

# 1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	1
2	Einleitung	5
3	Stand des Wissens und der Technik	10
3.1	Einführung	10
3.2	Wirbelschichtsprühgranulation	11
3.2.1	Mechanismen des Granulataufbaus	15
3.2.2	Trocknungsverlauf am Einzelpartikel	17
3.2.3	Handhabung von Geldart C-Materialien	19
3.2.4	Granulation feiner Partikel	20
3.2.5	Granulation von temperaturempfindlichen Materialien	21
3.2.6	Sprühgranulation in der zirkulierenden Wirbelschicht	22
3.3	Zirkulierende Wirbelschichten (ZWS)	24
3.3.1	Grundlagen	24
3.3.2	Kornzerkleinernde Mechanismen	26
3.3.3	Bruch und Abrieb in der (zirkulierenden) Wirbelschicht	28
3.4	Populationsbilanzen	29
3.4.1	Korngrößenverändernde Mechanismen	29
3.4.2	Formulierung der Populationsbilanzen	31
3.4.3	Lösung der Populationsbilanzen	39
4	Modellierung des ZWS-Granulators	42
4.1	Modellzonen	42
4.2	Abschätzung der Strömungsmechanik im ZWS-Riser	43
4.2.1	Ein prädiktives hydrodynamisches Modell für zirkulierende Wirbelschichten	44
4.2.2	Freie Weglänge bis zum Tropfen-Partikel-Kontakt	47
4.2.3	Verdunstung des Wasseranteils am Tropfen	51
4.2.4	Abschätzung der Sprühzonen, Granulationszonen	53
4.3	Numerische Simulation / Populationsbilanzmodell	55
4.3.1	Populationsbilanzmodell zur Granulation in der ZWS	55
4.3.2	Simulation der Versuche / Numerik	58
5	Material und Methoden	61
5.1	Phänomenologische Untersuchung zur Granulation in der zirkulierenden Wirbelschicht	61

5.1.1	Experimenteller Aufbau zur Granulation / Agglomeration in der ZWS	61
5.1.2	Material	66
5.1.3	Versuchsdurchführung	69
5.2	Analytische Methoden.	69
5.2.1	Siebung	69
5.2.2	Partikelgrößenbestimmung mittels Laserbeugung	69
5.2.3	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen (REM)	73
5.2.4	Bestimmung der Feststoffzirkulationsrate $G_s$	73
5.3	Kornzerkleinerung - Abrieb und Bruch	77
5.3.1	Material	77
5.3.2	Versuchsdurchführung	80
6	Ergebnisse	88
6.1	Granulation / Agglomeration in der ZWS	88
6.1.1	Temperatur	88
6.1.2	Druckmessungen	92
6.1.3	Partikelgröße	97
6.1.4	Morphologie	108
6.1.5	Zusammenfassung der ZWS-Versuche	114
6.2	Abrieb und Bruch in der ZWS	116
6.2.1	Optische Auswertung des Abriebs- und Bruchverhaltens	116
6.2.2	Bruch	119
6.2.3	Abrieb	127
6.2.4	Modellentwicklung Abrieb und Bruch	134
6.2.5	Zusammenfassung Abrieb und Bruch	142
6.3	Numerische Simulation / Populationsbilanzen	143
6.3.1	Entwicklung der Korngrößenverteilung - Modellgüte	145
6.3.2	Einfluss von Prozessparametern auf den Agglomerationskernel	155
6.3.3	Zusammenfassung der numerischen Simulation	167
7	Zusammenfassung	169
8	Formelzeichen	174
9	Literaturverzeichnis	180
10	Appendix A: Modellierung der Strömungsmechanik des Risers	187
10.1	Strömungsmechanikmodell	187
10.1.1	Basis Sub-Modelle	187
10.1.2	Dichte Bodenzone	188
10.1.3	Dünne obere Zone der ZWS	190

---

10.1.4	Kopplung und Randbedingungen	196
10.1.5	Numerische Lösung des Modells	196
10.1.6	Ausgewählte Ergebnisse	198
10.2	Verdunstung des Wasseranteils am Tropfen	200
11	Appendix B: Abrieb in Wirbelschichten	205
12	Appendix C: Lösung der Populationsbilanzen	209
12.1	Diskretisierung der Populationsbilanzen	209
13	Appendix D: Ergänzungen zum Versuchsaufbau und ausgewählte Ergebnisse der ZWS-Versuche	215
13.1	ZWS-Granulatorsetup 100 mm	215
13.2	Tropfengrößenverteilungen Saccharoselösung	216