.3.3	Prozess-Struktur-Eigenschaft-Beziehungen	29
3	Material und Methoden	31
3.1	Versuchsmaterialien	31
3.1.1	Elektrochemisch aktive Materialien	31
3.1.2	Inaktive Komponenten	32
3.1.3	Rezepturen	33
3.2	Misch- und Dispergiergeräte	36
3.2.1	Schüttelmischer TURBULA® T 2 F	36
3.2.2	Hochintensivmischer Nobilta™ NOB-130	36
3.2.3	Intensivmischer Typ R02Vac	38
3.2.4	Planeten-Misch- und Knetmaschine PMH 10	40
3.2.5	Dissolver DISPERMAT® CA60	42
3.3	Geräte zur Beschichtung und Verdichtung	43
3.3.1	Kontinuierliche Beschichtungsanlage LabCo	43
3.3.2	Kalander GKL 400	44
3.4	Analysemethoden	45
3.4.1	Elektrische Leitfähigkeit und Packungsdichte von Pulvern	45
3.4.2	Thermogravimetrische Analyse von Pulvern und Elektroden	46
3.4.3	Rheologische Charakterisierung von Suspensionen	46
3.4.4	Mechanische Beschichtungseigenschaften	49
3.4.5	Elektrische Beschichtungseigenschaften	52
3.4.6	Strukturelle Beschichtungseigenschaften	53

3.4.7	Zellbau und elektrochemische Charakterisierung	58
4	Einfluss des Trockenmischens	61
4.1	Eigenschaftsbeeinflussung durch Integration eines Hochintensivmisch- prozesses	62
4.1.1	Eigenschaften der Pulvermischungen	62
4.1.2	Eigenschaften der Batteriesuspensionen	69
4.1.3	Eigenschaften der Batterieelektroden	71
4.1.4	Abschließende Bemerkungen zu den Ergebnissen des Unterka- pitels	89
4.2	Alternativer Trockenmischprozess im Eirich-Intensivmischer	91
4.3	Trockenmischarten im direkten Vergleich	96
4.3.1	Eigenschaften der Batteriesuspensionen	96
4.3.2	Eigenschaften der Batterieelektroden	98
5	Einfluss des Dispergierens	105
5.1	Rezepturbedingte Einflüsse auf die Struktur der Batteriesuspension .	106
5.2	Variation der Dispergierzeit	113
5.2.1	Abschließende Bemerkungen zu den Ergebnissen des Unterka- pitels	121
5.3	Variation der Dispergierintensität	122
5.3.1	Abschließende Bemerkungen zu den Ergebnissen des Unterka- pitels	125
6	Einfluss von Formulierungstechniken	127
6.1	Trockenmischung aller Komponenten, Bindermatrix und separate Ruß- vordestrukturierung im Vergleich	128
6.1.1	Haftfestigkeit und Elektrodenstruktur	129
6.1.2	Elektrische Leitfähigkeit und Elektrodenstruktur	133
6.1.3	Abschließende Bemerkungen zu den Ergebnissen des Unterka- pitels	135
6.2	Variation der Formulierungsstrategie	136
6.2.1	Eigenschaften der Batteriesuspensionen	138
6.2.2	Eigenschaften der Batterieelektroden	140
6.2.3	Abschließende Bemerkungen zu den Ergebnissen des Unterka- pitels	147
7	Schlussfolgerungen und Ausblick	149
7.1	Diskussion übergeordneter Zusammenhänge	149
7.1.1	Korrelation elektrischer und struktureller Beschichtungseigen- schaften	149
7.1.2	Korrelation mechanischer und struktureller Beschichtungseigen- schaften	151
7.2	Abschließende Bewertung der Ergebnisse	154

7.3	Forschungspotentiale	158
7.3.1	Identifikation des Rußdestrukturierungsgrades in Trockenmischung, Suspension und Elektrodenbeschichtung	158
7.3.2	Prozessschrittübergreifende Betrachtung der Strukturbeeinflussung	160
Literaturverzeichnis		163
A Detailinformationen zu Maschinen, Prozessen und Analysen		185
A.1	Zusatzdaten für den Intensivmischer Typ R02Vac	185
A.2	Zusatzdaten für den Hochintensivmischer Nobilta™ NOB-130	186
A.3	Zusatzparameterset für den Planetenmischer PMH 10	187
A.4	Gewichtsabhängigkeit der TGA	188
B Ergänzungen zu Kapitel 4 „Einfluss des Trockenmischens“		189
B.1	Zusatzdaten zu den Hochintensivmischuntersuchungen	189
B.2	Homogenität der Produkteigenschaftsverteilung	196
B.3	Zusatzdaten zu den Eirich-Intensivmischungen	201
B.4	Trockenmischarten im direkten Vergleich – Zusatz	202
C Ergänzungen zu Kapitel 5 „Einfluss des Dispergierens“		203
C.1	Rezepturbedingte Einflüsse	203
C.2	Zusatzdaten zu den Untersuchungen zur Dispergierzeit	205
D Ergänzungen zu Kapitel 6 „Einfluss von Formulierungsstrategien“		207
E Zusatzdaten zur Diskussion übergeordneter Zusammenhänge		211