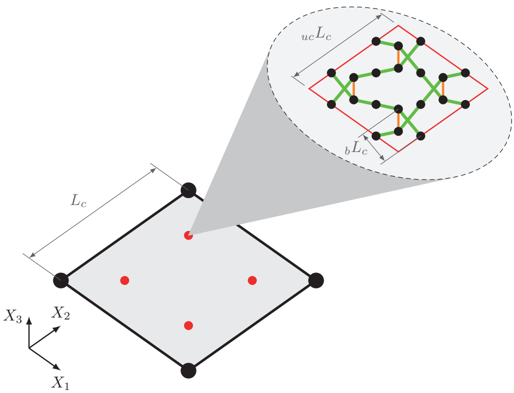
Benjamin Kaiser

A generalised interface for multi-level coupling of beam unit cell meso-models to macro finite elements in draping simulation



Fachgebiet für Computational Mechanics
Prof. Dr.-Ing. Fabian Duddeck
Technische Universität München

Technische Universität München
Ingenieurfakultät Bau Geo Umwelt
Professur für Computational Mechanics

A generalised interface for multi-level coupling of beam unit cell meso-models to macro finite elements in draping simulation

Benjamin Kaiser

Vollständiger Abdruck der von der Ingenieurfakultät Bau Geo Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:	PD. Dr.-Ing. habil. Roland Wüchner
Prüfer der Dissertation:	1. Prof. Dr.-Ing. habil. Fabian Duddeck
	2. Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Bletzinger
	3. Prof. Dr.-Ing. Thomas Pyttel

Die Dissertation wurde am 17.10.2019 bei der Technische Universität München eingereicht und durch die Ingenieurfakultät Bau Geo Umwelt am 21.02.2020 angenommen.

Schriftenreihe des Fachgebiets für Computational Mechanics

Band 12

Benjamin Kaiser

A generalised interface for multi-level coupling of beam unit cell meso-models to macro finite elements in draping simulation

Shaker Verlag
Düren 2020

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.: München, Techn. Univ., Diss., 2020

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7571-7
ISSN 2193-2700

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Acknowledgments

This dissertation is the result of the research activities which I have been conducting at the Technische Hochschule Mittelhessen, Friedberg, Germany in cooperation with the Technische Universität München, Munich, Germany, and the ESI Group, Paris, France witch I gratefully acknowledge for funding this research.

First of all, my sincere gratitude belongs to Professor Dr.-Ing. Thomas Pyttel who gave me the opportunity to do this dissertation, who inspired me to work hard, who challenged me, who gave me the confidence to complete this work, and I always could rely on. I am thankful for his guidance and advice over the last 13 years. Without him I would not be the person I am today.

Furthermore, I want to thank Professor Dr.-Ing. Fabian Duddeck for his supervision on behalf of the TU München and his contagious enthusiasm in all fields of research. Also, I want to thank Dr.-Ing. Eberhard Haug for providing the basic ideas to this work.

I am very grateful for all the discussions with my former colleague Dr.-Ing. Dominik Hühn for his personal words of encouragement in times when everything went wrong. Also, I would like to thank Dipl.-Ing. Dennis Bublitz and Dipl.-Ing. David Colin from the chair of Carbon Composites at TU München for the valuable discussions on the topic of fabric materials. To all the students I worked with in the past years, who supported me and made my days at University I wanted to say Thank you.

Finally, I would like to thank my family and friends for their backing and patience during my dissertation.

Abstract

The finite element simulation of structural components made of materials with inner structure, like woven fibre composites, is a challenging topic because of the dependence of the properties across scales. To overcome this challenge, usually either full-scale models are used, which model the full component in detail, or macroscopic finite elements with anisotropic continuum mechanical material laws are employed, which try to cover the behaviour by non-linear equations.

A coupled multi-scale approach brings the advantages of both methods together. Macroscopic finite elements are used to model the geometry of the component and a coupled detailed model delivers the behaviour of the inner structure.

This thesis presents a generalised interface, which couples a unit cell model of the inner structure to a macroscopic four node finite element by periodic boundary conditions. The unit cells are modelled by beam and bar finite elements. The method is generalised for unit cells with parallelogram-shaped unit cell geometries. As applications, unit cell models for plain woven fabric are presented, where the beam elements represent the fibre tows, as well as, a model for a bistable auxetic material.

The coupled unit cell model can improve finite element simulations, in terms of calculation time and modelling effort, because the major characteristics can be described in detail by the unit cell without using full-scale models.

Zusammenfassung

Die Finite-Elemente-Simulation von Strukturbauteilen aus Materialien mit innerer Struktur, wie zum Beispiel gewebten Faserverbundwerkstoffen, ist wegen der skalenübergreifenden Eigenschaften ein anspruchsvolles Thema. Um diese Herausforderung zu meistern, werden in der Regel entweder Modelle der Meso Ebene verwendet, die die gesamte Struktur detailliert modellieren, oder es werden makroskopische finite Elemente mit anisotropen kontinuumsmechanischen Materialgesetzen verwendet, die versuchen, das Verhalten durch nichtlineare Gleichungen abzubilden.

Ein gekoppelter Multi-Scale-Ansatz bringt die Vorteile beider Methoden zusammen. Makroskopische finite Elemente dienen zur Modellierung der Geometrie des Bauteils und ein gekoppeltes detailliertes Modell der Meso-Ebene liefert das Verhalten der inneren Struktur.

Diese Arbeit stellt eine verallgemeinerte Schnittstelle vor, die ein Einheitszellenmodell der inneren Struktur durch periodische Randbedingungen an ein makroskopisches finites Element mit vier Knoten koppelt. Die Einheitszellen werden mit Stab- und Balken-Finite-Elementen modelliert. Das Verfahren ist für Einheitszellen mit parallelogrammförmigen Geometrien verallgemeinert beschrieben. Als Anwendungen werden Einheitszellenmodelle für Gewebe mit Leinwandbindung vorgestellt, bei denen die Balkenelemente die Faserbündel darstellen, sowie ein Modell für ein bistabiles auxetisches Material.

Das gekoppelte Einheitszellenmodel kann die Finite-Elemente-Simulation verbessern in Bezug auf Rechenzeit und Modellierungsaufwand, da die Einheitszelle Hauptmerkmale der inneren Struktur detailliert beschriebt, ohne die Meso-Skala komplett zu modellieren.

Contents