

Inhaltverzeichnis

Formelzeichen		
Zusammenfassung	1	
1	Ausgangspunkt und Aufgabenstellung	3
2	Stand des Wissens	6
2.1	Definition des Mischens	6
2.2	Feststoffmischen und -mischsysteme	6
2.3	Vibrationsmischer	8
2.4	Strömungsphänomene von Schüttgütern bei Vibrationsanregung	11
2.4.1	Froude-Zahl	12
2.4.2	Fluidisierung und Konvektion	12
2.4.3	Feststoffmischen und Segregation	15
2.4.4	Bewertung	21
3	Mehrdimensionale Schwingungen	23
3.1	3D-Schwingung mit Lissajous-Figuren	23
3.2	Periodizität der Schwingungen	25
3.3	Mathematische Beschreibung der Überlagerung der Schwingungen	27
3.3.1	Summenschwingung bei gleicher Winkelgeschwindigkeit ω	27
3.3.2	Summenschwingung bei verschiedener Winkelgeschwindigkeit	29
3.4	Schwebungen	32
3.4.1	Schwebung aus 2D-Überlagerung	32
3.4.2	Schwebungsphänomene bei 3D-Schwingungen	34
3.5	Stochastische Modulationsschwingung	34
3.6	Schwingkurven der 3D-Vibrationsanregung	38
3.6.1	Deterministische konstante 3D-Anregung	38
3.6.2	Erzeugung eines „pulsierenden Wirbelbettes“	43
3.6.3	Stochastische 3D-Anregung	43
4	Federsteifigkeit und Resonanzfrequenz	47
4.1	Federwirkung der biegebeanspruchten Blattfeder	47
4.2	Berechnung der Federkonstanten im 3D-Vibrationsmischer	49
4.2.1	Aufbau der Schwingmechanik	49
4.2.2	Federkonstante der verstellbaren Blattfedern	51
4.2.3	Federkonstante der inneren Blattfedern	52
4.3	Resonanzfrequenz in 3 Achsen	54
5	Statistische Betrachtung zur Qualität einer Mischung	61
5.1	Mischgütemaß	61
5.2	Mischzustände	67
5.3	Einfluß der Probengröße auf die Varianz	69
5.4	Bestmöglicher Mischungszustand	70
5.5	Qualitätsforderung des Konsumenten	72
5.6	Zeitlicher Mischgüteverlauf	78
6	Versuchsstand und Versuchsmaterial	81

6.1	Entwurf eines neuen 3D-Vibrationsmischers	81
6.2	Aufbau des Schwingensystems	85
6.3	Schwingverhalten des 3D-Vibrationsmischers	88
6.4	Zufallsgenerator	89
6.4.1	Pseudo-Random Number Generator	89
6.4.2	Verteilung der Zufallszahlen	90
6.5	Einstellung des 3D-Vibrationsmischers	92
6.6	Schwingungsmessung	93
6.7	Vergleichsmischer	95
6.7.1	Biaxialmischer	95
6.7.2	Taumelmischer	97
6.8	Versuchsmaterial	98
6.9	Probenahme und Probenaufbereitung	101
6.9.1	Entwurf eines Probenehmers	102
6.9.2	Probenehmer mit zylindrischen Kitzetten	108
6.10	Reproduzierbarkeit der Ergebnisse	110
6.11	Versuchsplanung	111
7	Bewegungsvorgänge des Mischbehälters bei 3D-Anregung	114
7.1	Einführung in die Schwingcharakteristik	114
7.2	Einheitlichkeit der Schwingbahnen	114
7.2.1	Schwingverhalten des kleinen 3D-Vibrationsmischers	114
7.2.2	Schwingverhalten des großen 3D-Vibrationsmischers	119
7.3	Schwingformen des Schüttgutes bei 3D-Vibrationsanregung	129
7.3.1	Schwingformen für die Mischgutmasse $M_M=5\text{kg}$	129
7.3.2	Schwingformen für die Mischgutmasse $M_M=10\text{kg}$	141
7.4	Bewertung	150
8	Strömungsvorgänge beim 3D-Vibrationsmischen	152
8.1	Einleitung	152
8.2	Fließphänomene bei feinen Schüttgütern	153
8.3	Mischbewegung im groben Schüttgut	157
8.3.1	Deterministische 3D-Anregung mit einer niedrigen Füllung	157
8.3.2	Stochastische 3D-Anregung mit einer niedrigen Füllung	158
8.3.3	Deterministische 3D-Anregung mit einer höheren Füllung	159
8.3.4	Stochastische 3D-Anregung mit einer höheren Füllung	161
8.4	Mischbewegung im feinen Schüttgut	162
8.4.1	Deterministische 3D-Anregung mit einer niedrigen Füllung	162
8.4.2	Stochastische 3D-Anregung mit einer niedrigen Füllung	164
8.4.3	Deterministische 3D-Anregung mit einer höheren Füllung	165
8.4.4	Stochastische 3D-Anregung mit einer höheren Füllung	167
8.5	Bewertung	168
9	Mischgüte-Untersuchungen	169
9.1	Mischgüteverlauf bei einer Mischgutmasse von 2,7kg	169
9.1.1	Mischgüte von PE/PE-Granulat	169
9.1.2	Mischgüte von PS-Granulat/Kalkstein	173
9.2	Mischgüteverlauf bei einer Mischgutmasse von 5kg	176

9.2.1	Mischgüte von PE/PE-Granulat	176
9.2.2	Mischgüte von PS-Granulat/Kalkstein.....	178
9.3	Mischgüteverlauf bei einer Mischgutmasse von 7,5kg	181
9.3.1	Mischversuche mit PS-Granulat/Kalkstein.....	182
9.4	Mischgüteverlauf bei einer Mischgutmasse von 10kg	185
9.4.1	Mischversuche mit PS-Granulat/Kalkstein.....	185
9.5	Vergleich der Mischsysteme.....	188
10	Technische Folgerungen und Ausblick.....	194
11	Literatur	196
12	Anhang.....	205