

Institut für Mechanik



Institutsbericht 2011 Berichtszeitraum Oktober 2010 bis September 2011

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

Postanschrift:

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

Besucheranschrift:

bis Mai 2010:
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Institut für Mechanik
Campus Süd, Gebäude 20.30
Englerstr. 2
76131 Karlsruhe

ab Juni 2010:
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 Wissenschaftliche Hilfskräfte	5
1.6 Studentische Hilfskräfte	6
1.7 Tutoren	6
2. LEHRE UND STUDIUM	4
2.1 Lehrveranstaltungen	4
2.2 Beschreibung der Lehrveranstaltungen	6
2.2.1 Statik starrer Körper	6
2.2.2 Festigkeitslehre	6
2.2.3 Dynamik	6
2.2.4 Mechanik für Geodäten	7
2.2.5 Einführung in die Kontinuumsmechanik	7
2.2.6 Grundlagen der Baudynamik	7
2.2.7 Kontinuumsmechanik (Vertiefungsrichtung Geotechnisches Ingenieurwesen)	8
2.2.8 Finite Elemente	8
2.2.9 Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme	8
2.2.10 Modellbildung in der Festigkeitslehre	9
2.2.11 Seminar für Mechanik	9
2.2.12 Bruch- und Schädigungsmechanik	10
2.2.13 Anwendungsorientierte Materialtheorien	10
2.2.14 Contact Mechanics I: Static Problems	10
2.2.15 Contact Mechanics II: 3D Problems and Dynamics	11
2.2.16 Messtechnisches Praktikum I - Grundlagen	11
2.2.17 Messtechnisches Praktikum II - Zeitreihen- und Modalanalyse, Parameteridentifikation	11
2.2.18 Laborpraktikum (gemeinsame Lehrveranstaltungen mehrerer Institute)	11
2.2.19 Short Course: Ten lectures on random vibrations for earthquake engineering	12
2.3 Prüfungen	13
2.4 Studienarbeiten	13
2.5 Diplomarbeiten/Masterarbeiten	13
2.6 Promotionen/Habilitationen	14

3.	FORSCHUNG	15
3.1	Grundlagenforschung – Ausgewählte Projekte	15
3.1.1	Stabilität dünnwandiger Strukturen mit mehreren Kammern, die mit Gas und/oder Fluid gefüllt sind unter Verwendung quasi-statischer Fluid-Struktur Interaktion	15
3.1.2	Entwicklung hoch effizienter Schalenelemente mit quadratischer Ansatz ordnung in Schalenebene für transiente Analysen - Aufbau einer Systematik zur programmunterstützten Entwicklung von Schalenelementen	17
3.1.3	Covariant description for contact problems with large load-steps	20
3.1.4	Dreidimensionale Finite-Element-Modellierung der Halsmuskulatur zur Simulation realistischer Wechselwirkungen zwischen Kiefer- und Halsmuskulatur	22
3.1.5	FE-Simulation des Füge- und Lösevorgangs eines Konusteleskops unter Berücksichtigung verschiedener Dimensionierungsparameter	23
3.1.6	Implementierung von volumetrischen und achsensymmetrischen Schalenelementen für explizite Zeitintegration	24
3.1.7	Behaviour and Modelling of Normalized Aluminium Die-Castings Subjected to Impact Loading	27
3.1.8	Mehrskalige Modellierung von Deformation und Versagen in gummimodifizierten Thermoplasten	29
3.1.9	Experimentelle Charakterisierung des temperatur- und dehnratenabhängigen Deformationsverhaltens amorpher Thermoplaste bei großen Verformungen	31
3.1.10	Materialmodellierung von amorphen Thermoplasten unter Berücksichtigung einer prozessinduzierten Anisotropie	33
3.2	Publikationen	35
3.3	Konferenz-/Workshopbeiträge - Vorträge	35
3.4	Kursteilnahmen / Austausch	37
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	40
5.	SONSTIGE AKTIVITÄTEN UND KONTAKTE	41
5.1	Vorträge im Seminar für Mechanik	41
5.2	Kooperationen	42
5.3	Gäste	42

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

Interne Forschungsabteilungen

Labor für elektronisches Rechnen

Labor für experimentelle Mechanik

1.2 **Wissenschaftliche Mitarbeiter**

Dipl.-Ing. Martin Helbig (DFG)

M.Sc. Philipp Hempel (Planstelle)

Dipl.-Ing. Ridvan Izi (Planstelle)

Dipl.-Ing. Octavian Knoll (Industriemittel)

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

Dipl.-Ing. Bastian Krüger (DFG)

Dipl.-Ing. Steffen Mattern (Planstelle, DFG)

Dipl.-Math. techn. Anne Maurer (Planstelle)

Dipl.-Ing. Georgios Michaloudis (DFG und Planstelle, bis 28.02.11)

Dr.-Ing. Ingolf Müller, Akad. Rat (bis 31.03.11, beurlaubt ab 01.10.10)

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

Dipl.-Ing. Christoph Schmied (Planstelle)

1.3 **Weitere Institutsangehörige**

Dr. rer.nat. Jürgen Lenz, Akad. Dir. i.R., Forschungsgruppe Biomechanik

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

1.4 **VT-Personal**

Claudia Einbeck-Ritscher (50 %), Sekretariat

Rosemarie Krikis (50 %), Sekretariat

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

Willi Wendler, Feinmechanikermeister

1.5 **Wissenschaftliche Hilfskräfte**

Galina Gorbunova, B.Sc.

1.6 **Studentische Hilfskräfte**

stud. ing. Leonard Bartels
stud. ing. Verena Becker
cand.-ing. Marek Fassin
cand.-ing. Julian Finkbeiner
cand.-ing. Ralf Gurt
stud. ing. Merita Hadzibeti
cand.-ing. Helen Hoof
cand.-ing. David Richard Kalb
cand.-ing. Georgia Kikis
stud. ing. Simon Klarmann
cand.-ing. Matthias Kotlik
cand.-ing. Michael Krawiec
cand.-ing. Johannes Kuhnt
cand.-ing. Christian Lorenz
cand.-ing. Andreas Ludwig
cand.-ing. Moris Martini
stud. ing. Mirka Maurer
cand.-ing. Oana Mrenes
cand.-ing. Gila Müller
cand.-ing. Nikola Nachkov
stud. ing. Isabelle-Marie Niesel
stud. ing. Andreas Rimmelspacher
stud. ing. Katharina Rohr
stud. ing. Andreas Rutschmann
stud. ing. Matthias Schacherl
cand.-ing. Ivan Tsimbalist
stud. ing. Rebecca Vogel
stud. ing. Halil Yeniavci

1.7 **Tutoren**

stud. ing. Annika Brosi
stud. ing. Jannika Erichsen
stud. ing. Tobias Gnauert
cand.-ing. Helen Hoof
stud. ing. John Njuguna Jomo
stud. ing. Philip Kalkbrenner
cand.-ing. Georgia Kikis
stud. ing. Eric Kirpal
stud. ing. Simon Klarmann
cand.-ing. Johannes Kuhnt
stud. ing. Philipp Kunkel
stud. ing. Katharina Kunz
stud. ing. Mirka Maurer
stud. ing. Lukas Morand
stud. ing. Johannes Pauen
stud. ing. Svenja Paulus
stud. ing. Tobias Riehle
stud. ing. Katharina Rohr
stud. ing. Mark Schiebl

stud. ing. Monika Schultes
stud. ing. Sebastian Schwarz
stud. ing. Liana Sonntag
stud. ing. Friedemann Streich
stud. ing. 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 10/11	Schweizerhof Schmied	3	2	1	P
Festigkeitslehre	SS 11	Schweizerhof Schmied	4	2	2	P
Dynamik	WS 10/11	Seelig Maurer	2	2	3	P
Mechanik für Geodäten	WS 10/11	Seelig Maurer	2	2	3	P
Vertiefung, Pflicht						
Einführung in die Kontinuumsmechanik	WS 10/11	Seelig Ruck	1	1	5	S
Grundlagen der Baudynamik	SS 11	Schweizerhof	2	0	6	S
Kontinuumsmechanik	SS 11	Seelig Helbig	2	1	6	P
Vertiefung, Wahlpflicht						
Finite Elemente	WS 10/11	Schweizerhof Hempel	2	2	5/7	P
Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme	SS 11	Schweizerhof Hempel	2	2	8	P
Modellbildung in der Festigkeitslehre (nicht stattgefunden)	WS 10/11	Schweizerhof	2	-	8	P
Seminar für Mechanik	WS 10/11 SS 11	Schweizerhof Seelig	2 2	-	6-8	
Vertiefung, Wahl						
Bruch- und Schädigungsmechanik	SS 11	Seelig Maurer	2	2	6/8	
Anwendungsorientierte Materialtheorien	SS 11	Seelig Mattern	2	2	6/8	
Contact Mechanics I	WS 10/11	Konyukhov Izi	2	2	7	
Contact Mechanics II	SS 11	Konyukhov Izi	2	2	8	

Lehrveranstaltung	im	Dozent	V *	Ü *	FS	Prüfung
Laborpraktikum 3. FS.	WS 10/11	Ruck		2	3	S
Messtechnisches Praktikum I	SS 11	Ruck	-	10	6	S
Messtechnisches Praktikum II	WS 10/11	Ruck	-	10	7	S
Wahlveranstaltung (einmalig)						
Ten lectures on random vibrations for earthquake engineering	SS 11	Crempien	2	-		

*Angabe der Semesterwochenstunden

V = Vorlesung
P = Prüfungsleistung

Ü = Übung
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) / 7,5 Punkte

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 Punkte

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: Wintersemester (5. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 2 SWS (1 SWS Vorlesung, 1 SWS Übungen) / 3 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.

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

2.2.15 **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: Dr. Alexander Konyukhov

Turnus / Kursdauer: Sommersemester (8. Fachsemester) / 1 Semester

Umfang / ECTS: 4 SWS (2 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung) / 6 Punkte

2.2.16 **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: Dipl.-Ing. Christine Ruck, Willi Wendler

Turnus / Kursdauer: Sommersemester (6. Fachsemester) / 1 Semester

Umfang / ECTS: 2 SWS / 3 Punkte

2.2.17 **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 Erlernte in eigenständig durchzuführenden Experimenten und Rechnerübungen zu vertiefen. Hierfür werden baupraxisähnliche Modellstrukturen betrachtet.

Dozenten : Dipl.-Ing. Christine Ruck, Willi Wendler

Turnus / Kursdauer: Wintersemester (7. Fachsemester) / 1 Semester

Umfang / ECTS: 2 SWS / 3 Punkte

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

2.2.19 Short Course: Ten lectures on random vibrations for earthquake engineering

Objectives:

Teach the students how to use the theory of probability in modelling seismic excitation and how to characterize the response of linear systems to earthquake from a probabilistic point of view.

Contents:

- Basic Concepts of Probability Theory: Set theory and Concept of probability, Axioms and theorems.
- Theory of Random Variables: Definition and probability description, Probability description of several random variables. Expected values: Moments and Characteristic Functions. Functions of Random Variables. Distributions.
- Theory of Random Processes: Definition and probability description, Expected values: moments. Operations on random processes. Some important Random Processes: Normal process, Poisson Process, Markov process.
- Modeling of strong ground acceleration processes: Stationary models, non stationary models. Gaussian models.
- Response of linear systems to random processes. Dynamical 1DOF linear systems, Probabilistic structure of the response, mean response, covariance and mean square response. Approximated methods. Average response spectrum.
- Response of MDOF systems to random process. Mean responses and Mean square responses.
-

Bibliography:

1. Lin Y.K., (1967), Probabilistic theory of structural dynamics, McGraw-Hill.
2. Nigam N.C., (1983), Introduction to random vibrations, MIT Press.
3. Roberts, J.B., Spanos P.D. (1999), Random Vibrations and Statistical Linearization, John Wiley and Sons.
4. Clough R.W., Penzien J.P. (1972) Dynamics of Structures, McGraw-Hill

Dozent: Professor Jorge E. Crempien Laborie, Ph.D., Mercator Prof. 2011
Turnus / Kursdauer: 10 Wochen im SS 2011 (einmalig)
Umfang/ECTS: reines Wahlfach

2.3 Prüfungen

	Zahl der Teilnehmer	
	WS 10/11	SS 11
Statik starrer Körper	303	169
Festigkeitslehre	42	122
Festigkeitslehre, Studiengang Angewandte Geowissenschaften	-	5
Dynamik	166	32
Mechanik für Geodäten	1	2
Einführung in die Kontinuumsmechanik	115	58
Grundlagen der Baudynamik	7	58
Kontinuumsmechanik	4	4
Finite Elemente	9	1
Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme	4	4

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

Implementierung und Vergleich eines 20-Knoten-Hexaeder-Elements mit einem 8-Knoten-Hexaeder-Element: Jan Brien 2011, Michael Strobl, 2010

Vergleich einer analytischen Lösung eines luftgefüllten Schlauchwehres mit einer FE-Lösung: Marco Striebich, 2011

Implementierung eines isoparametrischen 8-Knoten Hexaederelements mit gemischten Ansätzen unter Verwendung symbolischer Programmierung: Christopher Fingerhut, 2010

Implementierung von isoparametrischen Dreieck-Scheibenelementen: Janna Krummenacker, 2010

Implementierung von isoparametrischen Scheibenelementen mit quadratischen und kubischen Lagrange-Ansätzen: Lukas J. Schulenburg, 2010

2.5 Diplomarbeiten/Masterarbeiten

Kotlik, Matthias: Experimentelle Charakterisierung thermoplastischer Kunststoffe bei großen Deformationen, 13.07.2011

Schulenberg, Lukas: Einflüsse aus der Materialcharakterisierung auf die Crash-Simulation von Aluminium-Strangpressprofilen, 02.05.2011

2.6 **Promotionen/Habilitationen**

Betreut durch Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof:

Korreferat

Rebstock, Daniel: Verspannung und Entspannung von Sand entlang von Baukörpern, Karlsruher Institut für Technologie, 3. Juni 2011

Habilitationen

Konyukhov, Alexander, Dr.: "Geometrically exact theory for contact interactions" mit Vortrag zum Thema „On the tribological complexity of contact interactions, dry friction, lubrication, wear, nanoscale effects“, 1. Dezember 2010

3. Forschung

3.1 Grundlagenforschung – Ausgewählte Projekte

3.1.1 Stabilität dünnwandiger Strukturen mit mehreren Kammern, die mit Gas und/oder Fluid gefüllt sind unter Verwendung quasi-statischer Fluid-Struktur Interaktion

Bearbeitung: A. Maurer, K. Schweizerhof

Motivation

Das Versagen fluid- und/oder gasgefüllter Strukturen wie Wasserspeicher oder Schlauchwehre kann zu Überflutungen, im Falle chemikaliengefüllter Behälter zu Umweltproblemen und im Falle eines Einsturzes zu Unfallopfern führen. Um diese Risiken zu minimieren, müssen umfangreiche numerische Untersuchungen durchgeführt werden.

Kurzfassung

Doppelwandige Zylinder (siehe Bild 3.1.1.1) wurden – für verschiedene Volumina des äußeren Zylinders – mit ANSYS diskretisiert und dann mit LS-DYNA unter Annahme verschiedener Gas- und Fluidfüllungen simuliert.

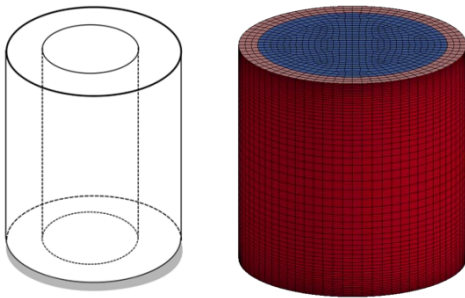


Bild 3.1.1.1: Modell des doppelwandigen Zylinders, Diskretisierung

Zur Beurteilung der Stabilität des Zylinders wurde auf die Knoten des oberen Rand eine konstante Geschwindigkeitsrandbedingung in axialer Richtung aufgebracht. Die daraus resultierenden kritischen Kräfte sind in Bild 3.1.1.2 dargestellt.

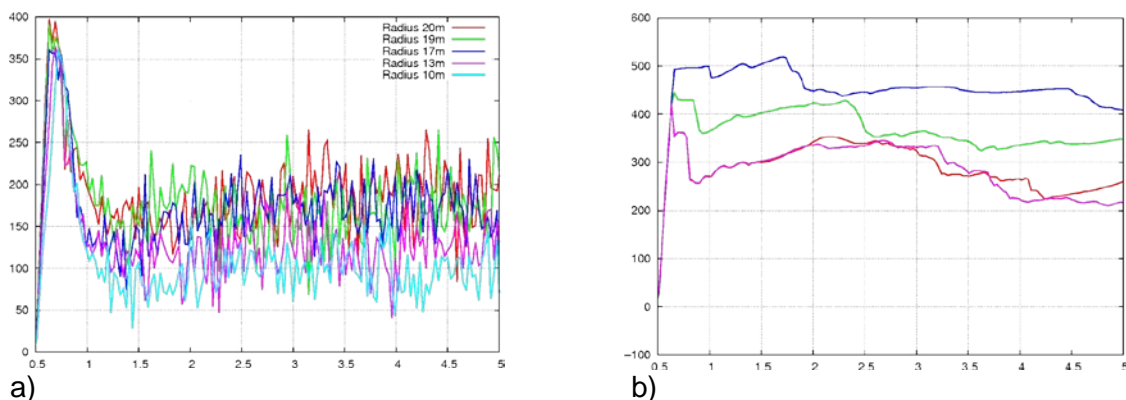


Bild 3.1.1.2: Kritische Kraft über die Zeit
a) eines komplett leeren doppelwandigen Zylinders verschiedener Radien
b) eines Zylinders mit einem Wasserstand von 36 m und einem Gasdruck von 2 bar in der Innenkammer und mit variablem Druck in der Außenkammer

Im Falle eines ungefüllten Zylinders wird deutlich, dass keine Abhängigkeit der kritischen Last vom Zylindervolumen vorliegt. Im Nachbeulbereich zeigen sich große Oszillationen, da das System als nicht gedämpft betrachtet wurde. Bei einem Zylinder mit einer gleichbleibenden Innenfüllung wird hingegen eine maximale kritische Kraft erreicht, wenn der äußere Zylinder mit Wasser gefüllt wird. Der Abfall nach Erreichen der kritischen Last ist geringer und von weit schwächeren Oszillationen begleitet.

Eine Parameterstudie mit verschiedenen Radien des inneren Zylinders und verschiedenen Füllungen sowohl des inneren als auch des äußeren Zylinders ergab, dass – nicht unerwartet - eine maximale kritische Last des inneren bzw. des äußeren Zylinders mit einem möglichst kleinen Innenradius und mit gleichen Füllungen beider Kammern erreicht werden kann.

Vorträge

A. Maurer, M. Gebhardt, K. Schweizerhof: *Computation of fluid and/or gas filled inflatable dams – implementation in LS-DYNA*, 9. LS-DYNA Forum, Bamberg, 13.10.2010

A. Maurer: *Finite-Elemente-Analyse zur Untersuchung von Schlauchwehren*, Projekttreffen Bundesanstalt für Wasserbau, 8. Dezember 2010

A. Maurer: *Finite-Elemente-Analyse zur Untersuchung von Schlauchwehren*, Seminar IfM, 11. Januar 2011

A. Maurer, K. Schweizerhof: *Stability of fluid and/or gas filled thin-walled multi-chamber structures using quasi-static fluid structure interaction*, Coupled Problems 2011, 21. Juni 2011

Veröffentlichung

A. Maurer, M. Gebhardt, K. Schweizerhof: *Computation of fluid and/or gas filled inflatable dams*. 9. LS-DYNA Forum, Bamberg, 13.10.2010

3.1.2 **Entwicklung hoch effizienter Schalenelemente mit quadratischer Ansatzordnung in Schalenebene für transiente Analysen - Aufbau einer Systematik zur programmunterstützten Entwicklung von Schalenelementen**

DFG SCHW 307/20-1

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Bearbeitung: S. Mattern, K. Schweizerhof

Kurzbeschreibung des Projektes

Das wesentliche Ziel des Forschungsvorhabens ist die Erstellung einer Systematik zur programmgestützten Implementierung von Schalenelementformulierungen – insbesondere mit quadratischen Ansatzfunktionen – in ein Finite Element Programm für explizite Zeitintegration. Mit Hilfe der Software ACEGEN, eines Zusatzsystems zum Computeralgebraprogramm MATHEMATICA, sollen die Beziehungen sowohl degenerierter Schalenelemente als auch sogenannter Volumenschalenformulierungen in symbolischer Schreibweise direkt in Programmcode umgesetzt werden. Die Anwendung symbolischer Programmierung ersetzt in weiten Bereichen die Aufbereitung der Elementmatrizen und -vektoren für eine händische Implementierung, die üblicherweise sehr zeitaufwändig und auch fehleranfällig ist. So müssen Ableitungen sowie Vektor- und Matrizenoperationen nicht vorab ausgewertet und über Schleifen programmiert werden, sondern dieser Schritt wird von der Software bei gleichzeitiger Optimierung hinsichtlich der erforderlichen Rechenoperationen übernommen. Aus den notwendigen Schritten zur symbolischen Umsetzung einer Elementformulierung soll eine Implementierungssystematik abgeleitet werden, die eine schnelle und fehlerfreie Umsetzung von Elementvarianten erlaubt. Die Verwendung von ACEGEN führt durch die gleichzeitige Optimierung des erzeugten Programmcodes zu sehr effizienten Routinen, weshalb sich bei der Entwicklung der Implementierungsstrategie auf die Teile der Elementroutine konzentriert wird, die bei einer Simulation besonders „teuer“ im Sinne der Simulationszeit sind. Im Kontext eines expliziten Zeitintegrationsverfahrens ist dies die Routine zur Aufstellung des Residuums, die bei weitem den größten Anteil der Simulationszeit erfordert.

Stand der Arbeiten

In dieser letzten Projektphase konnte die Entwicklung einer Implementierungssystematik basierend auf AceGen abgeschlossen werden. Basierend auf dem entwickelten Programmierkonzept wurden verschiedene Formulierungen aus dem Bereich der Schalen- und Volumenschalenelemente in die institutseigene FEM-Software Feap-MeKa, insbesondere für die Verwendung innerhalb eines expliziten Zeitintegrationsverfahrens, implementiert. Hierbei wurden sämtliche Operationen auf Elementebene – von der Beschreibung der Kinematik über das Stoffgesetz bis hin zur Aufstellung der inneren Knotenkräfte – in der symbolischen Meta-Sprache umgesetzt. Dabei stellte sich die Zusammenfassung möglichst vieler dieser Schritte zu einer einzigen Programmroutine als vorteilhaft heraus, da dann die Vorteile der symbolischen Programmierung optimal ausgenutzt werden können. Die Erzeugung und gleichzeitige Optimierung der Programmroutine erfolgte schließlich automatisch. Die Verwendung des symbolischen Programmierkonzeptes führte zum einen zu effizienten Programmroutinen verglichen mit äquivalenten, händisch implementierten Formulierungen (siehe hierzu Tabelle 1), zum anderen verringert sich der Programmieraufwand bei der Umsetzung von Varianten erheblich. Außerdem wurden innerhalb der Projektphase verschiedene – teilweise aus dem Schrifttum bekannte – Strategien zur Vermeidung von Versteifungseffekten für die einzelnen Elementformulierungen umgesetzt. Die Effizienz des Programmiervorganges selbst konnte erheblich gesteigert werden und eine zeitaufwändige Fehlersuche entfällt.

Programmierung		Vergleich	
Solid-Shell Routine	Kontakt routine	CPU-Zeit [s]	relativ [%]
händisch	händisch	463	100.0
händisch	AceGen	210	48.2
AceGen	händisch	283	69.0
AceGen	AceGen	23	5.3

Tabelle 1: Beispiel aus [2] – Vergleich des numerischen Aufwandes für 11 000 Zeitschritte bei 3 280 Freiheitsgraden

Die Ergebnisse des Projektes wurden im Rahmen der Konferenzen CST 2010 [1,3] und EURO DYN 2011 [2,4] präsentiert – ein Beispiel ist in Bild 3.1.2.1 angegeben – und in einem Abschlussbericht [5] zusammengefasst. Derzeit werden die Erkenntnisse aus dem Projekt für die im Frühjahr 2012 geplante Dissertation [6] aufbereitet.

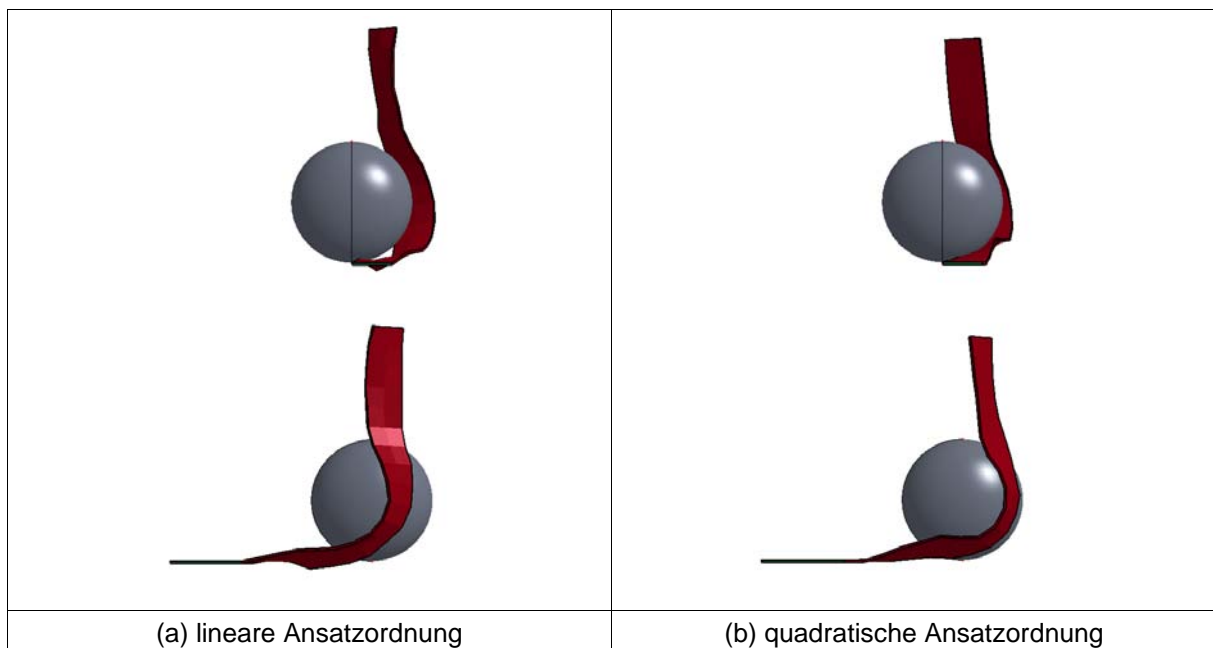


Bild 3.1.2.1: Beispiel aus [2] – Asymmetrischer Impact eines dünnen elastischen Streifens auf eine starre Kugel

Tagungsbeiträge

[1] S. Mattern, K. Schweizerhof: *Software Supported Implementation of Efficient Solid-Shell Finite Elements*, The 10th Conference on Computational Structures Technology, September 2010, Valencia (Spanien).

[2] S. Mattern, K. Schweizerhof: *Highly Efficient Solid-Shell Finite Elements for Dynamic Applications – an Implementation Concept using Symbolic Programming*, 8th International Conference on Structural Dynamics, Juli 2011, Leuven (Belgien).

Buch- und Zeitschriftenbeiträge

[3] S. Mattern, K. Schweizerhof: *Software Supported Implementation of Efficient Solid-Shell Finite Elements*, In: Proceedings of the Tenth International Conference on Computational Structures Technology, B. Topping, J. Adam, F. Pallarés, R. Bru & M. Romero (eds.), *Civil-Comp Press*, 2010.

[4] S. Mattern, K. Schweizerhof: *Highly Efficient Solid-Shell Finite Elements for Dynamic Applications – an Implementation Concept using Symbolic Programming*, In: Proceedings of

the 8th International Conference on Structural Dynamics, G. De Roeck, G. Degrande, G. Lombaert & G. Müller (eds.), 2011.

Bericht und Dissertation

[5] „Entwicklung hoch effizienter Schalenelemente mit quadratischer Ansatzordnung in Schalenebene für transiente Analysen – Aufbau einer Systematik zur programmunterstützten Entwicklung von Schalenelementen , Abschlussbericht zum DFG-Forschungsvorhaben SCHW307/20-1, Dezember 2010.

[6] S. Mattern: *Hocheffiziente Finite Elemente für transiente Analysen mit expliziter Zeitintegration*, Dissertation, geplanter Abschluss: Frühjahr 2012.

3.1.3 Covariant description for contact problems with large load-steps

Bearbeiter: Ridvan Izi

Introduction

In the field of computational contact mechanics methods like the penalty method, the Lagrange multipliers method, the Augmented Lagrange method, Mortar method and Nitsche method are known in order to satisfy the incorporated contact constraints. In all methods consistent linearization is necessary to reach quadratic convergence, however, only if the initial approximation is very close to the searched state. The method, therefore, requires often a large number of load steps to reach the solution. A scheme allowing to accelerate the computation, the so-called large penetration algorithm, is proposed in [1] for 2D linear geometries. The method is based on starting the computation only with a part of the consistent tangent matrix combined with a special algorithm switching after some iterations to the computation with consistently linearized matrices. The hereby required separation of the consistent tangent matrix is directly obtained for any 3D curvilinear geometry using a special covariant approach given in [2] and [3]. Thus, in the contribution the large penetration scheme is developed for any arbitrary curved 3D geometry based on the covariant approach.

Covariant contact description

In order to gain this specific structure of the tangent matrix two main ideas have to be included within the 3D approach. First point is to take advantage of the differential geometry description for the contact surfaces regarding geometry and kinematics of the contact conditions. Second, two spatial coordinate systems 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 have to be introduced. A setup of two contacting bodies (regarding surfaces) with respect to these coordinate systems is given in Fig. 1. As the basis for the spatial local coordinate system the 2D surface coordinate system parametrizing the master surface by the surface coordinates can be used. Based on the surface coordinate system and the closest point projection procedure, see [4], a special 3D local coordinate system can be constructed to describe the slave point by

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

where \mathbf{n} denotes the normal on the master surface point. This system is used to define any characteristic that belongs to the surface as well as to transfer the result of the linearization necessary later into the global coordinate system for the purpose of a finite element implementation. Considering finally the finite element discretization the tangent matrix results in an

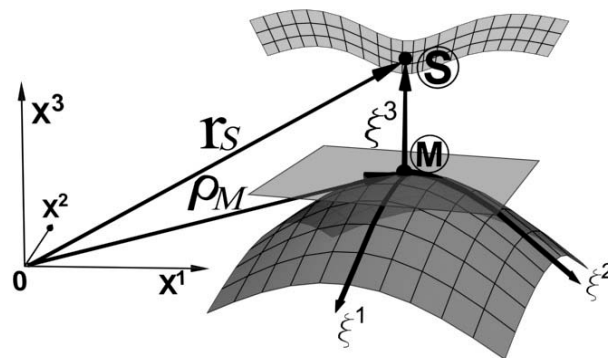


Fig. 3.1.3.1: Definition of a spatial coordinate system specific for closest-point procedure

algorithmic and geometrical structure consisting of a "main", a "rotational" and a "curvature" part as

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}^{(main)} + \mathbf{K}^{(rot)} + \mathbf{K}^{(curv)} \quad .$$

Each part of the tangent matrix contains information either about the internal geometry of the contact surface or about the change of the geometry during incremental loading.

Large penetration scheme

Based on a comparable separation of the tangent matrix for 2D linear geometry contact problems a scheme for large load steps in the presence of large penetrations is proposed by Zavarise et al., see [1]. This scheme relies on the assumption that an a priori estimate of the finally resulting maximum contact pressure for a given contact setup is possible. The a priori estimated contact pressure is then used as an indicator to switch between the two phases of the large penetration scheme. For applying this specific scheme in our development to 3D contact problems (see [6]) the covariant formulation is used as the basis for the large penetration scheme in 3D. The first phase of the large penetration scheme takes place for the first iterations of each load step characterized by computed contact pressures orders of magnitudes higher than the final pressure. Within this first phase the Newton strategy with consistent linearization correlating to the full tangent matrix should not be used as it is often leading to negative entries on the diagonals of the full tangent matrix. In order to prevent this problem two modifications have to be executed. The first modification concerning the tangent matrix is to use only the main part of the tangent matrix according to the covariant description. The second modification is concerning the residual where an upper bound for the maximum contact pressure represented by the a priori estimated contact pressure is used. This is subsequently enabling to shift from phase one to phase two where the full tangent matrix is then used for the last iterations. Within the context of the 3D large penetration scheme based on the covariant description an extensive testing is performed on numerical examples with 3D curved surfaces. For this purpose so-called "solid-shell" elements with various orders of approximation are used, see [5].

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., doi:10.1016/j.cma.2011.02.018, 2011.
- [2] A. Konyukhov, K. Schweizerhof: *Contact formulation via a velocity description allowing efficiency improvements in frictionless contact analysis*, Computational Mechanics, 33: 165-173, 2004.
- [3] A. Konyukhov: *Geometrically exact theory for contact interactions*, KIT Scientific Publishing, Habilitation thesis, 2011.
- [4] A. Konyukhov, K. Schweizerhof: *On the solvability of closest point projection procedures in contact analysis: Analysis and solution strategy for surfaces of arbitrary geometry*, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., 197: 3045-3056, 2008.
- [5] R. Hauptmann, S. Doll, M. Harnau, K. Schweizerhof: *Solid-shell elements with linear and quadratic shape functions at large deformations with nearly incompressible materials*, Computers & Structures, 79: 1671-1685, 2001.
- [6] R. Izi, A. Konyukhov, K. Schweizerhof: *Covariant description for contact problems with large load steps. II*. International Conference on Computational Contact Mechanics (ICCCM2011), Hannover, June 2011.

3.1.4 **Dreidimensionale Finite-Element-Modellierung der Halsmuskulatur zur Simulation realistischer Wechselwirkungen zwischen Kiefer- und Halsmuskulatur**

*Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG-Projekt SCHW 307/25-1 und 2 Partnerprojekt mit der Zahnklinik der Universität Heidelberg, DFG-Projekt RA 1737/2-1 (Prof. Dr. P. Rammelsberg und PD Dr. M. Schmitter)
Bearbeitung: B. Krüger, J. Lenz, K. Schweizerhof*

Die Ausbreitung muskuloskelettaler Schmerzen im Kiefer- und Gesichtsbereich (CMD) auf Hals- und Nackenbereich (HWS) wird mit Zähneknirschen und Kieferpressen (Bruxismus) in Verbindung gebracht. Bislang lagen keine Daten vor, die eine biomechanische Kopplung zwischen beiden Systemen im Bereich realistischer parafunktioneller Beißkräften (bis ca. 50% der maximalen Aktivierbarkeit (MVC)) belegen konnten. Im laufenden Projekt gewonnene Daten aus 10 intramuskulär untersuchten Muskeln zeigten unter Beißkräften von 15 - 50% MVC, dass es zu geringen (3 - 10% MVC) mit Beißkraftniveau-analogen Koaktivierungen der HWS-Muskulatur kommt. Neben den synchronen Aktivitätserhöhungen der Nackenmuskeln konnten oft mehreren Minuten anhaltende Aktivierungen einzelner motorischer Einheiten beobachtet werden. Dieses pathophysiologisch bedeutende Phänomen soll im weiteren Förderzeitraum im Zusammenhang mit Haltungsmodifikationen der HWS und kraftkontrollierten dynamischen „Knirschaktivitäten“ weiter untersucht werden.

Vergleichende quantitative sensorische Testungen (QST) zwischen Kaumuskulatur und HWS- Muskeln waren bislang nicht bekannt. Zur Charakterisierung der einzelnen Muskelgruppen wurden 13 verschiedene quantitative sensorische Testungen (QST) an Masseter und SCM durchgeführt, die signifikante Unterschiede zwischen beiden Muskeln darstellen konnten. Im Zukunft sollen weitere HWS-Muskeln untersucht werden, um mögliche Unterschiede innerhalb der HWS-Muskelgruppe aufzudecken und als Gewichtungsp parameter in die biomechanischen Simulationen einfließen zu lassen.

Im biomechanischen Projektteil (KIT) wurde zunächst eine universell einsetzbare Software entwickelt, welche die gemessenen EMG-Signalkurven nach bestimmten Zielfunktionen durchsucht, an den Zeitpunkten bester Übereinstimmung ausgibt und periodische Ereignisse (Kauen) über einen Mustererkennungs-Algorithmus erkennt und auswertet. Simulationen an Starrkörper-Modellen mit Optimierungsalgorithmen konnten zunächst keine schlüssige Relation zwischen der Hals- und Nackenmuskulatur unter submaximaler isometrischer Belastung des Kausystems wiedergeben. Die Einbindung der Halsfaszien, die Kau- und HWS-Muskulatur biomechanisch koppeln, lieferte jedoch neue Lösungsansätze. Erste Simulationen zeigten, dass Dehnungen der Faszien durch Ausbauchungen insbesondere der Masseteren zu einem Drehmoment des Schädels führen, das durch eine entsprechende Aktivierung der Nackenmuskulatur kompensiert werden muss. Dieser erweiterte Ansatz soll an einem kompletten 3D FE-Modell für die relevanten Muskeln, Faszien und Knochenstrukturen weitergeführt und mit den klinischen Daten abgeglichen werden.

Veröffentlichungen/Vorträge

D. Hellmann; N.N. Giannakopoulos; R. Blaser; L. Eberhard; S. Rues; H.J. Schindler: *Long-term training effects on masticatory muscles*. J Oral Rehabil 38(12):912-920, 2011

D. Hellmann; N.N. Giannakopoulos; R. Blaser; L. Eberhard; H.J. Schindler: *The effect of various jaw motor tasks on body sway*. Oral Rehabil 38(10):729-736, 2011

Schweizerhof, K.: *Dreidimensionale FE-Modellierung der HWS zur Simulation realistischer neuromuskulärer Wechselwirkungen zwischen Kiefer- und Halsmuskulatur*, Workshop Biomedizinische Technik, Universität Heidelberg, 22. November 2010

3.1.5 FE-Simulation des Füge- und Lösevorgangs eines Konusteleskops unter Berücksichtigung verschiedener Dimensionierungsparameter

Diplomarbeit

Bearbeitung: Christopher Fingerhut, Betreuer: J. Lenz, K. Schweizerhof

Derzeit stellt die Konuskronen die optimale Form herausnehmbaren Zahnersatzes bei einem stark reduzierten Restzahnbestand dar. Aufgrund der erhöhten Beanspruchung der Verblendung bei lösbarem Zahnersatz wird die Verwendung von Keramik als Verblendmaterial in der Praxis meist abgelehnt, obwohl sie sich gegenüber Kunststoff durch eine hohe Lebensdauer und eine unübertroffene Ästhetik auszeichnet. Zudem hat die Konuskronen gegenüber anderen herausnehmbaren Prothesentypen den Nachteil, dass sie sich bei hohen Beißkräften „festfressen“ kann, sodass der Patient sie zum Reinigen der verbliebenen Zähne nicht mehr eigenhändig von den Pfeilerzähnen lösen kann.

Um einerseits zu zeigen, dass die Zugbeanspruchung einer Keramikverblendung auch bei hohen Kaukräften nicht im kritischen Bereich liegt und um andererseits anhand von numerischen Untersuchungen zu belegen, dass durch den Einbau eines sog. „Komposit-Stopps“ eine Lösekraftbegrenzung zur Vermeidung des „Festfressens“ erreicht werden kann, wurde ein rotationssymmetrisches FE-Modell eines Konusteleskops und sämtlicher umgebenden biologischen Substrate erzeugt. An diesem Modell wurde eine Studie mit einer Vielzahl verschiedener materieller und geometrischer Dimensionierungsparameter unter einem Lastzyklus aus Fügen, Entlasten im gefügten Zustand und Lösen aus dem gefügten Zustand mit jeweils ausschließlich vertikalen (axialen) Kräften durchgeführt.

Die Berechnungen lieferten eine gute Übereinstimmung mit bereits vorhandenen theoretischen und experimentellen Ergebnissen, belegten noch einmal rechnerisch, dass der Einbau eines Komposit-Stopps das „Festfressen“ zuverlässig verhindert und zeigten, dass selbst unter sehr hohen Kaukräften keine kritischen Zugspannungen in der Keramikverblendung zu erwarten sind.

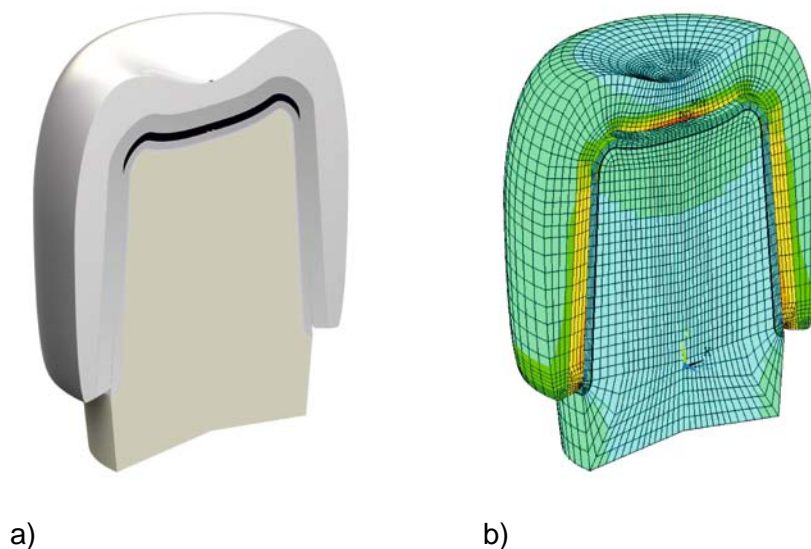


Bild 3.1.5.1: Querschnitt durch das gewählte geometrische Modell für die Konuskronen (a) und Verteilung der von-Mises-Spannungen (b)

3.1.6 Implementierung von volumetrischen und achsensymmetrischen Schalenelementen für explizite Zeitintegration

Bearbeitung: Christoph Schmied, Steffen Mattern, Karl Schweizerhof

Motivation

Für die Simulation von Schalenstrukturen haben sich Schalenelemente, die sowohl volumetrisch als auch achsensymmetrisch formuliert sind, bewährt. Die Ausnutzung von Symmetrieeigenschaften spart für die achsensymmetrische Formulierung Rechenoperationen und somit Simulationszeit auf Elementebene. Ein explizites Zeitintegrationsverfahren ideal geeignet für sehr schnell ablaufende Vorgänge sowie hoch nichtlineare Probleme ist das zentrale Differenzenverfahren. Da wegen der erforderlichen kleinen Zeitschritte innerhalb des Algorithmus die Elementroutine sehr oft aufgerufen wird, ist auf eine hoch effiziente Implementierung zu achten.

Kurzfassung

Die Implementierung der achsensymmetrischen und volumetrischen Elementroutinen erfolgt mit Hilfe des Programmierwerkzeuges AceGen, welches auf der Computeralgebra Software Mathematica aufsetzt. Somit wird eine direkte Implementierung von symbolischen Algorithmen ermöglicht, wodurch effizient Elementroutinen generiert werden können, die fehlerfrei in eine Programmiersprache übersetzt werden.

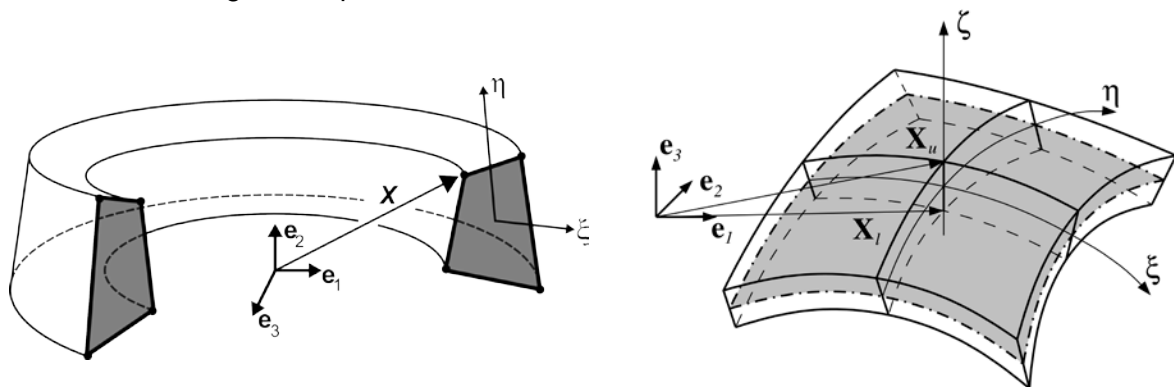


Bild 3.1.6.1: Achsensymmetrisches 4 Knoten Element und 8 Knoten Solid-Shell Element

Die Formulierung eines achsensymmetrischen Elementes erfolgt nach Bild 3.1.6.1 mit 4 Knoten, die eine Ebene beschreiben, für die eine komplette Rotation um eine feste Symmetrieachse erfolgt. Voraussetzung für die Formulierung ist, dass Geometrie, Materialeigenschaften sowie Last- und Verschiebungsrandbedingungen konstant in der Umfangsrichtung sind, womit die Verschiebungen in dieser Richtung ebenfalls verschwinden müssen. Daher ist die Beschreibung der Kinematik analog zu der eines Scheibenelementes möglich.

Für Vergleiche wird die ebenfalls in Bild 3.1.6.1 dargestellte Solid-Shell Formulierung aus [1] eingesetzt. Das Solid-Shell Element verwendet wie das achsensymmetrische Element lineare Ansatzfunktionen.

Für beide Elementformulierungen treten künstliche Versteifungs-Phänomene auf. Dies sind zum einen geometrische Versteifungseffekte, die insbesondere bei dünnwandigen Schalenstrukturen beobachtet werden. Durch eine spezielle Interpolation der Schubverzerrungen, bekannt als die Methode der „Assumed Natural Strains“, eingeführt durch Bathe und Dvorkin, wird diesem Versteifungseffekt entgegengewirkt. Bei nahezu inkompressiblem Material wird volumetrisches Locking als materieller Versteifungseffekt identifiziert. Dieser künstliche Effekt

wird durch Erweiterung der Normalverzerrungen reduziert. Die Methode der erweiterten Verzerrungen (EAS) basiert auf Entwicklungen von Simo und Rifai.

Die entwickelten Elementformulierungen werden anhand einer achsensymmetrischen Problemstellung getestet. In den oberen Rand einer doppelt gekrümmten Halbkugel mit einem Loch wird entsprechend Bild 3.1.6.2 ein sinusförmiger Impuls eingeleitet. Die in Bild 3.1.6.3 dargestellte Wellenausbreitung wird für beide Elementformulierungen verglichen, indem die radiale Antwortschwingung in einem Referenzpunkt am unteren Rand der Halbkugel aufgezeichnet wird. Es zeigt sich, dass die Ergebnisse für beide Elementformulierungen bei Anwendung der oben beschriebenen Methoden zur Reduzierung von Versteifungseffekten sehr gut übereinstimmen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden im Rahmen des GACM – Kolloquiums [2] vorgestellt.

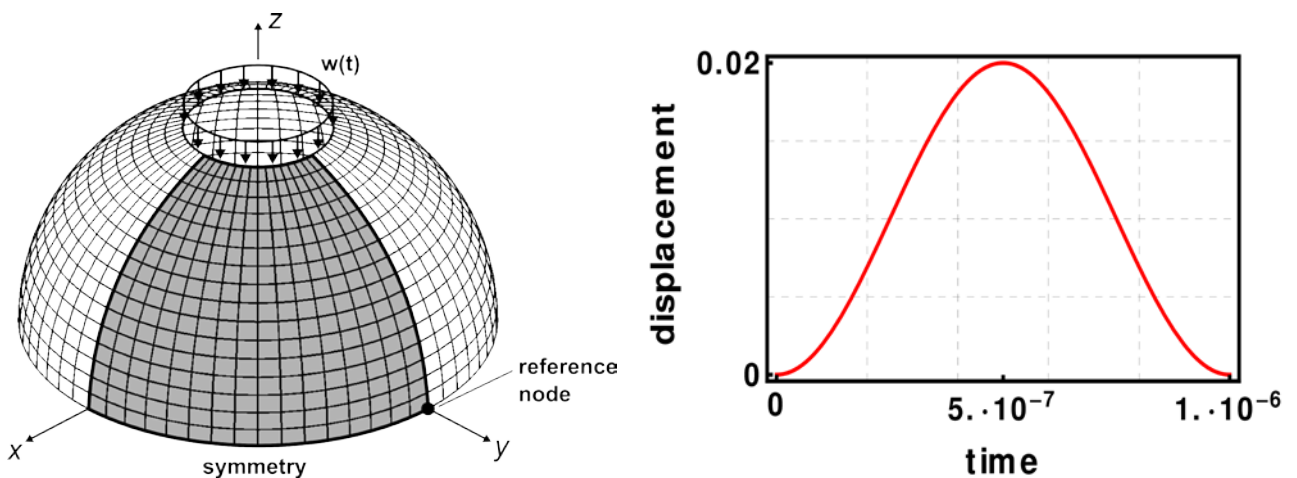


Bild 3.1.6.2: Geometrie der Halbkugel und eingeleitete Welle

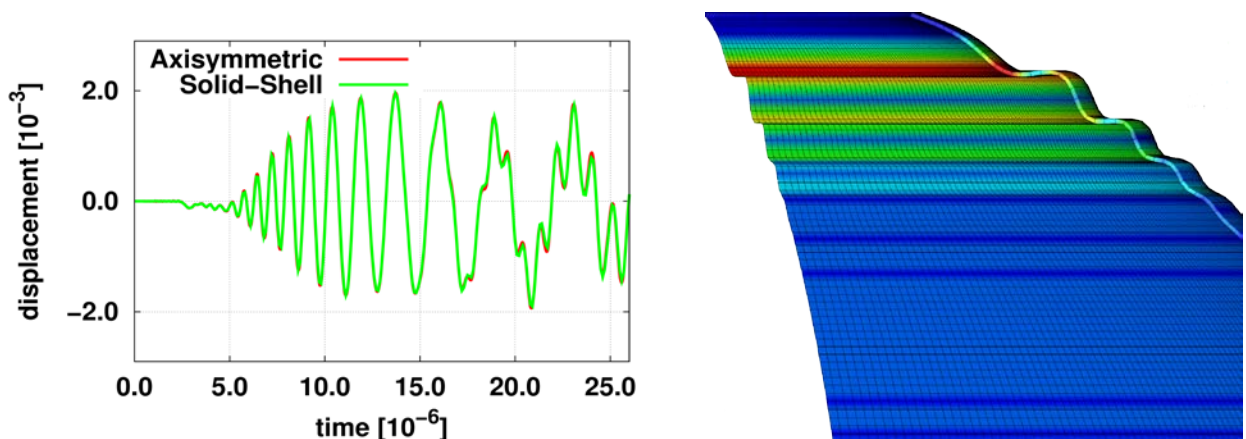


Bild 3.1.6.3: Vergleich der Antworten des Referenzknoten und Darstellung der Wellenausbreitung

Tagungsbeiträge

[1] S. Mattern, K. Schweizerhof: *Software Supported Implementation of Efficient Solid-Shell Finite Elements*, The Tenth Conference on Computational Structures Technology, September 2010, Valencia, Spanien.

[2] C. Schmied, S. Mattern, K. Schweizerhof: *An automated and efficient implementation concept for shell elements with high computational performance in explicit time integration*, 4th GACM Colloquium on Computational Mechanics for Young Scientists from Academia and Industry August 31 - September 2, 2011 Technische Universität Dresden

3.1.7 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), dem 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 Bild 3.1.7.1. Hier müssen sie sehr hohen Beanspruchungen, wie sie insbesondere in Crash-Situationen auftreten, standhalten.



Bild 3.1.7.1: 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 u.a. (Computational Material Science 46 (2009) 100 - 111) 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. Zusammen mit einem Plastizitätsmodell – hier nach v. Mises – wurde das Konzept zuerst in das Finite Elemente (FE) Programm LS-DYNA implementiert. Zusätzlich zu der Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit im einzelnen Element eines FE-Netzes ermöglicht das implementierte Modell die Berechnung globaler Wahrscheinlichkeiten. Das heißt: Ist die Versagenswahrscheinlichkeit aller Elemente im Modell bekannt, kann die Versagenswahrscheinlichkeit des Gesamtmodells oder einzelner Modellteile berechnet werden.

Anhand des FE-Modells eines Biegeversuchs, siehe Bild 3.1.7.2a, soll das probabilistische Konzept demonstriert 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 wird durch entsprechende Zugversuche bestimmt. In Bild 3.1.7.2b wird das Ergebnis der Simulation mit den experimentellen Daten verglichen, dargestellt sind die Kraft-Verschiebungs-Verläufe. Zusätzlich sind die Versagenswahrscheinlichkeiten der Modellbereiche Anguss, Flansch und Vakuum angegeben. Der Vergleich der einzelnen Wahrscheinlichkeiten zeigt deutlich, dass das Strukturversagen von der Vakuumseite bestimmt wird.

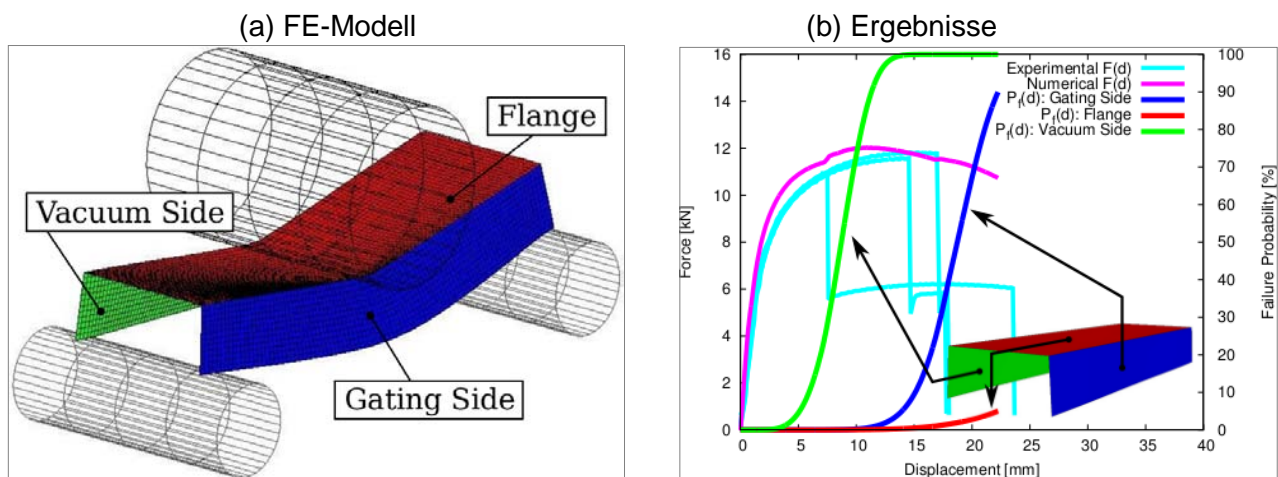


Bild 3.1.7.2: Biegeversuch einer Aluminiumdruckgusskomponente (U Profil)

Als Resümee lässt sich festhalten: die Simulation des Biegeversuchs hat das Potential des probabilistischen Konzepts gezeigt. Hier wurden die Verteilungsfunktionen allerdings noch manuell verteilt. Um die globale, systematische Verteilung besser zu erfassen, muss nun eine Methode entwickelt werden, in der die Ergebnisse einer Gieß-Simulation mit der Eingabe einer FE-Simulation gekoppelt werden. Zuletzt muss das Konzept dann anhand komplexerer Bauteilgeometrien validiert werden.

Tagungsbeiträge

Knoll, O.; Hopperstad, O.S.; Langseth, M.; Schweizerhof, K.: *Numerical modelling of aluminium die castings using a probabilistic approach*. 3rd International Conference on Impact Loading of Lightweight Structures (ILLS2011), Valenciennes, France, June 28 – July 1, 2011

Knoll, O.; Schweizerhof, K.; Hopperstad, O.S.; Langseth, M.: *Failure modelling in aluminium HPDC components: Using a probabilistic approach*. GACM Colloquium on Computational Mechanics, Dresden, August 31 – September 2, 2011

3.1.8 Mehrskalige Modellierung von Deformation und Versagen in gummi-modifizierten Thermoplasten

DFG-Projekt SE 875/5-2

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

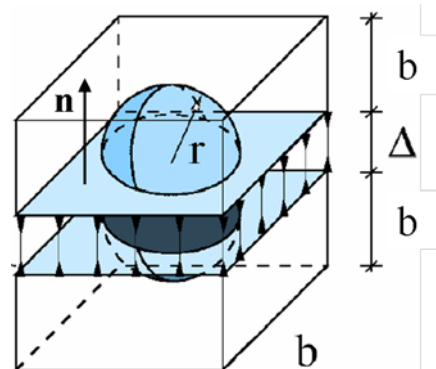
Bearbeitung: M. Helbig und Th. Seelig

Gummimodifizierte thermoplastische Polymerwerkstoffe wie z.B. ABS bestehen aus einer amorphen glasartigen Matrix und darin fein verteilten sub-mikrometer großen Gummikügelchen. Eine gegenüber dem reinen Matrixmaterial deutlich erhöhte Duktilität und Bruchzähigkeit wird dadurch erreicht, dass unter äußerer Belastung an den Gummipartikeln inelastische (d.h. energiedissipierende) Deformationsmechanismen wie Matrixscherfließen und Crazing induziert werden. Mit Hilfe kontinuums-mikromechanischer Modelle und numerischer Simulationen soll in diesem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekt zu einem besseren Verständnis solcher zähigkeitssteigernder Mechanismen beigetragen werden – mit dem Ziel eine gezielte Herstellung von Werkstoffen mit optimierten Eigenschaften zu ermöglichen.

Unter Konzentration auf den Crazing-Mechanismus wurde ein Materialmodell entwickelt, welches die räumlich verteilte Bildung mikrorissartiger Craze-Zonen senkrecht zur Richtung \mathbf{n} der größten Hauptnormalspannung in einem homogenisierten Sinne erfasst. Dies führt auf einen inelastischen Anteil des Verzerrungsgeschwindigkeitstensors:

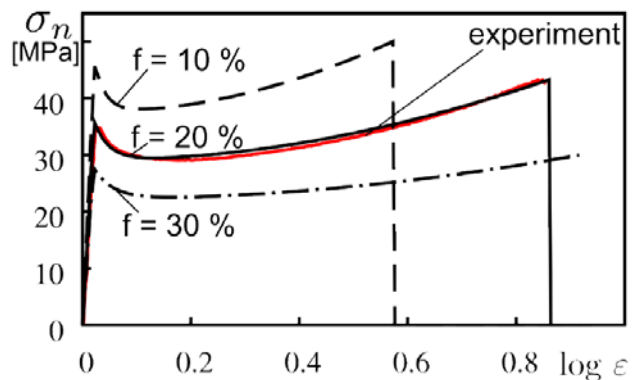
$$\mathbf{D}^c = \dot{\varepsilon}^c \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}$$

Die einachsige inelastische Dehnrates $\dot{\varepsilon}^c$ hängt dabei von der Craze-Wachstumsgeschwindigkeit $\dot{\Delta}$ und dem mittleren Abstand b der sich an den Gummipartikeln bildenden Crazes ab. Skalierungsgesetze bzgl. des Einflusses von Größe r und Volumenanteil f der Gummipartikel wurden durch elementare Betrachtungen an einem Zellmodell (Abb. rechts) abgeleitet.

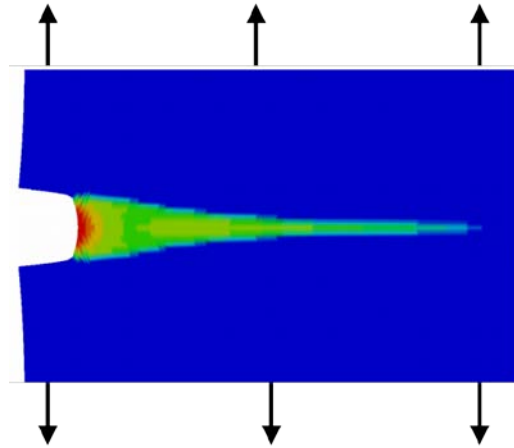


Das vollständige Materialmodell wurde an experimentellen Daten für einen kommerziellen ABS-Werkstoff mit etwa 20 % Gummianteil kalibriert, die in Kooperation mit dem Structural Impact Laboratory SIMLab der NTNU Trondheim (Prof. A.H. Clausen) ermittelt wurden.

Die Abbildung rechts zeigt das einachsige Spannungs-Dehnungs-Verhalten des Materialmodells für verschiedene Werte des Gummianteils. Der bekannte experimentelle Befund einer mit zunehmendem Gummianteil abnehmenden Fließspannung und zunehmenden Bruchdehnung wird durch das Modell qualitativ richtig wiedergegeben.



Das Materialmodell wurde in ein Finite-Elemente-Programm implementiert und u.a. zur Simulation der plastischen Zone an der Kerbe einer Bruchmechanikprobe eingesetzt. Der in der Abbildung unten dargestellte numerisch ermittelte Verlauf der plastischen Zone entspricht ebenfalls recht gut der aus Experimenten bekannten charakteristischen langgestreckten plastischen Zone in realen ABS-Werkstoffen.



Veröffentlichung

Helbig, M.; Seelig, Th.: *Crack tip fields in rubber-toughened polymers*. PAMM, Proc. Appl. Math. Mech. (2011)

3.1.9 Experimentelle Charakterisierung des temperatur- und dehnratenabhängigen Deformationsverhaltens amorpher Thermoplaste bei großen Verformungen

Bearbeitung: M. Kotlik, W. Wendler, M. Helbig, P. Hempel, Th. Seelig

Im Rahmen eines Kooperationsprojektes zwischen dem Institut für Mikrostrukturtechnik (ITM) und dem Institut für Mechanik (IFM) werden Modelle zur numerischen Simulation von Thermoformprozessen entwickelt. Zur adäquaten Beschreibung der dabei eingesetzten Polymerwerkstoffe werden genaue Daten bzgl. des mechanischen Verhaltens bei großen Deformationen, unterschiedlichen Dehnraten und über einen weiten Temperaturbereich benötigt. Dazu wurde im Labor des IFM ein umfangreiches Versuchsprogramm an dem amorphen Thermoplasten PMMA („Plexiglas“) durchgeführt. Bild 3.1.9.1 zeigt die eingesetzte Versuchstechnik aus Zugprüfmaschine, Ofen (Leihgabe des ITM) und optischem Verzerrungsmesssystem.

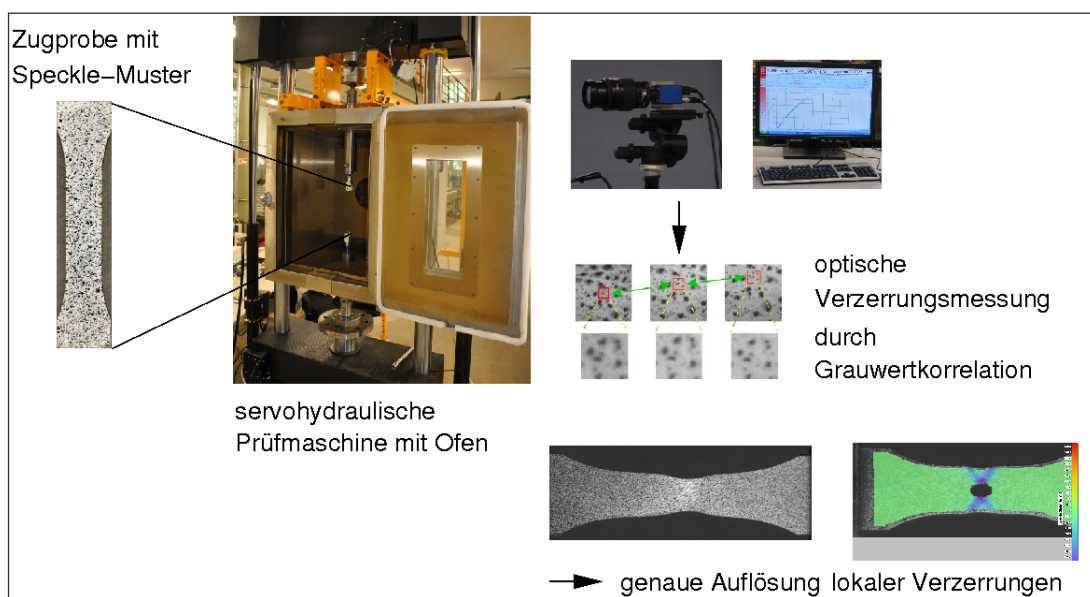


Bild 3.1.9.1: Versuchstechnik

Die präzise Ermittlung wahrer Spannungs-Dehnungs-Daten erfordert die kontinuierliche Messung lokaler Verzerrungsfelder an den stark deformierenden Proben. Hierzu wurde ein auf der Grauwertkorrelation basierendes optisches Verzerrungsmesssystem der Fa. Limes eingesetzt. Die in Bild 3.1.9.2 für zwei unterschiedliche Dehnraten dargestellten Spannungs-Dehnungs-Kurven aus monotonen Zugversuchen erstrecken sich über den Temperaturbereich von Raumtemperatur bis 120°C. Sie zeigen u.a. eine mit zunehmender Temperatur sowie abnehmender Dehnrates stark abnehmende Fließspannung, die oberhalb der Glasübergangstemperatur (bei PMMA ca. 105°C) im sog. gummiartigen Bereich des Werkstoffs gegen Null geht. Versuchsdaten aus zyklischen Be- und Entlastungsversuchen sind in Bild 3.1.9.3 dargestellt und zeigen anhand der Hystherese ein mit zunehmender Temperatur ausgeprägt viskoelastisches Verhalten.

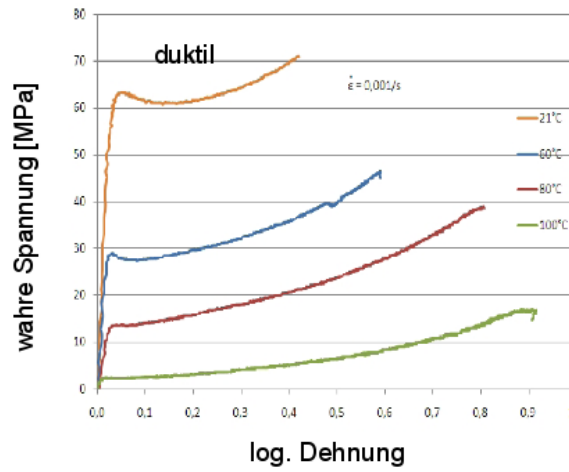
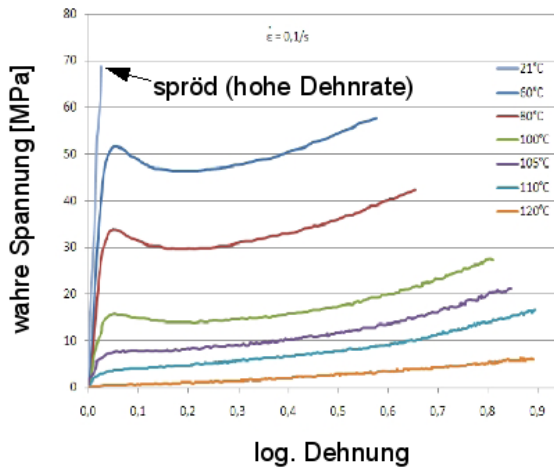


Bild 3.1.9.2: Zugversuche bei unterschiedlichen Dehnrates und Temperaturen

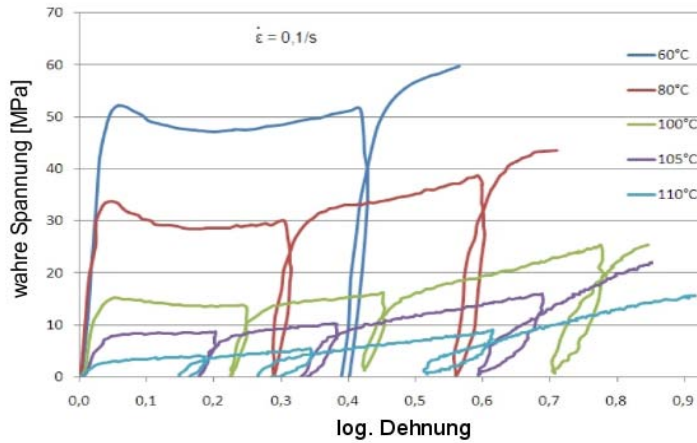


Bild 3.1.9.3: Zyklische Be- und Entlastungsversuche

Diplomarbeit

Kotlik, Matthias: *Experimentelle Charakterisierung thermoplastischer Kunststoffe bei großen Deformationen*, 13.07.2011

3.1.10 Materialmodellierung von amorphen Thermoplasten unter Berücksichtigung einer prozessinduzierten Anisotropie

Bearbeiter: P. Hempel, Th. Seelig

Verformungsprozesse an thermoplastischen Kunststoffen bei höheren Temperaturen mit anschließender schneller Abkühlung, wie z.B. beim Spritzgießen, haben im fertigen Bauteil häufig eine anisotrope Mikrostruktur in Form der "eingefrorenen" Streckung und Orientierung von Molekülketten zur Folge. Diese Vororientierung im festen Material wirkt sich auf dessen mechanische Eigenschaften wie Fließspannung, Verfestigung und Bruchdehnung aus. Daneben führt eine Wiedererwärmung des Materials im belastungsfreien Zustand zur Rückdeformation der räumlich inhomogen vorgestreckten Molekülketten und dadurch zu einem makroskopischen Verzug des Bauteils (Bild 3.1.10.1).

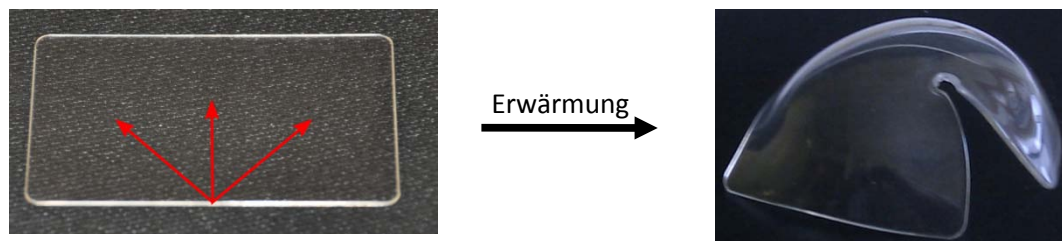


Bild 3.1.10.1: Erwärmung einer spritzgegossenen Platte und die daraus resultierende Deformation (die roten Pfeile geben qualitativ die Fließrichtung beim Spritzguss an)

In dieser Arbeit wird das thermo-mechanische Verhalten amorpher Thermoplaste bei finiten Deformationen unter Berücksichtigung einer prozessinduzierten anfänglichen Anisotropie modelliert. Die Kinematik wird dabei wie üblich durch den Deformationsgradienten F beschrieben, der sich multiplikativ aus einem elastischen und inelastischen Anteil zusammensetzt $F = F^e F^p$. Während der elastische Anteil definitionsgemäß die äußere (makroskopische) Spannung bestimmt, bewirkt die inelastische Verstreckung der Molekülketten eine "innere" Rückspannung im Material. Zu deren Berechnung wird neben dem inelastischen Anteil F^p der aktuellen Deformation auch die prozessinduzierte Vordeformation F^i herangezogen (Bild 3.1.10.2).

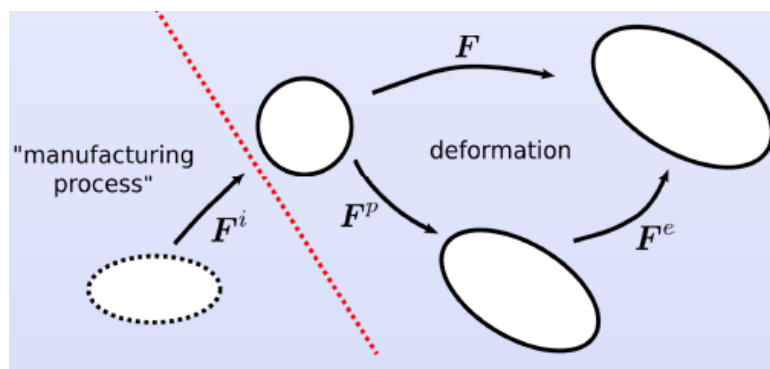


Bild 3.1.10.2: Schematische Darstellung der Kontinuumskinematik unter Berücksichtigung einer prozessinduzierten Vordeformation

Des Weiteren berücksichtigt das Modell temperaturabhängige Veränderungen des molekularen Verschlaufungsnetzwerks, um das Materialverhalten auch oberhalb der Glasübergangstemperatur realitätsnah beschreiben zu können.

Als Anwendungsbeispiel wurde die Erwärmung der spritzgegossenen Platte aus Bild 3.1.10.1 simuliert. Die räumliche Verteilung von Richtung und Stärke der eingefrorenen Molekülvorstreckung im Finite-Elemente-Modell (Pfeile in Bild 3.1.10.2a) wurde dazu gemäß der Schmelzefließrichtung im Spritzgussprozess (Bild 3.1.10.1) angenommen. Bild 3.1.10.2b zeigt die simulierte Deformation der Platte nach der Erwärmung, welche qualitativ gut mit der realen Geometrie in Bild 3.1.10.1 übereinstimmt.

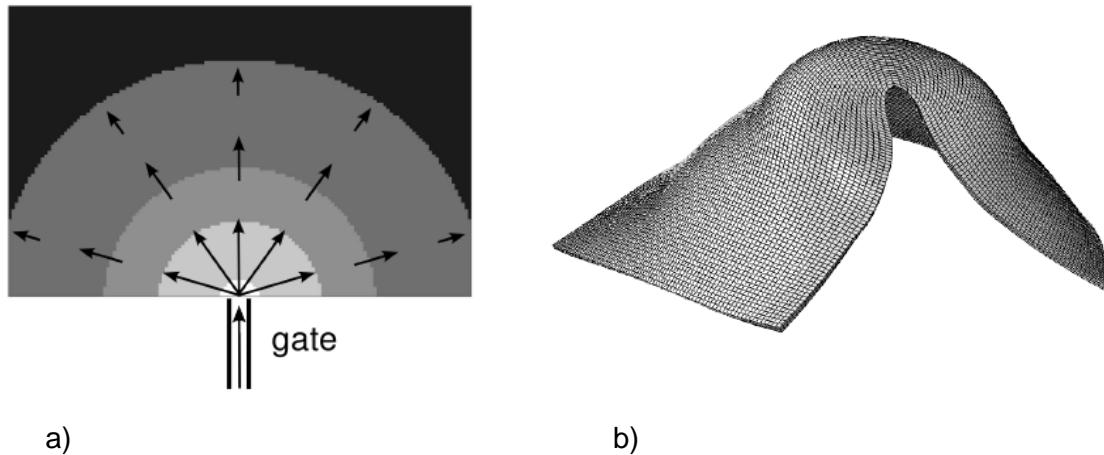


Bild 3.1.10.3: a) Angenommene räumliche Verteilung der Molekülvororientierung,
b) simulierte Deformation nach Erwärmung

Tagungsbeitrag

Hempel, P., Seelig, Th.: *Modeling the finite strain deformation of amorphous thermoplastic polymers accounting for processing induced initial anisotropy*. 2nd International Conference on Material Modelling ICMM, Paris, August 2011

3.2 Publikationen

Gross, D.; Seelig, Th.: *Bruchmechanik – Mit einer Einführung in die Mikromechanik*. Springer Verlag, 2011

Gross, D.; Seelig, Th.: *Fracture Mechanics – with an introduction to micromechanics*. Springer, 2011

Helbig, M.; Seelig, Th.: *Micro-mechanical modeling of fibrillation in amorphous polymers*. Computational Materials Science, zur Veröffentlichung angenommen

Helbig, M.; Seelig, Th.: *Crack tip fields in rubber-toughened polymers*. PAMM, Proc. Appl. Math. Mech. (2011)

Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *Geometrically exact theory for contact interactions of 1D manifolds. Algorithmic implementation with various finite element models*. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, available online 2 April 2011

Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *Frictional Interaction of a spiral rope and a cylinder – 3D generalization of the Euler-Eytelwein formula considering pitch*. Zur Veröffentlichung eingereicht (2011)

Konyukhov, A.; Metzger, A.; Schweizerhof, K.: *Finite Element implementation for the Euler-Eytelwein problem and further use in FEM simulations of common nautical knots*. PAMM, Proc. Appl. Math. Mech. (2011)

3.3 Konferenz-/Workshopbeiträge - Vorträge

Eberhard, L.; Hellmann, D.; Schindler, H.J.; Schmitter, M.; Giannakopoulos, N.N.: *Masticatory Performance: Particle-size distributions determined using optical scanning versus sieving*. IADR Conference, Budapest, 31.08-03.09.2011

Eberhard, L.; Hellmann, D.; Schindler, H.J.; Schmitter, M.; Giannakopoulos, N.N.: *Craniofacial biology, mineral tissue, and pulp biology and regeneration*. IADR Conference, Budapest, 31.08-03.09.2011 (Poster)

Franz, U.; Münz, T.; Stahlschmidt, S.; Gromper, A.; Schweizerhof, K.: *Development of highly validated Dummy-Models for Crash Simulations*. 11th US National Congress on Computational Mechanics, Minneapolis – St. Paul, Minnesota, July 2011

Giannakopoulos, N.N.; Hellmann, D.; Schmitter, M.; Krüger, B.; Schindler, H.J.: *Co-Kontraktionen der Halswirbelsäulenmuskulatur während submaximaler Aktivierung der Kaumuskulatur*. DGFDT-Tagung, Bad Homburg, 02.-03.2011

Helbig, M.; Seelig, Th.: *Multiscale Modeling of Deformation and Failure in ABS Materials*. 13. Problemseminar "Deformation und Bruchverhalten von Kunststoffen", Merseburg, June 2011

Hellmann, D.; Giannakopoulos, N.N.; Krüger, B.; Schmitter, M.; Schindler, H.J.: *Neuro-muscular interaction of jaw and neck muscles during clenching*. IADR Conference, Budapest, 31.08-03.09.2011

Hempel, P., Seelig, Th.: *Talcum particle reinforced thermoplastics – material modeling and simulation*, LS-DYNA-Forum 2010, Bamberg, 12. – 13. Oktober 2010.

Hempel, P., Seelig, Th.: *Talcum particle modified thermoplastics, Part II: Computational Modeling*. 13. Problemseminar "Deformation und Bruchverhalten von Kunststoffen", Merseburg, June 2011

Hempel, P., Seelig, Th.: *Modeling the finite strain deformation of amorphous thermoplastic polymers accounting for processing induced initial anisotropy*. 2nd International Conference on Material Modelling ICMM, Paris, August 2011

Izi, R.; Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *Covariant description for contact problems with large load steps*. II. International Conference on Computational Contact Mechanics (ICCCM2011), Hannover, June 2011

Knoll, O.; Hopperstad, O.S.; Langseth, M.; Schweizerhof, K.: *Numerical modelling of aluminium die castings using a probabilistic approach*. 3rd International Conference on Impact Loading of Lightweight Structures (ILLS2011), Valenciennes, France, June 28 – July 1, 2011

Knoll, O.; Schweizerhof, K.; Hopperstad, O.S.; Langseth, M.: *Failure modelling in aluminium HPDC components: Using a probabilistic approach*. GACM Colloquium on Computational Mechanics, Dresden, August 31 – September 2, 2011

Konyukhov, A.: *Curve-To-Curve Contact Model – various applications*. Research seminar org. by Prof. Dr. Ing. S. Hartmann, Institute of Applied Mechanics, TU Clausthal-Zellerfeld, 23.11.2010

Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *Contact between curves and rigid surfaces – theory and verification*. II. International Conference on Computational Contact Mechanics (ICCCM2011), Hannover, June 2011

Lenz, J., Schweizerhof, K.: *Mundgerecht: Konuskrone – Implantate – Kiefergelenk-Dysfunktionen. Beiträge der Forschungsgruppe Biomechanik des KIT zur Zahnmedizin*. Gesellschaft zur Pflege wissenschaftlicher Kontakte im Hause „Heinrich Hertz“, 4. Mai 2011.

Lorenz, D.; Haufe, A.; Schweizerhof, K.: *Berücksichtigung der Mikrostrukturentwicklung in der Blechumformsimulation: Status und Ausblick*. Workshop Simulation in der Umformtechnik, TU Dortmund, März 2011

Mattern, S.; Schweizerhof, K.: *Highly efficient solid-shell finite elements for dynamic applications – an implementation concept using symbolic programming*. 8th International Conference on Structural Dynamics (EURODYN 2011), Leuven, Belgien, Juli 2011

Maurer, A.; Schweizerhof, K.: *Stability of fluid and/or gas filled thin-walled multi-chamber structures using quasi-static fluid-structure interaction*. 4th International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering (Coupled Problems 2011), Kos, Greece, June 2011

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

Metzger, A.; Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *Finite element implementation for the Euler-Eytelwein Problem and further use in FE simulation of common nautical knots*. II. International Conference on Computational Contact Mechanics (ICCCM2011), Hannover, June 2011

Schmied, Ch.; Mattern, S.; Schweizerhof, K.: *An automated and efficient implementation concept for shell elements with high computational performance in explicit time integration*. 4th GACM Colloquium on Computational Mechanics for Young Scientists from Academia and Industry, TU Dresden, August 31 – September 2, 2011

Schweizerhof, K.: *Dreidimensionale FE-Modellierung der HWS zur Simulation realistischer neuromuskulärer Wechselwirkungen zwischen Kiefer- und Halsmuskulatur*, Workshop Biomedizinische Technik, Universität Heidelberg, 22. November 2010

Schweizerhof, K.: *Virtuelle Insassensimulation im Fahrzeugcrash – Von der Dummy-Betrachtung zur Menschmodellierung*. Die Zukunft der Mobilität - Tag der offenen Tür im Campus Ost des KIT, 2. Juli 2011

Schweizerhof, K.; Konyukhov, A.: *A contact model for ropes and rigid bodies – from verification of the Euler-Eytelwein problem to knots*. 11th US National Congress on Computational Mechanics, Minneapolis – St. Paul, Minnesota, July 2011

Schweizerhof, K.; Konyukhov, A.: *A contact model for rope and shell interaction*. TCCM2011, Trends & Challenges in Computational Mechanics, Padua, Italy, September 2011

Seelig, Th.: *Continuum – Micromechanics*. Tutorial, Molecular Modelling Course, BASF, Mannheim, October 27 - 29, 2010

Seelig, Th.: *Vom Frühstücksei zum Shatter Cone – einige Phänomene der Bruchdynamik*. Antrittsvorlesung, Karlsruher Institut für Technologie, 12. Juli 2011

Seelig, Th.; Helbig, M.; Hempel, P.: *Multiscale modeling of failure in thermoplastic polymers*. Invited keynote lecture. Advances in Polymer Science and Technology (APST) 2, Linz, September 28 – 30, 2011

3.4 Kursteilnahmen / Austausch

LS-DYNA-Infotag „Implementierung von Materialroutinen“, Stuttgart, 24.11.2010, M. Helbig

GAMM-Seminar on Continuum Biomechanics, Freudenstadt, 24. – 26.11.2010, B. Krüger

Annual SIMLab Seminar 2011, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 17. – 18.03.2011, O. Knoll

DAAD-PPP-Programm, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 21.03. – 15.04.2011, M. Helbig und Ph. Hempel

CISM-Kurs “Nondeterministic Mechanics”, Udine, Italien, 09. – 13. Mai 2011, O. Knoll

XFEM-Seminar, Braunschweig, 14. – 16. September 2011, R. Izi und Ch. Schmied

3.5 **Auszeichnungen**

Dipl.-Ing. Andreas Metzger:

Bilfinger Berger Preis 2010 und Schöck Bau-Innovationspreis 2011 für die Diplomarbeit „Seile mit Kontakt und Reibung: Finite Elemente Implementierung für das Euler-Eytelwein-Problem und weiterführende Anwendung bei der FE Modellierung von Seemannsknoten“

Dipl.-Ing. Susanne Müller:

Tulla-Medaille und Bilfinger Berger Preis 2010 für die Diplomarbeit „Numerische Untersuchungen zum temperaturabhängigen Deformationsverhalten thermoplastischer Kunststoffe“

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

- Mechanics Research Communications
- International Journal of Fracture
- Proceedings of Applied Mathematics and Mechanics
- Computational Materials Science

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)

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 Lenkungs Ausschusses 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
- Gutachter für die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- Gutachter für die German Israeli Foundation (GIF)
- Gutachter für Research Grants Council Hongkong

Prof. Seelig

- Organisation der Sektion "Bruch- und Schädigungsmechanik" bei der Jahrestagung der Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik, Graz 2011

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
- Dr.-Ing. Ingolf Müller: GAMM
- Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof: GAMM, GACM, ECCOMAS, 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

Hochdynamik – Experimentell-numerische Charakterisierung von Werkstoffen unter Stoßbelastung. Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Hiermaier, Fraunhofer Institut für Kurzezeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, Freiburg, 18.11.2010

Constitutive models for thermoplastics – calibration and validation. Prof. Dr.-Ing. Arild H. Clausen, SIMLab, Dept. of Structural Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 30.11.2010

Finite-Elemente-Analyse zur Untersuchung von Schlauchwehren. Dipl.-Math. techn. Anne Maurer, 11.01.2011

Stochastic Response Analysis of a Linear Structure Excited by a Non-Stationary Model of Earthquake. Prof. Dr.-Ing. Jorge E. Crempien-Laborie, Civil Engineering Dept., College of Engineering and Applied Sciences, Universidad de Los Andes, Santiago, Chile, 27.01.2011

Stability and imperfection analysis procedures. Prof. Jože Korelc, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, University of Ljubljana, Slovenia, 17.02.2011

Yield surfaces for PVC and HDPE. Anne Serine Ognedal, M.Sc., SIMLab, Dept. of Structural Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 17.05.2011

Material characterization in Trondheim – PC and ABS. Dipl.-Ing. Martin Helbig und Philipp Hempel, M.Sc., Institut für Mechanik, 24.05.2011

Einflüsse aus der Materialcharakterisierung auf die Crash-Simulation von Aluminium-Strangpressprofilen. Diplomvortrag Lukas Schulenberg, 31.05.2011

Nichtlineare Berechnungen von Bauteilen aus kurzglasfaserverstärkten Kunststoffen unter stoßartiger Belastung. Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Kolling, Institut für Mechanik und Materialforschung, Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen / DKI Darmstadt, 09.06.2011

Implementierung eines 2-Knoten-Stabelements unter Verwendung der geometrisch und physikalisch nichtlinearen Elastizitätstheorie. Vortrag zu Studienarbeit, cand.ing. Marek Fassin, 22.07.2011

Untersuchung zur Vernetzung von Einheitszellen mittels der Gauß-Punkt-Methode. Vortrag zu Studienarbeit, cand.ing. Michael Krawiec, 22.07.2011

Implementierung und Analyse von Scheibenelementen mit höheren Ansatzfunktionen verschiedener Klassen. Vortrag zu Studienarbeit, cand.ing. Christian Lorenz, 22.07.2011

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), Projekttitle: Multiscale modelling of thermoplastic polymers

5.3 Gäste

Prof. Jorge Crempien Laborie, 01.10.10 – 31.07.11, Mercator-Gastprofessur DFG

Prof. Jože Korelc, University of Ljubliana, 17. – 18.02.2011

Dr. Umut Almaç , Istanbul Technical University, 06. – 12.03.2011, Untersuchungen an Finite Elemente-Modellen der Hagia Sophia - Erdbebenbelastung

Anne Serine Ognedal, M.Sc, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 02.05. – 16.06.2011, DAAD-Austausch

Prof. Arild H. Clausen, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 25.-27.07.2011, DAAD-Austausch