

Institut für Mechanik



Institutsbericht 2010 Berichtszeitraum Oktober 2009 bis September 2010

© 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	7
2.1 Lehrveranstaltungen	7
2.2 Beschreibung der Lehrveranstaltungen	9
2.2.1 Statik starrer Körper	9
2.2.2 Festigkeitslehre	9
2.2.3 Dynamik	9
2.2.4 Mechanik für Geodäten	10
2.2.5 Einführung in die Kontinuumsmechanik	10
2.2.6 Grundlagen der Baudynamik	10
2.2.7 Kontinuumsmechanik	11
2.2.8 Finite Elemente	11
2.2.9 Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme	12
2.2.10 Modellbildung in der Festigkeitslehre	12
2.2.11 Kinetische Stabilitätskriterien	13
2.2.12 Seminar für Mechanik	13
2.2.13 Bruch- und Schädigungsmechanik	13
2.2.14 Anwendungsorientierte Materialtheorien	14
2.2.15 Contact Mechanics I: Static Problems	14
2.2.16 Contact Mechanics II: 3D Problems and Dynamics	14
2.2.17 Messtechnisches Praktikum I	15
2.2.18 Messtechnisches Praktikum II	15
2.2.19 Laborpraktikum	15
2.3 Prüfungen	16
2.4 Studienarbeiten	16
2.5 Diplomarbeiten/Masterarbeiten	16
3. FORSCHUNG	18
3.1 Ausgewählte Projekte	18

3.1.1	Entwicklung einer Systematik zur programmunterstützten Entwicklung von hoch effizienten Schalenelementen für transiente Analysen	18
3.1.2	Finite-Elemente-Analyse zur Untersuchung von Faltenbildung in Schlauchwehren	21
3.1.3	Implementation of the Nitsche approach for various contact kinematics	23
3.1.4	Implementierung eines effizienten rotationssymmetrischen Volumenelementes für explizite Zeitintegration	25
3.1.5	Behaviour and Modelling of Normalized Aluminium Die Castings Subjected to Impact Loading	27
3.1.6	Mikromechanische Modellierung von Schädigung durch Fibrillationsprozesse in thermoplastischen Kunststoffen	29
3.1.7	Finite-Element-Modellierung der Halsmuskulatur	31
3.1.8	Schädigungen in vollkeramischen Kronen und Brücken	33
3.1.9	Verformungen, Beanspruchungen und Verlagerungen des discus articularis unter funktionellen und parafunktionellen Belastungen des Unterkiefers	34
3.2	Publikationen	35
3.3	Wissenschaftliche Vorträge	36
3.4	Kursteilnahmen	38
3.5	Gutachter wissenschaftlicher Publikationen und Forschungsprojekte	38
4.	AKTIVITÄTEN IN ORGANISATIONEN VON LEHRE UND FORSCHUNG	39
4.1	Universitäre Selbstverwaltung	39
4.2	Aktive Mitarbeit bei nationalen und internationalen Organisationen	39
4.3	Mitgliedschaft bei wissenschaftlichen Vereinigungen	39
5.	SONSTIGE AKTIVITÄTEN UND KONTAKTE	41
5.1	Vorträge im Seminar für Mechanik	41
5.2	Kooperationen	41

1. **Organisation und Personal**

1.1 **Gliederung des Institutes**

Institutsleitung

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

Prof. Dr.-Ing. Thomas Seelig

Lehrkörper

Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof

Prof. Dr.-Ing. Thomas Seelig

Dr.-Ing. Ingolf Müller

Interne Forschungsabteilungen

Labor für elektronisches Rechnen

Labor für experimentelle Mechanik

1.2 **Wissenschaftliche Mitarbeiter**

Dr.-Ing. Ingolf Müller, Akad. Rat

Dr. Alexander Konyukhov (DFG und AIF)

Dipl.-Ing. Johann Bitzenbauer (Planstelle und DFG)

Dipl.-Ing. Gunther Blankenhorn (DFG, bis 31.01.10)

Dipl.-Ing. Martin Helbig (DFG, ab 01.12.09)

M.Sc. Philipp Hempel (Planstelle)

Dipl.-Ing. Ridvan Izi (Planstelle)

Dipl.-Ing. Octavian Knoll (Industriemittel)

Dipl.-Ing. Bastian Krüger (DFG, ab 01.07.10)

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

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

Dipl.-Ing. Georgios Michaloudis (DFG)

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

Dipl.-Ing. Christoph Schmied (Planstelle, ab 01.03.10)

1.3 **Weitere Institutsangehörige**

Dr. rer.nat. Jürgen Lenz, Forschungsgruppe Biomechanik

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

1.4 **VT-Personal**

Marianne Benk (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**

cand.-ing. Ahmad Diaa Aboustif
cand.-ing. André Blumenstock
cand.-ing. Michael Dutzi
cand.-ing. Marek Fassin
cand.-ing. Julian Finkbeiner
cand.-ing. Michael Fuhrer
cand.-ing. Elisabeth Grohme
cand.-ing. Ralf Gurt
cand.-ing. Valentin Heid
cand.-ing. Alexander Hillenberg
cand.-ing. Helen Hoof
cand.-ing. David Richard Kalb
cand.-ing. Georgia Kikis
cand.-ing. Matthias Kotlik
cand.-ing. Michael Krawiec
cand.-ing. Christian Lorenz
cand.-ing. Andreas Ludwig
cand.-ing. Petra Mann
cand.-ing. Moris Martini
cand.-ing. Oana Mrenes
cand.-ing. Nikola Nachkov
cand.-ing. Fatih Ok
cand.-ing. Andreas Rutschmann
cand.-ing. Dominique Sghair
cand.-ing. Michael Strobl
cand.-ing. Kerstin Vonnieda
cand.-ing. Jakob Weber
cand.-ing. Halil Yeniavci

1.7 **Tutoren**

cand.-Ing. Jannika Erichsen
cand.-ing. Marek Fassin
cand.-ing. Frank Fickenscher
cand.-ing. Helen Hoof
cand.-ing. Simon Klarmann
cand.-ing. Michael Krawiec
cand.-ing. Johannes Kuhnt
cand.-ing. Philipp Kunkel
cand.-ing. Christian Lorenz
cand.-ing. Petra Mann
cand.-ing. Mirka Maurer
cand.-ing. Michael Müller
cand.-ing. Johannes Pauen
cand.-ing. Svenja Paulus
cand.-ing. Tobias Riehle
cand.-ing. Katharina Rohr
cand.-ing. Vitali Ruhl
cand.-ing. Monika Schultes
cand.-ing. Sebastian Schwarz
cand.-ing. Jakob Weber
cand.-ing. Tobias Wiegert

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 Pflichtveranstaltung im Studiengang Geodäsie.

Tabellarische Übersicht der angebotenen Lehrveranstaltungen

Lehrveranstaltung	im	Dozent	V *	Ü *	FS	Prüfung
Grundstudium, Pflicht						
Statik starrer Körper	WS 09/10	Schweizerhof Maurer	3	2	1	P
Festigkeitslehre	SS 10	Schweizerhof Schmied	4	2	2	P, K
Dynamik	WS 09/10	Seelig Müller	2	2	3	P
Mechanik für Geodäten	WS 09/10	Müller	2	2	3	P
Vertiefung, Pflicht						
Einführung in die Kontinuumsmechanik	WS 09/10	Seelig Ruck	1	1	5	S
Grundlagen der Baudynamik	SS 10	Müller	2	0	6	S
Kontinuumsmechanik	SS 10	Seelig Hempel	2	1	6	P
Vertiefung, Wahlpflicht						
Finite Elemente	WS 09/10	Schweizerhof Izi	2	2	5/7	P
Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme	SS 10	Schweizerhof Izi	2	2	8	P
Modellbildung in der Festigkeitslehre (nicht stattgefunden)	WS 09/10	Schweizerhof	2	-	8	P
Kinetische Stabilitätskriterien (nicht stattgefunden)	SS 10	Schweizerhof	2	-	7	P
Seminar für Mechanik	WS 09/10 SS 10	Schweizerhof Seelig	2 2	-	6-8	
Vertiefung, Wahl						
Bruch- und Schädigungsmechanik	WS 09/10	Seelig Hempel	2	2	6/8	
Anwendungsorientierte Materialtheorien	SS 10	Seelig Helbig	2	2	6/8	
Contact Mechanics I	WS 09/10	Konyukhov	2	2	7	

Contact Mechanics II	SS 10	Konyukhov	2	2	8	
Laborpraktikum 3. FS.	WS 09/10	gemeinsame Veranstaltung mehrerer Institute		2	3	S
Messtechnisches Praktikum I	SS 10	Müller, Ruck	-	10	6	S
Messtechnisches Praktikum II	WS 09/10	Müller, Ruck	-	10	7	S

*Angabe der Semesterwochenstunden V = Vorlesung
P = Prüfungsleistung K = semesterbegleitende Klausur

Ü = Übung
S = Studienleistung

2.2 **Beschreibung der Lehrveranstaltungen**

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

2.2.1 **Statik starrer Körper**

Ziel:

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 / Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof / Dipl.-Math. techn. Anne Maurer
Turnus/ Kursdauer: Wintersemester (1. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 5 SWS (3 SWS Vorlesung, 2 SWS Übungen) / 7,5 Punkte

2.2.2 **Festigkeitslehre**

Ziel:

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 / Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof / Dipl.-Ing. Christoph Schmied
Turnus/ Kursdauer: Sommersemester (2. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 6 SWS (4 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung) / 9 Punkte

2.2.3 **Dynamik**

Ziel:

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 / Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Thomas Seelig / Dr.-Ing. Ingolf Müller
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

Ziel:

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 / Betreuer: Dr.-Ing. Ingolf Müller
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

Ziel:

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 / Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Thomas Seelig / Dipl.-Ing. Chistine Ruck
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

Ziel:

Im Vordergrund steht die Phänomenologie von Bauwerksschwingungen. Durch Kenntnis der Ursachen werden Konzepte erarbeitet, wie Schwingungen vermieden oder auf ein erträg-

liches 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 / Betreuer: Dr.-Ing. Ingolf Müller
Turnus / Kursdauer: Sommersemester (6. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 2 SWS Vorlesung / 3 Punkte

2.2.7 **Kontinuumsmechanik** (Vertiefungsrichtung Geotechnisches Ingenieurwesen)

Ziel:

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

2.2.8 **Finite Elemente**

Ziel:

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 / Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof / Dipl.-Ing. Ridvan Izi
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

Ziel:

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 Strukturdynamik 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 Schwerpunkt 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 niederer 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 / Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof / Dipl.-Ing. Ridvan Izi
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

Ziel:

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 Anwendungs-

bereiches. Die Grenzen der in der Festigkeitslehre üblichen Modelle werden aufgedeckt und Übergänge zwischen Modellvorstellungen werden diskutiert.

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

2.2.11 Kinetische Stabilitätskriterien

Ziel:

Für eine mathematisch abgesicherte Theorie der Stabilität von Gleichgewichtslagen bieten sich zwei duale Methoden an, nämlich die Erste und die Zweite Methode von Liapunov. Auf der Basis beider Methoden werden ingenieurpraktische Begriffe definiert und an einfachen mechanischen Modellen erläutert. Die Vorlesung soll ein grundsätzliches Verständnis für die Begriffe Gleichgewicht, Stabilität und Sensitivität vermitteln.

Dozent / Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof
Turnus / Kursdauer: Sommersemester (8. Fachsemester) / 1 Semester
Umfang / ECTS: 2 SWS Vorlesung / 3 Punkte

2.2.12 Seminar für Mechanik

Ziel:

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

2.2.13 Bruch- und Schädigungsmechanik

Ziel:

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

2.2.14 Anwendungsorientierte Materialtheorien

Ziel:

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

2.2.15 Contact Mechanics I: Static Problems

Goals:

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 / Betreuer: 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 / Betreuer: 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

Ziel:

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: Dr.-Ing. Ingolf Müller, 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

Ziel:

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

2.2.19 Laborpraktikum (gemeinsame Lehrveranstaltung 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: Dr.-Ing. Ingolf Müller, 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 09/10	SS 10
Statik starrer Körper	268	51
Festigkeitslehre	86	226
Festigkeitslehre, Studiengang Angewandte Geowissenschaften	1	15
Dynamik	165	78
Mechanik für Geodäten	4	-
Einführung in die Kontinuumsmechanik	50	34
Grundlagen der Baudynamik	4	42
Kontinuumsmechanik	-	10
Finite Elemente	5	
Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme	5	
Messtechnisches Praktikum	8	

2.4 Studienarbeiten

Metzger, Andreas: Implementierung eines isoparametrischen Scheibenelements mit quadratischen Serendipity-Ansätzen

Awwad, Manuel: Implementierung eines isoparametrischen Scheibenelements mit quadratischen Lagrange-Ansätzen, Februar 2010

Hillenberg, Alexander: Implementierung eines isoparametrischen Scheibenelements mit quadratischen Serendipity-Ansätzen, März 2010

Lang, Eliane: Implementierung eines isoparametrischen Scheibenelements mit quadratischen Serendipity-Ansätzen, April 2010

Walendy, Bernhard: Implementierung eines isoparametrischen Scheibenelements mit quadratischen Lagrange-Ansätzen, Mai 2010

Lazarov, Nikolay: Implementierung eines isoparametrischen LST-Scheibenelements,

2.5 Diplomarbeiten/Masterarbeiten

Hillenberg, Alexander: Erweiterung und Implementierung eines dehnratenabhängigen Materialmodells für anisotrope thermoplastische Kunststoffe, 29. Januar 2010

Müller, Susanne: Numerische Untersuchungen zum temperaturabhängigen Deformationsverhalten thermoplastischer Kunststoffe, 31. Januar 2010

Schmied, Christoph: Implementierung eines effizienten rotationssymmetrischen Volumenelementes für explizite Zeitintegration, 22. Februar 2010

Lazarov, Nikolay: Methoden zur nichtlinearen Topologieoptimierung für Crashlastfälle mit Anwendung auf Extrusionsprofile, 16. April 2010

Krüger, Bastian: Verformungen, Beanspruchungen und Verlagerungen des Discus articularis unter statischen funktionellen und parafunktionellen Belastungen des Unterkiefers, 23. April 2010

Förderer, Anja: Robustheits- und Sensitivitätsuntersuchungen für Crash-Simulationen im Seitenschutz, 30. Juni 2010

Metzger, Andreas: Seile mit Kontakt und Reibung: Finite Elemente Implementierung für das Euler-Eytelwein-Problem und weiterführende Anwendung bei der FE-Modellierung von Seemannsknoten, 7. Juli 2010

3. Forschung

3.1 Ausgewählte Projekte

3.1.1 Entwicklung einer Systematik zur programmunterstützten Entwicklung von hoch effizienten Schalenelementen für transiente Analysen

DFG SCHW 307/20-1 „Entwicklung hoch effizienter Schalenelemente mit quadratischer Ansatzordnung in Schalenebene für transiente Analysen - Aufbau einer Systematik zur programmunterstützten Entwicklung von Schalenelementen“, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Bearbeitung: Steffen Mattern, Karl 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:

Die Implementierung der jeweiligen Routine zur Aufstellung des Knotenkraftvektors für die umgesetzten Elementformulierungen erfolgt vollständig durch symbolische Programmierung auf Basis von ACEGEN. Hierbei werden sämtliche erforderliche Operationen – z.B. Ableitungen – in der symbolischen Meta-Sprache umgesetzt, die Erzeugung und gleichzeitige Optimierung der Programmroutine erfolgt dann automatisch. Die zunächst für Volumenschalenelemente mit linearer und quadratischer Interpolation von Geometrie und Verschiebungen in Schalenebene entwickelte Systematik konnte nach kleineren Anpassungen auch auf degenerierte Schalenformulierungen angewendet werden. Ein weiterer Schwerpunkt der Projektarbeit war die Implementierung zunächst elastischer Materialformulierungen für große Deformationen, wobei derzeit auch an der symbolischen Umsetzung von Stoffgesetzen mit Plastizität gearbeitet wird, da sich auch hier die symbolische Programmierung als sehr hilfreiches Werkzeug herausstellte.

Im Rahmen einer Diplomarbeit [8] konnte die Systematik auch auf eine weitere Elementklasse – rotationssymmetrische Volumenelemente – angewendet werden. Erneut zeigten sich deutlich die Vorteile gegenüber händischer Programmierung hinsichtlich des Programmieraufwandes und der Rechenzeiten.

Die Ergebnisse wurden im Rahmen von Konferenzbeiträgen auf der SSTA 2009 [1,5], der GAMM 2010 [2,6], der ECCM 2010 [3] und der CST 2010 [4,7] publiziert. An einer entsprechenden Zeitschriftenpublikation wird derzeit gearbeitet. Des Weiteren steht die Fertigstellung des Projektberichtes für die DFG in Kombination mit einem entsprechenden Neuantrag unmittelbar bevor. Ergebnisse aus den Publikationen sind in Abbildung 1 angegeben.

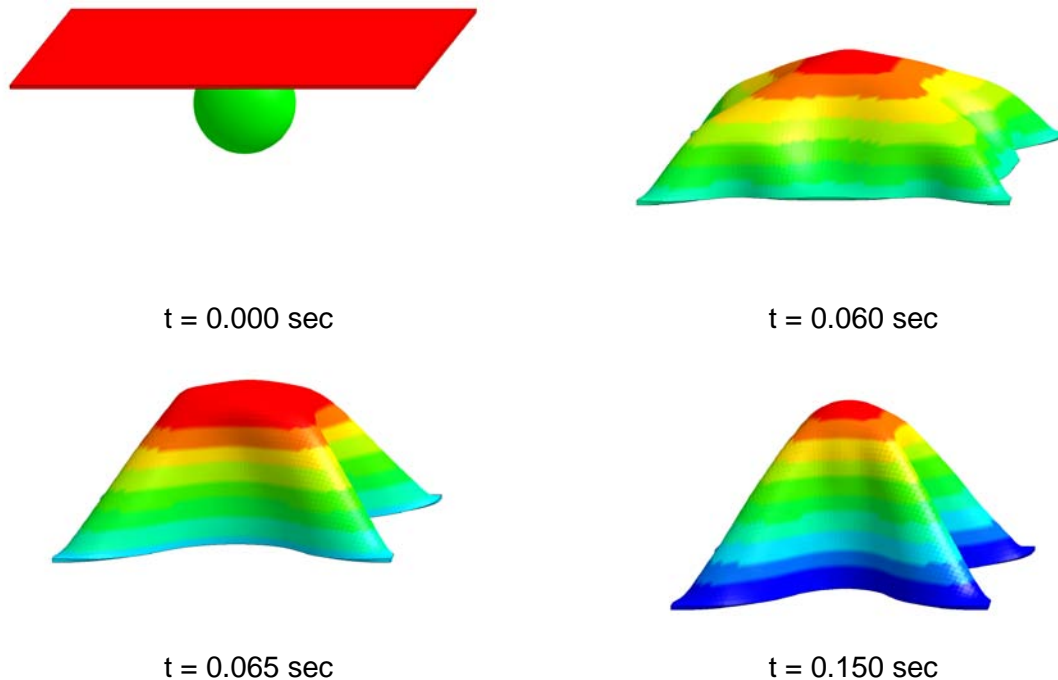


Abbildung 1: Durchschlageffekt bei dünner elastischer Platte nach Impact auf starre Kugel – Simulation mit Volumenschalenelementen und expliziter Zeitintegration

Tagungsbeiträge

[1] Mattern, S; Schweizerhof, K.: *On an efficient implementation of 'Solid-Shell' finite elements with quadratic shape functions for explicit time integration*, 9th International Conference "Shell Structures, Theory and Applications", Oktober 2009, Jurata (Polen)

[2] Mattern, S; Schweizerhof, K.: *Highly Efficient Implementation of ANS/ EAS 'Solid-Shell' Finite Elements for Explicit Time Integration*, 81st Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics (GAMM), März 2010, Karlsruhe.

[3] Mattern, S; Schweizerhof, K.: *Highly Efficient Implementation of 'Solid-Shell' Finite Elements with Enhanced Assumed Strains in Explicit Time Integration*, IV European Conference on Computational Mechanics (ECCM), Mai 2010, Paris (Frankreich).

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

Buch- und Zeitschriftenbeiträge

[5] Mattern, S; Schweizerhof, K.: *On an efficient implementation of 'Solid-Shell' finite elements with quadratic shape functions for explicit time integration*, In: Shell Structures,

Theory and Applications – Volume 2, W. Pietraszkiewicz & I. Kreja (eds.), 265 – 268, CRC Press, 2009

[6] Mattern, S; Schweizerhof, K.: *Highly Efficient Implementation of ANS/ EAS 'Solid-Shell' Finite Elements for Explicit Time Integration*, In: Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics, 2010.

[7] Mattern, S; Schweizerhof, K.: *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.

Betreute Diplomarbeiten

[8] Ch. Schmied: *Implementierung eines effizienten rotationssymmetrischen Volumenelements für explizite Zeitintegration*, 25.02.2010

3.1.2 Finite-Elemente-Analyse zur Untersuchung von Faltenbildung in Schlauchwehren

Projekt in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau: „Finite-Elemente-Analyse zur Untersuchung von Schlauchwehren (Untersuchung zum Einfluss der Geometrie auf die Faltenbildung und die Spannungen bei luftgefüllten Schlauchwehren)“

Bearbeitung: Anne Maurer, Karl Schweizerhof

Motivation

Schlauchwehre werden weltweit zum Hochwasserschutz, zum Aufstauen von Flüssen und als Sturmflutwehr benutzt. In Deutschland gibt es ungefähr 200 Schlauchwehre, die mit Wasser und/oder Luft gefüllt sind. Bei bestehenden Schlauchwehren tritt sehr oft das Problem der Faltenbildung auf. Dabei bildet sich eine tiefe Falte nahe den Wehrwangen, durch die Oberwasser unkontrolliert abfließen kann. Um dieses Problem und damit auftretenden Spannungsspitzen zu vermeiden, wurden als erster Schritt Parameterstudien für den Fall des luftgefüllten Schlauchwehrs durchgeführt. Die Berechnungen wurden dabei mit einem eigens programmierten Algorithmus in LS-Dyna durchgeführt.

Kurzfassung

Zur Untersuchung von Schlauchwehren mit Hilfe von Finiten Elementen wurde das Netz parameterbasiert mit Hilfe von ANSYS erstellt. Die reale Geometrie sowie das Netz sind in Bild 1 dargestellt.

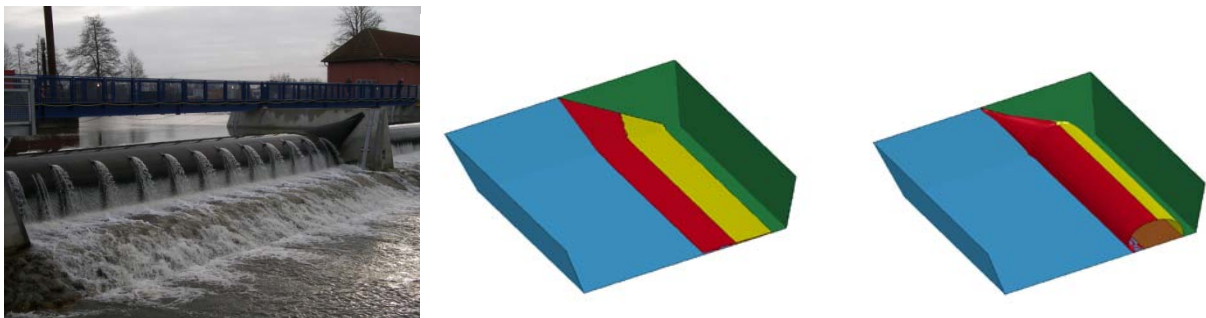


Abbildung 1: Schlauchwehr (Marklendorf), Ausgangsgeometrie, Endzustand nach Füllung

Da das Volumen, das zur Änderung des Gas- und Fluiddrucks beiträgt, über Projektionsrichtungen berechnet wird, wurden in der Simulation „Wände“ für das Ober- und Unterwasser angebracht. Bei Nutzung der Symmetrie wurde dann nur das halbe Schlauchwehr mit LS-Dyna unter Annahme eines elastischen Materialverhaltens und quasi-statischer Lastaufbringung simuliert.

Zusätzlich zu der Bestimmung von Spannungsspitzen konnte die Faltenbildung untersucht werden. Dafür wurden alle simulierten Schlauchwehre in drei Klassen aufgeteilt: Unzulässige Schlauchwehre mit einer tiefen Falte, nicht klassifizierbare Schlauchwehre mit kleineren Falten und zulässige Schlauchwehre, bei denen kleine Falten nur oberhalb der Höhe in Schlauchwehrmitte liegen.

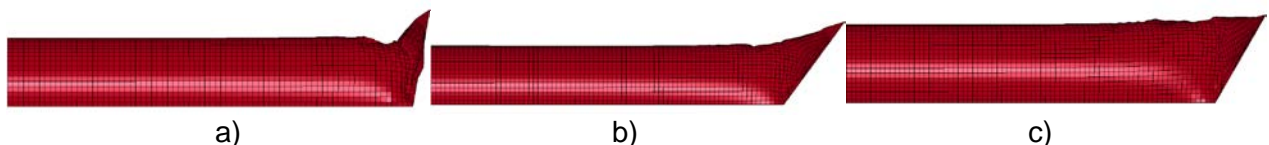


Abbildung 2: a) Unzulässiges, b) nicht klassifizierbares und c) zulässiges Schlauchwehr Kriterium Faltengeometrie

Damit kann eine Richtlinie zur Geometrie von Schlauchwehren hergeleitet werden. Diese besteht aus einer einheitenfreien Formel, deren Ergebnis auf ein zulässiges oder unzulässiges Schlauchwehr führt. Im Allgemeinen ist dabei eine kleine Wangenneigung günstiger als eine große Neigung sowie ein großer Durchmesser besser als ein kleiner Durchmesser.

Vorträge:

Haßler, M.; Rumpel, T.; Maurer, A.; Schweizerhof, K.: *Large Deformation and Stability Analysis of Thin Shell and Membrane Structures under Gas/Fluid Loading and Support.*

Maurer, A.: *Quasi-statische Fluid-Struktur Interaktion mit großen Deformationen.*
Seminarvortrag, 24.10.2009

3.1.3 Implementation of the Nitsche approach for various contact kinematics

Bearbeiter: Ridvan Izi

Introduction

Contact problems within numerical approaches like the finite element method are mainly dealing with well known contact formulations like the Penalty or Lagrange multipliers method. For some particular problems these methods are not sufficient and thus other approaches like the so-called Nitsche approach have to be investigated.

Nitsche approach

The Nitsche approach, thereby, starting in analogy to optimization theory is enforcing constraints in a fully variational sense, thus, dealing with two different sets of Lagrange multipliers for the considered constraints of non-penetration and of equilibrium of stresses of the contacting bodies. With the specific choice of the Lagrange multiplier set used for the constraint of equilibrium of stresses of the contacting bodies and the derived physical interpretation of the non-penetration terms two types of the Nitsche formulation are gained.

The first type of Nitsche formulation comparable for instance with the formulation given by Heintz and Hansbo [1] is leading to a stabilized Lagrange multiplier method based on a global polynomial discretization of the multiplier space, thus, denoted as to be the Bubnov-Galerkin-wise partial substituted formulation. Besides this, a Gauss point-wise substituted formulation is achieved - first introduced by Wriggers and Zavarise [2] - which leads to a matrix formulation in the primary variables. The latter method modifies the unconstrained functional by adding extra terms and a stabilization which is related to the classical penalty method. These new terms are characterized by the presence of contact forces that are computed from the stresses in the continuum elements.

FE implementation and numerical example

Both formulations for the Nitsche algorithm using the so-called closest-point procedure (see [3] and Figure 1) are implemented in a geometrically nonlinear solid element with Neo-Hookean material law by considering Surface-To-Analytical-Surface (STAS) kinematics. STAS expresses the check of contact against a rigid body with an analytically parameterized surface.

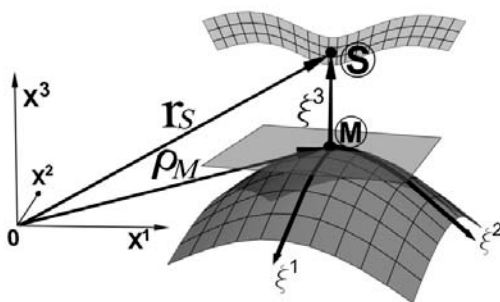


Figure 1: Definition of a spatial coordinate system specific for closest-point procedure

For verification purposes both formulations were used for a setup of a free bending metal sheet on two cylinders. The geometrical setup is presented in Figure 2.

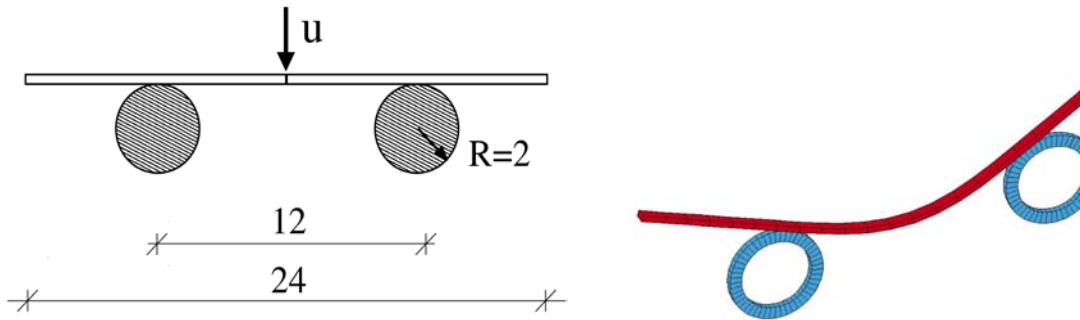


Figure 2: Setup of metal sheet on two rigid cylinders: geometrical properties, deformed situation with predefined u

As reference formulation for the Nitsche approaches the standard Penalty scheme was used. Within the given experimental setup both Nitsche formulations performed similar to the Penalty scheme (see Figure 3), but showed high sensitivity regarding the amount of Gauss points and the chosen penalty value. The Nitsche approach with the Bubnov-Galerkin-wise partial substituted Lagrange multipliers was performing more robust, thus, allowing a larger range of values. Simpler examples like closure examples found in literature do not show such a kind of high sensitivity. But examining complex setups like the metal forming example with a non-frictional sliding such sensitivities are observable.

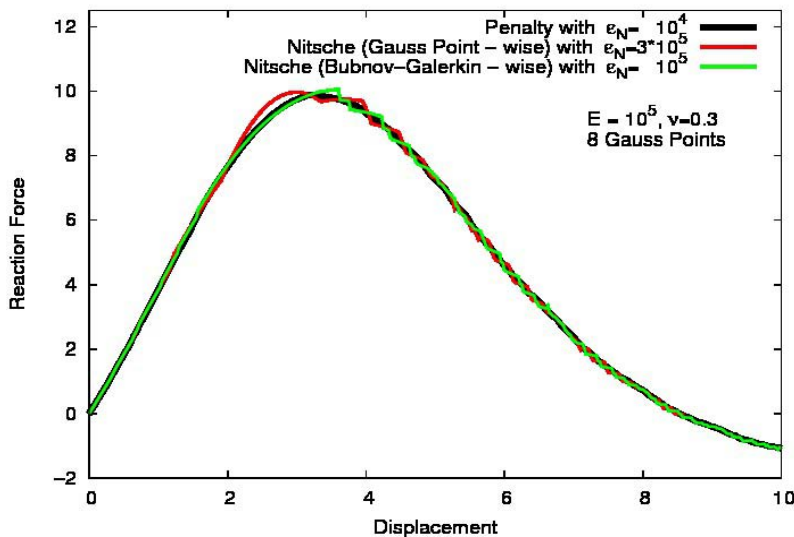


Figure 3: Displacement-reaction force diagram with 8 Gauss points and best performing penalty factor for each scheme

References

- [1] P. Heintz and P. Hansbo, Stabilized Lagrange multiplier methods for bilateral elastic contact with friction, *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.* 195, 4323-4333 (2006).
- [2] P. Wriggers and G. Zavarise, A formulation for frictionless contact problems using a weak form introduced by Nitsche, *Comp. Mech.* 41, 407-420 (2008).
- [3] A. Konyukhov and K. Schweizerhof, Contact formulation via a velocity description allowing efficiency improvements in frictionless contact analysis, *Comp. Mech.* 33, 165-173 (2004).

3.1.4 Implementierung eines effizienten rotationssymmetrischen Volumenelementes für explizite Zeitintegration

Diplomarbeit

Bearbeitung: Christoph Schmied, Betreuung: Steffen Mattern, Karl Schweizerhof

Motivation

Für die Simulation rotationssymmetrischer Strukturen haben sich achsensymmetrisch formulierte Elemente aufgrund ihrer Effizienz bewährt. Die Ausnutzung von Symmetrieeigenschaften spart 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 bei der Implementierung auf effizientes Programmieren zu achten.

Kurzfassung

Die Implementierung der Elementroutine 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.

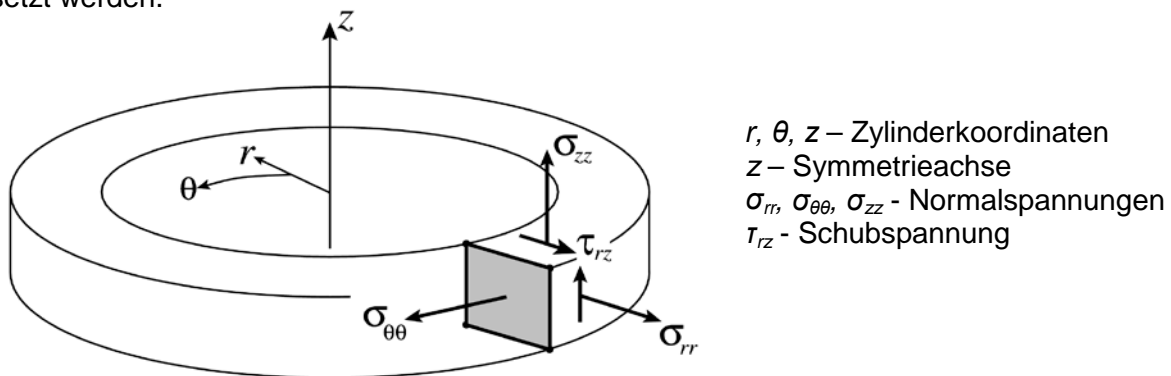


Bild 1: Achsensymmetrisches 4 Knoten Element

Die Formulierung eines achsensymmetrischen Elementes erfolgt nach Bild 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. Bei der Beschreibung der Materialeigenschaften ist es jedoch erforderlich zu beachten, dass in Umfangsrichtung eine Verzerrung und somit eine Normalspannung auftritt.

Für dünne Elemente und nahezu inkompressibles Material treten künstliche Versteifungsphänomene auf. Ein geometrischer Versteifungseffekt ist das Querschublocking, welches durch spezielle Interpolation der Schubverzerrungen reduziert wird. Die dabei eingesetzte Methode der angenommenen Verzerrungen (ANS) wurde durch BATHE und DVORKIN eingeführt. Ebenfalls wird volumetrisches Locking als materieller Versteifungseffekt identifiziert. Dieser Locking-Effekt wird beispielsweise durch Erweiterung der Normalverzerrungen reduziert. Die Methode der erweiterten Verzerrungen (EAS) basiert auf Entwicklungen von SIMO und RIFAI.

Anhand der Einschnürung eines langen Zylinders werden der geometrische und materielle Locking-Effekt untersucht. In Bild 2 werden zwei Konvergenzstudien verglichen. Im linken Bild wird bei inkompressiblem Materialverhalten ein vollintegriertes Element mit einem mit der EAS-Methode erweiterten Element verglichen. Im rechten Bild wird analog dazu die Konvergenz bei Schublocking zwischen einem vollintegrierten Element und einem mit der ANS-Methode modifizierten Element verglichen. In Bild 3 werden die Ausgangsgeometrie und der eingeschnürte Zylinder gezeigt.

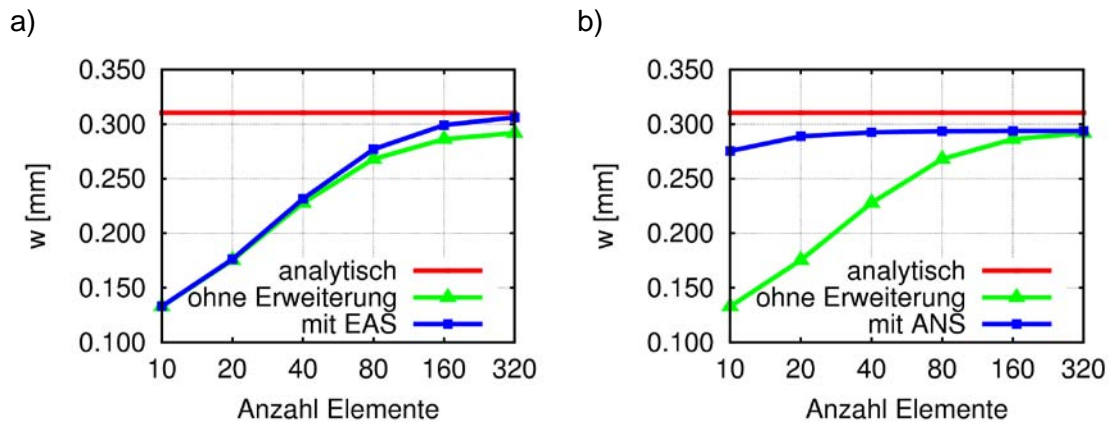


Bild 2: Konvergenzstudien bei a) inkompressiblem Materialverhalten und bei b) Schublocking

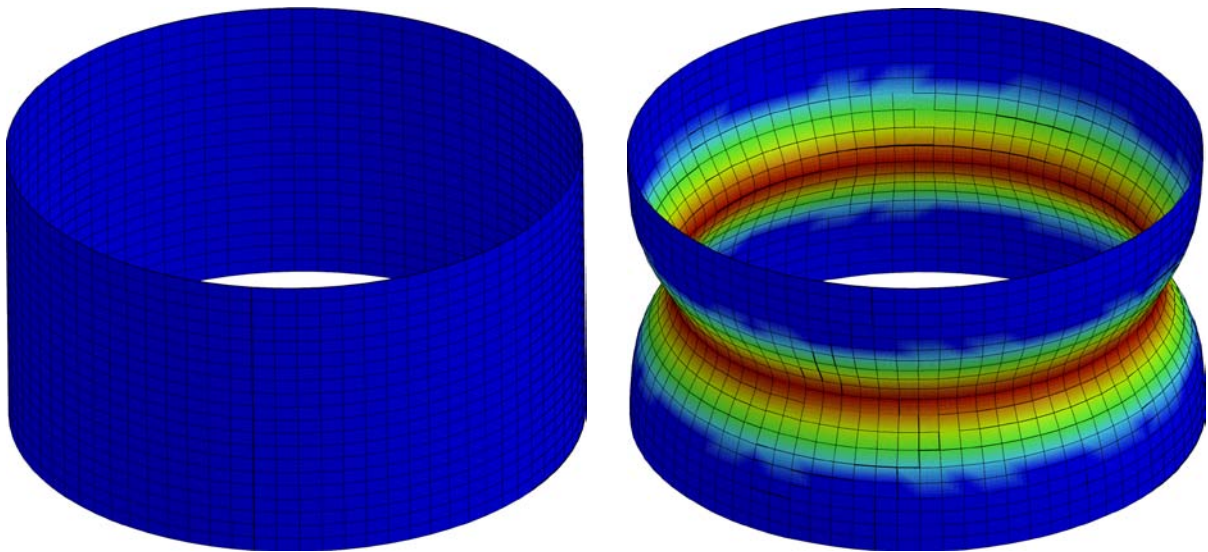


Bild 3: Unverformte und deformierte Zylindergeometrie

3.1.5 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: Octavian Knoll, Karl Schweizerhof

Motivation

Der Einsatz von Aluminium-Druckgusskomponenten im Karosseriebau stellt eine große Herausforderung an die Konstruktion dar. Infolge des Druckgussprozesses kommt es zu einer heterogenen Verteilung der mechanischen Eigenschaften im Bauteil. Die Verteilung hängt zum einen von der Bauteilgeometrie und zum andern von den Gießparametern ab. Die mechanischen Eigenschaften werden von den variierenden Fehlstellen im Druckgussprozess (Erstarrungsporosität, Gasporosität, Oxidhäute, Kaltfließstellen, etc.) bestimmt. Mit Hilfe der Finiten Elemente (FE) Simulation können Schwachstellen in Bauteilen unter verschiedenen Lastfällen identifiziert und konstruktiv beseitigt werden. Die Schwierigkeit in der FE Simulation von Druckgussbauteilen liegt in der Erfassung der Verteilung der mechanischen Eigenschaften.

Stand der Arbeit

Um das Materialverhalten in Aluminium-Druckgusskomponenten zu analysieren, wurden Zugproben aus mehreren Referenzbauteilen entnommen (siehe Abbildung 1). Basierend auf den quasi-statischen Zugversuchen konnten die Spannungs-Dehnungs-Diagramme sowie die mechanischen Kennwerte bestimmt werden. Die Materialcharakterisierung hat gezeigt, dass die mechanische Eigenschaften nicht nur global sondern auch stark lokal streuen. Insbesondere die Duktilität variiert nicht nur im Bauteil sondern auch an den jeweiligen Entnahmepositionen.

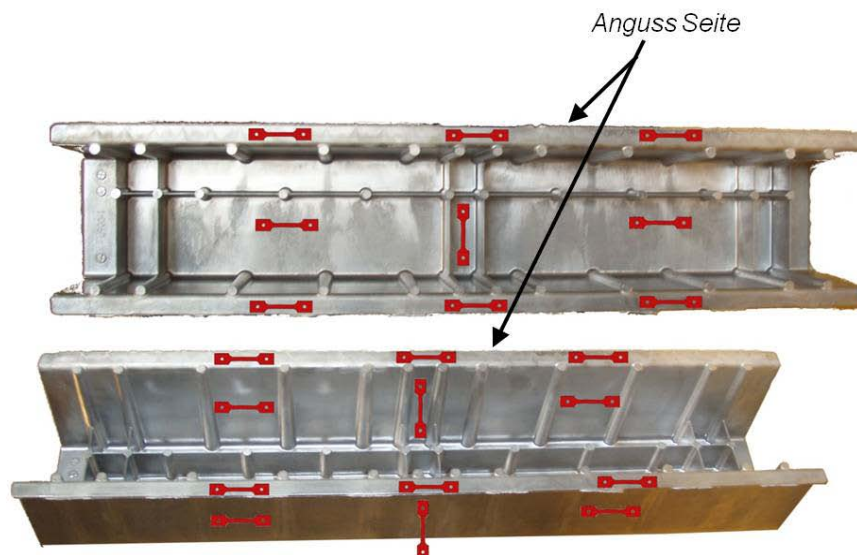


Abbildung 1: Entnahmepositionen der Zugproben aus dem Referenzbauteil U900-1

Ausgehend von diesen Beobachtungen wurde ein Materialmodell mit einer modifizierten v. Mises Plastizität und einem probabilistischen Ansatz für das Versagenskriterium entwickelt. Im Gegensatz zu einem deterministischen Ansatz kann bei einem probabilistischen Ansatz

die Streuung der mechanischen Eigenschaften berücksichtigt werden. Dieser Ansatz führt schließlich zu Aussagen über die Versagenswahrscheinlichkeit. Als Versagenskriterium wurde das phänomenologische und duktile Versagenskriterium nach Cockcroft-Latham gewählt. Hierbei wurde angenommen, dass der kritische Versagensparameter in Form einer Wahrscheinlichkeitsverteilung nach Weibull vorliegt. Das Materialmodell wurde in das FE-Programm LS-DYNA implementiert. In Abbildung 2 wird die numerische Vorhersage mit den Ergebnissen aus den Zugversuchen verglichen. Dargestellt sind die Ergebnisse aus zwei markanten Bereichen des Referenzbauteils. Die experimentellen Ergebnisse zeigen das dominierende Streuverhalten in der Duktilität. Zusätzlich sind die entsprechenden Versagenswahrscheinlichkeiten dargestellt. In beiden Fällen gibt das Materialmodell den Verlauf der Versagenswahrscheinlichkeit sehr gut wieder.

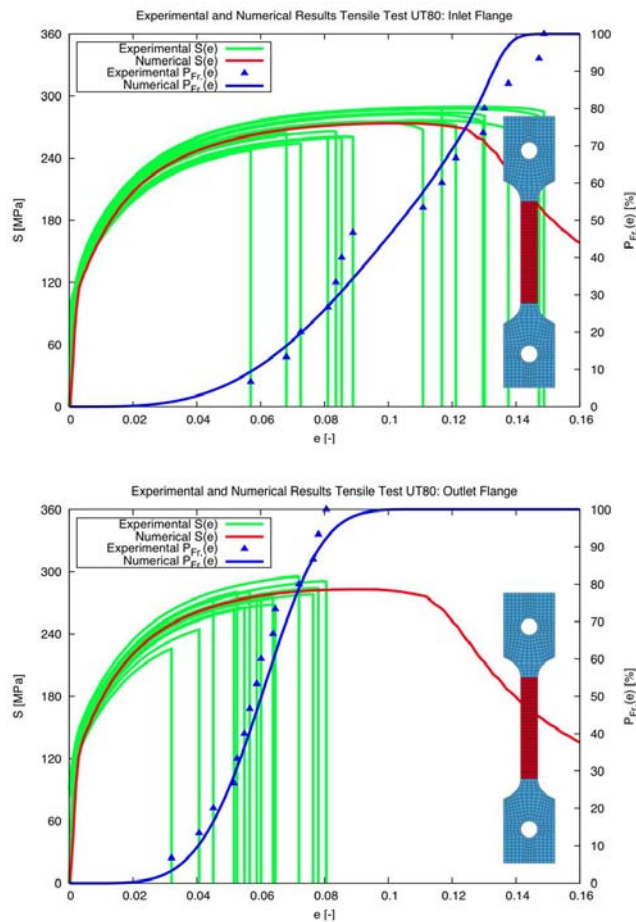


Abbildung 2: Numerische und experimentelle Ergebnisse aus einem angussnahen (links) und einem angussfernen (rechts) Bereich: Technische Spannung über technische Dehnung (grün = Versuch, rot = Simulation); Versagenswahrscheinlichkeit über technische Dehnung (blaues Dreieck = Versuch, blaue Linie = Simulation)

Die Simulation der Zugversuche hat in einem ersten Schritt gezeigt, wie eine probabilistische Methode in der FE Modellierung von Aluminium Druckgussbauteilen genutzt werden kann. Im nächsten Schritten muss die Methode anhand von Bauteilversuchen validiert werden. Zudem sind weitere Ansätze für die Wahrscheinlichkeitsverteilung zu prüfen. Da der probabilistische Ansatz nur die lokale, nicht jedoch die globale Streuung wiedergeben kann, muss eine Konzept entwickelt werden, welches die Ergebnisse einer Gieß-Simulation mit der Eingabe einer FE-Simulation koppelt.

3.1.6 Mikromechanische Modellierung von Schädigung durch Fibrillationsprozesse in thermoplastischen Kunststoffen

DFG SE 875/5-2 „Untersuchung des Einflusses mikroskopischer Deformationsmechanismen auf das makroskopische Verhalten gummimodifizierter Thermoplaste“, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Bearbeitung: Martin Helbig, Thomas Seelig

In thermoplastischen Kunststoffen kann es unter Zugbelastung zur Schädigung in Form von Wachstum und Vereinigung von Mikroporen kommen. Das sich zwischen den Poren befindliche Material wird dabei zu dünnen Polymerfibrillen verstreckt. Typische Beispiele für Fibrillationsprozesse sind aufreissende Klebschichten (Abb. 1) oder die Bildung sogenannter Craze-Zonen. Letztere werden im Rahmen eines von der DFG geförderten Projektes (SE 872/5) zum *Einfluss mikroskopischer Deformationsmechanismen auf das makroskopische Verhalten gummimodifizierter Thermoplaste* untersucht.



Abb. 1: Fibrillation in aufreissender Klebschicht (Fraunhofer IFAM)

Ein zentraler Aspekt bei der Fibrillenbildung ist der Topologiewechsel von anfänglich isolierten Poren in der Polymermatrix hin zu einem zusammenhängenden Porenraum mit isolierten Fibrillen (Abb. 2 links). Dieser Übergang und das anschließende Verstrecken der Fibrillen wurden mit Hilfe kontinuums-mikromechanischer Modelle und Finite-Elemente-Simulationen untersucht. Es wurde von einer gegebenen Anfangsverteilung von Poren ausgegangen. Die Polymermatrix wurde durch ein von M.C. Boyce und Mitarbeitern speziell für thermoplastische Kunststoffe entwickeltes Materialmodell der finiten Viskoplastizität beschrieben. Dieses Modell ist polymerphysikalisch motiviert und berücksichtigt insbesondere die zunehmende Orientierung und Streckung der Makromoleküle bei großen Deformationen. Auf Kontinuumsebene resultiert daraus eine progressive Verfestigung, welche eine wesentliche Voraussetzung für das Ziehen stabiler Fibrillen darstellt. Das Zusammenwachsen von Poren wurde numerisch durch das Löschen einzelner finiter Elemente modelliert. Die Elementelimination wird durch ein lokales Versagenskriterium kontrolliert, welches auf einem kritischen Verformungszustand des Materials zwischen den Poren basiert. Abbildung 2 (rechts) zeigt einen Ausschnitt aus dem verformten Finite-Elemente-Modell mit dem fibrillenartig verstreckten Material zwischen zusammengewachsenen Poren.

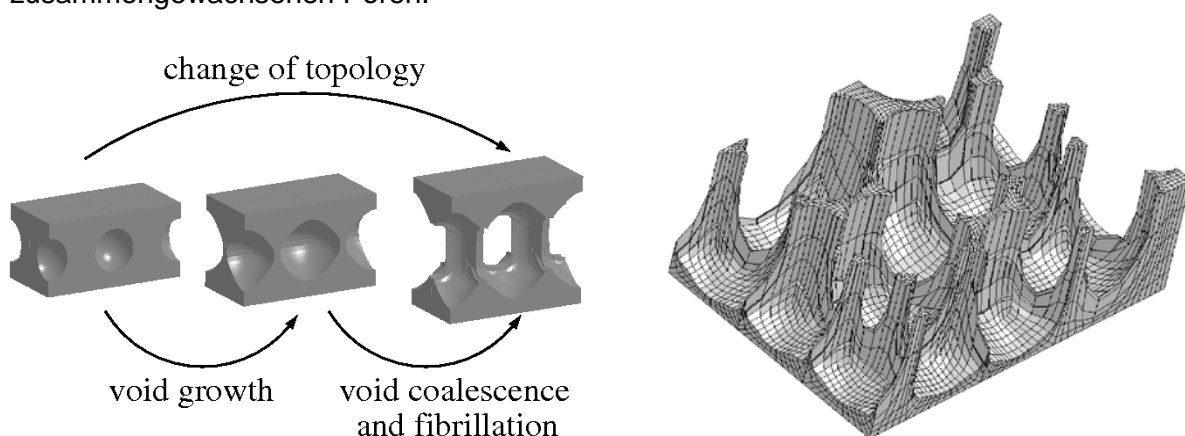


Abbildung 2: Topologiewechsel bei Fibrillenbildung (links), FE-Modell des fibrillenartig verstreckten Polymermaterials (rechts)

Die progressive Verfestigung des Polymermaterials bei großen Deformationen und damit die Grenzverstreckbarkeit ist maßgeblich durch die mittlere Anzahl N von Kettensegmenten zwischen Verschlaufungspunkten der Molekülketten gegeben. Eine kleine Zahl N (typisch z.B. für Polycarbonat, PC) bedeutet eine rasche Verfestigung, ein großes N (z.B. bei Polystyrol, PS) hingegen eine langsame Verfestigung und große Verstreckbarkeit. Für verschiedene Werte dieses Netzwerkparameters zeigt Abb. 3 die makroskopische Spannung über der makroskopischen Dehnung des FE-Modells. Die kritische Dehnung zur Kontrolle lokalen Versagens ist hier als konstant und unabhängig von N angenommen. In diesem Fall geht die Fähigkeit des Materials stabile Fibrillen auszubilden und Spannung zu übertragen mit wachsendem N verloren.

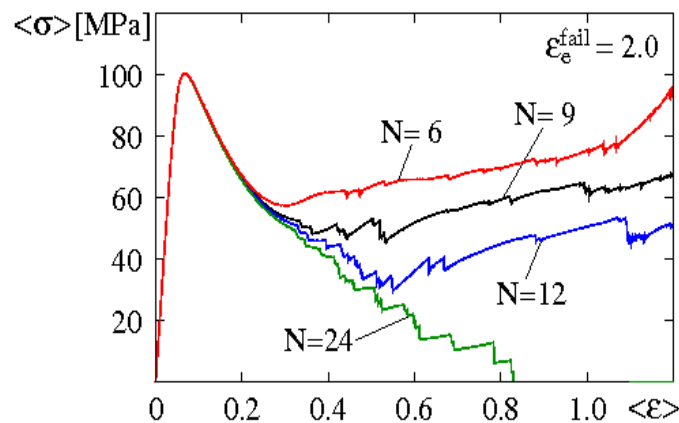


Abbildung 3: Makroskopische Spannungs-Dehnungs-Verläufe für verschiedene Werte des Molekülnetzwerkparameters N

Vortrag

Helbig, M., Seelig, T.: *Micromechanical modeling of craze fibril formation in glassy polymers*, 20th International Workshop on Computational Mechanics of materials, Loughborough, 2010.

Veröffentlichung

Helbig, M., Seelig, T.: *Micromechanical modeling of craze fibril formation in glassy polymers*. Computational Materials Science, eingereicht

3.1.7 Finite-Element-Modellierung der Halsmuskulatur

DFG SCHW 307/25-1: „Dreidimensionale Finite-Element-Modellierung der Halsmuskulatur zur Simulation realistischer Wechselwirkungen zwischen Kiefer- und Halsmuskulatur“, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Antragsteller: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof, PD Dr. med. dent Hans-Jürgen Schindler, Prof. Dr. med. dent. Peter Rammelsberg, Uni Heidelberg, PD Dr. med. dent. Marc Schmitter, Uni Heidelberg

Berater: Dr. rer. nat. Jürgen Lenz, Akad. Dir. i. R.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Bastian Krüger

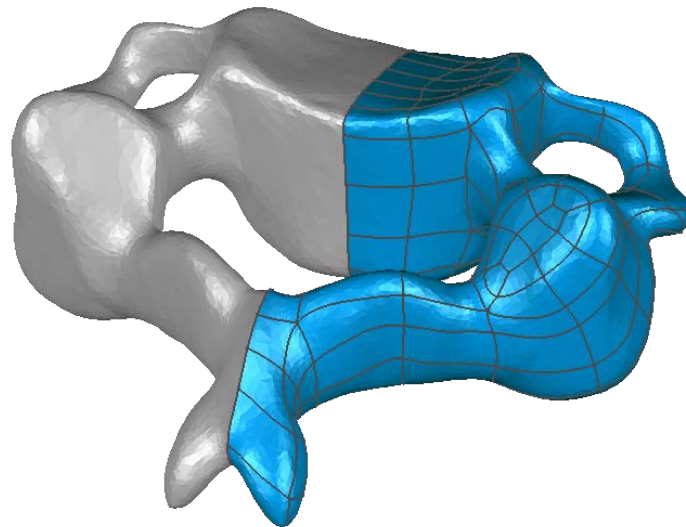


Abbildung 1: 3. Halswirbel (C3) mit NURBS Oberflächen in Vorbereitung zur Vernetzung mit Hexaeder-Elementen

Kurzfassung: Epidemiologische Studien zeigen, dass muskuloskelettale Schmerzen im Kiefer- und Gesichtsbereich (Myoarthropathien [MAP]) mit zunehmender Dauer der Beschwerden auch den Hals- und Nackenbereich (HWS) erfassen. Die Ausbreitung der Schmerzen wird mit durch Studien konsistent belegten biomechanischen Risikofaktoren (z.B. Zähneknirschen und Kieferpressen) in Verbindung gebracht, die im Kausystem ihren Ursprung haben. Für die Richtigkeit dieser Annahme liegen allerdings bis dato keine überzeugenden Belege aus kraftkontrollierten experimentellen Studien und validierten biomechanischen Modellen vor.

Im beantragten Förderzeitraum soll das von den Antragstellern in Vorprojekten (SCHW 307/8-1 und 8-2) bereits erarbeitete, durch die Kaumuskulatur ergänzte knöcherne Modell des Unter- und des Oberkiefers auf realistische Weise um die komplette knöcherne und muskuläre Struktur der Halswirbelsäule ergänzt werden. Damit läge ein dreidimensionales Volumenmodell vor, mit welchem sich bei realen Belastungen des Kausystems die synchron in der Halswirbelsäule auftretenden Belastungszustände realistisch simulieren ließen. Dieses Modell wird eine Reihe von Parametern enthalten, welche durch gezielte klinisch-experimentelle Untersuchungen verifiziert werden müssen.

In einem klinisch-experimentellen Modell sollen bei Probanden die neuromuskulären Wechselwirkungen zwischen Kausystem und HWS elektromyographisch untersucht werden. Hierzu sollen a) mit intraoralen Kraftmessvorrichtungen unter Feedback-Kontrolle gezielt Kraftvektoren erzeugt werden, wie sie bei statischen und quasistatischen Belastungen des Kausystems auftreten und b) das dabei entwickelte Kokontraktionsverhalten der HWS Muskulatur untersucht werden. Die hierbei aus einem breiten asymptomatischen Probandengut gewonnenen Parameter sollen nach der Umsetzung in ein FE-Modell und der Validierung

des Modells dazu dienen, zum einen Belastungszustände der HWS realistisch zu beschreiben und zum andern sowohl „normale“ als auch prospektiv pathogene Beanspruchungen der Muskulatur zu simulieren. Somatosensorische Tests sollen dabei valide Daten für Reizschwellen der Muskulatur unter verschiedenen Belastungszuständen liefern, um so für die Adjustierung der biomechanischen Simulationen geeignete Gewichtungparameter für die Belastbarkeit der unterschiedlichen Muskelgruppen zu erhalten. Ein grundlegend tieferes Verständnis der funktionellen Wechselwirkungen zwischen Kauapparat und HWS soll letzten Endes dazu beitragen, erfolgreichere therapeutische Interventionsstrategien zur Behandlung überlastungsbedingter myofaszialer Schmerzsyndrome zu entwickeln.

Bisher in Veröffentlichungen dokumentierte Voruntersuchungen:

Rues, S.; Lenz, J.; Türp, J.C.; Schweizerhof, K.; Schindler, H.J.: *Muscle and joint forces under variable equilibrium states of the mandible*. Clin. Oral Investig. 2010 Jun 29. [Epub ahead of print]

Schindler, H.J.; Lenz, J.; Türp, J.C.; Schweizerhof, K.; Rues, S.: *Influence of neck rotation and neck lateroflexion on mandibular equilibrium*. J Oral Rehabil. 2010 May 1;37(5):329-35. Epub 2010, Feb 18.

Schindler, H.J.; Lenz, J.; Türp, J.C.; Schweizerhof, K.; Rues, S.: *Small unilateral jaw gap variations: equilibrium changes, co-contractions and joint forces*. J Oral Rehabil. 2009 Oct;36(10):710-8. Epub 2009 Aug 12. Erratum in: J Oral Rehabil. 2009 Nov;36(11):856.

Rues, S.; Lenz, J.; Türp, J.C.; Schweizerhof, K.; Schindler, H.J.: *Forces and motor control mechanisms during biting in a realistically balanced experimental occlusion*. Arch Oral Biol. 2008 Dec;53(12):1119-28. Epub 2008 Aug 15.

Rues, S.; Schindler, H.J.; Türp, J.C.; Schweizerhof, K.; Lenz, J.: *Motor behavior of the jaw muscles during different clenching levels*. Eur J Oral Sci. 2008 Jun;116(3):223-8.

Schindler, H.J.; Rues, S.; Türp, J.C.; Schweizerhof, K.; Lenz, J.: *Jaw clenching: muscle and joint forces, optimization strategies*. J Dent Res. 2007 Sep;86(9):843-7.

3.1.8 Schädigungen in vollkeramischen Kronen und Brücken

In den vergangenen zehn Jahren wurde in zunehmendem Maße das Legierungsgerüst von metallkeramischen Kronen und Brücken durch ein Gerüst aus hochfesten Keramiken wie etwa Zirkondioxid (ZrO_2) oder Aluminiumoxid (Al_2O_3) ersetzt. Dies hat zwei Vorteile: Erstens wird damit die Ästhetik des Zahnersatzes wegen der Transluzenz der Konstruktion erhöht und zweitens ist Keramik ein biokompatibles Material. Allerdings hat sich über die Jahre herausgestellt, dass es in etwa 20% der Konstruktionen innerhalb von zwei Jahren zu Abplatzungen der Verblendkeramik, dem sog. chipping, kommt. In Zusammenarbeit mit der Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, wurde diesem Phänomen nachgegangen und insbesondere die Hypothese geprüft, ob für diese Schädigungen beim Sintervorgang durch zu hohe Temperaturgradienten (Wärmespannungen) erzeugte Mikrorisse in der Verblendkeramik verantwortlich sein könnten, die unter den beim Kauen überlagerten Lastspannungen instabil werden könnten. Für verschiedene Temperaturführungen beim Abkühlen von Modell-Kronen nach dem Sinterbrand wurde mit Hilfe von Thermoelementen die Temperatur in einer Reihe von Oberflächenpunkten aufgezeichnet, um die in der Krone auftretenden Temperaturgradienten, insbesondere im chipping-gefährdeten Höckerbereich der Krone, zu erfassen. Dabei stellte sich heraus, dass der bisher bevorzugte Abkühlungsprozess (Öffnen des Keramikofens kurz nach dem Brand bei ca. $800^{\circ}C$) durch einen modifizierten Prozess (Ofenöffnung erst nach Erreichen der sog. Glastransformationstemperatur der Verblendkeramik bei ca. $600^{\circ}C$) ersetzt werden sollte, weil dadurch eine Verringerung der Temperaturgradienten um etwa 30% und damit auch der auftretenden Wärmespannungen erzielt werden kann. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind zu finden unter

Temperaturgradienten in Kronen mit Gerüsten aus Zirkoniumdioxid (Y-TZP). Tholey, M., Thiel, N., Schindler, S., Rues, S., Lenz, J., Quintessenz Zahntechnik 2010, 36(9):1184-1198

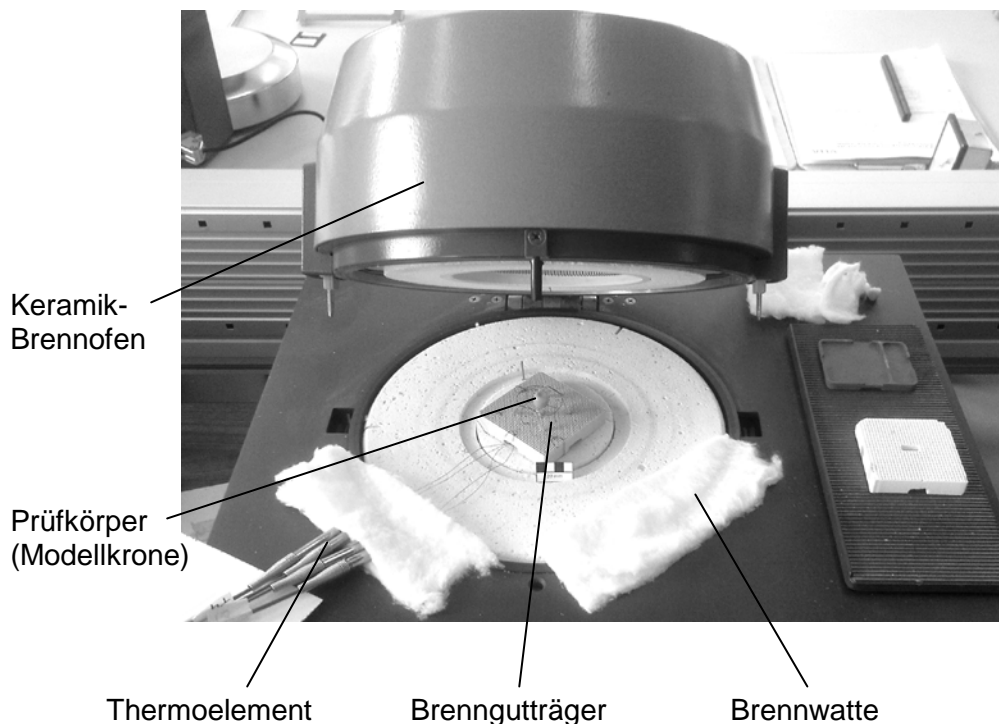


Abbildung 2: Versuchsaufbau

3.1.9 Verformungen, Beanspruchungen und Verlagerungen des discus articularis unter funktionellen und parafunktionellen Belastungen des Unterkiefers

Diplomarbeit

Bearbeitung: Bastian Krüger, Betreuung: Jürgen Lenz, Karl Schweizerhof

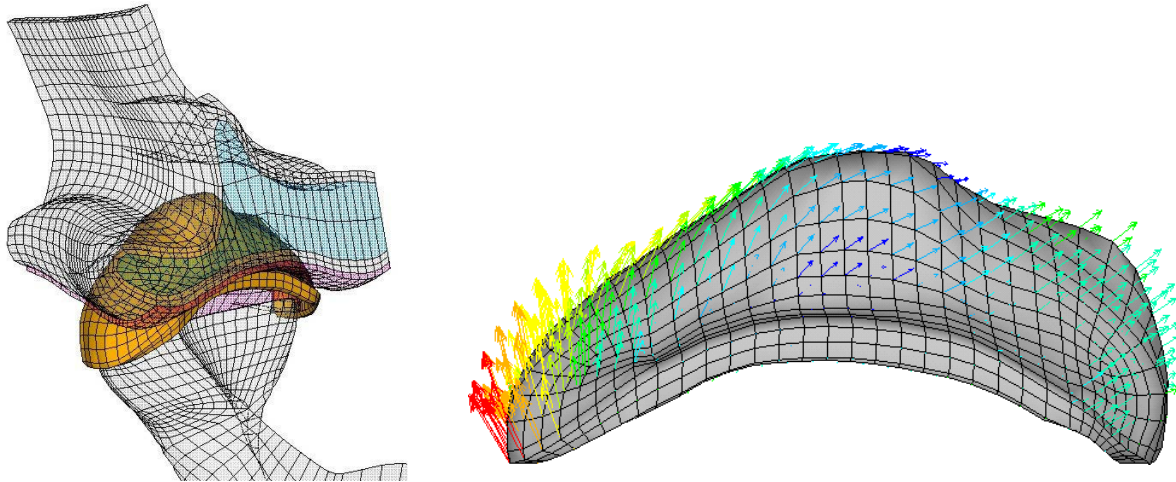


Abbildung 3: FE-Modell des Diskus und der angrenzenden Strukturen (links), Vektorplot der Verschiebungen im Diskus (rechts)

Das Kiefergelenk und insbesondere der discus articularis können Ausgangspunkt von leichten Beschwerden bis hin zu starken Schmerzen sein. Auslöser hierfür sind vornehmlich Überbeanspruchungen des Kauapparates, die z.B. beim Kieferpressen auftreten. Um das Verhalten des Diskus bei Beißvorgängen zu analysieren, wurde ein realistisches, hauptsächlich aus Hexaedern bestehendes FE-Modell des Diskus sowie des Unterkiefers und eines Ausschnittes des Schläfenbeins erstellt. Die mit dem Modell durchgeführten Simulationen beschränkten sich in dieser Pilotstudie auf rein vertikales Beißen. Materialgesetze für die teilhabenden Strukturen wurden der Literatur entnommen, teilweise jedoch in so weit modifiziert, dass aus Experimenten ermittelte Vorgaben eingehalten wurden. Als angreifende Lasten wurden die Kräfte der sechs am Kauvorgang beteiligten Muskel angesetzt. Die Ergebnisse geben Aufschluss über die Spannungsverteilung im Diskus und über seine Bewegungstendenzen. Sie zeigen vor allem eine tendenzielle „Fließbewegung“ des Diskus in medialer Richtung und ein Ablösen an seinem medial gelegenen Pol.

3.2 Publikationen

Helbig, M.; Seelig, T.: *Micromechanical modeling of craze fibril formation in glassy polymers*. Computational Materials Science, submitted

Hempel, P.; Hillenberg, A.; Seelig, T.: *Micromechanical modeling of talc particle reinforced thermoplastic polymers*. PAMM, Proc. Appl. Math. Mech. 10, 293-294, 2010

Izi, R.; Schweizerhof, K.; Konyukhov, A.: *Stability of thin-walled structures strongly coupled with contact*. PAMM, Proc. Appl. Math. Mech. 9/1, 713-714, 2009

Izi, R.; Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *Implementation of the Nitsche approach for various contact kinematics*. PAMM, Proc. Appl. Math. Mech., 2010

Kizio, S.; Schweizerhof, K.: *On using duality-based error estimation and mesh adaptation for the dynamic eigenvalue problem of plate and shell structures*. Computational Mechanics (in final preparation), 2010

Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.; Allert, B.: *Isogeometrical approach for cable type structures allowing large sliding contact*. PAMM, Proc. Appl. Math. Mech. 9/1, 257-258, 2009

Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *Geometrically exact covariant approach for contact between curves*. Computer Methods Appl. Mech. Eng., accepted, 2009

Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *Geometrically exact theory for contact interactions of 1D manifolds. Algorithmic implementations with various finite element models*. Computer Methods Appl. Mech. Eng. (in review progress), 2010

Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *Geometrically exact theory for contact interactions – case of 1D manifolds: curves, cables and beams*. PAMM, Proc. Appl. Math. Mech., 2010

Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *On a geometrically exact theory for contact interactions*. ICCCM 09, Lecce, Book of papers (in review process), 2010

Mattern, S.; Schweizerhof, K.: *On an efficient implementation of “solid-shell” finite elements with quadratic shape functions for explicit time integration*. Shell Structures, Theory and Applications – Volume 2, W. Pietraszkiewicz & I. Kreja (eds), 265-268, CRC Press, 2009.

Mattern, S.; Schweizerhof, K.: *Highly efficient implementation of ANS&/EAS solid-shell finite elements for explicit time integration*. PAMM, Proc. Appl. Math. Mech., 2010

Mattern, S.; Schweizerhof, K.: *Software supported implementation of efficient solid-shell finite elements*. 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

Müller, S.; Hempel, P.; Seelig, T.: *Simulation of thermomechanical loading processes on amorphous thermoplastic polymers*. PAMM, Proc. Appl. Math. Mech. 10, 327-328, 2010

Rues, S.; Schindler, H.-J.; Türp, J. C.; Lenz, J.; Schweizerhof, K.: *Influence of neck rotation and neck lateroflexion on mandibular equilibrium*. J. Oral Rehabil. 37(5), 2010 (Epub 2010 Feb. 12)

Rues, S.; Kröger, E.; Müller, D.; Schmitter, M.: *Effect of firing protocols on cohesive failure of all-ceramic crowns*. J Dent. 2010 Dec;38(12):987-94. Epub 2010 Aug 27.

Rues, S.; Schindler, H.-J.; Türp, J. C.; Lenz, J.; Schweizerhof, K.: *Muscle and joint forces under variable equilibrium states of the mandible*. Clin. Oral Investig. Jun 29, 2010 (Epub ahead of print)

Schindler, H.J.; Lenz, J.; Türp, J.C.; Schweizerhof, K.; Rues, S.: *Small unilateral jaw gap variations: equilibrium changes, co-contractions, joint forces*. Journal of Oral Rehabilitation, accepted for publication, 2009

Schmied, C.; Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *Verification of an isotropic Coulomb adhesion-friction law for contact surfaces with periodic structure*. PAMM, Proc. Appl. Math. Mech., 2010

Schmitter, M.; Rues, S.; Lenz, J.; Scheuber, S.; Schweizerhof, K.; Rammelsberg, P.: *Effect of several variables on the fracture load of teeth using fiber-reinforced posts and metal crowns. In-vitro test and finite element analysis*. Journal of Endodontics, eingereicht, 2009

Schmitter, M.; Rammelsberg, P.; Lenz, J.; Scheuber, S.; Schweizerhof, K.; Rues, S.: *Teeth restored using fiber-reinforced posts: in vitro fracture tests and finite element analysis*. Acta Biomater. 6(9), 2010 (Epub 2010, Mar 19)

Schmitter, M.; Lippenberger, S.; Rues, S.; Gilde, H.; Rammelsberg, P.: *Fracture resistance of incisor teeth restored using fibre-reinforced posts and threaded metal posts: effect of post length, location, pretreatment and cementation of the final restoration*. Int Endod J. 2010 May;43(5):436-42.

3.3 Wissenschaftliche Vorträge

Haufe, A.; Lorenz, D.; Schweizerhof, K.: *Modelle zur Beschreibung von Werkstoffverfestigung in Finite-Elemente-Berechnungen der Blechumformung*. 12. Workshop „Simulation in der Umformtechnik“, Institut für Statik und Dynamik der Luft- und Raumfahrtkonstruktionen, Universität Stuttgart, 2010

Helbig, M.; Seelig, T.: *Micromechanical modeling of craze fibril formation in glassy polymers*. IWCMM 20, Loughborough, 2010

Hempel, P.: *Micromechanical modeling of talc particle reinforced thermoplastic polymers*. Statusseminar des IWRMM, Karlsruhe, 16.4.2010

Hempel, P.: *Micromechanical modeling of talc particle reinforced thermoplastic polymers*. GAMM-Jahrestagung, Karlsruhe, 22.-26.4.2010

Hempel, P.: *Multiscale mechanical modeling of talc particle reinforced thermoplastic polymers*. ECCM 2010, Paris, 16.-21.5.2010.

Izi, R.: *Implementation of the Nitsche approach for various contact kinematics*. Statusseminar des IWRMM, Karlsruhe, 16.4.2010

Konyukhov, A.; Schmied, C.; Schweizerhof, K.: *A generalized anisotropic Coulomb adhesion-friction law – verification via homogenization for contact surfaces*. ECCM 2010, Paris, 2010.

Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *Contact interaction inside knots – towards the mechanics of knots*. ECCM 2010, Paris, 2010

- Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.: *Geometrically exact theory for contact interactions – case of 1D manifolds: curves, cables and beams*. WCCM 2010, Proc., Sydney, 2010
- Mattern, S.; Schweizerhof, K.: *An implementation concept for highly efficient linear and quadratic solid-shell finite elements for large deformation analysis with explicit time integration*. WCCM 2010, Proc., Sydney, 2010
- Mattern, S.; Schweizerhof, K.: *Highly efficient implementation of “solid-shell” finite elements with enhanced assumed strains in explicit time integration*. ECCM 2010, Proc., Paris, 2010
- Mattern, S.; Schweizerhof, K.: *Software supported implementation of efficient solid-shell finite elements*. 10th Int. Conference Computational Structures Technology, Proc., Valencia, 2010
- Maurer, A.; Haßler, M.; Schweizerhof, K.: *Vibration and stability analysis fo thin-walled structures filled with fluid or gas*. International Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics (IFASD), Seattle, Washington, 2009
- Schweizerhof, K.; Kessler, D.; Stahlschmidt, S.; Fressmann, D.: *On enhanced features in contact algorithms for commerical applications, experiences with LS-DYNA*. I. International Conference on Computational Contact Mechanics (ICCCM2009), Lecce, Italien, 2009
- Schweizerhof, K.; Kizio, S.: *On adaptive finite element analysis in structural dynamics of shell-like structures – a specific view on practical engineering applications and engineering modelling*. Proc. 7th European LS-DYNA Conference, Salzburg/Österreich, ed. DYNAMore GmbH, Stuttgart, 2009
- Schweizerhof, K.; Konyukhov, A.: *Covariant description for contact between curves: application to edge-to-edge and beam-to-beam contact*. 10th US National Congress on Computational Mechanics, Columbus, Ohio, 2009
- Schweizerhof, K.; Konyukhov, A.: *Isogeometrical approach for curved cables – application to the tying of knots*. I. International Conference on Computational Contact Mechanics (ICCCM2009), Lecce, Italien, 2009
- Seelig, T.: *Continuum mechanical modelling of deformation and failure mechanisms in thermoplastic multilayer composites*. 14th International Conference on Deformation, Yield and Fracture of Polymers, Kerkrade, 2009
- Seelig, T.: *Modelling damage and failure in polymeric multilayer composites*. GAMM annual meeting, Gdansk, Polen, 2009
- Seelig, T.: *Numerical investigation of the effect of microscopic deformation mechanisms on the mechanical behaviour of rubber-toughened ABS and PC/SAN multilayer materials*. 12. Problemseminar “Deformation und Bruchverhalten von Kunststoffen”, Meersburg, 2009
- Seelig, T.: *Simulation of thermo-mechanical loading processes on amorphous thermoplastic polymers*. GAMM Jahrestagung, Karlsruhe, 22.-26.4.2010
- Seelig, T.: *Macroscopic and microscopic modling of thermoplastic polymers*. SIMLab-Seminar, Trondheim, 10.6.2010
- Seelig, T.: *Dynamische Rissprobleme – mikroskopische und makroskopische Aspekte*. Geotechnische Seminarreihe, KIT, Karlsruhe, 17.6.2010

Seelig, T.: *Simulative Untersuchung von Deformations- und Schädigungsmechanismen in thermoplastischen Polymerwerkstoffen*. Karlsruher Werkstoff-Kolloquium, KIT, Karlsruhe, 29.6.2010

Seelig, T.: *Continuum Mechanical Modeling of Deformation and Failure of thermoplastic polymers*. AK-Seminar Polymer-Chemie (Prof. Wilhelm, KIT), Freudenstadt, 29.9.2010

3.4 Kursteilnahmen

CISM-Kurs "Modelling and Simulation of Multiscale Continuum Systems", Udine, Italien, 28.06. – 02.07.2010, Martin Helbig und Philipp Hempel

CISM-Kurs "Exploiting Nonlinear Behaviour in Structural Dynamics", Udine, Italien, 13. – 17.09.2010, Christine Ruck

1st MUSIC Summer School "Multiscale and Multiphysics Modeling of Interfaces", Leibniz Universität Hannover, 15. – 17.09.2010, Ridvan Izi

XFEM-Seminar, RWTH Aachen, 27. – 29.09.2010, Martin Helbig

3.5 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:

- Deutsche Forschungsgemeinschaft
- International Journal of Impact Engineering
- Proceedings of Applied Mathematics and Mechanics
- Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.

4. Aktivitäten in Organisationen von Lehre und Forschung

4.1 Universitäre Selbstverwaltung

Prof. Schweizerhof

- Vorsitzender der Vorprüfungskommission und der Bachelorkommission Bauingenieurwesen
- Prodekan der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften
- Vorsitzender des Prüfungsausschusses Regionalwissenschaft/-planung
- Mitglied des Vorstands des Instituts für Wissenschaftliches Rechnen und Mathematische Modellbildung (IWRMM)

Prof. Thomas Seelig

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

Gunther Blankenhorn

- Mittelbauvertreter in der Hauptprüfungskommission

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 der Universität Karlsruhe 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
- 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

4.3 Mitgliedschaft bei wissenschaftlichen Vereinigungen

- Dipl.-Ing. Johann Bitzenbauer: GAMM
- Dipl.-Ing. Gunther Blankenhorn: GAMM, GACM
- Philipp Hempel, M.Sc.: GAMM
- Dipl.-Ing. Ridvan Izi: GAMM
- Dr. Alexander Konyukhov: GAMM, GACM

- Dipl.-Ing. Steffen Mattern: GAMM
- Dipl.-Math. techn. Anne Maurer: GAMM
- Dipl.-Ing. Ingolf Müller: GAMM
- Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof: GAMM, GACM, VDI, WIR (Forschungsverbund „Wissenschaftliches Rechnen in Baden-Württemberg“)
- Prof. Dr.-Ing. Thomas Seelig: GAMM

5. Sonstige Aktivitäten und Kontakte

5.1 Vorträge im Seminar für Mechanik

Quasi-statische Fluid-Struktur Interaktion mit großen Deformationen, Dipl.-Math. techn. Anne Maurer, 24.10.2009

Numerische Untersuchungen zum temperaturabhängigen Deformationsverhalten thermoplastischer Kunststoffe. cand. ing. Susanne Müller, 28.01.2010

3D Gebietszerlegung und Kontakt. Dr.-Ing. Christian Hesch, Institut für Mechanik und Regelungstechnik, Universität Siegen, 02.02.2010

Erweiterung und Implementierung eines dehnratenabhängigen Materialmodells für anisotrope thermoplastische Kunststoffe. cand. ing. Alexander Hillenberg, 09.02.2010

Implementierung eines effizienten rotationssymmetrischen Volumenelementes für explizite Zeitintegration. cand. ing. Christoph Schmied, 25.02.2010

Verformungen, Beanspruchungen und Verlagerungen des Discus articularis unter statischen funktionellen und parafunktionellen Belastungen des Unterkiefers. cand. ing. Bastian Krüger, 23.04.2010

Methoden zur nichtlinearen Topologieoptimierung für Crashlastfälle mit Anwendung auf Extrusionsprofile. cand. ing. Nicolay Lazarov, 11.05.2010

Automation of computational modeling by automatic differentiation. Prof. Joze Korelc, University of Ljubljana, 22.06.2010

Vom Kontakt rauher Oberflächen zur Finite-Elemente-Diskretisierung. Prof. Dr.-Ing. habil. Kai Willner, Universität Erlangen-Nürnberg, 01.07.2010

Numerische Modellierung von Strukturen aus Holz. Prof. Dr.-Ing. Michael Kaliske, TU Dresden, 06.07.2010

Seile mit Kontakt und Reibung: Finite-Elemente-Implementierung für das Euler-Eytelwein-Problem und weiterführende Anwendung der FE-Modellierung von Seemannsknoten. cand. ing. Andreas Metzger, 09.07.2010

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.