

Institut für Mechanik



Institutsbericht 2012 Berichtszeitraum Oktober 2011 bis September 2012

© Institut für Mechanik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Postanschrift:

Karlsruher Institut für Technologie KIT
Institut für Mechanik
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe

Besucheranschrift:

Karlsruher Institut für Technologie KIT
Institut für Mechanik
Campus Süd, Gebäude 10.30
Otto-Ammann-Platz 9
76131 Karlsruhe

Kontakt:

Tel.: +49 (0)721 608 42071/47745
Fax: +49 (0)721 608 47990
E-Mail: info@ifm.kit.edu

Homepage: <http://www.ifm.kit.edu>

Inhalt

1. ORGANISATION UND PERSONAL	5
1.1 Gliederung des Institutes	5
1.2 Wissenschaftliche Mitarbeiter	5
1.3 Weitere Institutsangehörige	5
1.4 VT-Personal	5
1.5 Studentische Hilfskräfte	6
1.6 Tutoren	6
2. LEHRE UND STUDIUM	7
2.1 Lehrveranstaltungen	7
2.2 Beschreibung der Lehrveranstaltungen	8
2.2.1 Statik starrer Körper	8
2.2.2 Festigkeitslehre	8
2.2.3 Dynamik	8
2.2.4 Mechanik für Geodäten	9
2.2.5 Einführung in die Kontinuumsmechanik	9
2.2.6 Grundlagen der Baudynamik	9
2.2.7 Kontinuumsmechanik	10
2.2.8 Finite Elemente	10
2.2.9 Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme	10
2.2.10 Modellbildung in der Festigkeitslehre	11
2.2.11 Seminar für Mechanik	11
2.2.12 Bruch- und Schädigungsmechanik	12
2.2.13 Anwendungsorientierte Materialtheorien	12
2.2.14 Mechanik heterogener Festkörper	12
2.2.15 Contact Mechanics I: Static Problems	13
2.2.16 Contact Mechanics II: 3D Problems and Dynamics	13
2.2.17 Messtechnisches Praktikum I	13
2.2.18 Messtechnisches Praktikum II	13
2.2.19 Laborpraktikum	14
2.3 Prüfungen	15
2.4 Studienarbeiten	15
2.5 Bachelorarbeiten	15
2.6 Diplomarbeiten	16
2.7 Promotionen/Habilitationen	16

3.	FORSCHUNG	17
3.1	Grundlagenforschung – Ausgewählte Projekte	17
3.1.1	3D contact problems with covariant description for large load-steps	17
3.1.2	Äquivalenz zwischen inkompatiblen Verschiebungen und angenommenen Dehnungen für transiente Analysen unter Verwendung eines symbolischen Implementierungskonzeptes	21
3.1.3	Behaviour and modelling of normalized aluminium die-castings subjected to impact loading	24
3.1.4	Entwicklung und Implementierung von gemischten Ansätzen für geometrisch nichtlineare Solid-Beam-Elemente mit elliptischem Querschnitt	27
3.1.5	A cell model study of ternary polymer blends	31
3.1.6	Modellierung und experimentelle Untersuchungen des Schädigungsverhaltens von gummimodifizierten Thermoplasten	33
3.2	Publikationen	35
3.3	Vorträge	36
3.4	Kursteilnahmen / Austausch	38
3.5	Auszeichnungen	38
3.6	Mitherausgeber und Gutachter wissenschaftlicher Publikationen und Forschungsprojekte	39
4.	AKTIVITÄTEN IN ORGANISATIONEN VON LEHRE UND FORSCHUNG	40
4.1	Universitäre Selbstverwaltung	40
4.2	Aktive Mitarbeit bei nationalen und internationalen Organisationen	40
4.3	Mitgliedschaft bei wissenschaftlichen Vereinigungen	41
5.	SONSTIGE AKTIVITÄTEN UND KONTAKTE	42
5.1	Vorträge im Seminar für Mechanik	42
5.2	Kooperationen	42
5.3	Gäste	43

1. **Organisation und Personal**

1.1 **Gliederung des Institutes**

Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof (Sprecher)

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Seelig

Lehrkörper

Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Seelig

PD Dr.-Ing. habil. Alexander Konyukhov

Interne Forschungsabteilungen

Labor für elektronisches Rechnen

Labor für experimentelle Mechanik

1.2 **Wissenschaftliche Mitarbeiter**

Dipl.-Ing. Christopher Fingerhut (DFG, ab 01.12.2011)

Dipl.-Ing. Martin Helbig (DFG)

M.Sc. Philipp Hempel (Planstelle)

Dipl.-Ing. Ridvan Izi (Planstelle)

Dipl.-Ing. Octavian Knoll (Industriemittel, bis 31.03.2012)

PD Dr.-Ing. habil. Alexander Konyukhov (DFG)

Dipl.-Ing. Steffen Mattern (Planstelle, bis 31.03.2012)

M.Sc. Simon Martinez Choy (AIF, ab 01.07.2012)

Dipl.-Math. techn. Anne Maurer (Planstelle, bis 31.03.2012)

Dipl.-Ing. Christine Ruck (50 %, Studiengebührenmittel)

Dipl.-Ing. Christoph Schmied (Planstelle)

Dipl.-Ing. Konrad Schneider (DFG, ab 15.03.2012)

Dipl.-Ing. Michael Strobl (Planstelle, ab 01.08.2012)

1.3 **Weitere Institutsangehörige**

Dr. rer.nat. Jürgen Lenz, Forschungsgruppe Biomechanik

Prof. Dr. med.dent. Hans J. Schindler, Forschungsgruppe Biomechanik

1.4 **VT-Personal**

Claudia Einbeck-Ritscher (50 %), Sekretariat (bis 31.03.2012)

Gabriele Herrmann (50 %). Sekretariat (ab 14.06.2012)

Rosemarie Krikis (50 %), Sekretariat

Dipl.-Inf. Klaus Neidhardt (50 %), IT-Systembetreuer

Willi Wendler, Feinmechanikermeister

1.5 **Studentische Hilfskräfte**

Verena Becker
Marek Fassin
Julian Finkbeiner
Ralf Gurt
Merita Hadzibeti
Helen Hoof
John Jomo
Simon Klarmann
Johannes Kuhnt
Christian Lorenz
Andreas Ludwig
Moris Martini
Mirka Maurer
Oana Mrenes
Gila Müller
Isabelle-Marie Niesel
Katharina Rohr
Matthias Schacherl
Lea Scheffer
Jakob Weber
Halil Yeniavci

1.6 **Tutoren**

Stefan Armbruster
Simon Aurand
Verena Becker
Annika Brosi
Tobias Gnauert
Ralf Gurt
Merita Hadzibeti
John Njuguna Jomo
Philip Kalkbrenner
Georgia Kikis
Eric Kirpal
Katharina Kunz
Moris Martini
Lukas Morand
Isabelle-Marie Niesel
Matthias Schacherl
Lea Scheffer
Mark Schiebl
Liana Sonntag
Friedemann Streich
Hannah Strobel
Franziska Wöhler
Hannah Zürn

2. Lehre und Studium

2.1 Lehrveranstaltungen

Die Lehrveranstaltungen des Instituts für Mechanik werden primär für den Studiengang Bauingenieurwesen angeboten. Im Grundstudium sind sie außerdem Pflicht für Gewerbelehrer Bautechnik und wählbar für die Studiengänge Angewandte Geowissenschaften und Technomathematik. Eine Vorlesung ist Wahlpflicht für den Studiengang Geodäsie.

Tabellarische Übersicht der angebotenen Lehrveranstaltungen

Lehrveranstaltung	im	Dozent	V *	Ü *	FS	Prüfung
Grundstudium, Pflicht						
Statik starrer Körper	WS 11/12	Schweizerhof Maurer	3	2	1	P
Festigkeitslehre	SS 12	Schweizerhof Izi	4	2	2	P
Dynamik	WS 11/12	Seelig Hempel	2	2	3	P
Mechanik für Geodäten	WS 11/12	Seelig Hempel	2	2	3	P
Vertiefung, Wahlpflicht						
Finite Elemente	WS 11/12	Schweizerhof Schmied	2	2	5/7	P
Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme	SS 12	Schweizerhof Schmied	2	2	8	P
Modellbildung in der Festigkeitslehre (nicht stattgefunden)	WS 11/12	Schweizerhof	2	-	8	P
Mechanik heterogener Festkörper	WS 11/12	Seelig	3	1	5	
Einführung in die Kontinuumsmechanik	SS 12	Seelig Helbig	2	-	6	P
Anwendungsorientierte Materialtheorien	SS 12	Seelig Schneider	2	2	6/8	S
Vertiefung, Wahl						
Contact Mechanics I	WS 10/11	Konyukhov	2	2	7	
Contact Mechanics II	SS 11	Konyukhov	2	2	8	
Seminar für Mechanik	WS 11/12 SS 12	Schweizerhof Seelig	2 2	-	6-8	
Messtechnisches Praktikum Dynamik	SS 12	Ruck	-	10		S

*Angabe der Semesterwochenstunden

V = Vorlesung

Ü = Übung

P = Prüfungsleistung

S = Studienleistung

2.2 Beschreibung der Lehrveranstaltungen

Inhalte, siehe <http://www.ifm.kit.edu>

2.2.1 Statik starrer Körper

Es sollen die Grundbegriffe des Tragverhaltens von Strukturen am Modell des starren Körpers erlernt werden. Aufbauend auf wenigen physikalischen Grundprinzipien werden ausgehend vom einfachen Körper auch Systeme starrer Körper untersucht. Erlernt werden soll die synthetische und analytische Vorgehensweise und deren Umsetzung in Ingenieurmethoden. Neben dem prinzipiellen methodischen Vorgehen steht dabei die Betrachtung technischer Tragwerke insbesondere des Bauwesens im Vordergrund. Zentral ist die selbständige Erarbeitung des Lehrstoffes durch die Studierenden in Vortragsübungen und betreuten Gruppenübungen.

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof
Turnus/ Kursdauer: Wintersemester (1. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 5 SWS (3 SWS Vorlesung, 2 SWS Übungen) / 7 LP

2.2.2 Festigkeitslehre

Aufbauend auf den Kenntnissen der Statik starrer Körper werden die Grundbegriffe der Festigkeitslehre und der Elastostatik erarbeitet. Verzerrungs- und Spannungszustände werden definiert und mittels der Materialgesetze verknüpft. Damit können Verschiebungen unter allgemeiner Belastung zusammengesetzt aus den Grundbeanspruchungen Zug/Druck, Biegung, Schub und Torsion bestimmt werden. Dies erlaubt auch die Berechnung statisch unbestimmter Systeme. Die Energiemethoden, wie das Prinzip der virtuellen Arbeit, bieten ein sehr vielseitiges Instrument zur Berechnung allgemeiner Systeme und der Stabilitätsuntersuchung elastischer Strukturen. Die Herleitung und Anwendung der Methoden erfolgt gezielt mit dem Blick auf Bauingenieurprobleme. In den semesterbegleitenden Vorlesungsübungen und freiwilligen betreuten Gruppenübungen lernen die Studierenden, die erarbeiteten Methoden auf praktisch technische Probleme des Bauwesens anzuwenden.

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof
Turnus/ Kursdauer: Sommersemester (2. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 6 SWS (4 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung) / 9 LP

2.2.3 Dynamik

Die Vorlesung vermittelt in systematischem Aufbau die Begriffe, Grundgesetze und Arbeitsmethoden der klassischen Kinetik. Anwendungen und Beispiele orientieren sich dabei an technischen Problemstellungen. Eine zentrale Rolle nimmt das Aufstellen von Bewegungsgleichungen mittels der synthetischen und der analytischen Methode ein. Deren Lösung und ingenieurmäßige Interpretation zielt auf die quantitative Analyse wie auch auf das grundlegende Verständnis des dynamischen Verhaltens technischer Systeme ab. Die Schwingungslehre gibt den ersten unerlässlichen Einblick in Schwingungserscheinungen und deren mechanisch-mathematische Behandlung.

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Thomas Seelig
Turnus/ Kursdauer: Wintersemester (3. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 4 SWS (2 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung) / 6 Punkte

2.2.4 Mechanik für Geodäten

Die Vorlesung vermittelt in systematischem Aufbau die Begriffe, Grundgesetze und Arbeitsmethoden der klassischen Kinetik. Anwendungen und Beispiele orientieren sich dabei an technischen Problemstellungen. Eine zentrale Rolle nimmt das Aufstellen von Bewegungsgleichungen mittels der synthetischen und der analytischen Methode ein. Deren Lösung und ingenieurmäßige Interpretation zielt auf die quantitative Analyse wie auch auf das grundlegende Verständnis des dynamischen Verhaltens technischer Systeme ab. Die Schwingungslehre gibt den ersten unerlässlichen Einblick in Schwingungserscheinungen und deren mechanisch-mathematische Behandlung.

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Thomas Seelig
Turnus / Kursdauer: Wintersemester (3. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 4 SWS (2 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung) / 3 Punkte

2.2.5 Einführung in die Kontinuumsmechanik

Es werden die Grundlagen zur Analyse mehrachsiger Belastungs- und Verformungszustände in elastischen Festkörpern vermittelt. Dies umfasst die Formulierung technischer Fragestellungen als Randwertaufgaben sowie auch die ingenieurmäßige Interpretation der Lösungen – beispielsweise in Bezug auf Lasteinleitungsfragen oder Spannungskonzentrationen. Neben analytischen Lösungsmethoden bei ebenen Problemen werden insbesondere Variations- und Energiemethoden behandelt, die die Grundlagen numerischer Berechnungsverfahren wie der Finite-Elemente-Methode bilden.

Inhalt:

- Vektor- und Tensorrechnung, Indexnotation
- Spannungen und Gleichgewicht
- Verschiebungen und Verzerrungen
- Linear-elastisches Stoffgesetz
- Randwertaufgaben der Elastizitätstheorie
- Ebene Probleme, Airy'sche Spannungsfunktion
- Lokale Spannungskonzentrationen
- Arbeits- und Energieprinzipien der Elastizitätstheorie
- Näherungsmethoden

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Thomas Seelig
Turnus / Kursdauer: Sommersemester (6. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 2 SWS (1 SWS Vorlesung, 1 SWS Übungen) / 2 Punkte

2.2.6 Grundlagen der Baudynamik

Im Vordergrund steht die Phänomenologie von Bauwerksschwingungen. Durch Kenntnis der Ursachen werden Konzepte erarbeitet, wie Schwingungen vermieden oder auf ein erträgliches Maß reduziert werden können. In der Ingenieurpraxis auftretende Problemfälle werden diskutiert und durch Videos illustriert. Grundsätzliche Phänomene werden mit kleinmaßstäblichen Bauwerksmodellen im Hörsaal anschaulich demonstriert.

Dozen: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof
Turnus / Kursdauer: Sommersemester (6. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 2 SWS Vorlesung / 3 Punkte

2.2.7 **Kontinuumsmechanik** (Vertiefungsrichtung Geotechnisches Ingenieurwesen)

Ziel der Vorlesung ist es, mit den allgemeinen kontinuumsmechanischen Konzepten (Kinematik der Deformation, Bilanzgleichungen, Materialgesetze) und ihrer Anwendung auf ingenieurwissenschaftliche Probleme vertraut zu machen. Die Lehrveranstaltung vermittelt die Grundlagen insbesondere zur Behandlung geotechnischer Fragestellungen.

Inhalt:

- Kinematik der Kontinuumsdeformation (allgemeine Verzerrungsmaße, geometrische Linearisierung)
- Bilanzgleichungen für Masse, Impuls, Drehimpuls und Energie
- Elastizität (isotrope und anisotrope Materialgesetze)
- Thermoelastizität (Fourier'sche Wärmeleitung, thermische Dehnungen, Duhamel-Neumann-Gesetz, thermisch-mechanische Kopplung)
- Linear-elastische Wellenausbreitung (d'Alembert'sche Lösung, zeitharmonische Wellen, Kompressions- und Scherwellen, Oberflächenwellen)
- Elemente der Bruchmechanik
- Ausblick auf inelastisches Materialverhalten (Plastizität, Viskoelastizität)

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Thomas Seelig
Turnus / Kursdauer: Sommersemester (6. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 3 SWS (2 SWS Vorlesung, 1 SWS Übungen) / 3 Punkte

2.2.8 **Finite Elemente**

Es sollen die mathematischen und mechanischen Grundlagen der Finite Element Methode am Beispiel strukturmechanischer Problemstellungen dargestellt werden. Dabei wird der gesamte Bereich der hierzu erforderlichen Methoden und Schritte exemplarisch angesprochen und auszugsweise auch programmtechnisch umgesetzt. Die Studierenden sollten danach in der Lage sein, erstens selbständig mit FE Programmen einfache Berechnungen durchzuführen und zweitens an einem Finite Element Programm Änderungen vorzunehmen und eigene Elemente hinzuzufügen.

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof
Turnus / Kursdauer: Wintersemester (5./7. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 4 SWS (2 SWS Vorlesung, 2 SWS Übungen) / 6 Punkte

2.2.9 **Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme**

Feldprobleme stellen in Verbindung mit den klassischen Fragestellungen der Strukturmechanik Hauptanwendungen dar. Am Beispiel von Temperaturproblemen – Wärmeleitung, Konvektion, Wärmestrahlung soll das generelle Vorgehen der Lösung für Feldprobleme mit Finiten Elementen gezeigt werden. Abhängig von den Beanspruchungen sind unterschiedliche Typen der Differentialgleichung zu lösen; werden für die zeitabhängige Fragestellung der Differentialgleichung erster Ordnung in der Zeit die entsprechenden Matrizen entwickelt und die möglichen allgemeinen Lösungsverfahren diskutiert. Ein Schwerpunkt liegt auf den Zeitintegrationsverfahren bei einer Semidiskretisierung. Dieses Vorgehen wird für die Differentialgleichungssysteme zweiter Ordnung der Strukturmechanik weitergeführt und es wird die Entwicklung unterschiedlicher Zeitintegrationsverfahren – Finite Elemente in der Zeit sowie Differenzenverfahren – vorgeführt. Deren Eigenschaften bezüglich Stabilität, Genauigkeit, Dissipation und Dispersion werden diskutiert und exemplarisch aufgezeigt. Ein Schwer-

punkt liegt auf der grundsätzlichen Untersuchung der unterschiedlichen Verfahren, aus der sich ein Blick auf wünschenswerte und mögliche Entwicklungen ergibt.

Ausgehend von den Schwächen der klassischen Verschiebungselemente – vorwiegend deren Versteifungseffekten – werden sogenannte Gemischte Elemente betrachtet. Ein Schwerpunkt liegt auf der effizienten Weiterentwicklung von Verschiebungselementen niedriger Ansatzordnung mittels Hinzunahme von Ansätzen für Verzerrungen. Dabei werden die Grenzen der Abbildung von komplexen Verzerrungszuständen mit einfachen Verschiebungsansätzen genauer beleuchtet und versucht diese gezielt zu verändern. Dabei wird auf guten Kenntnissen der Kontinuumsmechanik und der Wärmelehre aufgebaut.

Begleitet wird die Vorlesung durch eigenes Programmieren in den wöchentlichen Übungen, die vorwiegend am Rechner erfolgen.

Am Ende der Vorlesung sollen die Studierenden A) in der Lage sein, für beliebige Feldprobleme eine Lösung mit Finiten Elementen in Grundzügen entwickeln zu können und auch schwierigere Feldprobleme und auch gekoppelte Probleme zu verstehen, B) sollen sie die wesentlichen Zeitintegrationsalgorithmen kennen und deren Vor- und Nachteile bei unterschiedlichen Fragestellungen verstehen, C) sollen die Studierenden sensibilisiert werden für die Grenzen und Schwächen der Methode der Finiten Elemente und auch mit Möglichkeiten, diese Schwächen zu beheben, vertraut gemacht werden. Mit den Übungen sollen die Studierenden neben der Vertiefung der Vorlesungsinhalte in die Lage versetzt werden, selbst Programmmodifikationen vorzunehmen und zu erkennen, welche Möglichkeiten bereits für Studierende bestehen. Mit den Übungen sollen die Studierenden auch Kenntnisse über einfache Testfälle für das Elementverhalten in komplexen Situationen erhalten.

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof
Turnus / Kursdauer: Sommersemester (8. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 4 SWS (2 SWS Vorlesung, 2 SWS Übungen) / 6 Punkte

2.2.10 Modellbildung in der Festigkeitslehre

Modelle der Festigkeitslehre (z.B. Stab, Balken, Scheibe, Platte oder Schale) basieren auf der Vorgabe einer speziellen geometrieangepassten Kinematik. Damit kann das allgemeine kontinuumsmechanische Problem aus der Sicht der Ordnung der problembeschreibenden Randwertaufgaben je nach Modelltyp erheblich reduziert werden. Andererseits besitzen alle Modelle aufgrund der gewählten Kinematik Einschränkungen bezüglich ihres Anwendungsbereiches. Die Grenzen der in der Festigkeitslehre üblichen Modelle werden aufgedeckt und Übergänge zwischen Modellvorstellungen werden diskutiert.

Dozent: Prof. Dr.-Ing. K. Schweizerhof
Turnus / Kursdauer: Wintersemester (7. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 2 SWS Vorlesung / 3 Punkte

2.2.11 Seminar für Mechanik

Ziel des Seminars ist es, aktuelle Themen der Mechanik aus Lehre, Forschung und Industrie den Seminarteilnehmern näher zu bringen. Das Seminar gibt den Teilnehmern Einblicke in moderne praktische und wissenschaftliche Methoden auf dem Gebiet der klassischen und computergestützten Mechanik und erweitert ihre Kenntnisse in Theorie und Praxis.

Dozenten: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof
Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Seelig
Turnus / Kursdauer: Wintersemester (6.-8. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 2 SWS Vorlesung / 3 Punkte

2.2.12 Bruch- und Schädigungsmechanik

Es werden die grundlegenden Prinzipien und Arbeitsmethoden der Bruchmechanik und Schädigungsmechanik vermittelt, wie sie bei der Analyse rissbehafteter Strukturen sowie der Beschreibung komplexen Materialverhaltens zum Einsatz kommen. Neben der kontinuumsmechanischen Behandlung werden auch materialspezifische Aspekte diskutiert.

Inhalt:

- Ursachen und Erscheinungsformen des Bruchs
- Linear-elastische und elastisch-plastische Bruchmechanik
- Rissspitzenfelder
- Energiebilanz beim Bruch
- Bruchkriterien
- Dynamische Probleme der Bruchmechanik
- Mikromechanik heterogener Festkörper
- Schädigungsmechanik

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Thomas Seelig
Turnus / Kursdauer: Wintersemester (6. oder 8. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 4 SWS (2 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung) / 6 Punkte

2.2.13 Anwendungsorientierte Materialtheorien

Zahlreiche Fragestellungen des Ingenieurwesens erfordern eine theoretische Materialbeschreibung, die über das rein elastische Verhalten hinausgeht. Ziel der Vorlesung ist es, mit Methoden der kontinuumsmechanischen Modellierung inelastischen Materialverhaltens vertraut zu machen. Neben den unterschiedlichen Phänomenen werden auch deren physikalische Ursachen diskutiert.

Dozent: Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Seelig
Turnus / Kursdauer: Sommersemester (6. oder 8. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 4 SWS (2 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung) / 6 Punkte

2.2.14 Mechanik heterogener Festkörper

Ziel der Vorlesung ist es einerseits, mit der kontinuumsmechanischen Beschreibung und Analyse der Belastung und Verformung elastischer Strukturen vertraut zu machen. Neben den grundlegenden Zusammenhängen umfasst dies die adäquate Formulierung von Randwertaufgaben sowie die Interpretation von Lösungen in Hinblick auf praktische Fragestellungen.

Besondere Aufmerksamkeit kommt daneben den Zusammenhängen zwischen makroskopischen Materialeigenschaften (auf Bauteilebene) und der feinskaligen Mikrostruktur eines jeden realen Werkstoffs zu. Diese ermöglichen nicht nur ein vertieftes Verständnis klassischer Werkstoffe sondern auch das gezielte Design neuer Komposit-Materialien mit optimierten Eigenschaften.

Dozent: Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Seelig
Turnus / Kursdauer: Wintersemester (5. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 4 SWS / 3 Punkte

2.2.15 Contact Mechanics I: Static Problems

Contact problems appear within a large number of engineering problems. The main difficulty in the solution of contact problems is the nonlinearity of the governing equilibrium equations even for small displacement problems. This nonlinearity is arising from a lack of a-priori knowledge about a contact area and contact stresses. Thus, an advanced mathematical modeling should be applied. Several contact approaches for modeling contact conditions within the finite element method are described during the course. Particular problems arising during the modeling are discussed and illustrated by numerical examples using also commercial FE programmes. Numerical implementations for the FEAP code (**F**inite **E**lement **A**nalysis **P**rogram, version FEAP-MeKa) are done for 2-D examples.

Dozent: PD Dr. Alexander Konyukhov
Turnus / Kursdauer: Wintersemester (7. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 4 SWS (2 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung) / 6 Punkte

2.2.16 Contact Mechanics II: 3D Problems and Dynamics

Goals:

- Understand modern contact algorithms for three-dimensional structures subjected to large deformations and dynamic loading.
- Understand specific FE-issues related to different contact approaches.
- Perform partially own implementation.

Dozent: PD Dr. Alexander Konyukhov
Turnus / Kursdauer: Sommersemester (8. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 4 SWS (2 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung) / 6 Punkte

2.2.17 Messtechnisches Praktikum I - Grundlagen

Es sollen die Kenntnisse aus der Vorlesung „Baudynamik“ und „Dynamik“ auf reale baupraxisähnliche Strukturen zuerst im Labor und abschließend im Feld angewandt werden. Wert wird insbesondere auf den Vergleich theoretisch berechneter und experimentell gewonnener Ergebnisse gelegt sowie auf die Interpretation von Abweichungen zwischen Rechenmodell und Experiment. Komplexe Phänomene der Theorie, wie z.B. Eigenformen, sollen veranschaulicht werden. Es wird den Studierenden die Möglichkeit geboten, an Experimenten teilzunehmen und insbesondere selbst Experimente durchzuführen. Zum Abschluss des Praktikums wird eine reale Struktur (Gebäude/Turm) auf ihre Schwingungseigenschaften mit der erarbeiteten Methode untersucht.

Dozenten / Betreuer: Dipl.-Ing. Christine Ruck, Willi Wendler
Turnus / Kursdauer: Sommersemester (6. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 2 SWS / 3 Punkte

2.2.18 Messtechnisches Praktikum II - Zeitreihen- und Modalanalyse, Parameteridentifikation

Die Studierenden werden in die Lage versetzt, das Schwingungsverhalten von Strukturen mit Hilfe der experimentellen Modalanalyse selbstständig zu untersuchen sowie modale Parameter zu bestimmen. Die hierfür benötigten theoretischen Grundlagen werden vermittelt. Anschließend wird den Studierenden jeweils die Möglichkeit geboten, das Erlernete in

eigenständig durchzuführenden Experimenten und Rechnerübungen zu vertiefen. Hierfür werden baupraxisähnliche Modellstrukturen betrachtet.

Dozenten / Betreuer: Dipl.-Ing. Christine Ruck, Willi Wendler
Turnus / Kursdauer: Wintersemester (7. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 2 SWS / 3 Punkte

2.2.19 Laborpraktikum (gemeinsame Lehrveranstaltungen mehrerer Institute)

Ziel der Teilveranstaltung des Instituts für Mechanik:

Messung mechanischer Größen (Wege, Dehnungen ...) und Systemparameter (Eigenfrequenz, Dämpfung ...) von einfachen dynamischen Systemen im Schwingungslabor des Instituts für Mechanik.

Dozenten / Betreuer: Dipl.-Ing. Christine Ruck, Willi Wendler
Turnus / Kursdauer: Wintersemester (3. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS (gesamte Lehrveranstaltung): 2 SWS / 3 Punkte

2.3 Prüfungen

	Zahl der Teilnehmer	
	WS 11/12	SS 12
Statik starrer Körper	381	178
Festigkeitslehre	27	209
Festigkeitslehre, Studiengang Angewandte Geowissenschaften	4	-
Dynamik	169	39
Mechanik für Geodäten	8	-
Einführung in die Kontinuumsmechanik	77	44
Grundlagen der Baudynamik	20	26
Kontinuumsmechanik	4	1
Finite Elemente	6	7
Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme	4	8

2.4 Studienarbeiten

Implementierung eines 2-Knoten-Stabelements unter Verwendung der geometrisch und physikalisch nichtlinearen Elastizitätstheorie: Marek Fassin, 2011

Implementierung und Analyse von Scheibenelementen mit höheren Ansatzfunktionen verschiedener Klassen: Christian Lorenz, 2011

Untersuchung zur Vernetzung von Einheitszellen mittels der Gauß-Punkt-Methode: Michael Krawiec, 2011

Erstellung eines Kontinuums-Druckelementes zur Akustikuntersuchung: Jonas Läufer, 2011

Modellierung eines geometrisch nichtlinearen 8-Knoten-Neo-Hooke-Elements für Abaqus unter Verwendung von AceGen, Moris Martini, 2012

Abaqus User Element zur Verwendung von AceGen-generiertem Fortran-Code, Steffen Rothweiler, 2012

Implementierung und Analyse von Kontaktelementen für Solid-Beam-Elemente, Simon Klarmann, 2012

2.5 Bachelorarbeiten

Gnauert, Tobias: Numerische Untersuchung von Geometrie- und Reibeinflüssen bei Druckversuchen, Juli 2012

Morand, Lukas: Zellmodell-Untersuchung zum makroskopischen Deformationsverhalten von Kompositwerkstoffen mit plättchenförmigen Verstärkungspartikeln, Juli 2012

Schiebl, Mark: Analytische und numerische Untersuchung lokaler Zugspannungen in elastischen Festkörpern unter äußerer Druckbelastung, Juli 2012

Streich, Friedemann: Numerische Untersuchung mikroheterogener Materialien mittels der Gauß-Punkt-Methode, Juli 2012

Jomo, John: Zylindrische Vollkörper unter einachsigen und allseitigen Druck, August 2012

Kalkbrenner, Philipp: Untersuchung des Schwingungsverhaltens einfacher Bauwerksstrukturen, August 2012

2.6 **Diplomarbeiten**

Fingerhut, Christopher: FE-Simulation des Füge- und Lösevorgangs eines Konusteleskops unter Berücksichtigung verschiedener Dimensionierungsparameter, November 2011

Schuler, Julia: Untersuchung der technischen Machbarkeit eines großen Schwungradrotors zur Energiespeicherung, November 2011

Striebich, Marco: Modelling of a fluid filled wine tank with LS-DYNA – Earthquake safety of large wine tanks in seismic regions (Chile), Dezember 2011

Ludwig, Andreas: Erstellung und Validierung eines Fluidelements zur Berechnung von teilweise mit Fluid gefüllten Strukturen, Januar 2012

Lorenz, Christian: Development and analysis of contact layer elements extended to the finite cell method, März 2012

Strobl, Michael: Entwicklung und Implementierung von gemischten Ansätzen für geometrisch nichtlineare Solid-Beam-Elemente mit elliptischem Querschnitt, März 2012

2.7 **Promotionen/Habilitationen**

Franke, David Christian: „Investigation of Mechanical Contact Problems with High-order Finite Element Methods“, Technische Universität München, November 2011, Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. E.Rank, TU München, Korreferent: K.Schweizerhof

Mattern, Steffen: „Hocheffiziente Finite Elemente für transiente Analysen mit expliziter Zeitintegration“, KIT, Promotion am 20.07.2012, Hauptreferent: K. Schweizerhof, Korreferent: Prof. Dr.-Ing. M. Bischoff, Universität Stuttgart

3. Forschung

3.1 Grundlagenforschung – Ausgewählte Projekte

3.1.1 3D contact problems with covariant description for large load-steps

Bearbeitung: R. Izi

Introduction

Nonlinear computations as in the field of contact mechanics require consistent linearization in order to gain quadratic convergence at least in the vicinity of the final solution. The initial approximation or the load step size of the computation, however, have to be close to the searched solution or have to be chosen rather small, respectively. Thus, a large number of load steps is usually necessary to reach the final solution.

In order to dispose this feature, Zavarise et al. proposed a scheme [1] for 2D linear geometries allowing to accelerate convergence combining non-consistent and consistent linearization, the so-called large penetration algorithm. Hereby, the tangent matrix derived according to the consistent linearization is split in a "basic" and a "geometrical" part. Starting only with the "basic" part of the tangent matrix the computation is switching after some iterations to the full tangent matrix. This procedure was developed for linear elements in 2D. For 3D problems and arbitrary orders of discretization the required identification of the "basic" and "geometrical" part was derived in [2]. A first reliable combination of these schemes was presented in [3] for a frictionless Node-To-Surface (NTS) approach. Considering different contact approaches as the Node-To-Surface (NTS), the Segment-To-Analytical-Surface (STAS) and the Segment-To-Segment (STS) approach the derived formulations are applied to contact problems with higher order approximation.

Covariant contact description

The specific required structure of the tangent matrix is achieved by taking advantage of the differential geometry description for contact surfaces in 3D. For this two spatial coordinate systems have to be introduced where the first represents an inertial frame of reference and the second coordinate system gives a non-inertial reference frame defined locally on the master surface. Based on the surface coordinate system and the closest point projection procedure, see [2], a setup of two contacting bodies for the NTS approach is given in Fig. 1. As the basis for the spatial local coordinate system the 2D surface coordinate system parametrizing the master surface is used. A special 3D local coordinate system can be constructed to describe the position vector of the slave point, thus, the position vector of the slave point \mathbf{S} can be written as

$$\mathbf{r}(\xi^1, \xi^2, \xi^3) = \boldsymbol{\rho}(\xi^1, \xi^2) + \xi^3 \mathbf{n}(\xi^1, \xi^2) \quad (1)$$

where $\boldsymbol{\rho}(\xi^1, \xi^2)$ is the position vector of the master point \mathbf{M} . Based on this coordinate system the presence of contact relies on monitoring the penetration value of ξ^3 where a non-positive value implies contact.

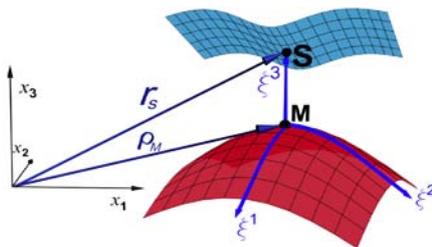


Fig. 1: Spatial local coordinate system for a quadratically approximated contact surface with NTS approach

Penalty regularization and consistent linearization

For frictionless contact problems the virtual work regarding contact can be expressed in the form

$$\delta W_c = \int_s N \delta \xi^3 ds \quad (3)$$

where N denotes the normal component of the traction vector and the variation $\delta \xi^3$ is derived exploiting the analogy to time derivatives as given in Eq. (2)

$$\delta \xi^3 = (\delta r - \delta \rho) \cdot n . \quad (4)$$

Using a penalty scheme the normal traction is as given in [4] the regularized contact functional is given as

$$\delta W_c = \int_s \varepsilon_N \xi^3 H(-\xi^3) \delta \xi^3 ds \quad (5)$$

where ε_N is the penalty parameter and $H(-\xi^3)$ is the Heaviside function.

Within a Newton type solution process a consistent linearization is required with the consequence of exploiting the full material time derivative for the covariant description within the local spatial coordinate system. In case of the considered NTS and STAS approaches the contact integral in Eq. (5) is computed over the slave surface which is defined by a set of slave points. Each parameter in the contact integral is considered in the spatial local coordinate system of the master surface, therefore, linearization of the slave surface ds is not needed in the process. Thus, ds is assumed to remain constant within linearization. The linearization of the regularized contact functional leads then to

$$D_v(\delta W_c) = \int_s \varepsilon_N H(-\xi^3) \{ (\delta r - \delta \rho)(n \otimes n)(v_s - v_M) - \quad (6)$$

$$- \xi^3 [\delta \rho_{,i} a^{ij} (n \otimes \rho_{,j})(v_s - v_M) + (\delta r - \delta \rho)(\rho_{,j} \otimes n) a^{ij} v_{M,i}] - \quad (7)$$

$$- \xi^3 (\delta r - \delta \rho)(\rho_{,k} \otimes \rho_{,l}) h^{kl} (v_s - v_M) \} ds . \quad (8)$$

Finite element discretization

Concentrating on the NTS and the STAS contact approach with quadratic approximation of the master surface this leads infinite element formalities for the coordinates of an arbitrary surface point as e.g. a master surface point ρ to

$$\rho = \sum N^{(k)} (\xi^1, \xi^2) \mathbf{x}^{(k)} \quad \text{with} \quad k = 1, 2, \dots, 9 \quad (9)$$

where $N^{(k)} (\xi^1, \xi^2)$ are quadratic shape functions and $\mathbf{x}^{(k)}$ are nodal coordinates of the encountered master surface element.

In the case of NTS contact elements the contact surface denoted as the master surface is approximated by surface elements as given in Fig. 2. The slave surface is represented by single nodes directly taken from the structural finite element mesh of the slave body. Thus, a single NTS contact element consists of a pair of 9 nodes for the discretization of the master surface and a separated slave node on the slave surface. The resulting nodal vector for the NTS contact element becomes then

$$\mathbf{x}^T = [\mathbf{x}^{(1)}, \mathbf{x}^{(2)}, \dots, \mathbf{x}^{(9)}, \mathbf{x}^{(10)}] \quad (10)$$

where $\mathbf{x}^{(10)}$ is the position vector for the nodal slave point.

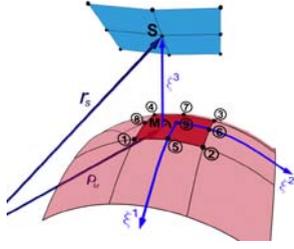


Fig. 2: Quadrilateral NTS element with quadratic approximation

Large penetration scheme

Based on the separations of the tangent matrix as given in Eq. (6)-(8) a scheme for large load steps in the presence of large penetrations is employed. In the following the general outline of the utilized 3D large penetration scheme for the STAS approach is given, see Fig. 3. The governing assumption, hereby, is to correctory estimate a priori the final resulting maximum contact pressure for a given contact setup. The a priori estimated contact pressure denoted as p_e is used then as an indicator to switch for each load step between two main phases of the algorithm. Within the first phase the tangent matrix consists only of the main part as Eq. (6) for the STAS approach and the residual encounters an upper bound for the maximum contact pressure represented by the a priori estimated contact pressure p_e . The latter modification enables to shift smoothly from phase one to phase two, where the standard consistently linearized terms - the full tangent matrix (Eqs. (6)-(8)) - are used. Furtheron an update scheme for a possible underestimation of the a priori contact pressure is used as

$$p_{en+1} = p_{en} + \alpha_c p_e, \quad (12)$$

where α_c represents a chosen weighting factor. As an update indicator a parameter R is taken considering the penetration within consecutive iteration steps.

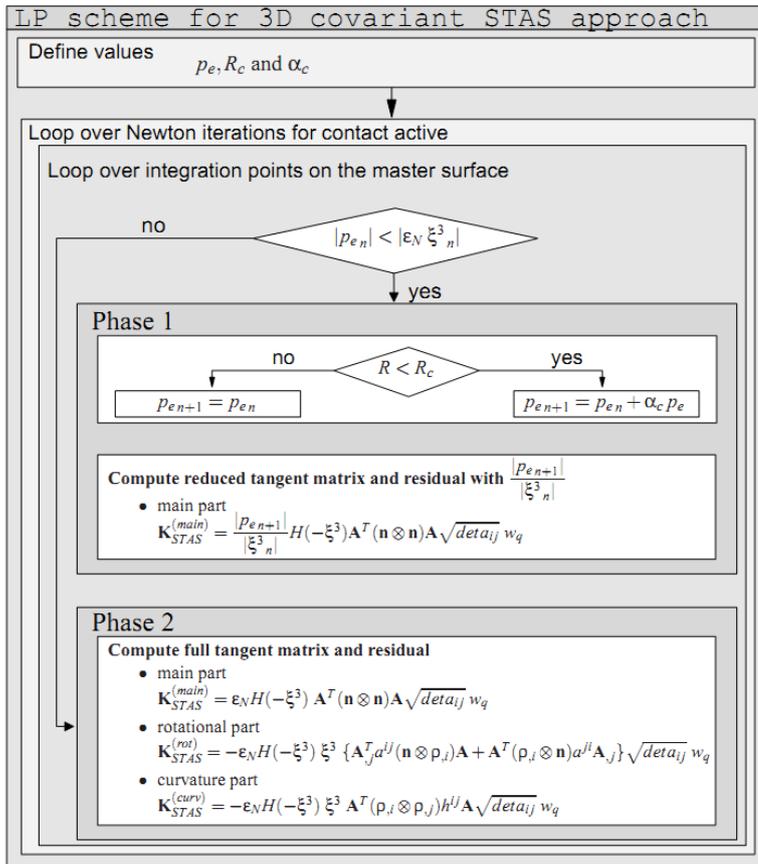


Fig. 3: Outline of applied LP scheme for 3D covariant STAS approach

References

- [1] G. Zavarise, L. De Lorenzis, R.L. Taylor: *A non-consistent start-up procedure for contact problems with large load-steps*, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 205-208 (2012) 91-109.
- [2] A. Konyukhov, K. Schweizerhof: *Contact formulation via a velocity description allowing efficiency improvements in frictionless contact analysis*, Comput. Mech. 33 (2004) 165-173.
- [3] R. Izi, A. Konyukhov, K. Schweizerhof: *Large Penetration Algorithm for 3D Frictionless Contact Problems Based on a Covariant Form*, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 217-220 (2012) 186-196.
- [4] A. Konyukhov: *Geometrically exact theory for contact interactions*, KIT Scientific Publishing, Habilitation thesis (2011) Karlsruhe.

3.1.2 Äquivalenz zwischen inkompatiblen Verschiebungen und angenommenen Dehnungen für transiente Analysen unter Verwendung eines symbolischen Implementierungskonzeptes

Bearbeitung: Christoph Schmied, Steffen Mattern, Karl Schweizerhof

Motivation

Für Anwendungen mit sehr schnell ablaufenden Beanspruchungen sowie für hoch nichtlineare Probleme sind explizite Zeitintegrationsverfahren wie das zentrale Differenzenverfahren (Verlet-Schema) ideal geeignet. Aufgrund der erforderlichen kleinen Zeitschritte innerhalb des Algorithmus hat die Berechnung von Elementgrößen sehr häufig zu erfolgen, und daher ist auf eine effiziente Implementierung der Element-Algorithmen zu achten.

Kurzfassung

Die Implementierung der volumetrischen Elementroutinen erfolgt mit Hilfe des Programmierwerkzeuges AceGen von J. Korelc [1], ein Zusatzpaket der Computeralgebra Software Mathematica. Dieses Zusatzpaket stellt als Programmierwerkzeug symbolische Operationen bereit, die auch die automatische Differenzierung von Tensoren erlauben. Algorithmen können äußerst effizient durch symbolische Eingabe in Mathematica direkt in den zu implementierenden Quellcode übersetzt werden. AceGen ermöglicht unter Anderem, „Debugging“ auf symbolischer Ebene durchzuführen. Die benötigte numerische Effizienz der Element-Algorithmen wird durch eine während der Eingabe simultan ablaufende Optimierung erreicht. Anhand geeigneter Schnittstellen werden die Element-Algorithmen für den institutseigenen Finite-Elemente-Solver, aber auch für kommerzielle Software-Pakete genutzt. Das Implementierungskonzept wird ausführlich in der Dissertation von Mattern [2] behandelt. Verschiedene Beispiele darin zeigen, dass die Anwendung des vorgestellten Konzeptes verglichen mit der üblichen manuellen Programmierung eine Reduktion von bis zu 90 Prozent des numerischen Aufwandes bewirken kann.

Hier wird die in Bild 1 gezeigte bekannte volumetrische Schalenformulierung, bekannt als „Solid-Shell“, verwendet. Eine Beschreibung findet sich in zahlreichen Publikationen, beispielsweise bei Hauptmann, 1998 [3].

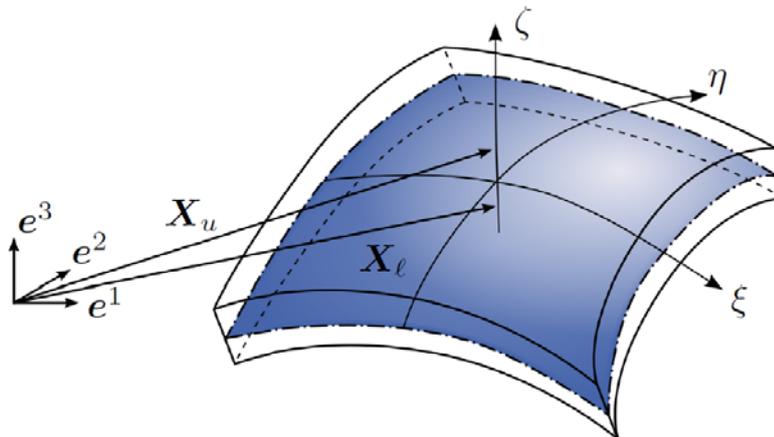


Bild 1: 8-Knoten Solid-Shell Element

Diese Art von Strukturelementen, die nur auf Verschiebungsgrößen basieren, weisen mehrere bekannte Mängel auf, den tatsächlichen physikalischen Beanspruchungszustand korrekt abzubilden. Diese Mängel können geometrischen und materiellen Ursprungs sein und werden als „Locking“ bezeichnet. Für „Solid-Shell“ Elemente treten durch Verschiebungs- und Geometrieinterpolation bedingt „Curvature-thickness“- und „Transverse-Shear“-Locking auf. Diese können mit Hilfe der Methode der angenommenen Verzerrungen, bekannt als „ANS“ durch Bathe, 1986 [4], größtenteils vermieden werden. Um volumetrisches und Poisson-

Dicken-Locking zu vermeiden wird die Methode der erweiterten Verzerrungen, bekannt als „Enhanced Assumed Strains (EAS)“ durch Simo und Rifai, 1990 [5], genutzt.

Die Elementtechnologie der erweiterten Verzerrungen zeichnet sich durch eine zusätzliche Verzerrungsinterpolation mit inkompatiblen Freiheitsgraden aus, die zum bereits vorliegenden verschiebungsbasierten kompatiblen Verzerrungsfeld hinzu addiert werden. Um die zusätzlich eingeführten Freiheitsgrade zu kondensieren, ist die Invertierung einer symmetrischen quadratischen Matrix in Verbindung mit der Lösung eines in der Regel nichtlinearen Gleichungssystems erforderlich. Diese Kondensation erfolgt in jedem Zeitschritt. Bei dem gewählten Zeitintegrationsverfahren wird der Zeitschritt wegen des Courant-Lewy-Friedrichs Kriteriums in der Regel sehr klein. Diese Einschränkung hat zur Folge, dass die Lösung des genannten nichtlinearen Gleichungssystems oftmals mit einer einzigen Iteration erreicht wird. Allerdings wird insbesondere für explizite Zeitintegrationsverfahren der numerische Aufwand der beschriebenen Elementtechnik trotz einer einzigen Iteration sehr hoch, bedingt durch die Aufstellung und Lösung des nichtlinearen Gleichungssystems in jedem Zeitschritt.

Mit Hilfe der folgenden Überlegung lässt sich dieser Aufwand in einem expliziten Zeitintegrationsverfahren vermeiden. Die zusätzlich eingeführten Freiheitsgrade werden überführt in inkompatible Verschiebungen, für welche inkompatible Ansatzfunktionen nach dem Vorschlag von Bischoff und Romero, 2007 [6] aufgestellt werden. Durch diesen Schritt bleibt die Elementformulierung bezüglich der Steifigkeiten äquivalent zur bisherigen EAS Formulierung, da die inkompatiblen Verschiebungen durch entsprechende Wahl der Ansatzfunktionen zur selben Erweiterung der Verzerrungen führen. Für die nun vorhandenen inkompatiblen Verschiebungen können basierend auf den inkompatiblen Ansatzfunktionen Trägheitsgrößen eingeführt werden. Wegen dieser künstlichen Modifikation der Trägheitsgrößen gewinnt das nichtlineare Gleichungssystem einen vollständig dynamischen Charakter, womit ermöglicht wird die Lösung ebenfalls mit einem expliziten Zeitintegrationsverfahren durchzuführen. Damit entfällt die iterative Berechnung und insbesondere die Aufstellung des nichtlinearen Gleichungssystems. Die inkompatiblen Ansatzfunktionen ermöglichen auch eine diagonale Massenmatrix aufzustellen. Diese wird mit einer speziellen Dichte skaliert, um den Zeitschritt für die Lösung der inkompatiblen Verschiebungsfreiheitsgrade kontrollieren und im Regelfall reduzieren zu können.

Das numerische Experiment am Beispiel einer dünnen Kugelschale mit einer Öffnung am oberen Ende zeigt ein dynamisch beanspruchtes System, für das der numerische Aufwand und die erzielte Übereinstimmung der Ergebnisse dargestellt werden. Die Geometrie und Belastung der Kugelschale ist in Bild 2 gegeben.

Die Anwendung verschiedener Elementformulierungen mit inkompatiblen Verschiebungen zeigt hohe Einsparungen bei der gemessenen CPU-Zeit bei gleicher Genauigkeit, was Tabelle 1 entnommen werden kann.

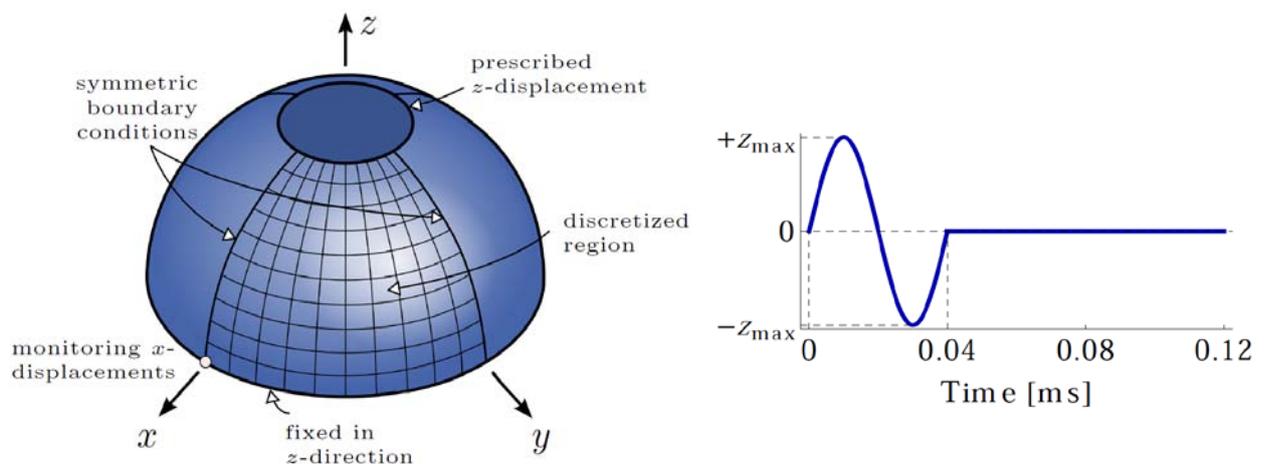


Bild 2: Kugelschale unter dynamischer Beanspruchung

	EAS9	IM9	IM9	IM8-EAS1
Lösung des nichtlinearen Gleichungssystem	Implizit, iterativ	Explizit	Explizit	Explizit und implizit
Skalierung der inkompatiblen Massenmatrix	-	400	6000	400
CFL-Zeitschritt-Skalierung	-	0.2	1.0	1.0
CPU-Zeit (normiert) – Grobe Diskretisierung	100%	85.2%	17.2%*	33.4%
CPU-Zeit (normiert) – Feine Diskretisierung	100%	89.8%	18.5%	35.6%

Tabelle 1: Vergleich der implementierten Elementformulierungen

Die für den dargestellten Vergleich gewählte Elementformulierung ist die aus der Literatur bekannte 9-Parameter Formulierung nach Taylor et al., 1976 und wird hier mit „EAS9“ bezeichnet. Die entsprechend äquivalenten Modifikationen mit ausschließlich inkompatiblen Verschiebungsmoden werden „IM9“ genannt. Zudem wurde die gemischte Formulierung „IM8-EAS1“ implementiert, bei der eine inkompatible Verschiebung durch die erweiterte Verzerrung in Dickenrichtung ersetzt wird. In der letzten Zeile von Tabelle 1 wird die benötigte CPU-Zeit normiert angegeben. Wegen der Skalierung der inkompatiblen Massenmatrix ist es erforderlich, den Zeitschritt nach Courant-Friedrich-Lewy für „IM9“ um 80% zu reduzieren. Eine höhere Skalierung der inkompatiblen Massen in Spalte 3, und die gemischte Formulierung „IM8-EAS1“ in Spalte 4 machen eine Anpassung des Zeitschrittes nicht erforderlich. Die enorme Einsparung von über 80% der CPU-Zeit in Spalte 3 geht bei einer groben Diskretisierung infolge der starken Massenskalierung mit ungewollten Artefakten einher, markiert mit *, welche für eine feinere Diskretisierung allerdings verschwinden. Die Elementformulierung „IM8-EAS1“ weist diese Artefakte nicht auf und CPU-Einsparungen von bis zu ca. 65% sind dennoch möglich.

Ein Teil der laufenden Arbeiten bestehen darin, die Skalierung der inkompatiblen Massenmatrix automatisch während der Laufzeit einer Berechnung effizient zu berechnen und gegebenenfalls anzupassen. Damit verbunden ist die adaptive Steuerung der Zeitschrittweite für die Lösung der Verschiebungen und inkompatiblen Verschiebungen.

Literatur

- [1] J. Korelc, *AceGen & AceFEM*, <http://www.fgg.uni-lj.si/Symech/> (2012).
- [2] S. Mattern, *Hocheffiziente Formulierung und Implementierung finiter Elemente für transiente Analysen mit expliziter Zeitintegration*, Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2012
- [3] R. Hauptmann, K. Schweizerhof, *A systematic development of 'solid-shell' element formulations for linear and non-linear analyses employing only displacement degrees of freedom*, Int. J. Numer. Methods Eng. 42 (1) (1998) 49-69.
- [4] K.-J. Bathe, E. Dvorkin, *A formulation of general shell elements - the use of mixed interpolation of tensorial components*, Int. J. Numer. Methods Eng. 22 (3) (1986) 697-722.
- [5] J. Simo, M. Rifai, *A class of mixed assumed strain methods and the method of incompatible modes*, Int. J. Numer. Methods Eng. 29 (8) (1990) 1595-1638.
- [6] M. Bischoff, I. Romero, *A generalization of the method of incompatible modes*, Int. J. Numer. Methods Eng. 69 (9) (2007) 1851-1868.
- [7] R. Taylor, P. Beresford, E. Wilson, *A non-conforming Element for Stress Analysis*, Int. J. Numer. Methods Eng. 10 (6) (1976) 1211-1219.

3.1.3 Behaviour and modelling of normalized aluminium die-castings subjected to impact loading

HIN-Projekt

Gefördert durch die AUDI AG, Kooperation zwischen dem IfM (KIT, Karlsruhe), SIMLab (NTNU, Trondheim) und der AUDI AG (N/EK-251, Neckarsulm), Laufzeit 01.04.2009 bis 31.03.2012

Bearbeitung: O. Knoll, K. Schweizerhof

Motivation

Moderne Druckgussprozesse erlauben die Verwirklichung filigraner sowie hoch komplexer Bauteilgeometrien. Hierbei werden überwiegend Aluminiumlegierungen verwendet. Im Karosseriebau werden diese Bauteile hauptsächlich in Bereichen von Knotenpunkten eingesetzt, siehe Abbildung 1. Hier müssen sie sehr hohen Beanspruchungen, wie sie insbesondere in Crash-Situationen auftreten, standhalten.



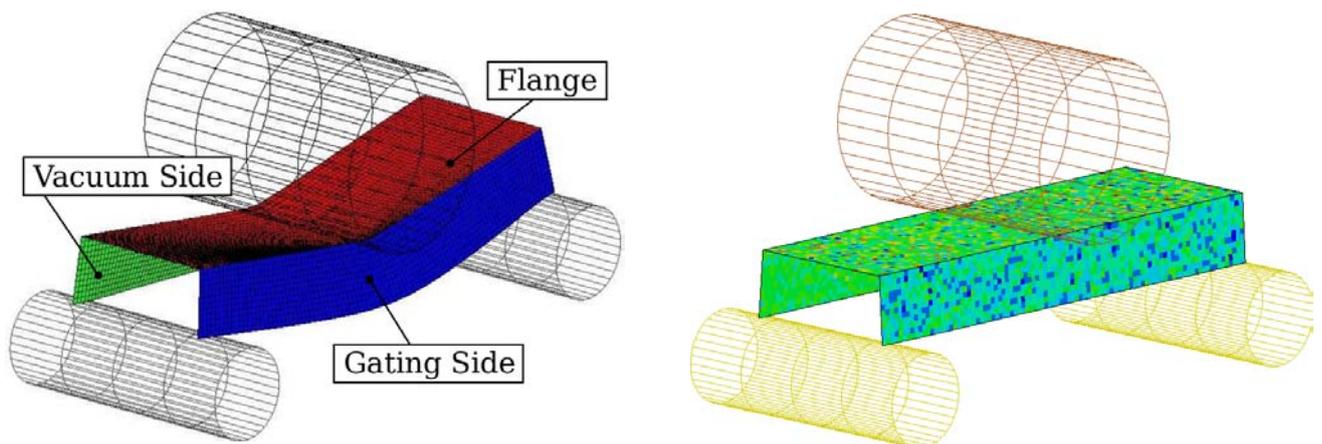
Bild 1: Einsatz von Druckgussbauteilen im Audi A8 (rot markiert)

Die besondere Herausforderung in der Crash-Auslegung von Aluminiumdruckgussbauteilen liegt darin, dass die mechanischen Eigenschaften von den unregelmäßig verteilten Gießfehlern, wie Gasporosität, Oxidhäute oder Kaltfließstellen, dominiert werden und somit schwer erfassbar sind. Insbesondere die Duktilität von Aluminiumdruckgusslegierungen weist enorme Streuungen auf. Hier würde eine klassische, deterministische Versagensmodellierung zu sehr riskanten oder übertrieben konservativen Aussagen führen. Im Gegensatz dazu ermöglicht eine probabilistische Versagensmodellierung eine sinnvolle Abschätzung des Risikos hinsichtlich des Versagens. Die Versagensgrößen werden dann in Wahrscheinlichkeitsverteilungen angegeben.

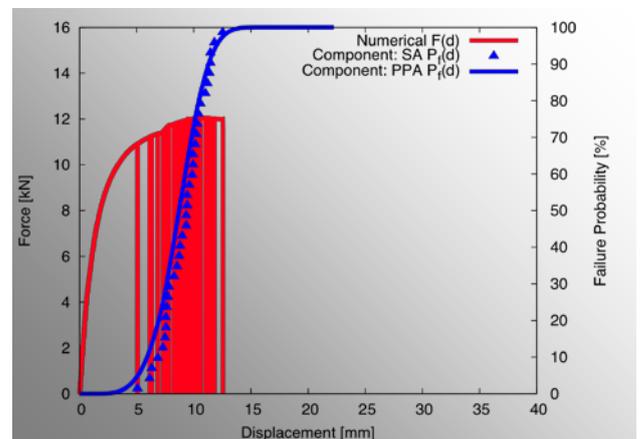
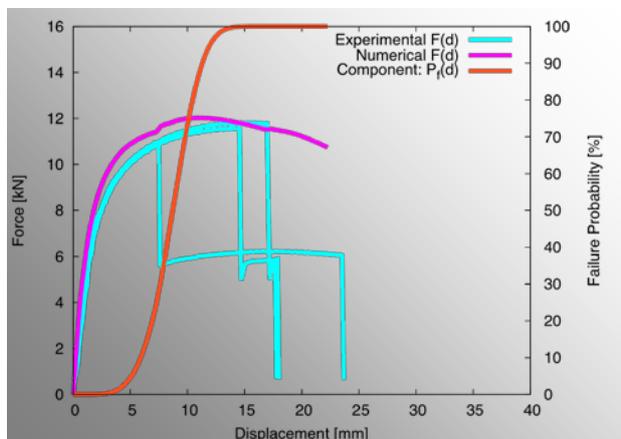
Stand der Arbeit

Basierend auf der Arbeit von C. Dørum et al. [1] wurde ein probabilistisches Konzept entwickelt, das eine Risikoabschätzung des Versagens von Druckgussbauteilen unter extremer Beanspruchung erlaubt. Als Grundlage dient das duktile Versagenskriterium nach Cockcroft-Latham. Es wird hierbei angenommen, dass der kritische Versagensparameter in Form einer Wahrscheinlichkeitsverteilung nach Weibull vorliegt. Unter der Annahme der Theorie des schwächsten Gliedes erlaubt das entwickelte Konzept eine direkte Berechnung der Wahrscheinlichkeit einer ersten Rissinitiierung beziehungsweise der Versagenswahrscheinlichkeit in einem Finiten Elemente (FE) Modell. Um dieses Konzept zu validieren wurde zusätzlich ein weiteres Konzept erstellt, bei dem der Versagensparameter in einem FE Modell gestreut wird. Um eine Aussage bezüglich der Versagenswahrscheinlichkeit treffen zu können, müssen nach diesem Konzept mehrere Simulationen durchgeführt werden. Zusammen mit einem Plastizitätsmodell nach v. Mises wurden beide Konzepte in das FE Programm LS-DYNA implementiert.

Anhand der Simulation eines einfachen Biegeversuchs, siehe Abbildung 2a, soll das probabilistische Konzept validiert werden. Das Modell ist in die charakteristischen Bereiche Anguss (blau), Flansch (rot) und Vakuum (grün) geteilt. Jedem dieser Bereiche ist eine eigene Weibullverteilung des Cockcroft-Latham Parameters zugeordnet. Die jeweilige Verteilungsfunktion wurde durch entsprechende Zugversuche bestimmt. Abbildung 2b zeigt ein Modell, bei dem der Versagensparameter entsprechend der charakteristischen Weibullverteilung gestreut ist. Es sei darauf hingewiesen, dass dies nur eine mögliche Verteilung darstellt. In Abbildung 3a werden die experimentell bestimmten Kraft-Verschiebungs-Verläufe (türkis) mit dem numerischen Ergebnis (magenta) verglichen. Es ist zu erkennen, dass das Kraft-Verformungs-Verhalten vom FE Modell sehr gut abgebildet wird. Zusätzlich ist die direkt berechnete Versagenswahrscheinlichkeit (orange) des Biegeversuchs dargestellt (erstes Konzept). Abbildung 3b zeigt die Kraft-Verschiebungs-Verläufe (rot) aus 36 Simulationen. Jeder Verlauf ist abgeschnitten, sobald das erste Element im Modell den zugeordneten kritischen Wert erreicht hat. Basierend auf den 36 Ergebnissen wurde eine Versagenswahrscheinlichkeit (blaue Dreiecke) berechnet (zweites Konzept). Der Vergleich beider Methoden zeigt keinen Unterschied im Verlauf der Versagenswahrscheinlichkeit. Damit kann das probabilistische Konzept als erfolgreich validiert angesehen werden. Zusätzlich wird auf die Effizienz des Konzeptes hingewiesen, nämlich dass die korrekte Versagenswahrscheinlichkeit mit nur einer Simulation bestimmt werden konnte.



(a) (b)
Bild 2: Biegeversuch einer Aluminiumdruckgusskomponente (U Profil)



(a) (b)
Probabilistische Ergebnisse des Biegeversuchs

Als Resümee lässt sich festhalten: mit Hilfe der Simulation des Biegeversuch konnte das probabilistische Konzept erstmals erfolgreich validiert werden. Damit konnte auch das Potential der entwickelten Methode deutlich dargestellt werden. Eine Schwäche des Vorgehens ist noch, dass die notwendigen Verteilungsfunktionen manuell verteilt werden. Um die globale, systematische Verteilung besser zu erfassen, muss nun eine Methode entwickelt werden, in der die Ergebnisse einer Gieß-Simulation, d.h. Verteilungsfunktionen, mit der Eingabe einer FE-Simulation gekoppelt werden. Außerdem muss das Konzept anhand komplexerer Bauteilgeometrien weiter getestet werden.

Literatur

[1] C. Dørum et al., Computational Material Science 46 (2009) 100 - 111

3.1.4 Entwicklung und Implementierung von gemischten Ansätzen für geometrisch nichtlineare Solid-Beam-Elemente mit elliptischem Querschnitt

Diplomarbeit

Bearbeitung: Michael Strobl

Betreuung: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof, Dr.-Ing. habil. Alexander Konyukhov

Motivation

Drahtseile spielen eine wichtige Rolle bei der Gestaltung von speziellen Tragsystemen. Zu deren Simulation werden immer häufiger numerische Methoden herangezogen, die eine effiziente Modellierung voraussetzen. Um Federn und Drahtseile auf dem Gebiet der Finiten Elemente effizient zu simulieren, soll ein Strukturelement entwickelt werden, das zur Simulation einzelner Drähte sowie auch von Drahtbündeln nutzbar ist.

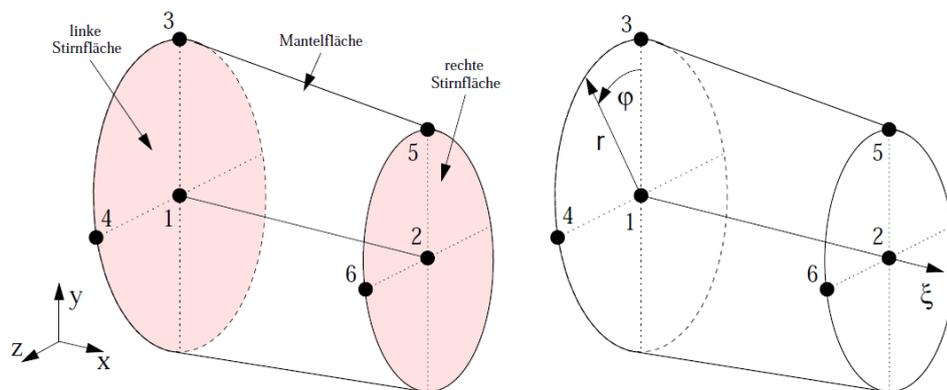


Bild 1: Isoparametrisches Solid-Beam-Element mit 6 Knoten

Kurzfassung

Den Ausgangspunkt bildete ein in [1] vorgestelltes isoparametrisches 6-Knoten-Solid-Beam-Element mit elliptischem Querschnitt. Dieses ist in der Lage, ebensolche Querschnitte mit nur einem Element exakt, aber sowohl in Längs- als auch in Querrichtung deformierbar, darzustellen. Deshalb muss nur noch in Längsrichtung eine Diskretisierung der Struktur vorgenommen werden, wodurch sich der Aufwand gegenüber einer Nutzung von Standard-Volumenelementen erheblich verringert. Das Konzept des Solid-Beam-Elements ist vergleichbar mit den seit Jahren erfolgreich eingesetzten Solid-Shell-Elementen, siehe [2]. Während die Elementformulierung in der Längsrichtung die klassischen linearen Lagrange-Ansatzfunktionen beinhaltet, müssen zur Beschreibung des elliptischen Querschnitts trigonometrische Funktionen in Querrichtung eingesetzt werden. Innerhalb des Elements findet deshalb eine Transformation von globalen kartesischen Koordinaten auf lokale Polarkoordinaten statt. Zudem konnte mit einer simplen Untersuchung nachgewiesen werden, dass eine spezielle Gaußintegration über Teilbereiche notwendig ist, um sinnvolle Ergebnisse zu erhalten.

Eine wesentliche Schwäche war aber, dass das steife Verhalten des Solid-Beam-Elements bei Biegung oder konstantem Volumen zu falschen Ergebnissen führte. Deshalb konnte das Element bisher nicht für die effiziente Berechnung von Seilen eingesetzt werden.

Eine systematische Untersuchung der einzelnen im Element vorkommenden Terme mithilfe des Computeralgebrasystems *Maple* ermöglichte es, die Ursachen für dieses fehlerhafte Verhalten zu identifizieren. Dadurch konnten entsprechende Methoden, die bei zahlreichen Finiten Elementformulierungen zur Behebung dieser Probleme erfolgreich zum Einsatz kommen [3], an das Solid-Beam-Element angepasst werden. Dazu zählt die Unter-

integration, die hier jedoch nur in einer Richtung angewendet wird. Damit lassen sich die geometrisch bedingten Versteifungen reduzieren, ohne dass ein Rangabfall in der Steifigkeitsmatrix erfolgt. Des Weiteren wurde das Konzept der angenommenen Verzerrungen (ANS) für das Solid-Beam-Element umgesetzt. Mit der Auswertung der Verzerrungen an nur drei Punkten im Element können ebenso die geometrischen Versteifungen unterdrückt werden.

Auch das Konzept der erweiterten Verzerrungen (EAS) konnte an das Solid-Beam-Element angepasst werden. Bei diesem Vorgehen werden zusätzliche Freiheitsgrade eingeführt, die fehlerhafte Terme beheben oder entkoppeln. Eine besondere Herausforderung im Zusammenhang mit EAS stellte die Transformation der Verzerrungen auf den Elementmittelpunkt dar, die für die konsistente Anwendung der Methode erforderlich ist. Durch die Einführung eines entsprechenden Koordinatensystems und der Einführung der Ansätze in eben diesen Koordinaten war es möglich, verschiedene Ansätze zu entwickeln, die sowohl geometrische als auch materiell bedingte Versteifungen beheben.

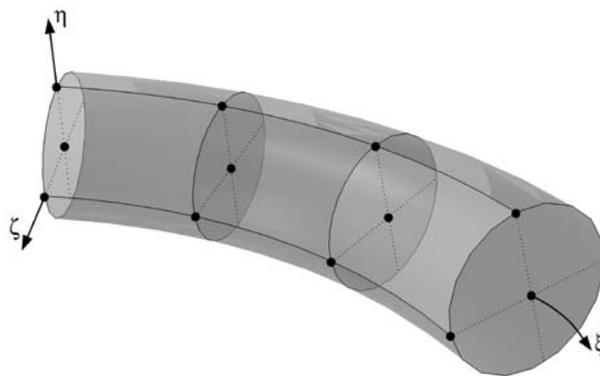


Bild 2: Gebogene Struktur mit Solid-Beam-Elementen

Zum Vergleich wurden quadratische und kubische Ansätze für die Interpolation in Längsrichtung untersucht, die ebenfalls zur Vermeidung von geometrischer Versteifung beitragen. Deren materielle Versteifung bei konstantem Volumen konnte durch die zuvor für die linearen Ansätze entwickelten Methoden behoben werden. Zusätzlich wurden spezielle Spline-Ansätze implementiert, die insbesondere bei gebogenen Strukturen zu guten Ergebnissen führen sollten [4]. Hierfür erwies sich die direkte Nutzung der entwickelten Ansätze zur Behebung der Versteifungen als nicht wirkungsvoll.

Darüber hinaus wurde bei der Verifizierung der Ergebnisse für den Torsionslastfall ein weiterer Versteifungseffekt beobachtet, der bei elliptischen Querschnitten auftritt. Grund hierfür ist die lineare Abhängigkeit zwischen den beiden Querrichtungen und die daraus resultierende zum Abstand vom Mittelpunkt proportionale Verteilung des Torsionsschubes über den Querschnitt. Durch die Einführung einer entsprechenden EAS-Interpolation konnte dieser Effekt behoben werden, sodass auch die numerischen Ergebnisse für Torsion den analytischen Werten entsprechen.

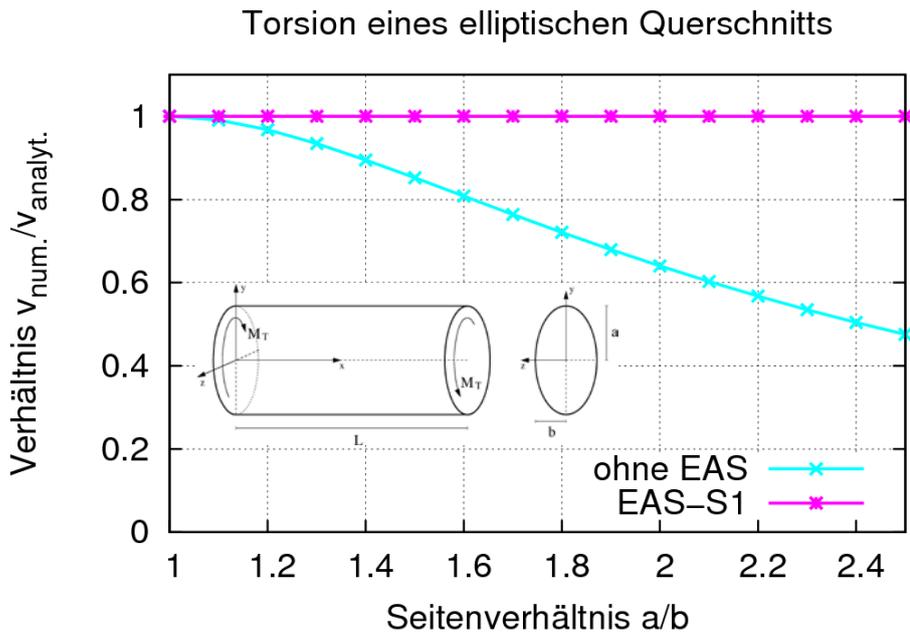


Bild 3: Versteifung bei Torsion in Abhängigkeit vom Seitenverhältnis eines elliptischen Querschnitts und erfolgreiche Behebung durch EAS

Durch Kombination der beschriebenen Vorgehensweisen konnten die am Anfang beobachteten Versteifungen, die zu unbrauchbaren Ergebnissen führten, erheblich reduziert oder komplett behoben werden, sodass das Solid-Beam-Element nun für den Einsatz in größeren Simulationen zur Verfügung steht. Zur Verifizierung des Solid-Beam-Elements wurde u.a. der nichtlineare Kraft-Verschiebungsverlauf einer Schraubenfeder für große Verschiebungen/Rotationen simuliert. Schon der Einsatz von nur 16 Elementen je Windung führte zu brauchbaren Ergebnissen.

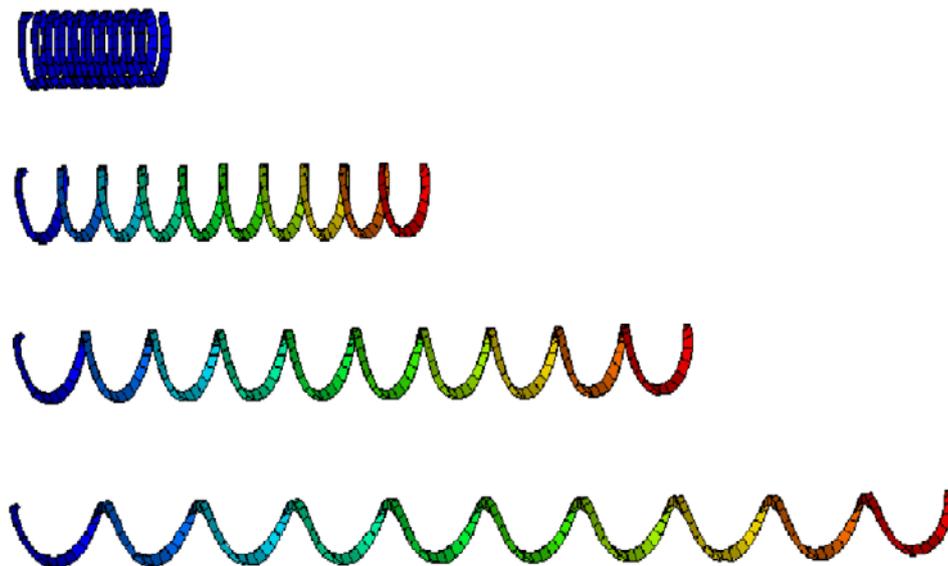


Bild 4: Einsatz des Solid-Beam-Elements bei der Simulation einer auseinander gezogenen Schraubenfeder

Literatur

- [1] A. Konyukhov: Geometrically exact theory for contact interactions (2011), Habilitation, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe.
- [2] M. Harnau: Finite Volumen-Schalenelemente für große Deformationen und Kontakt (2004), Dissertation, Institut für Mechanik, Universität Karlsruhe (TH).
- [3] F. Koschnick: Geometrische Locking-Effekte bei Finiten Elementen und ein allgemeines Konzept zu ihrer Vermeidung (2004), Dissertation, Lehrstuhl für Statik, Technische Universität München.
- [4] L. Piegl, W. Tiller: The NURBS book (1997) Springer, Berlin.

3.1.5 A cell model study of ternary polymer blends

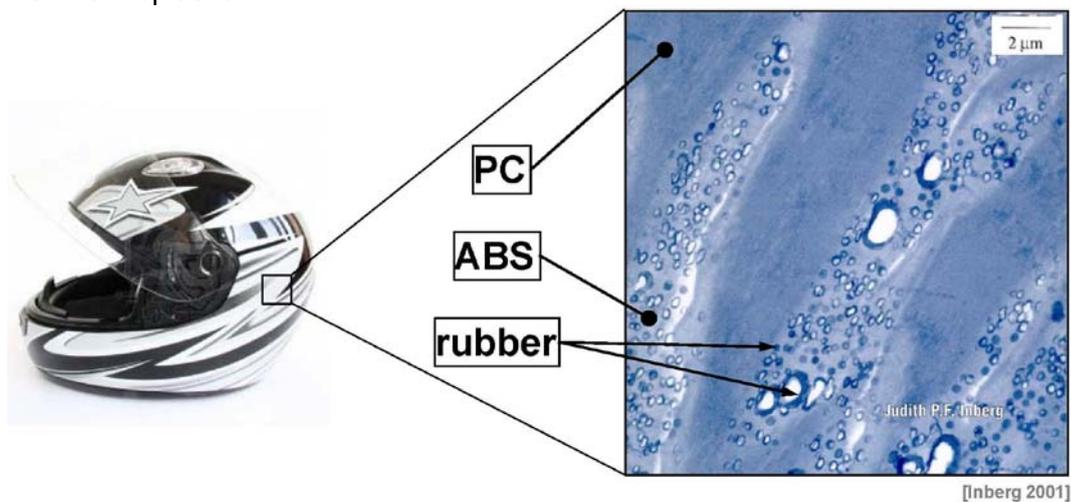
Forschungsprojekt DFG SE 872/6-1

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Bearbeitung: K. Schneider, Th. Seelig

Polymer blends are widely used in modern industrial applications. Those polymere mixtures could be found in suitcases, mobile phone covers or even in helmets. To fulfill required demands like durability and toughness not the neat polymers but blends are used.

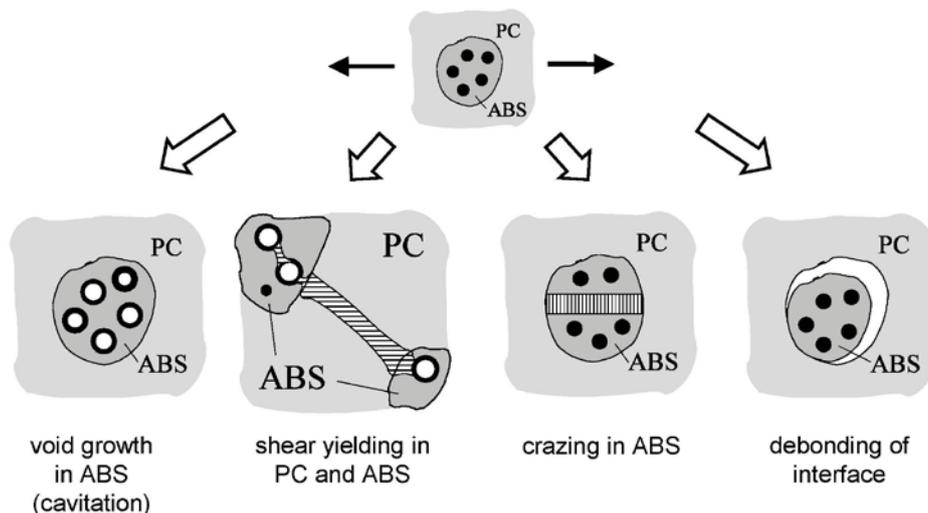
Like many engineering materials, those polymer blends have a heterogeneous microstructure that affects the macroscopic behaviour. The polymer blend under consideration here is PC/ABS (polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene), a widely used industrial thermoplastic.



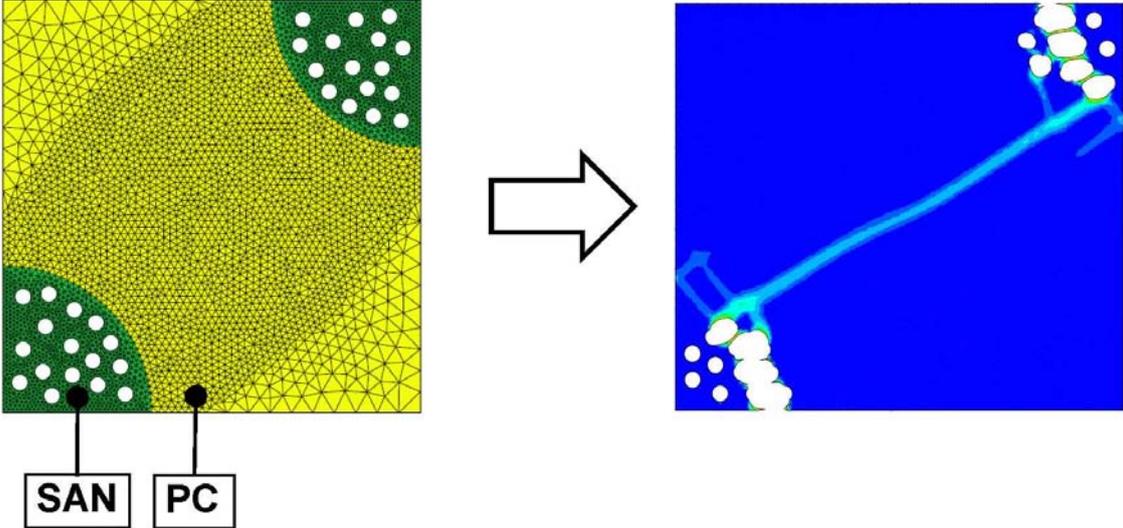
On the microscale this polymerblend consists of a homogeneous PC phase and a heterogeneous ABS phase. On the other hand the ABS phase consists of a SAN (styrene-acrylonitrile) matrix and fine dispersed rubber particles (butadien).

A remarkable benefit of PC/ABS blends is their enhanced fracture toughness which accrues from complex micromechanical deformation processes. To gain a better understanding of these processes in perspective of predicting macroscopic effects like fracture and failure, a cell model study of the fully resolved three-phase microstructure is conducted.

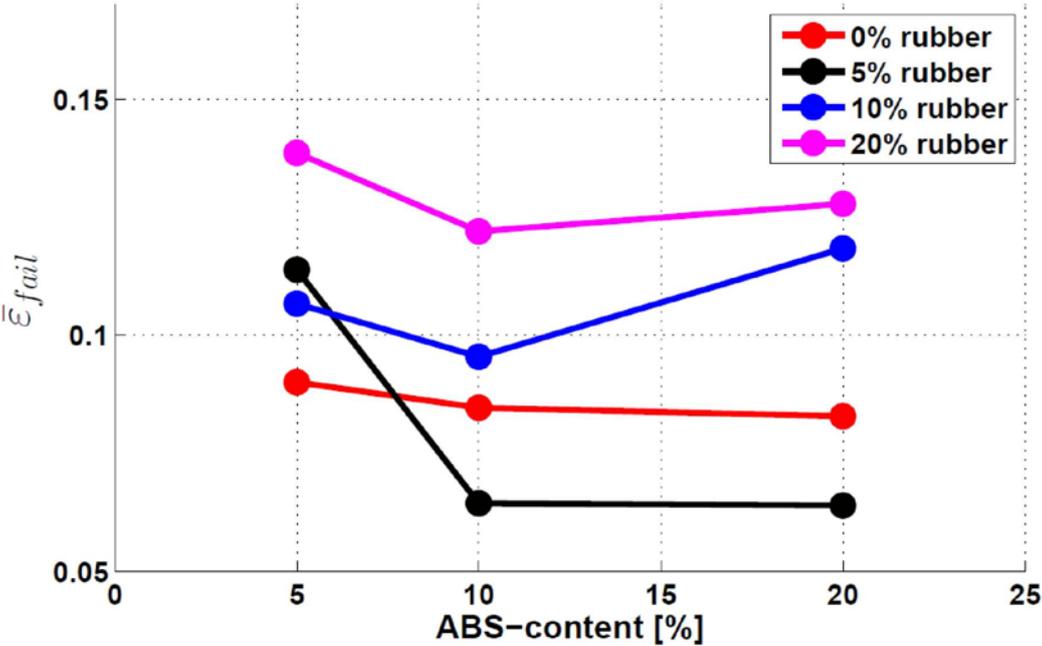
According to [Seelig 2005] four deformation processes are possible (figure 2).



These are void growth in the ABS phase (cavitation), shear yielding in the PC phase and ABS phase, crazing in the ABS phase and debonding of the interfaces between the PC phase and the ABS phase. Only the deformation mechanisms of void growth and shear yielding are considered in this preliminary study. While the two thermoplastic constituents, polycarbonate and styrene-acrylonitrile, are individually described utilizing the visco-plastic Boyce model, the soft rubber particles (butadiene) are treated as voids. From the cell model subjected to uniform macroscopic loading, the effect of the composition on microscale deformation processes is analyzed numerically. Figure 3 shows the 2-D (plane strain) finite element model and a typical contour plot of the plastic strain.



Furthermore, results in terms of local as well as macroscopic quantities are qualitatively interpreted with respect to the macroscopic failure behaviour. According to Narisawa & Yee (1993) a criterion for brittle failure in PC was assumed and various PC/ABS compositions compared (figure 4).



3.1.6 Modellierung und experimentelle Untersuchungen des Schädigungsverhaltens von gummimodifizierten Thermoplasten

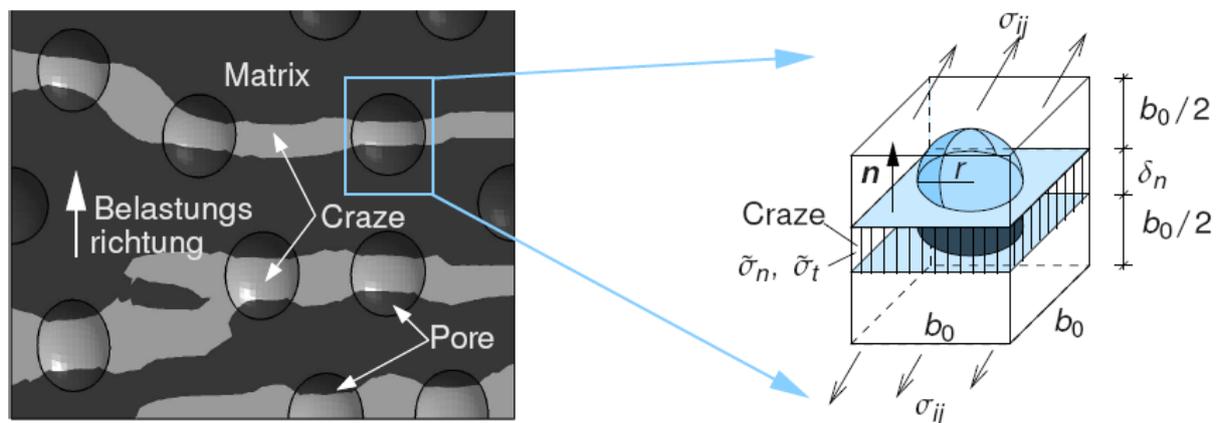
Forschungsprojekt DFG SE 872/5

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Bearbeitung: M. Helbig, Th. Seelig

In vielen technischen Produkten werden bruchzähe Thermoplasten verwendet. Eine Möglichkeit, Bruchzähigkeit und Duktilität höherfester Kunststoffe zu erhöhen besteht darin, fein verteilte sub-mikrometer große Gummipartikel in die Kunststoffmatrix einzubringen. Unter zunehmender äußerer Belastung werden an den Gummipartikeln inelastische (d.h. energie-dissipierende) Deformationsmechanismen wie Matrixscherfließen und Crazeing induziert.

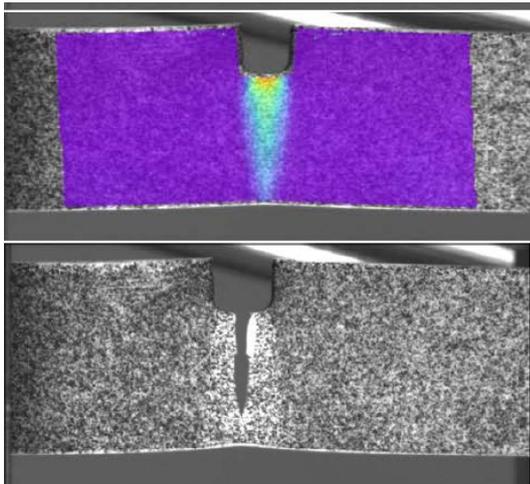
Das entwickelte Materialmodell erfasst den Mechanismus des verteilten Crazeing in einem homogenisierten Sinne. Dabei werden räumlich verteilte mikrorissartige Craze-Zonen betrachtet, welche sich senkrecht zur größten Hauptnormalspannung \mathbf{n} bilden. Für das Modell wird angenommen, dass verteiltes Crazeing die einzige Quelle von inelastischen Deformationen ist. Eine Einheitszelle mit einer einzelnen Pore wird betrachtet, um das inelastische Deformationsverhalten gummimodifizierter Thermoplaste auf das makroskopische Materialmodell zu übertragen. Dabei werden die Gummipartikel als Poren angenommen, da sie wesentlich weicher sind als die thermoplastische Matrix und kavitieren, bevor Crazeing eintritt. Die Porosität und die bereits vorhandene inelastische Crazeing-Deformation werden auch im elastischen Materialverhalten berücksichtigt.



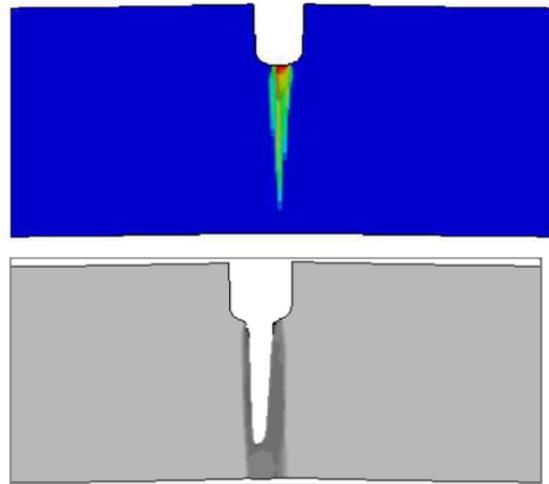
Crazeversagen, d.h. Rissbildung tritt ein, wenn eine kritische Crazeingdicke $\delta_n = \delta_{crit}$ erreicht ist. Das Modell wurde in ein Finite-Element-Programm implementiert, um experimentelle Befunde numerisch nachrechnen zu können.

Mit Hilfe des implementierten Materialmodells ist es möglich, die für gummimodifizierte Thermoplaste charakteristische Form der inelastischen Deformationszone an einer Kerbe numerisch zu reproduzieren und Rissausbreitungsvorgänge zu simulieren.

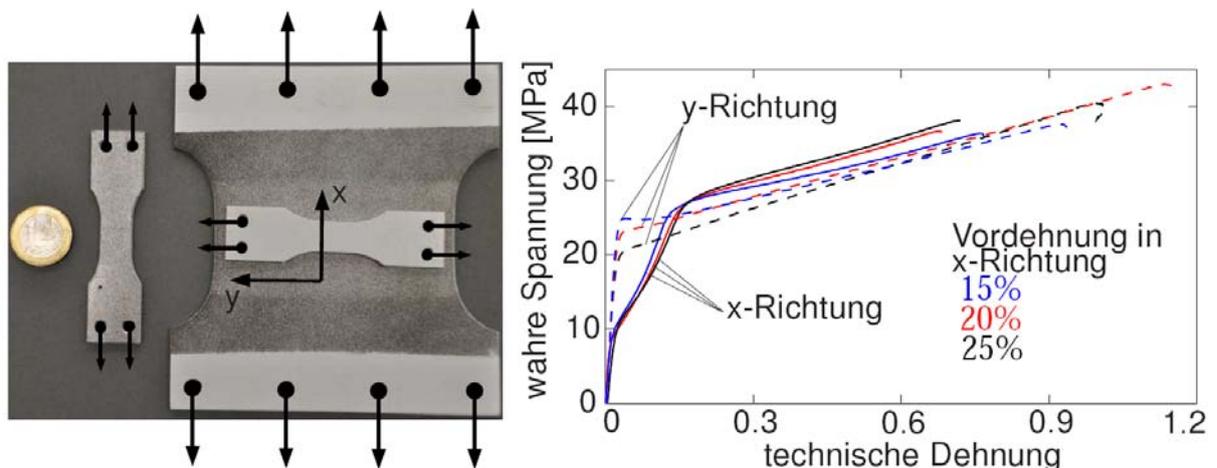
Experiment



Simulation



Mit Hilfe des KIT Research Student Jakob Weber wurden zahlreiche experimentelle Untersuchungen an einem ABS-Werkstoff durchgeführt. Aus 3 mm dicken Platten wurden große Zugproben entnommen (Bild unten links), diese in x-Richtung gezogen bis eine definierte inelastische Deformation erreicht wurde. Im Anschluss wurden kleinere Proben aus den vorbelasteten Proben in x- und y-Richtung entnommen und bis zum Versagen belastet.



Die Spannungs-Dehnungskurven (Bild oben rechts) zeigen, dass sich mit zunehmender inelastischer Deformation Anisotropie entwickelt. Die Modellannahme, dass sich Crazes normal zur maximalen Hauptspannungsrichtung entwickeln, ist dadurch bestätigt. Die Querdehnung bei diesen Experimenten hat ebenfalls die Anisotropieentwicklung bestätigt. Ebenfalls ist zu erkennen, dass mit zunehmender Vorbelastung die Entfestigung abnimmt. Mit Hilfe dieser experimentellen Ergebnisse können Rückschlüsse auf den dominierenden Schädigungsmechanismus geschlossen werden und Modellannahmen bestätigt werden.

3.2 Publikationen

Helbig, M., Seelig, Th.: *Micro-mechanical modeling of fibrillation in amorphous polymers*. Computational Materials Science Vol. 52(1), pp. 118-122, 2012

Helbig, M., Seelig, Th.: *Multiscale modeling of failure in ABS materials*. Proc. of the 5th Int. Conference on Deformation, Yield and Fracture of Polymers, pp 318-321, 2012

Helbig, M., Seelig, Th.: *Modeling of deformation and failure in rubber-toughened polymers – effect of distributed crazing*. Proc. Appl. Math. Mech. 12 (2012), pp. 167 – 168

Hempel, P., Seelig, Th.: *Modeling the temperature dependent deformation behavior of talc particle modified thermoplastic polymers*. submitted

Hempel, P., Seelig, Th.: *Modeling the finite strain deformation and initial anisotropy of amorphous thermoplastic polymers*. Proc. Appl. Math. Mech. 12 (2012), pp. 339-340

Hempel, P., Kotlik, M., Seelig, Th.: *Continuum mechanical modeling of processing induced initial anisotropy in the finite strain deformation of amorphous thermoplastic polymers*. Proc. of the 5th Int. Conference on Deformation, Yield and Fracture of Polymers, pp 326-329, 2012

Izi, R., Konyukhov, A., Schweizerhof, K.: *Large penetration algorithm for 3D frictionless contact problems based on a covariant form*. Computer Methods in Appl. Mech. Eng., Vol. 217-220, pp.186-196, 2012

Izi, R., Konyukhov, A., Schweizerhof, K.: *3D contact problems with large load steps based on the covariant description*. Proc. of the 7th International Conference on Computational Mechanics for Spatial Structures. A. Ibrahimbegovic et al. (eds), pp 154-155, 2012

Izi, R.: *3D contact problems with covariant description for large load steps*. Proc. of the 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, H.S. Müller, M. Haist F. Acosta (eds), pp 569-574, 2012

Konyukhov, A., Schweizerhof, K.: *Frictional interaction of a spiral rope and a cylinder-3D-generalization of the Euler-Eytelwein formula considering pitch*. Computational Mechanics (in review process), 2012

Konyukhov, A., Schweizerhof, K.: *Contact between curves and rigid surfaces: covariant formulation and verifications*. Euromech 514: New Trends in Contact Mechanics, Conference Proceedings, EUROMECH Colloquium 514, Corsica, France, 2012

Mattern, S., Schmied, Ch., Schweizerhof, K.: *Incompatible modes for volumetric shell elements in explicit time integration*. PAMM, Proc. Appl. Math. Mech., 2012

Mattern, S., Schmied, Ch., Schweizerhof, K.: *Highly efficient solid-shell finite elements for explicit dynamic analysis using symbolic programming*. Proc. of the 7th International Conference on Computational Mechanics for Spatial Structures, A. Ibrahimbegovic et al. (eds), 2012

Ognedal, A.S., Seelig, Th., Helbig, M., Hempel, P., Berstad, T., Hopperstad, O.S., Clausen, A.H.: *Experimental and micromechanical study of void growth in a mineral filled PVC*. Proc. of the 5th Int. Conference on Deformation, Yield and Fracture of Polymers, pp 105-108, 2012

Schmied, Ch., Mattern, S., Schweizerhof, K.: *An efficient implementation concept for volumetric and axisymmetric finite shell elements*. Proc. of the 9th fib International PhD

Symposium in Civil Engineering, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany, July 22 – 25, 2012

Schweizerhof, K., Konyukhov, A., Izi, R.: *Covariant formulation for 3D contact problems using the large penetration scheme*. Euromech 514: New Trends in Contact Mechanics, Conference Proceedings, EUROMECH Colloquium 514, Corsica France, 2012

3.3 Vorträge

Franz, U., Münz, T., Stahlschmidt, S., Gromer, A., Huang, Y., Schweizerhof, K.: *Development, validation and comparison of occupant models for crash simulations*. ECCOMAS 2012, 6th European Congress, Wien, Austria, September 2012

Gebhardt, M., Maurer, A., Schweizerhof, K.: *On the hydraulic and structural design of fluid and gas filled inflatable dams to control water flows in rivers*. Structural Membranes 2011, V Int. Conf. on Textile Composites and Inflatable Structures, Barcelona, October 2011

Gebhardt, M., Maurer, A., Schweizerhof, K.: *Schlauchwehre: Zur Formfindung, Berechnung und Bemessung der Membran*. Kolloquium Innovation mit Tradition: Hydraulischer Entwurf und Betrieb von Wasserbauwerken, Bundesanstalt für Wasserbau, Juli 2012

Haufe, A., Lorenz, D., Schweizerhof, K.: *Zum Stand der Simulation von hochfesten und pressgehärteten Stählen im Kontext der Prozesskette „Umformen – Crash“*. K. Roll Kolloquium: Virtueller Engineering- und Planungsprozess in der Prozesskette Karosserie, Herrsching, September 2011.

Helbig, M., Seelig, Th.: *Modeling of deformation and failure in rubber-toughened polymers – effect of distributed crazing*. GAMM 2012, 83rd Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics, Darmstadt, Germany, März 2012

Helbig, M., Seelig, Th.: *Multiscale modeling of failure in ABS materials*. 15th International Conference on Deformation, Yield and Fracture of Polymers, Kerkrade, The Netherlands, April 2012

Hempel, P., Kotlik, M., Seelig, Th.: *Continuum mechanical modeling of processing induced initial anisotropy in the finite strain deformation of amorphous thermoplastic polymers*. 15th International Conference on Deformation, Yield and Fracture of Polymers, Kerkrade, The Netherlands, April 2012

Hempel, P., Seelig, Th.: *Modeling the finite strain deformation and initial anisotropy of amorphous thermoplastic polymers*. GAMM 2012, 83rd Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics, Darmstadt, Germany, März 2012

Izi, R., Konyukhov, A., Schweizerhof, K.: *3D contact problems with large load-steps based on the covariant description*. IASS-IACM 2012, 7th International Conference on Computational Mechanics for Spatial Structures, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina, April 2012

Izi, R.: *3D contact problems with large load steps*. IWRMM Seminar, Institut für Wissenschaftliches Rechnen und Mathematische Modellbildung, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, April 2012

Izi, R.: *3D contact problems with covariant description for large load steps*. 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Juli 2012

Izi, R.: *Investigations of 3D contact problems using the large penetration scheme based on the covariant formulation for different contact approaches and higher order approximations for the contact surfaces*. ECCOMAS 2012, Wien, September 2012

Knoll, O., Hopperstad, O.S., Langseth, M., Schweizerhof, K.: *An investigation on failure probabilities in thin-walled aluminium die-castings subjected to quasi-static loading*. ECCOMAS 2012, 6th European Congress, Wien, Austria, September 2012

Konyukhov, A.: *On a contact between curves and rigid surfaces – from verification of the Euler problem (belt friction) to knots*. Research Seminar, University of Nottingham, Ningbo, China, March 2012

Mattern, S., Schmied, Ch., Schweizerhof, K.: *Highly efficient solid-shell finite elements for explicit dynamic analysis using symbolic programming*. IASS-IACM 2012, 7th International Conference on Computational Mechanics for Spatial Structures, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina, April 2012

Mattern, S., Schmied, Ch., Schweizerhof, K.: *Incompatible modes for volumetric shell elements in explicit time integration*. GAMM 2012, 83rd Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics, Darmstadt, Germany, März 2012

Maurer, A., Gebhardt, M., Schweizerhof, K.: *Finite-Elemente-Analysen zur Optimierung der Geometrie und der Spannungsverteilung in der Membran von Schlauchwehren*. 35. Dresdner Wasserbaukolloquium, TU Dresden, März 2012

Maurer, A., Konyukhov, A., Schweizerhof, K.: *Finite element analysis of multi-chamber tensairity-like structures filled with fluid and/or gas*. Structural Membranes 2011, V Int. Conf. on Textile Composites and Inflatable Structures, Barcelona, October 2011

Ognedal, A.S., Seelig, Th., Helbig, M., Hempel, P., Berstad, T., Hoppestad, O.S., Clausen, A.H.: *Experimental and micromechanical study of void growth in a mineral filled PVC*. 15th International Conference on Deformation, Yield and Fracture of Polymers, Kerkrade, The Netherlands, April 2012

Ognedal, A.S., Seelig, Th., Hopperstad, O.S., Clausen, A.H.: *Void Growth in a Mineral-Filled PVC – Experimental and Numerical Study*. 8th European Solid Mechanics Conference, Graz, Austria, July 9 – 13, 2012

Schmied, Ch., Mattern, S., Schweizerhof, K.: *An automated and efficient implementation concept for shell elements with high computational performance in explicit time integration*. 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany, July 22 – 25, 2012

Schmied, Ch., Mattern, S., Schweizerhof, K.: *Comparison of the numerical efficiency for variations of solid-shell finite elements using symbolic programming in explicit time integration*. ECCOMAS 2012, 6th European Congress, Wien, Austria, September 2012

Schweizerhof, K.: *Virtuelle Insassensimulation im Fahrzeugcrash – Von der Dummy-Betrachtung zur Menschmodellierung*. Seminar für Fahrzeugtechnik, KIT Karlsruhe, Dezember 2011

Schweizerhof, K.: *Virtuelle Insassensimulation im Fahrzeugcrash – Von der Dummy-Betrachtung zur Menschmodellierung*. Seminar für Fahrzeugtechnik, Lions Club Karlsruhe-Baden, Karlsruhe, Februar 2012

Schweizerhof, K., Konyukhov, A., Izi, R.: *Covariant formulation for 3D contact problems using the large penetration scheme*. Euromech 514: New Trends in Contact Mechanics, EUROMECH Colloquium 514, Corsica, France, März 2012

Schweizerhof, K.: *Virtual passenger simulation in vehicle crash – from dummy considerations to human modelling*. Seminar der BGCE (Bavarian Graduate School of Computational Engineering), München-Bernried, April 2012

3.4 **Kursteilnahmen / Austausch**

CISM-Kurs "Modal Analysis of Nonlinear Mechanical Systems", Udine, Italien, 25. – 29. Juni 2012, Ch. Ruck

3.5 **Auszeichnungen**

Dipl.-Ing. Ridvan Izi: Vortragspreis des 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering

Dipl.-Ing. Matthias Kotlik: Bilfinger Berger Preis 2011 für Diplomarbeit „Experimentelle Charakterisierung thermoplastischer Kunststoffe bei großen Deformationen“

3.6 **Mitherausgeber und Gutachter wissenschaftlicher Publikationen und Forschungsprojekte**

Prof. Schweizerhof

- Engineering Structures (Editorial Board, Gutachter)
- Structural Eng. Review (Gutachter)
- Engineering Computations (Gutachter)
- Engineering Mechanics (Gutachter)
- Computers & Structures (Editorial Board, Gutachter)
- Int. J. Solids and Structures (Gutachter)
- Int. J. Num. Meth. Eng. (Gutachter)
- Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering (Gutachter)
- Computational Mechanics (Gutachter)
- Archive of Applied Mechanics (Gutachter)
- Mechanism and Machine Theory (Gutachter)
- Advances in Engineering Software (Editorial Board, Gutachter)
- Finite Elements in Analysis and Design (Gutachter)
- Structural Engineering and Mechanics (Gutachter)
- European Journal of Mechanics – A/Solids (Gutachter)
- Materials Science and Engineering (Gutachter)
- Int. Journal of Impact Engineering (Gutachter)

Prof. Seelig

- Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering
- Computational Material Sciences
- International Journal of Fracture
- Polymer Engineering & Science
- Mechanics Research Communications
- Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG

4. Aktivitäten in Organisationen von Lehre und Forschung

4.1 Universitäre Selbstverwaltung

Prof. Schweizerhof

- Vorsitzender der Vorprüfungskommission und der Bachelorkommission Bauingenieurwesen
- Vorsitzender des Prüfungsausschusses Regionalwissenschaft/-planung
- Mitglied des Vorstands des Instituts für Wissenschaftliches Rechnen und Mathematische Modellbildung (IWRMM)
- Vorsitzender des Auswahlausschusses der Fritz-Peter-Mueller Stiftung des KIT
- Vorsitzender der Lehrbelastungskommission der Fakultät Bau-Geo-Umwelt

Prof. Seelig

- Mitglied der Studienkommission der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften

4.2 Aktive Mitarbeit bei nationalen und internationalen Organisationen

Prof. Schweizerhof

- Sprecher der Karlsruher Vertrauensdozenten der Studienstiftung des Deutschen Volkes, seit 2009
- Mitglied im erweitertem Präsidium des Allgemeinen Fakultätstag (AFT), seit 01.01.2005
- Mitglied der Ständigen Kommission des Fakultätentages Bauingenieur- und Vermessungswesen, seit 1.1.2004
- Vertreter der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften des KIT beim Fakultätentag für Bauingenieurwesen und Geodäsie (FTBG) seit 1996
- Mitglied des Lenkungsausschusses für das Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS), seit März 2000
- Mitglied des Vorstandes des ASBau(Akkreditierungsverbund für Studiengänge des Bauingenieurwesens) seit April 2002
- Mitglied des Fachausschusses Bauingenieurwesen des ASBau (Akkreditierungsverbund für Studiengänge des Bauingenieurwesens) seit April 2002
- Vertrauensdozent der Studienstiftung des Deutschen Volkes, seit 1990
- Mitglied des VDI (Fachbereich Bautechnik) Ausschusses 6201 "Tragwerksberechnung mit EDV-Programmen" seit SS 2011
- Mitglied des Industriebeirats des Instituts für Umformtechnik und Leichtbau der Universität Dortmund (Prof. Kleinert, Prof. Tekkaya) seit WS 2010/11
- Gutachter für die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- Fachkollegiat im Fachkollegium 410 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) seit April 2012
- Fachkollegiat im interdisziplinären Fachkollegium Medizintechnik der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) seit Juni 2012
- Gutachter für die German Israeli Foundation (GIF)
- Gutachter für Research Grants Council Hongkong
-

Prof. Seelig

- Mitglied des Scientific Committee 5th International Conference on Polymer Behaviour, Aveiro, Portugal, 15. – 18. Oktober 2012

4.3 **Mitgliedschaft bei wissenschaftlichen Vereinigungen**

- Philipp Hempel, M.Sc.: GAMM
- Dipl.-Ing. Ridvan Izi: GAMM
- Dr.-Ing. habil. Alexander Konyukhov: GAMM, GACM
- Dipl.-Ing. Steffen Mattern: GAMM
- Dipl.-Math. techn. Anne Maurer: GAMM
- Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof: GAMM, GACM, VDI, WIR (Forschungsverbund „Wissenschaftliches Rechnen in Baden-Württemberg“)
- Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Seelig: GAMM

5. Sonstige Aktivitäten und Kontakte

5.1 Vorträge im Seminar für Mechanik

Untersuchung von mechanischen Kontaktproblemen mit Finiten Elementen höherer Ansatzordnung. Dipl.-Ing. David Franke, Technische Universität München, 22.11.2011

FE-Simulation des Füge- und Lösevorgangs eines Konus-Teleskops unter Berücksichtigung verschiedener Dimensionierungsparameter. Diplomvortrag, Christopher Fingerhut, 29.11.2011

Observations on structural condition of a Byzantine monument in Istanbul. Dr. Umut Almac, Istanbul Technical University, 06.12.2011

Untersuchung der technischen Machbarkeit eines großen Schwungradrotors zur Energiespeicherung. Diplomvortrag, Julia Schuler, 20.12.2011

Anwendung projektionsbasierter Reduktionsverfahren bei Durchschlagproblemen. Dipl.-Ing. Christine Ruck, 15.01.2012

Die Modellierung von Fluid gefüllten Weintanks mit LS-DYNA. Diplomvortrag Marco Striebich, 17.01.2012

Erstellung und Validierung eines Fluidelements zur Berechnung von teilweise mit Fluid gefüllten Strukturen. Diplomvortrag Andreas Ludwig, 31.01.2012

Grundlagen zur Modellierung eines piezoresistiven Chemosensors mittels der Theorie Poröser Medien. Konrad Schneider, 07.02.2012

Large penetration algorithm for 3D contact problems. Ridvan Izi, 14.02.2012

Incompatible modes for volumetric shell elements in explicit time integration. Dipl.-Ing. Christoph Schmied, 31.05.2012

Characterization of porous materials with computational simulations. Assist. Prof. Matej Vesenjak, BSc.Mech.Eng., Ph.D., University of Maribor, Slovenia, 12.07.2012

Implementation and analysis of contact layer elements extended to the finite cell method. Diplomvortrag, Christian Lorenz, 12.07.2012

Implementierung von gemischten Ansätzen für geometrisch nichtlineare „solid-beam“-Elemente mit elliptischem Querschnitt. Diplomvortrag, Michael Strobl, 19.07.2012

Zellmodell-Untersuchung zum makroskopischen Deformationsverhalten von Kompositwerkstoffen mit plättchenförmigen Verstärkungspartikeln. Vortrag zur Bachelorarbeit, Lukas Morand, 13.08.2012

5.2 Kooperationen

Promotionsprojekt mit der AUDI AG in Zusammenarbeit mit der Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Structural Impact Laboratory (SIMLab), Centre for Research-based Innovation, Department of Structural Engineering.

Projektbezogener Personenaustausch mit Norwegen, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, gefördert durch den Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD), Projekttitel: Multiscale modelling of thermoplastic polymers

5.3 **Gäste**

Assist. Prof. Matej Vesenjak, BSc.Mech.Eng., Ph.D., Faculty of Mechanical Engineering, Laboratory for Advanced Computational Engineering, University of Maribor, Slovenia, 02. – 29.07.2012

Dr. Umut Almac, Research Asst., Faculty of Architecture, Istanbul Technical University, Turkey, 24.10. – 23.12.2011