

Inhaltsverzeichnis

1	<u>Einführung</u>	1
1.1	Wechselwirkungen zwischen Technologie und Wissenschaft.....	1
1.2	Der Zwittercharakter feinkörniger Schüttgüter.....	2
1.3	Prinzipien der Partikeltechnologie.....	4
1.4	Methodische Aspekte.....	5
2	<u>Die Rolle der Partikelwechselwirkungen in der Schüttgutmechanik</u>	6
2.1	Die Korngrößenabhängigkeit der Kohäsion.....	6
2.2	Die Janssenformel.....	7
2.3	In den Partikelkontakten übertragbare Haftkräfte in Abhängigkeit von der Belastungsvorgeschichte.....	9
2.4	Konsequenzen für Theorie und Experiment.....	12
3	<u>Spannungs- und Deformationszustand in einem Punkt eines Kontinuums</u>	14
3.1	Der Spannungstensor.....	14
3.2	Symmetrie des Spannungstensors.....	19
3.3	Hauptspannungen und deren Orientierungen.....	21
3.4	Grafische Darstellung von Spannungszuständen durch Mohr-Kreise.....	27
3.5	Der Tensor der Deformationsgeschwindigkeiten.....	35
4	<u>Spannungsübertragung in einer Partikelschüttung</u>	42
4.1	Problemstellung.....	42
4.2	Voraussetzungen.....	42

4.3	Übertragung einer isostatischen Belastung.....	43
4.4	Kraftübertragung in den Partikelkontakte im allgemeinen Fall.....	46
5	<u>Grundlegende Materialeigenschaften für eine Theorie der Fließeigenschaften kohäsiver Schüttgüter.....</u>	50
5.1	Physikalische Ursachen der Haftkräfte zwischen Partikeln...	50
5.2	Zusammenhang zwischen Haftkräften und vorangegangener Verfestigung.....	51
5.3	Die innere Reibung eines Schüttgutes.....	60
6	<u>Theorie der Fließeigenschaften kohäsiver Schüttgüter.....</u>	61
6.1	Legitime Forderungen an die Theorie.....	61
6.2	Der stationäre Fließort.....	62
6.3	Anisotropie eines verfestigten Schüttgutes.....	66
6.4	Bei der Herleitung der individuellen Fließorte erforderliche Voraussetzungen.....	67
6.5	Berechnung der individuellen Fließorte.....	68
6.6	Individuelle Fließorte bei der Belastungsgeschichte "stationäres Fließen".....	71
6.7	Einfache Typen des Fließverhaltens von Schüttgütern.....	73
6.8	Ermittlung der Materialdaten σ_0 , ρ und φ_e mit Hilfe linearisierter Fließortgleichungen.....	78
6.9	Berechnung der Druckfestigkeitskennlinie eines kohäsiven Schüttgutes aus linearisierten Fließorten.....	80
6.10	Veränderung der Parameter σ_0 , ρ und φ_e mit dem Feingutanteil im Schüttgut.....	82
6.11	Die Druckfestigkeit feuchter Schüttgüter.....	99
7	<u>Differentialgleichungen des Spannungsfeldes.....</u>	104
7.1	Spannungsgleichgewicht im Schwerfeld.....	104
7.2	Spannungen im fließenden Schüttgut.....	106
7.3	Die Spannungsfeldgleichungen des ebenen Fließzustandes....	108
7.4	Die charakteristischen Kurven der quasilinearen Differentialgleichung erster Ordnung bei zwei unabhängigen Veränderlichen.....	111
7.5	Die Charakteristiken des Spannungsfeldes für ebenes Fließen.....	115

7.6	Zur numerischen Integration der Differentialgleichungen für das Spannungsfeld.....	117
8	<u>Differentialgleichungen für Spannungs- und Geschwindigkeitsfelder bei stationärem, langsamen Fließen in geeigneten orthogonalen Koordinaten.....</u>	119
8.1	Problemstellung.....	119
8.2	Differentialgleichungen der Spannungsfelder in Zylinder- und in Kugelkoordinaten.....	121
8.3	Fließbedingungen bei stationärem Fluß.....	125
8.4	Der Tensor der Deformationsgeschwindigkeiten in beliebigen orthogonalen Koordinaten.....	131
8.5	Orientierung der größten Hauptdeformationsgeschwindigkeit in Zylinder- und in Kugelkoordinaten.....	138
8.6	Kontinuitätsgleichungen für inkompressible Materialien in Zylinder- bzw. in Kugelkoordinaten.....	141
9	<u>Das Konzept der radialen Spannungs- und Geschwindigkeitsfelder.....</u>	143
9.1	Problemstellung.....	143
9.2	Die Differentialgleichungen des radialen Spannungsfeldes.	145
9.3	Radiale Geschwindigkeitsfelder.....	148
9.4	Gültigkeitsgrenzen der Lösungen für das radiale Spannungsfeld.....	151
9.5	Numerische Integration der Differentialgleichungen für radiale Spannungsfelder.....	157
10	<u>Messung der Schüttguteigenschaften für Auslegungszwecke..</u>	162
10.1	Problemstellung.....	162
10.2	Durchführung und Auswertung von Scherversuchen.....	163
10.3	Problematik der Schertests.....	168
10.4	Ermittlung der Wandreibung eines Schüttgutes.....	171
11	<u>Vorhersage von Flußtyp und kritischen Austrittsquerschnitten für Massenflußbunker.....</u>	173
11.1	Problemstellung.....	173

11.2	Spannungszustände in stabilen Gutbrücken.....	175
11.3	Größte Spannweite einer stabilen Gutbrücke.....	178
11.4	Fließfaktor-Diagramme.....	181
11.5	Auslegungsprozedur für Massenflußbunker.....	184
12	<u>Experimentelle Überprüfung der Vorhersagen über Flußtyp und kritischen Austrittsquerschnitt bei Massenfluß</u>	188
12.1	Problemstellung.....	188
12.2	Modellversuche zur Bunkerung kohäsiver Schüttgüter.....	189
12.3	Überprüfung der Vorhersage des Flußtyps.....	192
12.4	Experimentelle Ermittlung von kritischen Austrittsquerschnitten.....	194
12.5	Vorhersage der kritischen Austrittsquerschnitte mittels Schertests und Auslegungsdiagrammen.....	206
13	<u>Schachtbildung bei Kernflußbunkern</u>	211
13.1	Problemstellung.....	211
13.2	Verfestigender Spannungszustand beim Kernflußbunker.....	212
13.3	Spannungszustände bei Schachtbildung.....	213
13.4	Gleitlinien bei beginnendem Fließen.....	217
13.5	Bedingungen für begrenzte plastische Felder.....	219
13.6	Zulässiger Mindestdurchmesser.....	228
13.7	Überprüfung der Theorie mittels Zentrifugenversuchen.....	230
14	<u>Kompaktieren von Schüttgütern auf Walzenpressen</u>	234
14.1	Problemstellung.....	234
14.2	Geometrische Beziehungen für den Walzenspalt.....	235
14.3	Eine sinnvoll formulierte Randwertaufgabe.....	236
14.4	Lösung der Spannungsfeldgleichungen mit Hilfe der Charakteristiken.....	238
14.5	Spannungsberechnung bei Vernachlässigung des Schwerkrafeinflusses.....	242
14.6	Spannungsberechnung im Gebiet des schlupffrei mitgenommenen Schüttgutes.....	244
14.7	Ermittlung des Greifwinkels.....	245
14.8	Abhängigkeit des Greifwinkels von Material- und konstruktiven Daten.....	247

14.9	Einfluß von Material- und konstruktiven Daten auf die Auslegungsgrößen einer Walzenpresse.....	250
14.10	Mechanisches Verstärkungsverhältnis einer Walzenpresse...	253
14.11	Einfluß von Materialverlusten.....	257
15	<u>Einfluß der Haftkräfte auf das Fluidisationsverhalten feinkörniger Partikeln in Gas/Feststoff-Wirbelschichten..</u>	259
15.1	Problemstellung.....	259
15.2	Die vier Feststofftypen nach Geldart.....	259
15.3	Das Verhalten von Materialien der Gruppe C.....	261
15.4	Auf die Partikeln bei der Fluidisation ausgeübte Strömungskräfte.....	264
15.5	Allgemeingültige Aussagen über die zwischen Partikeln wirksamen Haftkräfte.....	265
15.6	Übergang vom Verhalten gemäß Gruppe A zum Verhalten gemäß Gruppe C.....	267
15.7	Übergang vom Verhalten gemäß Gruppe B zum Verhalten gemäß Gruppe A.....	271
15.8	Experimentelle Überprüfung der theoretischen Überlegungen	271
16	<u>Anhang</u>	275
17	<u>Nomenklatur</u>	287
18	<u>Literaturverzeichnis</u>	297
19	<u>Sachverzeichnis</u>	303