

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract	IV
Danksagung	V
Inhaltsverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XIII
Abkürzungen, Definitionen und Formelzeichen	XV
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Lösungsstrategie	3
2 Grundlagen	6
2.1 Größenskalen einer Partikelsimulation	6
2.2 Koordinatensysteme	8
2.3 Nachbarschaftssuche	14
2.4 Partikelabstraktion mittels Hüllkörpern	23
2.5 Kollisionsreaktion	25
2.6 Numerische Integration der Zeit	28
3 Methodenauswahl und -erweiterung	31
3.1 Koordinatensysteme	31
3.2 Nachbarschaftssuche	33
3.3 Partikelabstraktion mittels Hüllkörpern	35
3.4 Kollisionsreaktion	37
3.5 Integration der Zeit	39
3.6 Umgebungsgeometrie	40
4 Kollisionsprüfung	41
4.1 Strecke und Gerade gegen Ebene	43
4.2 Strecke gegen achs ausgerichtetes Rechteck (AA)	45

4.3	Strecke gegen Dreieck	46
4.4	Strecke gegen Kugel	48
4.5	Kugel gegen Ebene	50
4.6	Kugel gegen Dreieck	50
4.7	Kugel gegen achsgerichteten Quader (AABB)	51
4.8	Dreieck gegen achsgerichteten Quader (AABB)	53
4.9	Kugel gegen Kugel	55
5	Partikel	56
5.1	Kugelförmige Partikel	56
5.2	Beliebige Partikelform	57
5.3	Konvexität	58
5.4	Geometriebeschreibung beliebiger Körper	58
5.5	Auswahl der Geometriebeschreibung	60
5.6	Partikel-Abstraktion mittels Kugeln	61
5.7	Erzeugung des Kugelmodells aus Dreiecksnetzen	62
5.8	Berechnung des Volumens und des Trägheitstensors	63
5.9	Partikelskalierung	71
6	Parallelisierung	74
6.1	Verfügbare Parallelisierungstechnologien	74
6.2	Anforderungen an eine DEM-Parallelisierung	77
6.3	Prozesskommunikation und -synchronisation (MPI)	77
6.4	Aufteilung der DEM-Simulation in Prozesse	78
6.5	Partikelsynchronisation	81
6.6	Synchronisation der Prozesse	82
7	Implementation und Ergebnisse	84
7.1	Implementation DEM-Simulation	84
7.2	Reibmodellvalidierung (Stehaufkreisel)	85
7.3	Böschungswinkel	87
7.4	Formschluss (Mauer)	93
8	Zusammenfassung und Ausblick	95
Anhang		97
A	Schnelle Wurzelberechnung mit Gleitkommazahlen nach IEEE 754	97
A.1	Bytereihenfolge im Arbeitsspeicher	97
A.2	Gleitkommazahlen nach IEEE 754	98
A.3	Wurzelberechnung mittels Bitshifting	99
B	Testumgebung	101

C	Messungen zu hierarchischen Gittern	102
C.1	Variierte Dispersitäten D und Größendifferenzen Δd	103
C.2	Varierte Partikelanzahl n bei unterschiedlichen Dispersitäten D	105
C.3	Einfluss verschiedener Anzahl HG-Gitterebenen auf die Laufzeit	106
D	Versuch Böschungswinkel	108
D.1	Aufbau der Partikel	108
Literaturverzeichnis		111
Lebenslauf		122