

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b>	<b>vii</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>ix</b>
<b>Abstract</b>	<b>xi</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Vertushka . . . . .	1
1.2 Ziel der Untersuchung . . . . .	3
1.2.1 Methoden dieser Arbeit . . . . .	3
1.3 Gliederung der Arbeit . . . . .	5
<b>2 Die Vertushka</b>	<b>7</b>
2.1 Russischer Prototyp . . . . .	7
2.2 Beschreibung des Versuchsgeräts . . . . .	8
2.3 Form des Sandbehälters . . . . .	12
2.4 Funktionsweise des Versuchsgeräts . . . . .	14
2.5 Bewegung des Sandbehälters . . . . .	15
<b>3 Theoretische Beschreibung der Bewegung in der Vertushka</b>	<b>19</b>
3.1 Ursprünglicher Ansatz von Revuzhenko . . . . .	19
3.2 Ansatz einer homogenen Verformung . . . . .	23
3.3 Berücksichtigung der Fixierung . . . . .	28
3.3.1 Ein Metallband . . . . .	29
3.3.2 Zwei Metallbänder . . . . .	35

<b>4</b>	<b>Experimentelle Untersuchung</b>	<b>39</b>
4.1	Beschreibung der Experimente . . . . .	39
4.2	Messung der Geschwindigkeiten mit PIV . . . . .	42
4.3	Auswertung der Experimente . . . . .	45
4.4	Einfluss der Korngröße . . . . .	52
4.5	Einfluss der Fixierungen . . . . .	55
4.6	Oberflächenverschiebungen . . . . .	56
4.7	3D Effekte in der Vertushka . . . . .	58
<b>5</b>	<b>Approximationsmethoden in SPARC (Soft PARTicle Code)</b>	<b>61</b>
5.1	Soft PARTicle Code - SPARC . . . . .	61
5.1.1	Barodesie 2011 . . . . .	66
5.1.2	Nachbarsuche - Definieren der Einflussbereiche . . . . .	68
5.2	Approximationsmethode . . . . .	70
5.2.1	Polynome im Sinne von kleinsten Quadraten . . . . .	70
5.2.2	Gewichtete kleinste Quadrate . . . . .	74
5.2.3	Radialfunktionen mit Polynomreproduktion . . . . .	79
5.3	Beispiel zum Vergleich der Approximationsmethoden . . . . .	84
5.4	Approximation des Geschwindigkeitsfeldes der Vertushka . . . . .	88
<b>6</b>	<b>Numerische Simulation</b>	<b>91</b>
6.1	Überprüfung der Qualität der Approximation . . . . .	91
6.1.1	Punktdichte . . . . .	92
6.1.2	Belastungsschritte und Zeitintegration . . . . .	94
6.1.3	Größe des Einflussbereiches . . . . .	94
6.1.4	Approximationsmethode . . . . .	96
6.1.5	Anordnung der materiellen Punkte . . . . .	97
6.1.6	Nachbarsuche . . . . .	98
6.2	Randbedingungen für die Simulationen . . . . .	100
6.2.1	Randbedingung A: Verformung des Sandbehälters . . . . .	100

6.2.2	Randbedingung B: Radiale Randverschiebungen . . . . .	101
6.3	Barodesie - Ebene Verformung . . . . .	102
6.3.1	Ergebnisse zur Randbedingung A . . . . .	103
6.3.2	Ergebnisse zur Randbedingung B . . . . .	112
6.4	Verformung bei konstanter Spannung $T_{33}$ . . . . .	115
6.5	Simulation mit Hypoplastizität von Wolffersdorff . . . . .	123
6.6	Simulation eines viskosen Materials . . . . .	128
6.6.1	Einfluss der Rheologie des Materials . . . . .	135
<b>7</b>	<b>Vergleich der Berechnung mit der Messung</b>	<b>137</b>
7.1	Kinematik des Sandbehälters . . . . .	137
7.2	Trajektorien der Sandpartikel . . . . .	139
7.3	Verschiebungen in der Sandprobe . . . . .	140
7.3.1	Dilatanz der Sandprobe . . . . .	142
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick</b>	<b>145</b>
8.1	Schlussfolgerungen . . . . .	145
8.2	Vorschläge für zukünftige Forschung . . . . .	146
8.3	Mögliche Anwendungen des Versuchsgeräts . . . . .	147
<b>A</b>	<b>Abdruck der Schablone</b>	<b>153</b>
<b>B</b>	<b>Integration eines Systems von Differentialgleichungen</b>	<b>154</b>
<b>C</b>	<b>Numerische Berechnung des elliptischen Integrals</b>	<b>156</b>
<b>D</b>	<b>Liste der Symbole</b>	<b>158</b>