

Dynamik granularer Systeme.

Theorie, Experimente und numerische Experimente

Habilitationsschrift
zur Erlangung der Lehrbefähigung
für das Fach Physik

vorgelegt dem Fakultätsrat
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät I
der Humboldt-Universität zu Berlin

von

Dr. Thorsten Pöschel

geb. am 4. Juni 1963 in Rochlitz

Prof. Dr. Dr. h.c. H. Meyer
Präsident der Humboldt-Universität
zu Berlin

Prof. Dr. J. P. Rabe
Dekan

Berlin, 6. Dezember 1998

Gutachter: 1. Prof. Dr. L. Schimansky-Geier
 2. Prof. Dr. H. Herrmann
 3. Prof. Dr. D. Stauffer

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einführung	7
Zeichenerklärung	15
2 Mathematische Modellierung	17
2.1 Übersicht	17
2.2 Molekulare Dynamik granularer Stoffe	18
2.3 Rauhe Kugeln	27
2.4 Modellierung von Fragmentationsprozessen	36
2.5 Ein vektorisierbarer MD-Algorithmus	46
2.6 Aus Kugeln zusammengesetzte Teilchen	57
2.7 Geometrisch komplexe Teilchen	59
3 Vibrationsinduzierte Phänomene	87
3.1 Übersicht	87
3.2 Konvektion und Segregation	107
3.3 Simulation der Konvektion in 3D	115
3.4 Konvektion unter Schwerelosigkeit	122
3.5 Die Rolle der Froudezahl	141
3.6 Periodisches Anschwellen granularen Materials	152
3.7 Konvektionsbewegung bei horizontaler Vibration	166
3.8 Dämpfungseigenschaften granularer Stoffe	172
4 Granulare Dynamik im rotierenden Zylinder	181
4.1 Übersicht	181
4.2 Simulationen des rotierenden Zylinders	186
5 Granulare Rohrströmungen	209
5.1 Übersicht	209
5.2 Einfachste „Experimente“	212
5.3 Molekulardynamische Untersuchungen	212
5.4 Langevinsche Dynamik	219

6 Sandhaufen und Lawinen	233
6.1 Übersicht zum Stand der Forschung	233
6.2 Schüttwinkel eines Haufens	236
6.3 Lawinenstatistik auf Sandhaufen	243
7 Schwenkbewegung granularer Systeme	249
7.1 Bekannte Phänomene bei Schwenkbewegungen	249
7.2 Experimentelle Resultate und MD-Simulationen	250
7.3 Vorschlag zur Erklärung des Effekts	256
8 Streuung eines granularen Stromes	259
8.1 Beschreibung des numerischen Experiments	259
8.2 Streueigenschaften	262
8.3 Wechselwirkung mit dem Hindernis	265
8.4 Dichte- und Temperaturfelder	272
8.5 Diskussion	273
9 Granulare Gase	277
9.1 Restitutionskoeffizienten	277
9.2 Ereignisgesteuerte Algorithmen	279
9.3 Restitutionskoeffizienten sind keine Konstanten!	282
9.4 Berechnung der Restitutionskoeffizienten	286
9.5 Der normale Koeffizient – analytische Lösung	305
9.6 Kühlrate granularer Gase	312
10 Phasendiagramm granularer Stoffe	315
10.1 Motivation	315
10.2 Die Gasphase	321
10.3 Phasen in geheizten Systemen	333
11 Korrelationen und Entropien	347
11.1 Motivation	347
11.2 „Raten“ der Entropie von Verteilungen	349
11.3 Kompressibilität, Korrelationen und Entropie	361
12 Reibung	373
12.1 Ein einfaches Modell trockener Reibung	373
12.2 Rollreibung einer viskosen Kugel	384
12.3 Rollreibung und Restitutionskoeffizient	389
12.4 Rollreibung eines harten Zylinders	391

13 Kombinatorik des Straßenverkehrs	403
13.1 Einführung	403
13.2 Beschreibung des Modells	407
13.3 Numerische Resultate	411
13.4 Statistische Beschreibung des Verkehrsflusses	413
13.5 Zusammenfassung	421
13.6 Berechnung der mittleren Verzögerungen	422
13.7 Die Herleitung der Clusterwahrscheinlichkeiten	423
13.8 Die ersten Momente der Clusterverteilung	426
14 Der Feierabendeffekt	429
15 Adaptive evolutionäre Optimierung	439
15.1 Einführung	439
15.2 Die Beschreibung des Problems	441
15.3 Ergebnisse und Diskussion	443
15.4 Zusammenfassung	449
Beschreibung des Daumenkinos	451
Literaturverzeichnis	453