Dynamic Refinement and Coarsening for the Smoothed Particle Hydrodynamics Method

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions-, und
Fahrzeugtechnik der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

von

Alexandra Müller

aus Kirchheim unter Teck

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Peter Eberhard

Mitberichter: Dr. Benedict Rogers

2. Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Nikolaus A. Adams

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Juli 2016

Institut für Technische und Numerische Mechanik
der Universität Stuttgart

2016

Schriften aus dem Institut für Technische und Numerische
Mechanik der Universität Stuttgart

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Peter Eberhard

Band 46/2017

Alexandra Müller

**Dynamic Refinement and Coarsening for the
Smoothed Particle Hydrodynamics Method**

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Shaker Verlag
Aachen 2017

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.: Stuttgart, Univ., Diss., 2016

Copyright Shaker Verlag 2017

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 978-3-8440-4987-9

ISSN 1861-1651

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

Vorwort

Als ich mich am Ende meines Mathematikstudiums an der Universität Stuttgart auf die Suche nach einem Thema für die Diplomarbeit machen wollte, kam gerade zur rechten Zeit eine Email von unerwarteter Seite, nämlich dem Institut für Technische und Numerische Mechanik. Einer der dortigen Doktoranden suchte einen Studenten, der das SPH-Verfahren in seine selbstgeschriebene Simulationssoftware implementieren würde. Man könnte je nach Interesse und Bedarf auch eine studentische Arbeit daraus machen. Man traf sich, es passte, und so wurde daraus meine Diplomarbeit. Als dann das Ende dieser Zeit nahte, bekam ich die Gelegenheit, am Institut und an dem Thema weiter zu forschen mit dem Ziel einer Promotion.

Das ist mittlerweile einige Jahre her und ich bin sehr dankbar, dass mein Doktorvater Peter Eberhard mir diese Chance gegeben hat und mir dabei mit großem Vertrauen viele Freiheiten gelassen hat. Selbst über zwei Kinder und damit verbundene Unterbrechungen meiner Arbeit am Institut hinweg, hat er mich immer uneingeschränkt unterstützt, was ich bei all den verwaltungstechnischen Schwierigkeiten nicht als selbstverständlich ansehen will. Denn ohne dieses Engagement hätte ich diese Arbeit wohl nicht so zu Ende bringen können.

Weiterer Dank gebührt auch meinen zahlreichen Kollegen, die ich in der langen Zeit am Institut kennen lernen durfte. Egal ob für fachlichen Austausch oder private Gespräche gab es jederzeit ein offenes Ohr. Besonders hervorheben möchte ich hier nur Florian Fleißner, durch dessen eigene Doktorarbeit ich überhaupt ans Institut gekommen bin. Auch die wenigen, aber dafür umso engagierteren, Studenten, die sich in meinen Arbeitsbereich gewagt haben, seien hier nicht vergessen. Sie waren eine große Bereicherung.

Zuletzt möchte ich mich noch bei meiner Familie bedanken für all die ungezählten Stunden Kinderbetreuung, die mir Luft zum Schreiben verschafft haben, aber auch für die ein oder andere fachliche Diskussion. Hinzu kommen meine beiden wunderbaren Kinder, die dafür gesorgt haben, dass ich einerseits abschalten konnte, wenn ich nach Hause kam, andererseits aber auch wieder sehr fokussiert arbeitete, wenn ich morgens anfang.

Damit allen vielen Dank für eine schöne und bereichernde Zeit.

Alexandra Müller

Biberach, November 2016

Contents

Abstract	IX
Zusammenfassung	XI
1 Introduction	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aims and Content	3
2 Fundamentals	5
2.1 Smoothed Particle Hydrodynamics	5
2.1.1 Kernel Interpolation	5
2.1.2 Kernel Functions	7
2.1.3 Discrete SPH Equations for Fluids	8
2.1.4 Discrete SPH Equations for Elastic Materials	18
2.1.5 Time Integration	21
2.1.6 SPH Conservation Properties	23
2.2 Boundary Treatment in Pasimodo	29
2.2.1 Solid Boundaries and Moving Objects	29
2.2.2 Periodic Boundaries	33
3 First Applications	35
3.1 Sloshing Liquids in Tank Vehicles	35
3.1.1 Vehicle Model	36
3.1.2 Tank Setups	36
3.1.3 Full Braking	37
3.1.4 Double Lane Change	38

3.2	Tank Optimization	40
3.3	Discontinuous Slab	45
3.3.1	Homogeneous Slab	45
3.3.2	Inhomogeneous Slab	46
4	Adaptivity	47
4.1	Variable Smoothing Length	47
4.1.1	Adjusting the Kernel Evaluation	48
4.1.2	Adapting the Reference Distance	52
4.1.3	Adaptation of the Boundary Forces	53
4.2	Criteria	54
4.3	Refinement	55
4.3.1	Refinement Patterns	56
4.3.2	Density Refinement Error	60
4.3.3	Global Refinement Error	64
4.3.4	Choice of Particle Values	66
4.3.5	Conservation Properties	68
4.3.6	Functional Demonstrations	70
4.4	Coarsening	75
4.4.1	Coarsening Strategies	76
4.4.2	Choice of Particle Values	80
4.4.3	Conservation Properties	82
4.4.4	Functional Demonstrations	83
4.5	Concurrent Refinement and Coarsening	86
4.5.1	Functional Demonstrations	87
5	Further Applications	89
5.1	Discontinuous Slab	89
5.2	Filling over a Cone	94
5.2.1	Results for $M_{total} = 2$	95
5.2.2	Results for $M_{total} = 4$	98

5.2.3	Results for $M_{total} = 8$	101
5.2.4	Conclusion	103
5.3	Kleefsman's Dambreak	104
5.4	Stamping on an Elastic Block	111
6	Summary	119
	Symbols	123
	Literature	125