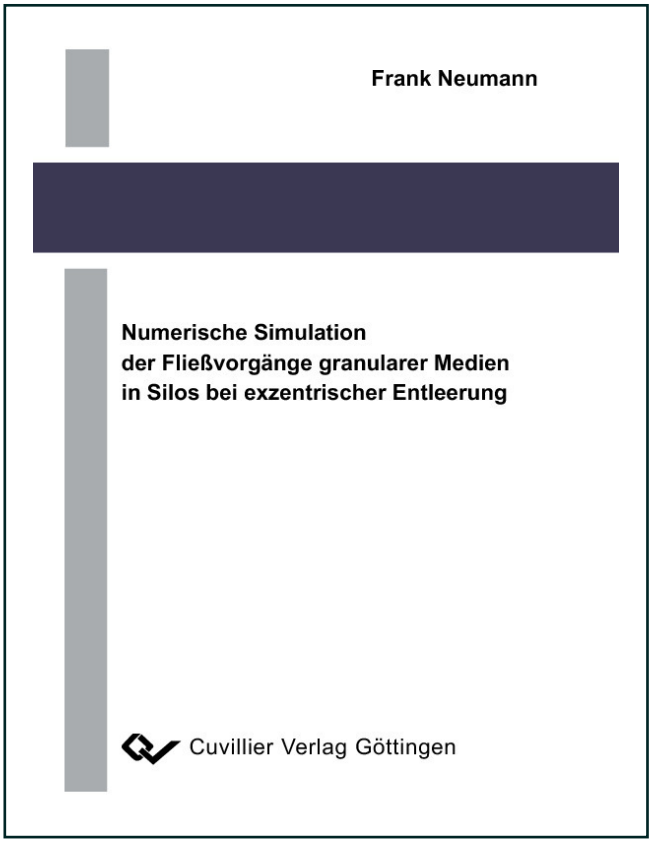
Frank Neumann (Autor)
Numerische Simulation der Fließvorgänge granularer Medien in Silos bei exzentrischer Entleerung



https://cuvillier.de/de/shop/publications/2121

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: https://cuvillier.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis I
1 Aufgabenstellung und Zielsetzung 1
2 Schüttgutlasten bei exzentrischer Entleerung / Stand der Erkenntnis 5
2.1 Allgemeines 5
2.2 Numerische Untersuchungen zur exzentrischen Entleerung 6
2.3 Lastansätze für die Praxis – Normen 16
2.3.1 Gegenüberstellung verschiedener Normen / Richtlinien 16
2.3.2 Vergleichsrechnung – Füllvorgang und vollexzentrische Entleerung .. 26
3 Kontinuumsmechanische Grundlagen 33
3.1 Allgemeines 33
3.2 Bezugssystem für den Bewegungszustand 33
3.3 Beschreibung des Verformungszustandes 35
3.4 Physikalische Grundgesetze der Kontinuumsmechanik bezogen auf die Eulersche Formulierung 36
4 Materialmodelle für granulare Schüttgüter 39
4.1 Allgemeines zum Verhalten von granularen Schüttgütern 39
4.2 Elastisch-Plastische Stoffmodelle 42
4.2.1 Grenzbedingung nach Drucker-Prager 42
4.2.2 Stoffmodell nach Lade 44
4.3 Hypoplastische Stoffmodelle 48
4.3.1 Stoffmodell von Kolymbas 48
4.3.2 Stoffmodell nach Gudehus / v. Wolffersdorff 53
4.4 Geschwindigkeitsabhängige Erweiterungen des Stoffmodells 56
4.5 Additiv zusammengesetztes hypoplastisches Stoffmodell 57
4.6 Vergleiche zwischen Kolymbas und Gudehus / v. Wolffersdorff 58
5 Numerische Grundlagen der Silosimulationen 61
5.1 Überblick 61
5.2 Finite-Elemente-Methode zur Beschreibung der Fließvorgänge granularer Medien 63
5.3 Erhaltung der Masse 73
5.4 Numerische Umsetzung der Stoffmodelle 74
5.4.1 Stoffmatrix nach dem Stoffmodell von Kolymbas 74
5.4.2 Stoffmatrix nach dem Stoffmodell von Gudehus / v. Wolffersdorff 76
5.5 Finite Elemente zur Berechnung räumlicher Systeme 79
5.5.1 Allgemeines 79
5.5.2 Schüttgut 83

5.5.3 Kontaktschicht Schüttgut / Wand ... 84
5.5.4 Wandelemente ... 86
5.5.5 Konvergenzbedingungen ... 87
6 Programmumgebung ... 89
7 Verifizierung des FE-Programms ... 93
7.1 Notwendigkeit ... 93
7.2 Programmkontrolle und Datenverifizierung ... 93
7.3 Wahl des Füll- und Entleerungsverfahrens ... 95
8 Programmoptimierung ... 99
8.1 Allgemeines ... 99
8.2 Zeitmessungen ... 101
8.3 Gleichungslöser ... 106
9 Füll- und Entleerungsberechnungen mit verschiedenen Finite Element Programmen – ANSYS vs. SILO-05 ... 117
9.1 Einleitung ... 117
9.2 Ergebnisse der Füllberechnungen ... 121
9.3 Ergebnisse der Entleerungsberechnungen ... 125
9.3.1 Zylindrisches Silo – zentrische Entleerung rotationssymmetrischer Modelle ($b_{Öff} = 0{,}32\,m$) ... 125
9.3.2 Spaltzelle – zentrische Entleerung ebener Modelle ($b_{Öff,1} = 0{,}32\,m$; $b_{Öff,2} = 0{,}64\,m$) ... 127
9.3.3 Spaltzelle – vollexzentrische Entleerung ebener Modelle ($b_{Öff} = 0{,}64\,m$) ... 130
9.3.4 Rechtecksilo – zentrische Entleerung räumlicher Modelle ($b_{Öff,1} = 0{,}32\,m$; $b_{Öff,2} = 0{,}64\,m$) ... 131
9.3.5 Rechtecksilo – vollexzentrische Entleerung räumlicher Modelle ($b_{Öff} = 0{,}64\,m$) ... 134
9.4 Zusammenfassung / Fazit ... 135
10 Räumliche Silogeometrien ... 137
10.1 Einleitung ... 137
10.2 Innerer Reibungswinkel und Ermittlung der Schüttgutdichte ... 137
10.3 Horizontaldrücke auf die Wände und resultierende Schnittgrößen ... 146
10.3.1 Silogeometrien und Eingangswerte ... 146
10.3.2 Ebene Vergleichsberechnungen ... 149
10.3.3 Simulationsergebnisse der räumlichen Systeme ... 151
10.3.4 Auswertung der Ergebnisse ... 157
10.3.5 Tragverhalten und Schnittgrößen der Silowand ... 163
10.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen ... 165

11 Zusammenfassung und Ausblick 167
Anhang 169
A.1 Notation und mathematische Konventionen 169
A.2 Invariante und Deviator 169
A.3 Schreibweise der Tensoren 171
A.4 Parameter für die Vergleichsrechnungen im Kapitel 4.6 172
A.5 CSR-Format 173
A.6 Beispiele unter Verwendung des Bandbreitenoptimierers 174
A.7 Schnittgrößen für eine Wand (Auslauföffnung) 175
Nomenklatur 179
Literaturverzeichnis 183