

Inhaltsverzeichnis

	Symbolverzeichnis	IX
1	Einleitung	1
2	Physikalische Grundlagen der Partikelbeanspruchung	4
2.1	Kontaktdeformation.....	4
2.1.1	Elastische Kontaktdeformation	6
2.1.2	Elastisch-plastische Kontaktdeformation	9
2.1.3	Plastische Kontaktdeformation.....	14
2.1.4	Viskose Kontaktdeformation.....	15
2.2	Der Stoßvorgang.....	17
2.2.1	Definition.....	17
2.2.2	Stoßarten.....	18
2.2.2.1	Der gerade zentrale Stoß	18
2.2.2.2	Der elastische Stoß	18
2.2.2.3	Der plastische Stoß.....	20
2.2.2.4	Der elastisch-plastische Stoß und die normale Stoßzahl.....	21
2.2.2.5	Der elastische Stoß nach Hertz.....	24
2.2.2.6	Einfluss elastischer Wellen beim elastischen Stoß.....	27
2.2.2.7	Grenzen der Hertz-Theorie für den elastischen Stoß	31
2.2.3	Mechanische Modelle zur Berechnung der Stoßzahl	34
2.2.4	Der schiefe Stoß und die tangentialen Stoßzahl	49
2.2.5	Experimentelle Untersuchungen der Stoßzahl in der Literatur	55
2.2.6	Ausgewählte experimentelle Ergebnisse zur Stoßdynamik	56
2.3	Relativbewegung eines Partikels in einem Fluid im Schwerfeld.....	62
2.4	Oberflächenfeuchte	67
2.4.1	Adsorptionsschicht.....	68
2.4.2	Kapillarbrücke	69
2.4.3	Befeuchtung eines Schüttguts oder Agglomerats	71
3	Numerische Simulationen der Kontaktprobleme.....	73
3.1	Finite-Elemente-Methode.....	74
3.1.1	Grundzüge der Finite-Elemente-Methode.....	74
3.1.2	Arbeiten aus der Literatur zur Stoß- und Bruchdynamik	75
3.2	Diskrete-Elemente-Methode.....	76

3.2.1	Simulationsmethode "Particle Flow Code"	76
3.2.2	Lineares Federkontaktmodell	82
3.2.3	Reibungsmodell	82
3.2.4	Viskose Dämpfung	83
3.2.5	Kontaktmodell	84
3.2.6	Festkörperbrückenbindungen als "Parallelbindungen"	84
3.2.7	Ermittlung des Zeitschritts	87
3.2.8	Ermittlung von Energie und Arbeit	89
4	Messtechnik und Versuchsaufbau	91
4.1	Granulateigenschaften	91
4.1.1	Partikelgrößenanalyse	91
4.1.2	Dichtebestimmung	93
4.1.2.1	Feststoffdichtemessung	94
4.1.2.2	Granulatdichtemessung	95
4.1.3	Bildanalyse mittels Rasterelektronenmikroskop	96
4.1.4	Bestimmung der Adsorptionsisothermen	97
4.1.5	Feuchtigkeitsbestimmung	98
4.2	Befeuchtung der Granulate	99
4.3	Druckversuche	101
4.4	Messung der Stoßzahl	103
4.4.1	Prallplatte	103
4.4.2	Visuelle Messsysteme	105
4.4.2.1	Videokamera	105
4.4.2.2	Hochgeschwindigkeitsdigtalkamera	106
4.4.2.3	Programm zur Auswertung der Hochgeschwindigkeitsdigitalaufnahmen	108
4.4.3	Fallversuchsapparatur	111
4.4.4	Elektromagnetische Prallkanone	112
4.4.4.1	Funktionsweise	112
4.4.4.2	Einfluss der Gravitation und der Widerstandskraft	114
5	Versuchsgranulate und deren Charakterisierung	116
5.1	γ -Aluminiumoxid	117
5.2	Zeolith	117
5.3	Natriumbenzoat	118
5.4	Partikelgrößenverteilung und Sphärizität	119

5.5	Dichte und Porosität	120
5.6	Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop	121
5.7	Adsorptionsisotherme	122
5.8	Feuchtigkeit der Materialien	123
6	Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen	125
6.1	Druckversuche	125
6.1.1	Druckversuche bis zum Bruch	125
6.1.1.1	Kraft-Weg-Kurven	126
6.1.1.2	Einfluss der Granulatfeuchtigkeit auf das Kraft-Weg-Verhalten	135
6.1.1.3	Bruchwahrscheinlichkeitsverteilungen der Versuchsgranulate	139
6.1.1.3.1	Bruchkraftverteilungen der Versuchsgranulate	139
6.1.1.3.2	Äquivalente Bruchgeschwindigkeitsverteilungen der Versuchsgranulate	141
6.1.2	Zyklische Druckbeanspruchung der Granulate	143
6.1.2.1	Kraft-Weg-Kurven	143
6.1.2.2	Einfluss der Beladung bei zyklischer Druckbeanspruchung	147
6.1.2.3	Ermittlung der äquivalenten Stoßzahl	149
6.1.2.4	Anpassung der Stoßzahl mittels des Modells von Walton und Braun	150
6.1.3	Zusammenfassende Interpretation der Druckversuche	153
6.2	Stoßversuche	154
6.2.1	Fallversuche	154
6.2.1.1	Auswertung der Videoaufnahmen	154
6.2.1.2	Auswertung der Hochgeschwindigkeitsaufnahmen	157
6.2.1.2.1	Gerader Stoß	157
6.2.1.2.2	Schiefer Stoß	161
6.2.2	Schussversuche	172
6.2.2.1	Einfluss der Aufprallgeschwindigkeit auf das Stoßverhalten	172
6.2.2.2	Einfluss der Beladung auf das Stoßverhalten	176
6.2.2.3	Anpassung der Versuchsergebnisse mittels des Modells von Thornton	180
6.2.2.4	Zusammenfassende Interpretation der Stoßversuche	182
7	DEM-Simulation des Druck- und Stoßvorgangs	185
7.1	Granulaterzeugung	185
7.2	Kalibrierung	188
7.3	Simulation des Stoßvorgangs	194
7.3.1	Einfluss der Aufprallgeschwindigkeit	199

7.3.2	Reibungs- und dämpfungsfreier Stoßvorgang.....	206
7.3.3	Einfluss des Gleitreibungskoeffizienten.....	213
7.3.4	Einfluss des Dämpfungskoeffizienten.....	214
7.4	Zusammenfassende Interpretation der Simulationen	216
8	Zusammenfassung und Ausblick	217
	Literaturverzeichnis	222