



Bergische Universität Wuppertal

Fachbereich D

Abteilung Bauingenieurwesen

**Berichte des Lehr- und
Forschungsgebietes Geotechnik**

Nr. 28

Juli 2005

Martin Pohl

**Modellierung von granularen Böden und biegsamen
Bauwerken mit Hilfe der DEM am Beispiel einer
eingebetteten Spundwand**

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. M. Pulsfort
und Prof. em. Dr.-Ing. B. Walz

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Wuppertal, Univ., Diss., 2005

Copyright Shaker Verlag 2005

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-4393-3

ISSN 1438-809X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Distinct Element Method	3
2.1	Theoretische Grundlagen	3
2.1.1	Übersicht	3
2.1.2	Kraft-Verschiebungs-Gesetz	4
2.1.3	Gleitmodell.....	5
2.1.4	Bewegungsgesetz	5
2.2	Eigenheiten der DEM.....	7
2.3	Bindungen	7
2.3.1	Kontaktbindungen	7
2.3.2	Parallelbindungen.....	8
2.4	Parallele Rechnerschaltung	10
2.5	Superpartikel	11
2.5.1	Formen und Anwendung.....	11
2.5.2	Superpartikel bei paralleler Rechnerschaltung.....	13
3	Stochastische Einflüsse auf die Eigenschaften des Bodenmodells	14
3.1	Bodenmodellierung	14
3.1.1	Up-scaling	14
3.1.2	Generelles Vorgehen bei der numerischen Bodenmodellierung.....	15
3.2	Untersuchungen zum Porenanteil.....	17
3.2.1	Containergeometrien	17
3.2.2	Prismatischer Container	18
3.2.3	Kubischer Container.....	20
3.2.4	Kubische Container größeren Volumens	21
3.3	Untersuchungen zum inneren Reibungswinkel im Erdruchdruckzustand	22
3.3.1	Ermittlung des Reibungswinkels ϕ für den Erdruchdruckzustand.....	22
3.3.2	Prismatischer Container	23
3.3.3	Kubischer Container.....	24
3.3.4	Kubische Container größeren Volumens	24
3.4	Untersuchungen zur Größe des Reibungswinkels für den aktiven Grenzzustand	27
3.4.1	Einfluss des Erdruchdruckzustandes auf den aktiven Grenzzustand	27
3.4.2	Ermittlung des Reibungswinkels ϕ für den aktiven Grenzzustand.....	28
3.4.3	Prismatischer Container	29
3.5	Untersuchungen zum Einfluss der Fallhöhe auf den Porenanteil	30
4	Anpassung der charakteristischen Kugelparameter des Bodenmodells zur Abbildung eines realen granularen Materials	32
4.1	Grundsätzliches	32
4.2	Numerisch simulierte Triaxialversuche	32
4.2.1	Beschreibung der Versuche sowie ihrer Anwendung	32
4.2.2	Einfluss des Reibungsbeiwertes der Kugeloberfläche μ	37
4.2.3	Einfluss der Schersteifigkeit k_s	38
4.2.4	Einfluss der Normalsteifigkeit k_n	39
4.2.5	Einfluss der Steifigkeit bei ($k_s / k_n = 1$).....	40
4.2.6	Einfluss der Rotation	41

4.2.7	Einfluss der Seitendehnung.....	43
4.2.8	Abschließende Bemerkungen zu numerisch simulierten Triaxialversuchen	44
4.3	1g- Containerversuche.....	45
4.3.1	Allgemeines.....	45
4.3.2	Kubische Container	46
	$\varphi = 30^\circ$, $V_{KW} = 15$	46
	$\varphi = 30^\circ$ bis 40° , $V_{KW} = 15$	50
	$\varphi = 35^\circ$, $V_{KW} = 15$ bis 25	50
4.3.3	Prismatische Container.....	51
	$\varphi = 30^\circ$ bis $37,5^\circ$, $V_{KW} = 15 / 25$	51
	$\varphi = 35^\circ$, $V_{KW} = 15 / 25$ bis 30	52
4.3.4	Überlegungen zu 1g-Containerversuchen	52
5	Numerische Simulation der Bodenabgrabung vor Spundwandbauwerken.....	55
5.1	Generelles Vorgehen	55
5.2	Ermittlung der Spundwandparameter und Abfrage von inneren und äußeren Kräften	56
5.2.1	Abbildung der Spundwand.....	56
5.2.2	Ermittlung der Schnittgrößen	57
5.2.3	Eichen der Spundwand.....	59
5.2.4	Ermittlung der Erddruckspannungen	61
5.3	Abbildung des Bodens	62
5.4	Nicht gestützte, im Boden eingespannte Spundwand	63
5.4.1	Ergebnisse der numerischen Simulation	63
5.4.2	Vergleich mit der Stabstatik	70
5.4.3	Schnittgrößen der numerischen Simulation über die Wandbreite.....	72
5.4.4	Kleine Bodenkugeln in Spundwandnähe	74
	5.4.4.1 Beschreibung des Herstellungsvorganges	74
	5.4.4.2 Vergleich mit großen Bodenkugeln	76
5.4.5	Deterministisch angeordnete Bodenkugeln.....	79
5.5	Einlagig gestützte Spundwand	84
5.6	Einlagig gestützte Spundwand mit plastischer Rotation	89
5.6.1	Allgemeines.....	89
5.6.2	Abbildung der Momenten-Rotations-Kurve	89
5.6.3	Simulation der Bodenabgrabung.....	91
6	Kleinmaßstäbliche Modellversuche	96
6.1	Einleitung	96
6.2	Modellboden.....	96
6.3	Modellwand und Versuchscontainer	97
6.4	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	98
6.5	Versuche mit der nicht gestützten Modellwand	99
6.6	Einlagig gestützte Modellwand.....	101
6.6.1	Allgemeines.....	101
6.6.2	Einfluss der Vorspannkraft.....	104
6.6.3	Einfluss der Biegesteifigkeit	107
6.6.4	Einfluss der Steifenlage (mit Auflast)	108
6.6.5	Einfluss des Aushubzustandes für die Lastaufbringung	109
6.6.6	Einlagig gestützte Modellwand mit Auflast und plastischem Fließgelenk	110
7	Numerische Simulation der Modellversuche	114
7.1	Allgemeines.....	114

7.2	Numerisches Bodenmodell	114
7.3	Nicht gestützte Wand	116
8	Zusammenfassung	123
	Literaturverzeichnis	127
Anhang		
A	Kugelparameter für die Simulation spezifischer Böden	A-1
A.1	Kubische Container	A-1
A.2	Prismatische Container	A-4
B	Anwendungsbeispiele	B-1
B.1	$\varphi = 25^\circ$, $n = 0,400$, $V_{KW} = 15 / 30$	B-1
B.2	$V_{KW} = 10 / 35$, $n = 0,400$, $\varphi = 35^\circ$	B-2
B.3	Sieblinie, $15 \times d$, $n = 0,400$, $\varphi = 35^\circ$	B-4