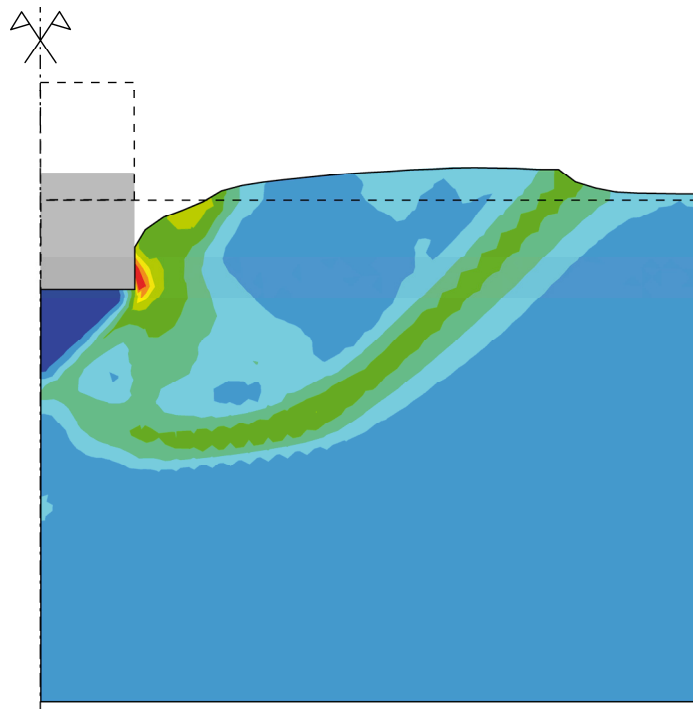


VERÖFFENTLICHUNGEN

des Grundbauinstitutes
der Technischen Universität Berlin
Herausgegeben von S.A. Savidis

HEFT 62

An Arbitrary Lagrangian-Eulerian Method for
Penetration into Sand at Finite Deformation



Daniel Aubram

Berlin 2013

Zugl.: Berlin, Technische Universität, Diss., 2013

Adresse des Instituts:

Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik - Degebo
Technische Universität Berlin
Skr. TIB1-B7
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin

Telefon: (030) 314-72341
Telefax: (030) 314-72343
E-Mail: info@grundbau.tu-berlin.de
Internet: <http://www.grundbau.tu-berlin.de>

An Arbitrary Lagrangian-Eulerian Method for Penetration into Sand at Finite Deformation

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Daniel Aubram
aus Berlin

Von der Fakultät VI – Planen Bauen Umwelt
Technische Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften
– Dr.-Ing. –

genehmigte Dissertation

Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Stavros A. Savidis
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Peter Wriggers
Prof. Dr.-Ing. Frank Rackwitz
Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Yuri Petryna

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 12. Dezember 2013

Berlin 2013
D 83

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 2013

Adresse des Instituts:

Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik - Degebo
Technische Universität Berlin
Skr. TIB1-B7
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin

Telefon: (030) 314-72341
Telefax: (030) 314-72343
E-Mail: info@grundbau.tu-berlin.de
Internet: <http://www.grundbau.tu-berlin.de>

Das Titelbild ist eine Stilisierung der Abbildung auf S. 226.

Copyright Shaker Verlag 2013

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2507-1

ISSN 0342-3905

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Zusammenfassung

Die Penetration in Sand zählt zu den kompliziertesten Problemstellungen in der Bodenmechanik, und ihre numerische Simulation insbesondere mit der weit verbreiteten Finite Elemente Methode (FEM) stellt bis heute eine große Herausforderung dar. Um die Probleme im Zusammenhang mit den klassischen Lagrange und Euler Formulierungen der FEM zu überwinden, wird in der vorliegenden Arbeit eine allgemeine Lagrange-Euler (engl.: arbitrary Lagrangian-Eulerian, kurz: ALE) Methode aus den theoretischen Grundlagen heraus speziell für die ebene und axialsymmetrische Penetration in Sand entwickelt.

Die entwickelte ALE Methode basiert auf einer Operator-Spaltung, welche die Lösung der maßgeblichen Gleichungen über ein Zeitinkrement aufteilt in einen Lagrange Schritt, einen Schritt der Netzregularisierung und einen Transportschritt. Die Operator-Spaltung gestattet die Implementierung in bestehende Lagrange FE Programmsysteme, was am Beispiel von ANSYS erläutert wird. Ein Alleinstellungsmerkmal der ALE Methode ist ihre Kombination mit einem hochentwickelten hypoplastischen Materialmodell für Sand, das wirklichkeitsnahe Prognosen der Spannungs- und Dichteänderungen im Boden auch bei großen Verformungen ermöglicht. Ein optimierungsbasierter Algorithmus zur Netzregularisierung wird darüber hinaus entwickelt, um die unterhalb eines Eindringkörpers auftretenden nicht-konvex verzerrten Netzregionen zu glätten. Die ALE Methode wird anhand von Benchmarks, grundlegenden Anfangsrandwertproblemen und eigens durchgeführten Eindringversuchen in sandbefüllten Versuchskammern verifiziert und validiert.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. S. A. Savidis