



Universität Karlsruhe (TH)  
Forschungsuniversität • gegründet 1825

# INSTITUT FÜR MECHANIK



## INSTITUTSBERICHT 2007

Berichtszeitraum Oktober 2006 bis September 2007

© Institut für Mechanik, Universität Karlsruhe (TH)

Postanschrift:

Institut für Mechanik  
Universität Karlsruhe (TH)  
Kaiserstr. 12  
76131 Karlsruhe

e-mail: [ifm@uni-karlsruhe.de](mailto:ifm@uni-karlsruhe.de)

Telefon:

Sekretariat  
Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof

Fax:

<http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

+49 (0) 721-608-7745

+49 (0) 721-608-2070

+49 (0) 721-608-7990

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
<b>1. Organisation und Personal.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Gliederung des Institutes .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Wissenschaftliche Mitarbeiter .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Stipendiaten .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 VT-Personal.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Wissenschaftliche Hilfskräfte.....</b>	<b>4</b>
<b>1.6 Studentische Hilfskräfte .....</b>	<b>4</b>
<b>1.7 Tutoren .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Lehre und Studium.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Lehrveranstaltungen .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Beschreibung der Lehrveranstaltungen .....</b>	<b>7</b>
2.2.1 Statik starrer Körper.....	7
2.2.2 Festigkeitslehre.....	7
2.2.3 Dynamik.....	8
2.2.4 Grundlagen der Baudynamik.....	8
2.2.5 Einführung in die Kontinuumsmechanik .....	8
2.2.6 Kontinuumsmechanik .....	9
2.2.7 Finite Elemente.....	9
2.2.8 Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme .....	10
2.2.9 Plastizitätstheorie.....	10
2.2.10 Modellbildung in der Festigkeitslehre .....	10
2.2.11 Kinetische Stabilitätskriterien.....	11
2.2.12 Seminar für Mechanik.....	11
2.2.13 Contact Mechanics I: Static Problems.....	11
2.2.14 Contact Mechanics II: 3D Problems and Dynamics .....	12
2.2.15 Messtechnisches Praktikum .....	12
2.2.16 Laborpraktikum .....	12
<b>2.3 Prüfungen.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4 Diplomarbeiten/Masterarbeiten.....</b>	<b>13</b>
<b>2.5 Promotionen/Habilitationen.....</b>	<b>13</b>
<b>3. Forschung .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Grundlagenforschung.....</b>	<b>15</b>
3.1.2 Untersuchung der Sprengauswirkungen im Nahbereich, Verifizierung und Validierung globaler Sprengmodelle.....	15
3.1.3 Glockenklang und Glockenbeanspruchung, experimentelle Untersuchungen und numerische Analysen .....	17
3.1.4 Entwicklung hoch effizienter Schalenelemente mit quadratischer Ansatzordnung in Schalenebene für transiente Analysen Aufbau einer Systematik zur programmunterstützten Entwicklung von Schalenelementen .....	20
3.1.5 Entwicklung fluidgestützter geometrisch nichtlinearer Finiter Elemente mit Hilfe einer analytischen Fluidbeschreibung .....	22
3.1.6 Mehrskalenerrechnungen bei inhomogenen Körpern .....	24
<b>3.2 Publikationen .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 Wissenschaftliche Vorträge .....</b>	<b>27</b>
<b>3.4 Mitherausgeber und Gutachter wissenschaftlicher Publikationen .....</b>	<b>29</b>
<b>4. Aktivitäten in Organisationen von Lehre und Forschung .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 Universitäre Selbstverwaltung.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 Aktive Mitarbeit bei nationalen und internationalen Organisationen .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3 Mitglied bei wissenschaftlichen Vereinigungen.....</b>	<b>30</b>

# **1. Organisation und Personal**

## **1.1 Gliederung des Institutes**

Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof

Lehrkörper

Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof

Dr.-Ing. Ingolf Müller (beurlaubt ab 01.07.2007)

Interne Forschungsabteilungen

Labor für elektronisches Rechnen

Labor für experimentelle Mechanik

## **1.2 Wissenschaftliche Mitarbeiter**

Dr.-Ing. Ingolf Müller, Akad. Rat (beurlaubt ab 01.07.2007)

Dr. Alexander Konyukhov (Drittmittel, DFG)

Dipl.-Ing. Johann Bitzenbauer

Dipl.-Ing. Gunther Blankenhorn (Drittmittel, DFG)

Dipl.-Ing. Eduard Ewert

Dipl.-Ing. Marc Haßler

Dipl.-Ing. Stephan Kizio

Dipl.-Ing. Steffen Mattern (Drittmittel, DFG und Industrie)

Dipl.-Ing. Stefan Rues (Drittmittel, DFG)

## **1.3 Stipendiaten**

Dipl.-Ing. Georgios Michaloudis, Landesgraduierstipendium

## **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**

Dipl.-Ing. Georgios Michaloudis

## **1.6 Studentische Hilfskräfte**

cand.-ing. Teresa Buckel

cand.-ing. Zorana Djuric

cand.-ing. Manuel Feuchter

cand.-ing. Anja Förderer

cand.-ing. Alexander Hillenberg

cand.-ing. Meike Karl

cand.-ing. Octavian Knoll  
cand.-ing. Alexander Lellig  
cand.-ing. Markus Maerker  
cand.-ing. Anne Merkle  
cand.-ing. Pascal Ortmann  
cand.-phil. Irina Papakhova  
cand.-ing. Christoph Schmied  
cand.-ing. Johannes Schrade

## **1.7 Tutoren**

cand.-ing. Alexandra Bertsch  
cand.-ing. Jan Brien  
cand.-Ing. Zorana Djuric  
cand.-ing. Anja Förderer  
cand.-ing. Frederik Folke  
cand.-ing. Marion Kaiser  
cand.-ing. Octavian Knoll  
cand.-ing. Anne Merkle  
cand.-ing. Susanne Müller  
cand.-ing. Nils Münzl  
cand.-ing. Hermann Orth  
cand.-ing. Julia Schuler

## 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 Bau und wählbar für Geologen und Technomathematiker. Eine Vorlesung ist Wahlpflicht für den Studiengang Geodäsie.

#### Tabellarische Übersicht der Lehrveranstaltungen

Lehrveranstaltung	im	Dozent	V *	Ü *	Sem.	Prüfung
<b>Grundstudium, Pflicht</b>						
Statik starrer Körper	WS 06/07	Schweizerhof Mattern	3	2	1.	P
Festigkeitslehre	SS 07	Schweizerhof Mattern	4	2	2.	P, K
Dynamik	WS 06/07	Schweizerhof Rues	2	2	3.	P
<b>Vertiefung, Pflicht</b>						
Grundlagen der Baudynamik	SS 07	Müller	2	0	6.	S
Einführung in die Kontinuumsmechanik	WS 06/07	Müller Ewert	1	1	5.	S
Kontinuumsmechanik	SS 07	Schweizerhof Bitzenbauer	2	1		P
<b>Vertiefung, Wahlpflicht</b>						
Finite Elemente	WS 06/07	Schweizerhof Haßler	2	2	5./7.	P
Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme	SS 07	Schweizerhof Haßler	2	2	8.	P
Plastizitätstheorie	SS 07	Schweizerhof	2	2	8.	P
Modellbildung in der Festigkeitslehre	WS 06/07	Schweizerhof	2	-	8.	P
Kinetische Stabilitätskriterien	SS 07	Schweizerhof	2	-	7.	P
Seminar für Mechanik	WS 06/07 SS 07	Schweizerhof	2 2	-	6.-8.	
<b>Vertiefung, Wahl</b>						
Contact Mechanics I	WS 06/07	Konyukhov	2	2	7.	
Contact Mechanics II	SS 07	Konyukhov	2	2	8.	
Messtechnisches Praktikum für Bauwerksschwingungen	SS 07	Müller Wendler	-	10	5.	S
Laborpraktikum 3. FS.	WS 06/07	Müller Wendler		2	3.	S

\*Angabe der Semesterwochenstunden V = Vorlesung Ü = Übung  
P = Prüfungsleistung K = semesterbegleitende Klausur S = Studienleistung

## 2.2 Beschreibung der Lehrveranstaltungen

### 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.

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

**Dozent/en:** Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof  
**Betreuer:** Dipl.-Ing. Steffen Mattern  
**Turnus:** Wintersemester (1. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 1 Semester  
**Umfang:** 5 SWS (3 SWS Vorlesung / 2 SWS Übungen)  
**ECTS:** 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.

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

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

### 2.2.3 Dynamik

**Ziel:** Die Vorlesung beschränkt sich auf ausgewählte Themenkreise der klassischen Kinetik, die für Bauingenieure von Interesse sind. Alle Anwendungen und Beispiele orientieren sich an bauingenieurspezifischen Problemstellungen. So werden z.B. im Problemkreis "Massenpunkt" die Dynamik von Fahrzeugen und der Einfluss der Fahrbahngeometrie bevorzugt behandelt. Die synthetische und analytische Methode zielt auf die Aufstellung von Bewegungsgleichungen von Bauwerken hin. Die Schwingungslehre gibt den ersten, unerlässlichen Einblick für das Verständnis von Schwingungserscheinungen im Bauwesen.

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

**Dozent/en:** Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof  
**Betreuer:** Dipl.-Ing. Stefan Rues  
**Turnus:** Wintersemester (3. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 1 Semester  
**Umfang:** 4 SWS (2 SWS Vorlesung / 2 SWS Übung)  
**ECTS:** 6 Punkte

### 2.2.4 Grundlagen der Baudynamik

**Ziel:** 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.

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

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

### 2.2.5 Einführung in die Kontinuumsmechanik

**Ziel:** Aufbauend auf den Grundbegriffen Gleichgewicht, Spannungen, Stoffgesetz, Verzerrungen und Verschiebungen im  $R^3$  werden im Wesentlichen Lasteinleitungsprobleme und Spannungskonzentrationen behandelt. Diese Kenntnisse sind erforderlich zur Wahl geeigneter FE Netze bei der numerischen Berechnung. Im zweiten Teil der Vorlesung werden nach einer Einführung in die Variationsrechnung die Grundlagen der FE Methode beispielhaft vorgeführt.

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

**Dozent/en:** Dr.-Ing. Ingolf Müller  
**Betreuer:** Dipl.-Ing. Eduard Ewert  
**Turnus:** Sommersemester (6. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 1 Semester  
**Umfang:** 2 SWS (1 SWS Vorlesung / 1 SWS Übungen)  
**ECTS:** 3 Punkte

### 2.2.6 Kontinuumsmechanik

(Vertiefungsrichtung Geotechnisches Ingenieurwesen)

**Ziel:** Aufbauend auf der Vorlesung „Grundlagen der Kontinuumsmechanik“ werden die formalen Vorgehensweisen verallgemeinert und auf die Thermoelastizitätstheorie erweitert. Neben direkten Lösungen für Körper mit einfacher Geometrie wird auf der Basis von Variationsprinzipien das grundsätzliche Lösungskonzept für beliebige Geometrien erläutert. Der Schwerpunkt liegt dann mit dem speziellen Blick auf die Geotechnik zuerst in der Bearbeitung von Halbraumproblemen mit klassischen Lösungen für statische Fragestellungen – Boussinesq und Cerruti Problem, St. Venant Prinzip und linearen Materialgesetzen. Es folgen Betrachtungen mit dem Hinblick auf transiente Probleme von unterschiedlichen Fragestellungen zur Wellenausbreitung in Kontinua – Ebene Welle, Kugel- und Zylinderwelle, Kompressions- und Scherwelle, Rayleigh- bzw. Oberflächenwellen sowie Love-Wellen. Damit sollte den Studierenden der Geotechnik auf der Basis analytischer Lösungen für einfache Lastfälle und Geometrien das grundsätzliche Verständnis für Spannungs- und Dehnungsverläufe sowie die Wellenausbreitung vermittelt werden. Die Studierenden sind dann auch in der Lage für einfache Geometrien unterschiedliche Beanspruchungsszenarien zu untersuchen und entsprechende Berechnungen durchzuführen. Damit sollten sie auch in der Lage sein, in späteren Analysen von geotechnischen Problemen mit numerischen Lösungsinstrumenten das damit ermittelte Lösungsverhalten grob zu beurteilen.

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

**Dozent/en:** Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof  
**Betreuer:** Dipl.-Ing. Johann Bitzenbauer  
**Turnus:** Sommersemester (6. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 1 Semester  
**Umfang:** 3 SWS (2 SWS Vorlesung / 1 SWS Übungen)  
**ECTS:** 3 Punkte

### 2.2.7 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.

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

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

### 2.2.8 Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

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

### 2.2.9 Plastizitätstheorie

**Ziel:** Materiell nichtlineares Verhalten ist für das Versagen von Tragwerken von großer Bedeutung. Mit dem Begriff Plastizität lässt sich das Verhalten von vielen Werkstoffen, die über eine bestimmte Grenze hinaus belastet werden, beschreiben. In der Vorlesung Plastizitätstheorie sollen neben einführenden, phänomenologischen Betrachtungen vor allen Dingen Grundlagen für das Vorgehen bei Vorliegen derartiger Materialien mit modernen numerischen Verfahren wie Finiten Elementen gegeben werden. Es werden dabei Werkstoffgesetze für bleibende Formänderungen vor allem für metallische Werkstoffe dargestellt und nach bekannten Kriterien untersucht. Ein wesentlicher Schwerpunkt liegt auf der algorithmischen Umsetzung der Werkstoffgesetze für den Einsatz in Finite Element Programmen.

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

**Dozent/en:** Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof  
**Turnus:** Sommersemester (8. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 1 Semester  
**Umfang:** 4 SWS (2 SWS Vorlesung / 2 SWS Übung)  
**ECTS:** 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 Anwendungsbereiches. Die Grenzen der in der Festigkeitslehre üblichen Modelle werden aufgedeckt und Übergänge zwischen Modellvorstellungen werden diskutiert.

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

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

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

**Dozent/en:** Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof  
**Turnus:** Sommersemester (8. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 1 Semester  
**Umfang:** 2 SWS Vorlesung  
**ECTS:** 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 computer-gestützten Mechanik und erweitert ihre Kenntnisse in Theorie und Praxis.

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

**Dozent/en:** Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof  
**Turnus:** Wintersemester (6.-8. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 1 Semester  
**Umfang:** 2 SWS Vorlesung  
**ECTS:** 3 Punkte

### 2.2.13 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 (**Finite Element Analysis Program**, version FEAP-MeKa) are done for 2-D examples.

**Contents:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

**Dozent/en:** Dr. Alexander Konyukhov, Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof  
**Turnus:** Wintersemester (7. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 2 Semester  
**Umfang:** 2 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung  
**ECTS:** 6 Punkte

#### 2.2.14 Contact Mechanics II: 3D Problems and Dynamics

**Goals:**

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

**Contents:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

**Dozent/en:** Dr. Alexander Konyukhov, Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof  
**Turnus:** Sommersemester (8. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 2 Semester  
**Umfang:** 2 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung  
**ECTS:** 6 Punkte

#### 2.2.15 Messtechnisches Praktikum

**Ziel:** Es sollen die Kenntnisse aus der Vorlesung „Baudynamik“ und „Dynamik“ auf reale baupraxisähnliche Strukturen angewandt werden. Wert wird insbesondere auf den Vergleich theoretisch berechneter und experimentell gewonnener Ergebnisse gelegt sowie auf die Interpretation von Abweichungen. Komplexe Phänomene der Theorie, wie z.B. Eigenformen, sollen veranschaulicht werden. Es wird den Studierenden die Möglichkeit geboten, selbst Experimente durchzuführen.

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

**Dozent/en:** Dr.-Ing. Ingolf Müller, Willi Wendler  
**Turnus:** Sommersemester (5. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 1 Semester  
**Umfang:** 2 SWS  
**ECTS:** 3 Punkte

#### 2.2.16 Laborpraktikum

**Ziel:** Messung mechanischer Größen (Wege, Dehnungen ...) und Systemparameter (Eigenfrequenz, Dämpfung ...) von einfachen dynamischen Systemen.

**Inhalt:** siehe <http://www.ifm.uni-karlsruhe.de>

**Dozent/en:** Dr.-Ing. Ingolf Müller, Willi Wendler  
**Turnus:** Wintersemester (3. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 1 Semester  
**Umfang:** 2 SWS  
**ECTS:** 3 Punkte

## 2.3 Prüfungen

	Zahl der Teilnehmer	
	F 07	H 07
Statik starrer Körper	168	64
Festigkeitslehre	44	155
Dynamik	93	33
Prüfung Baudynamik	5	28
Einführung in die Kontinuumsmechanik	45	-
Finite Elemente	16	
Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme	5	
Plastizitätstheorie	-	
Modellbildung in der Festigkeitslehre	2	
Kinetische Stabilitätskriterien	-	
Messtechnisches Praktikum	6	
Contact Mechanics I	-	
Contact Mechanics II	-	
Einführung in die Kreisel- und Satellitentheorie	-	

F .. Frühjahrstermin, H .. Herbsttermin  
 Jeweils Einzeltermine für die Vertiefungsfächer

## 2.4 Diplomarbeiten/Masterarbeiten

Buckel, Theresa: Untersuchungen zur Berücksichtigung der Materialschädigung bei der integralen Prozesskette von der Umform- zur Crashsimulation, 11.05.2007  
 Betreuer: Schweizerhof, Dr.-Ing. M. Feucht (DaimlerChrysler AG)

Janson, Sven: Numerische Analyse als Alternative zu Belastungsversuchen am Beispiel einer historischen Stahlsteindecke, 19.01.2007  
 Betreuer: Schweizerhof, Dipl.-Ing. G. Blankenhorn

## 2.5 Promotionen/Habilitationen

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

*Korreferat*

Holger Heidkamp: Modeling Localization and Failure with High-Order Finite Elements  
 Technische Universität München, April 2007  
 (Hauptreferent Prof. Dr.-Ing. E. Rank, TU München)

Mark Fiolka: Theorie und Numerik volumetrischer Schalenelemente und Delaminationsanalyse von Faserverbundlaminaten Universität Kassel, März 2007  
 (Hauptreferent Prof. Dr.-Ing. A. Matzenmiller)

Sven Klinkel: Nichtlineare Modellierung ferroelektrischer Keramiken und piezoelektrischer Strukturen Analyse und Finite-Element-Formulierung, Universität Karlsruhe, Januar 2007, Habilitationsschrift  
(Referenten: Prof. Dr.-Ing. W. Wagner, Karlsruhe, Prof. Dr.-Ing. J. Schröder, Essen)

Ralf Meske: Non-parametric gradient-less shape optimization in solid mechanics, Universität Karlsruhe, Oktober 2006, Habilitationsschrift  
(Referenten: Prof. Dr.-Ing. E. Schnack, Karlsruhe, Prof. Dr.-Ing. P. Pedersen, Aarhus, Prof. Dr.-Ing. C. Proppe, Karlsruhe, Prof. Dr.-Ing. K.-U. Bletzinger, München)

## **3. Forschung**

### **3.1 Grundlagenforschung**

#### **3.1.2 Untersuchung der Sprengauswirkungen im Nahbereich, Verifizierung und Validierung globaler Sprengmodelle**

*DFG SCHW 307/16-1, SCHW 307/16-2*

*Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG),*

*Teilprojekt 2 innerhalb der Forschergruppe „Computergestützte Destruktion komplexer Tragwerke durch Sprengung“ in Kooperation mit Prof. Dr.-Ing. Friedhelm Stangenberg, Lehrstuhl für Stahlbeton- und Spannbetonbau, Ruhr-Universität Bochum, Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Möller, Lehrstuhl für Statik, Technische Universität Dresden, Prof. Dr.-Ing. Dietrich Hartmann, Lehrstuhl für Ingenieurinformatik, Ruhr-Universität Bochum*

*Bearbeitung: G. Blankenhorn, S. Mattern, K. Schweizerhof*

#### **Gesamtproblemstellung der Forschergruppe:**

Der gezielte Abbruch von Bauwerken am Ende ihrer Nutzungs- bzw. Lebensdauer – hier als Destruktion bezeichnet – hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Dies hängt damit zusammen, dass die Anzahl der Bauwerke, die durch Schädigung oder Umwelteinflüsse unbrauchbar geworden sind oder den heutigen Anforderungen an Funktionsfähigkeit, Ästhetik oder Qualität nicht mehr genügen, ständig wächst. Ein weiter Grund liegt darin, dass die Ressourcen an Bauland begrenzt sind und somit ein Neubau – auch bei noch intakter Bebauung – oft nur durch Destruktion vorhandener Bausubstanz möglich bzw. finanzierbar wird. Diese Situation trifft insbesondere auf innerstädtische Bereiche dichter Bebauung, starkem öffentlichen Verkehr und intensivem Geschäftsbetrieb zu.

#### **Ziele der Forschergruppe:**

Der Forschungsverbund hat die Erhöhung der Zuverlässigkeit von Simulationsmodellen für das Sprengen komplexer Tragwerke zum Ziel. Hierzu wird die „Destruktion von Komplextragwerken durch Sprengung“ als mehrstufiges Problem (Multi-Level-Problem) modelliert und dieses dann durch Einsatz mehrerer moderner Methoden der Ingenieurinformatik sowie der computerorientierten Mechanik mit Hilfe der numerischen Analyse gelöst.

#### **Projekthalte Teilprojekt 2 (Institut für Mechanik, Universität Karlsruhe (TH)):**

Innerhalb des Konzeptes der Forschergruppe 500 entwickelt Teilprojekt 2 Algorithmen und Methoden, die einzelnen Aspekten der spezifischen Anforderungen an die Analyse eines Sprengabbruchs gerecht werden.

Die Untersuchungen beziehen sich einerseits auf Ermittlung der maßgebenden Phänomene, die bei einer Analyse eines Gebäudekollapses berücksichtigt werden müssen und andererseits auf die Entwicklung leistungsfähiger Algorithmen, um diese Analysen innerhalb eines moderaten Zeitrahmens durchführen zu können. Zentrale Aspekte des Projektes sind

- a) die Prognose des Einflusses der sich ausbreitenden Belastungswelle um eine Detonation auf die Schädigung der Struktur,
- b) die durch Entfernen tragender Bauteilstrukturen eingeleiteten Prozesse der Verformung der Gesamtstruktur,
- c) die Ermittlung der Orte hoher Schädigung

und, als modelltechnischer Aspekt, die Abgrenzung von Bauteilstrukturen mit flexiblem oder starrem Verhalten während des Kollapses. Die eingesetzte Finite Elemente Methode mit expliziter Zeitintegration bietet eine hohe Flexibilität bezüglich der nötigen Weiterentwicklung der Algorithmen an diese spezielle Fragestellung.

Die Forschergruppe unterteilt sich inhaltlich in folgende Teilprojekte:

Teilprojekt 2: Untersuchung der Sprengauswirkungen im Nahbereich, Verifizierung und Validierung globaler Sprengmodelle

*Leiter: Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof, Institut für Mechanik, Universität Karlsruhe (TH)*

Teilprojekt 3: Widerstandskennlinien in kritischen Tragwerksbereichen kollabierender Stahlbetonsysteme bei Abbruchvorgängen

*Leiter: Prof. Dr.-Ing. Friedhelm Stangenberg, Lehrstuhl für Stahlbeton- und Spannbetonbau, Ruhr-Universität Bochum*

Teilprojekt 4: Numerische Simulation von Sprengvorgängen unter Berücksichtigung von Daten- und Modellunschärfe

*Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Möller, Lehrstuhl für Statik, Technische Universität Dresden*

Teilprojekt 5: Objektorientiertes Softwaresystem zur Multi-Level-Simulation und Optimierung der Sprengung von Gesamttragwerken

*Leiter und Sprecher der Forschergruppe: Prof. Dr.-Ing. Dietrich Hartmann, Lehrstuhl für Ingenieurinformatik, Ruhr-Universität Bochum*

### **3.1.3 Glockenklang und Glockenbeanspruchung, experimentelle Untersuchungen und numerische Analysen**

*Internes Projekt in Kooperation mit der Glockengießerei Perner, gefördert durch die Karlsruher Universitätsgesellschaft, DYNAMore GmbH Stuttgart, und die Glockengießerei Perner, Passau.*

*Bearbeitung: G. Blankenhorn, I. Müller, W. Wendler, K. Schweizerhof*

Glocken sind selbstverständlicher Bestandteil der europäischen Kultur. Seit Jahrhunderten werden sie zu sakralen Zweck in Form der Kirchenglocken, zu profanen Zwecken wie den Glockenspielen oder zum Zwecke der Gefahrenmeldung für Alarmsignale verwandt. Früh bildete sich hier ein Kunsthandwerk, das bis zum heutigen Tage meist über Generationen in Familienbetrieben weitergeführt wird. So werden die Rippenschablonen, die geometriegebende Elemente bei der Erstellung der Glockenform, von Generation zu Generation innerhalb dieser Familienbetriebe weitergegeben. Das allem Kunsthandwerk inne sitzende Streben nach Perfektion und ebenso der Wille zur Weiterentwicklung erfordert zur heutigen Zeit modernere Methoden zur Konstruktion und vor allem zur Abschätzung der Durabilitätseigenschaften, d.h. Möglichkeiten zur Prognose der Klangeigenschaften und Schäden während der Lebenszeit einer Glocke.

Ziel ist, hierfür ein realitätsnahes numerisches Analysemodell zu entwickeln, um die Klangeigenschaften der Glocke a priori zu untersuchen, insbesondere den Einfluss reichhaltiger Verzierungen, der in der Vergangenheit schon zu einigen Fehlgüssen geführt hat. Hier kann durch zu flächige oder zu dick aufgetragene Verzierungen eine Schwebung innerhalb des Teiltonaufbaues entstehen, die für das menschliche Ohr dissonant klingt. Des Weiteren werden immer wieder Schäden an Kirchenglocken beobachtet, insbesondere die Rissbildung durch Ermüdung, verursacht durch zu große Lätewinkel.

Um sowohl die klanggebenden Eigenschaften, wie auch die Beanspruchung durch Klöppelanschlag und die spätere Diskussion der Ermüdung anhand rechnerischer Analysen zu untersuchen, werden innerhalb dieses Projektes Modelle für die numerische Simulation erstellt und anhand experimenteller Untersuchungen validiert. Nur mit einer Validierung anhand umfangreicher experimenteller Daten kann im weiteren Verlauf der Untersuchungen die Prognosequalität der numerischen Modelle gesichert werden.

Für die experimentellen Untersuchungen und den Aufbau eines numerischen Modells sind ein Versuchskörper und dessen Geometrieerfassung notwendig. Gewählt wurde eine Kirchenglocke moderater Größe, die im schwingungstechnischen Labor des Institutes für Mechanik, Universität Karlsruhe (TH), mit Hilfe von piezo-elektrischen triaxialen Beschleunigungsaufnehmern und numerischen Auswertalgorithmen auf ihre modalen Parameter hin untersucht wird. Hierbei sind insbesondere die Eigenfrequenzen und die Eigenschwingungsformen sowie die Dämpfungsparameter von Interesse. Diese dienen dann als Grundlage zur Modellanpassung zwischen experimenteller Untersuchung und numerischer Analyse. Die so gewonnenen Erkenntnisse bezüglich des Schwingungsverhaltens und der numerischen Modellierung erlauben eine Steigerung der Prognosequalität numerischer Analysen. Mit den so gewonnenen validierten numerischen Modellen werden Untersuchungen zu Schwingungsvorgängen und Schädigungen mit Hilfe der Rechnergestützten Mechanik durchgeführt, die das aufwändige „Trial and Error“ Verfahren auf dem Gebiet des Entwurfes und der Konstruktion von Glocken durch ein wirtschaftlich effizienteres Verfahren ersetzen kann.

Gefördert durch die Universitätsgesellschaft Karlsruhe, die DYNAMore GmbH, Stuttgart und die Glockengießerei Perner, Passau, wurde für die experimentellen Untersuchungen eine Kirchenglocke gegossen. In den Abbildung 1 und 2 wird der

Glockenguss bei der Glockengießerei Perner in Passau und die Kirchenglocke im hölzernen Glockenstuhl am Institut für Mechanik (IFM) der Universität Karlsruhe (TH) gezeigt. Der Glockenstuhl wurde vom Lehrstuhl für Ingenieurholzbau der Universität Karlsruhe gefertigt und finanziert.



Abbildung 1: Glockenguss, Glockengießerei Perner, Passau, 30. Mai 2007



Abbildung 2: Glocke im Glockenstuhl im Labor des IFM

Für die numerischen Analysen werden die von der Firma messtronik erstellten digitalen Geometriemodelle aus einer Videovermessung der Glocke verwandt. Abbildung 3 zeigt dieses digitale Geometriemodell der Glocke und erstes daraus erstelltes einfaches Finite Elemente Modell zur Analyse der Eigenfrequenzen und Eigenformen, die dann anhand experimentellen Ergebnissen validiert werden.

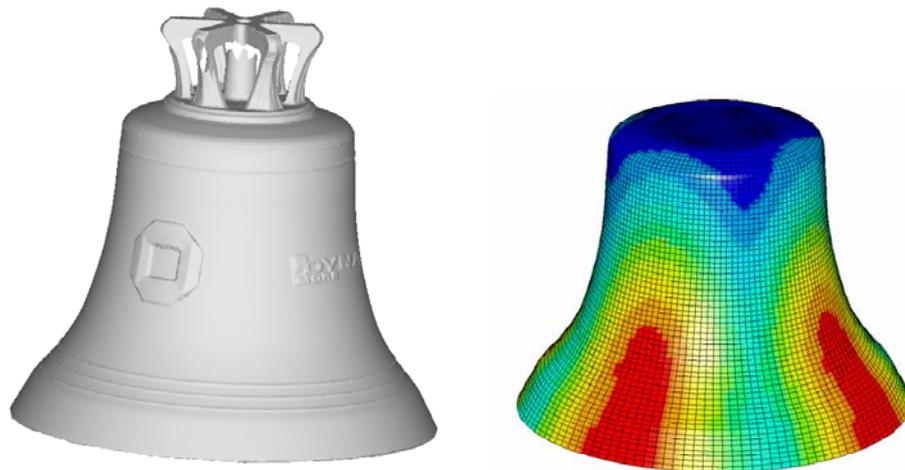


Abbildung 3: Digitales Geometriemodell (links) und Ergebnis der numerischen Analyse (1. Eigenmode) am einfachen Modell (rechts).

### **3.1.4 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*

#### **Problemstellung:**

Die Entwicklung von Schalenelementen mit linearen Ansätzen für Geometrie und Verschiebungen – die meist genutzten Elemente in der Berechnung von Schalentragerwerken, insbesondere bei Fragestellungen mit großen Verschiebungen und großen Deformationen wie Crash- und Umformsimulationen – kann auch bezüglich Effizienz als ausgereizt bezeichnet werden. Quadratische Ansätze mit Erweiterungen zur Reduktion der Membran- und Schubversteifung haben sich für implizite Analysen auch in der Erweiterung für große Deformationen gut bewährt. Die besonderen Vorteile liegen in der geringeren Empfindlichkeit gegenüber verzerrten Elementformen und in der besseren Erfassung gekrümmter Schalengeometrien. Für transiente Analysen mit expliziter Zeitintegration fehlt die Umsetzung völlig, wobei insbesondere Effizienzgesichtspunkte zu berücksichtigen sind. Nur damit werden Elemente für praktische Anwendungen interessant; dies zeigt sich im täglichen industriellen Einsatz.

Das dem Projekt zugrunde liegende Arbeitsprogramm lässt sich in drei Teile gliedern:

#### **Entwicklung eines effizienten Finiten Schalen-, bzw. Volumenschalenelementes quadratischer Ansatzordnung für explizite Analysen**

In einem ersten Schritt erfolgt für die in Vorprojekten für implizite statische Fragestellungen erstellten 18-Knoten Volumenschalenelemente, später auch für ebenfalls vorliegende degenerierte Schalenelemente, eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Nutzung innerhalb einer expliziten Zeitintegration. Die Einbeziehung erweiterter Verzerrungen zur Vermeidung von Dickenversteifung, sowie des ANS-Konzeptes für Biege- und Membranversteifungen werden – unter dem Gesichtspunkt der Effizienz – für die explizite Elementformulierung umgeformt. Die Implementierung erfolgt für den Institutseigenen Finite-Element-Code FEAP-MEKA, wobei die Umsetzung hier speziell für eine explizite Zeitintegration – möglichst ohne implizite Lösungsanteile – erfolgen soll. Die Implementierung erfolgt zunächst auf konventionellem Weg, also händisch, wobei auf effiziente Umsetzung geachtet wird.

#### **Programmgestützte FE-Entwicklung**

Als zweites Ziel des Projekts ist der Aufbau einer Systematik zur programmgestützten Entwicklung von Finiten Elementen für zwei- und dreidimensionale Probleme zu nennen. Die programmtechnische Umsetzung einzelner FE-Subroutinen soll neben herkömmlichen Programmierwerkzeugen vor allem mit dem MATHEMATICA®-Plugin ACEGEN® durchgeführt werden. Dieser Programmaufsatz, welcher allgemein zugänglich ist, ermöglicht die Generierung von bezüglich Recheneffizienz optimiertem FORTRAN-Code aus MATHEMATICA®-Funktionen. Es werden deutliche Effizienzsteigerungen gegenüber händischem Programmieren erwartet. Die so optimierten

Subroutinen sollen in den bestehenden FE-Code eingefügt werden und so die Bearbeitung von Problemen mit großen Elementzahlen ermöglichen. Ferner bietet die konsequente Nutzung solcher Werkzeuge wesentliche Erleichterungen bezüglich einer fehlerfreien Erstellung, bzw. Modifikation von Programmteilen. Damit soll der Arbeitsprozess der Entwicklung von Finiten Elementen und deren Umsetzung in FE-Programmen entscheidend beschleunigt werden und den Entwicklern erlauben, den Schwerpunkt auf methodische und ergebnisorientierte Aspekte zu richten.

### **Numerische Untersuchungen**

Zum Abschluss des Projektes ist die numerische Untersuchung von Schalenproblemen und Großdeformationsproblemen mit den entwickelten Elementen vorgesehen. Im Vordergrund steht neben der Validierung der Entwicklungen an kleineren numerischen Beispielen die eigentliche Nutzung für Schalentragwerke unter dominant transienter Belastung, für die der Vorteil der besseren Geometrieapproximation der quadratischen Elemente an ausgewählten Beispielen mit Löchern und Schalenverbindungen herausgestellt werden soll. Als Großdeformationsprobleme sind in erster Linie Umformprobleme dünner Bleche sowie Schalenstrukturen unter Impaktbelastung zu nennen, bei denen die Vorteile quadratischer Elementansätze deutlich werden. Denkbar ist an dieser Stelle auch die Kopplung der expliziten Analyse mit der bereits vorhandenen impliziten Formulierung, um z.B. Rückfederberechnungen durchzuführen. Dies wird entsprechend bei der Programmierung berücksichtigt, um eine Datenübertragung von der expliziten zur impliziten Formulierung zu ermöglichen.

### **Stand der Arbeiten:**

Das Projekt befindet sich derzeit in der ersten Phase: „*Entwicklung eines effizienten Finiten Schalen-, bzw. Volumenschalenelementes quadratischer Ansatzordnung für explizite Analysen*“. Die bereits vorhandene, implizite Formulierung eines 18-Knoten Volumenschalenelementes dient hier als Grundlage, um verschiedene, im Schrifttum vorgeschlagene Verfahren sowie weitere Alternativen hinsichtlich der Aufstellung einer diagonalisierten Massenmatrix zu untersuchen. Dies ist für explizite Analysen unbedingt erforderlich, da im Hinblick auf eine effiziente Lösung z.B. mit dem verwendeten zentralen Differenzenverfahren, mit dem Zwangspunkt sehr kleiner Zeitschritte, eine diagonale Form der Massenmatrix unabdingbar ist.

### 3.1.5 Entwicklung fluidgestützter geometrisch nichtlinearer Finiten Elemente mit Hilfe einer analytischen Fluidbeschreibung

Internes Projekt

Bearbeitung: M. Haßler, K. Schweizerhof

#### Motivation

Fluidgestützte Membran- oder Schalenstrukturen finden heutzutage auf vielseitige Weise Anwendung:

- Automobilindustrie:  
Eine Technik, welche in der Automobilindustrie zunehmend an Attraktivität gewinnt, ist das so genannte Hydroforming. Dabei wird mit Hilfe von Flüssigkeitsdruck ein Werkstück gegen eine Matrix gepresst. Durch den Fluiddruck kann eine sehr viel gleichmäßigere Dickenverteilung im Werkstück erzielt werden als durch konventionelle Tiefziehprozesse.
- Bauingenieurwesen:  
Im Bereich des konstruktiven Bauingenieurwesens sind fluidgestützte Schalen und Membrane unter anderem für die Bemessung von Schläuchen, Traglufthallen oder von mit Druckluft gefüllten Balken von großer Bedeutung.
- Wasserbau:  
Hier haben sich innerhalb der letzten Jahrzehnte gegenüber konventionellen Wehrverschlüssen die so genannten Schlauchwehre (nicht nur aufgrund der monetären Vorteile) etabliert. Diese bestehen aus einer dünnen, gewebeverstärkten Gummischlauchmembran, welche entweder mit Gas oder Wasser befüllt wird und so einen sehr flexiblen Wehrkörper bildet.

#### Kurzfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung fluidgestützter bzw. -belasteter Strukturen unter großen Deformationen (siehe Bild 1).

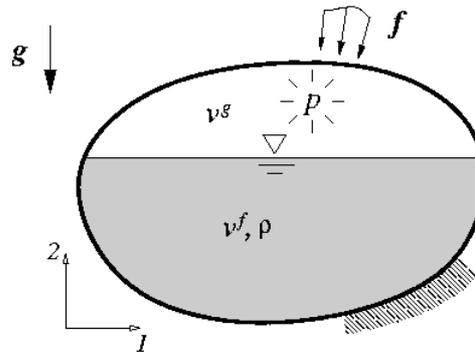


Bild 1: Dünnwandige mit Flüssigkeit und/oder Gas gefüllte elastische Schalenstruktur unter externer Last

Im Gegensatz zu konventionellen Simulationen von Fluid-Struktur-Interaktionen wird in diesem Projekt das Fluid nicht mit Finiten Elementen vernetzt sondern seine Geometrie und damit auch seine Zustandsgrößen (Volumen  $v$ , Dichte  $\rho$ , Druck  $p$ ) werden über Oberflächenintegrale der umgebenden elastischen Struktur beschrieben

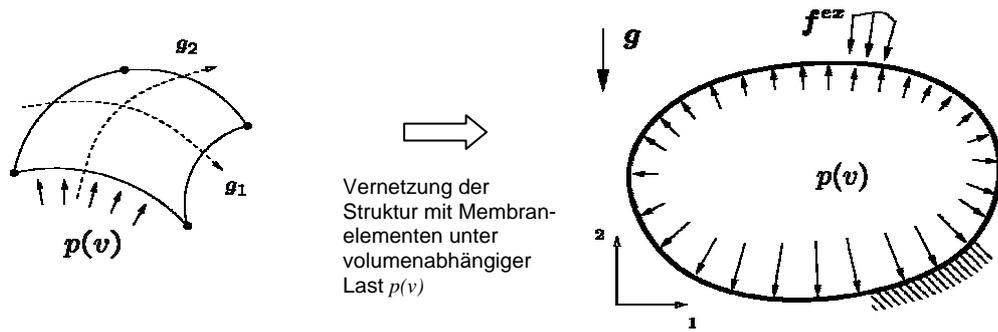


Bild 2: Substitution des Fluids durch energetisch äquivalente Belastung auf Membran

Diese analytische Darstellung des Fluids und seiner sich mit den Strukturdeformationen ändernden Zustandsgrößen umgeht die i.A. sehr zeitaufwendige Neuvernetzung des Fluidnetzes im strukturnahen Bereich, wo es aufgrund der großen Deformationen zu starken Netzverzerrungen kommt und erweist sich somit als sehr effiziente Berechnungsmethode für statische Fluid-Struktur-Kopplungen. Ein weiteres Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt in der Untersuchung des Einflusses der Fluid-Struktur-Interaktion auf das statische Stabilitätsverhalten des Systems (siehe z.B. Bild 3).

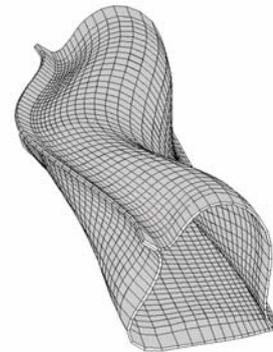


Bild 3: Ausbildung einer V-Kerbe als typisches Stabilitätsversagen eines Schlauchwehres

### Ausblick

- Automatische Kammererkennung:  
Probleme bereiten noch Systeme, in denen es während der Belastungsgeschichte zu einer Trennung bzw. Vereinigung der einzelnen Fluidkammern kommen kann. Ein Algorithmus, der geschlossene Kammern erkennen soll, bildet somit einen Schwerpunkt späterer Studien.
- Anisotropes Materialgesetz:  
Des Weiteren soll das Modell um ein anisotropes Materialgesetz, welches die Faserverbundstruktur der gängigen Membranmaterialien beschreibt, ergänzt werden.
- Neuvernetzung  
Als weiterer Ausblick kann noch die Neuvernetzung der aufgepumpten/gefüllten Struktur mit Fluidelementen genannt werden, um akustische Effekte, wie Wellenausbreitung und Trägheitseffekte bei großen Bewegungen von wassergefüllten Schläuchen in der vorgespannten Geometrie zu berechnen. Beides ist bei Verwendung der hier vorgestellten analytischen Fluidbeschreibung nicht möglich.

### 3.1.6 Mehrskalenergebnisse bei inhomogenen Körpern

*Internes Projekt*

*Bearbeitung: J. Bitzenbauer, (K. Schweizerhof)*

Viele Werkstoffe besitzen eine Mikrostruktur. Damit wird eine durchgängige Diskretisierung mit z.B. Finiten Elementen sehr aufwendig. Mit rein makroskopischen Betrachtungen können aber lokale Effekte oft nicht korrekt erfasst werden; das Deformationsverhalten wird zumindest in Teilen des betrachteten Körpers stark von der Mikrostruktur beeinflusst.

Neben vielen Verbundwerkstoffen lassen sich auch Schaumstoffe idealisiert als aus Mikrostrukturen aufgebaute Hohlkörper annehmen. Die Finite-Elemente-Untersuchung solcher Strukturen führt bei durchgängiger Diskretisierung angesichts der Vielzahl der zur Modellierung der lokalen Geometrie erforderlichen Finiten Elemente üblicherweise auf sehr grosse dünnbesetzte Gleichungssysteme. Deren Lösung stellt bei Verwendung bekannter Standardalgorithmen auch für die heutigen Rechnergenerationen noch ein unüberwindbares Problem dar. Als eine effiziente Lösungsmethode empfehlen sich Mehrgitterverfahren. Bei komplexen Rändern, bei vorhandenen Inhomogenitäten sowie ganz allgemein bei nichtlinearen Problemen stellt sich jedoch das Problem der konsistenten Grobgitterkorrektur. Während bei klassischen Mehrgittermethoden die minimale Anzahl der zur Geometriebeschreibung notwendigen Finiten Elemente von der Geometrie selbst abhängig ist (was deren Einsetzbarkeit bei praktischen Problemen extrem einschränkt), besteht bei der Composite-Finite-Elemente-Methode (CFE) [Sauter, S.A.: Vergrößerung von Finite-Elemente-Räumen. Habilitation, Universität Kiel, 1997] ein größtmögliches Gitter zur Diskretisierung einer beliebigen Geometrie stets aus einem Element. Im Projekt wurde zur Berechnung nichtlinear-elastischer Körper ein auf der CFE-Methode basierender Mehrgitteralgorithmus nebst zugehörigen Transferoperatoren entwickelt. Im Gegensatz zu algebraischen Mehrgittermethoden, bei denen zur Konstruktion der Transferoperatoren lediglich die Steifigkeitsmatrizen des diskretisierten Problems herangezogen werden, nutzt der am Institut eingesetzte Algorithmus zusätzlich Geometrieinformationen aus, ohne jedoch die beim klassischen geometrischen Mehrgitterverfahren auftretenden Einschränkungen zu besitzen. Für inhomogene Körper wurde der ein entsprechender, zunächst für skalare Probleme vom Poisson-Typ entwickelter Algorithmus [Warnke, R.: Schnelle Löser für elliptische Differentialgleichungen mit springenden Koeffizienten. Dissertation, Universität Zürich, 2003] auf die nichtlineare Elastizitätstheorie übertragen. Mit dem Finite-Elemente-MehrSkalenPaket FEMSP wurde ein komplett neuer Finite-Elemente-Code entwickelt und in der Programmiersprache C umgesetzt. In ihm sind alle Datenstrukturen von vorneherein vorteilhaft auf Mehrgittermethoden, Adaptivität mittels lokaler Verfeinerung durch hängende Knoten sowie auf eine dynamische Speicherplatzverwaltung hin angelegt. Das Grundgerüst von FEMSP ist eine Quadtree/Octree-Datenstruktur [Samet, H.: The Design and Analysis of Spatial Data Structures. Addison-Wesley, 1990] mit einem darauf aufbauenden hierarchischen Netzgenerierer. Einfache Elementbibliotheken mit Standard-Q1-Elementen dienen zur Berechnung von geometrisch und materiell nichtlinearen zwei- und dreidimensionalen Problemen. Beispielhaft seien hier eine Scheibe mit Loch zum einen für den Fall konstanter Koeffizienten unter Verwendung von hängenden Knoten und zum anderen mit vorhandener Mikrostruktur und uniformer Verfeinerung diskretisiert.

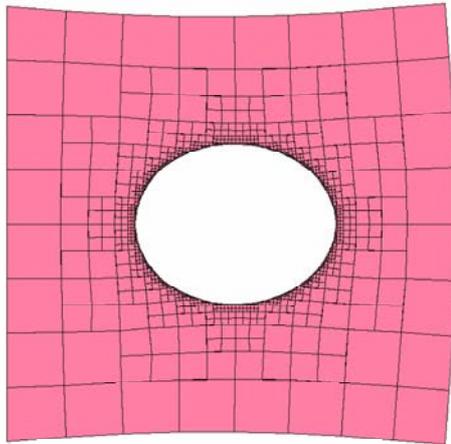


Bild 1: Scheibe mit Loch – adaptive Verfeinerung mit hängenden Knoten.

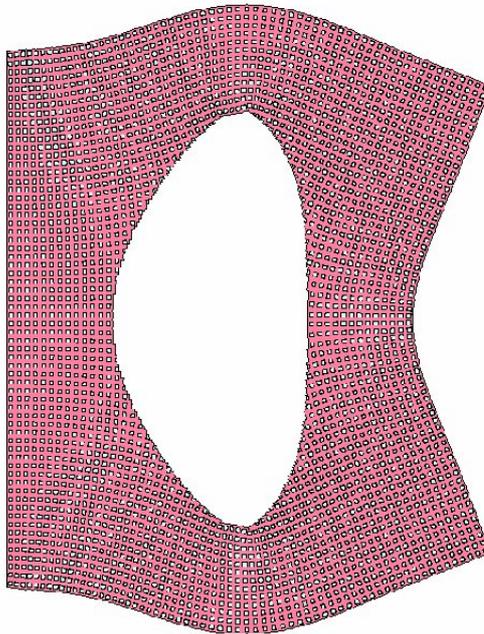


Bild 2: Scheibe mit Loch – vorhandene Mikrostruktur mit springenden Koeffizienten.

### 3.2 Publikationen

S. Mattern, G. Blankenhorn, K. Schweizerhof: Numerical Investigation on Collapse Kinematics of a Reinforced Concrete Structure within a Blasting Process, Proceedings 5th German LS-DYNA Forum, Ulm, Germany, October 2006

G. Blankenhorn, I. Müller, A. Siebert, K. Schweizerhof: On the Numerical Analysis of a Carillon Bell using LS-DYNA with a Specific View on Model Validation, Proceedings 5th German LS-DYNA Forum, Ulm, Germany, October 2006

A. Konyukhov, K. Schweizerhof: Symmetrization of various friction models based on an augmented Lagrangian approach, IUTAM Symposium on Contact Mechanics, Hannover, November 2006

S. Rues, H.J. Schindler, J. Lenz, K. Schweizerhof: Calculation of Muscle and Joint Forces in the Masticatory System, In: Proc. of the 2nd GAMM Seminar on Continuum Biomechanics (Eds.: W. Ehlers, B. Markert), Freudenstadt, Germany, Nov. 22-24, 2006

J. Bitzenbauer, K. Schweizerhof: Mehrskalenberechnungen bei inhomogenen Körpern, PAMM, Proc. Appl. Math. Mech. 6(1), pp. 211-212 (2006)

H.J. Schindler, S. Rues, J. C. Türp, J. Lenz: Feedbackkontrollierte isometrische Muskelkontraktionen in einer experimentellen Okklusion, 39. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie, Bad Homburg, 1.-2.12.2006, Programm und Abstracts, Dezember 2006

S. Rues, H.J. Schindler, J. Lenz, K. Schweizerhof: Muskel- und Gelenkkräfte beim Pressen – experimentell gewonnene Optimierungsstrategien, 39. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie, Bad Homburg, 1.-2.12.2006, Programm und Abstracts, Dezember 2006

S. Rues, J. Lenz, H. J. Schindler, K. Schweizerhof: Joint and Muscle Forces during Clenching, PAMM, Proc. Appl. Math. Mech. 6(1), pp. 139-140 (2006)

K. Schweizerhof, S. Kizio: Adaptive Finite Element Analyses in Structural Dynamics of Shell-Like Structures - a specific View on Practical Engineering Applications and Engineering Modeling, Proc. International Conference on Adaptive Modeling and Simulation, ADMOS 2007, Göteborg/Schweden, eds. P. Diez, K. Runesson, 2007.

M. Haßler, K. Schweizerhof: Nonlinear Finite Element Analysis of Inflatable Prefolded Membrane Structures under Hydrostatic Loading, Textile Composites and Inflatable Structures, E. Onate, B. Kröplin (eds.), Springer, 2007

A. Konyukhov, K. Schweizerhof: Generalized Closest Point Projection Procedures for Contact Analyses: on Existence and Uniqueness for Arbitrary Contact Surfaces, COMPLAS 2007, Barcelona, September 2007

S. Mattern, G. Blankenhorn, K. Schweizerhof: Numerical Simulation of Controlled Building Collapse with Finite Elements and Rigid Bodies - Case Studies and Validation, Proceedings of the ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Rethymno, Crete, Greece 13-16 June 2007

S. Kizio, K. Schweizerhof: Efficient Strategies for Goal-Oriented Error Estimation and Mesh Adaptation in Structural Dynamics, Proceedings of the ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Rethymno, Crete, Greece 13-16 June, 2007

G. Michaloudis, K. Schweizerhof: Automatic Adaptation of the Integration Formula in Thickness Direction for Solid-Shell Elements, PAMM, Proc. Appl. Math. Mech., 2007

A. Konyukhov, K. Schweizerhof: Closest Point Projection in Contact Mechanics: Existence and Uniqueness for Different Type of Surfaces, PAMM, Proc. Appl. Math. Mech., 2007

A. Konyukhov, K. Schweizerhof: On the Solvability of Closest Point Projection Procedures in Contact Analysis: Analysis and Solution Strategy for Arbitrary Surface Approximations, Computer Methods Appl. Mech. Eng. (2008), accepted September 2007

K. Schweizerhof, E. Ewert: Stability and Sensitivity Investigations of Thin-Walled Shell Structures using Transient Analysis, Proceedings EUROMECH Colloquium 483 "Geometrically Non-Linear Vibrations of Structures 2007, Porto, July 2007

Konyukhov, A.; Schweizerhof, K.; Vielsack, P.: On models of anisotropic contact surfaces and their experimental validation. Wear (available online, June 2007) 264 (7-8) 579-588 (2008).

I. Müller: Clapping in delaminated sandwich-beams due to forced oscillations, Computational Mechanics 39 (2), S.113-126, 2007

M. Haßler, K. Schweizerhof: On the Static Interaction of Fluid and Gas Loaded Multi-Chamber Systems in Large Deformation Finite Element Analysis, Computer Methods Appl. Mech. Eng., 197, 1725-1749, 2008

M. Haßler, K. Schweizerhof: On the Influence of Fluid-Structure-Interactions on the Stability of Thin Walled Shell Structures, International Journal of Structural Stability and Dynamics, Vol. 7, No. 2 (2007), 313-335

### **3.3 Wissenschaftliche Vorträge**

K. Schweizerhof, D. Fressmann, O. Graf, U. Franz: FE Human Modeling in Crash - Current Applications in the German Automotive Industry and General Aspects of Future Detailed Models, Proc. Int. Symposium "Human Modeling and Simulation in Automotive Safety", Aschaffenburg, eds. CARHS GmbH, Aschaffenburg, März 2007

K. Schweizerhof, D. Lorenz, A. Haufe: Erweiterte Kontaktformulierung, User-Reibmodell und Thermische Analyse Simulationsmöglichkeiten zur Werkzeugauslegung mit LS-DYNA, 10. Workshop "Simulation in der Umformtechnik", Institut für Statik und Dynamik der Luft- und Raumfahrtkonstruktionen, Universität Stuttgart, März 2007

A. Konyukhov, K. Schweizerhof: Incorporation of contact for high-order FEM in covariant form. Intern. Workshop on High-Order Finite Element Methods, Herrsching, May 2007

- S. Kizio, K. Schweizerhof: Efficient strategies for goal-oriented error estimation and mesh adaptation in structural dynamics, Proceedings COMPDYN 2007, Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Rethymno, Crete, Greece, June 2007
- S. Mattern, G. Blankenhorn, K. Schweizerhof: Numerical Simulation of Controlled Building Collapse with Finite Elements and Rigid Bodies Case Studies and Validation, Proceedings COMPDYN 2007, Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Rethymno, Crete, Greece, June 2007
- A. Konyukhov, K. Schweizerhof: Closest point projection in contact mechanics: existence and uniqueness for different type of surfaces, 6<sup>th</sup> International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Zurich, July 2007
- G. Michaloudis, K. Schweizerhof: Automatic adaptation of the integration formula in thickness direction for Solid-Shell elements, 6<sup>th</sup> International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Zurich, July 2007
- K. Schweizerhof, E. Ewert: Stability and Sensitivity Investigations of Thin-Walled Shell Structures using Transient Analysis, Proceedings EUROMECH Colloquium 483 "Geometrically Non-Linear Vibrations of Structures 2007, Porto, July 2007
- G. Blankenhorn, S. Mattern, K. Schweizerhof: Investigation of controlled building collapse - analysis and validation, 9th US National Congress on Computational Mechanics, San Francisco, July 2007
- A. Haufe, M. Feucht, T. Münz , K. Schweizerhof: Mapping damage and plasticity for different constitutive models for simulation of the process chain, 9th US National Congress on Computational Mechanics, San Francisco, July 2007
- K. Schweizerhof, A. Konyukhov: On an Augmented Lagrangian method for anisotropic friction models, 9th US National Congress on Computational Mechanics, San Francisco, July 2007
- A. Konyukhov, K. Schweizerhof: Solvability of the closest point projection routines in contact analyses: Continuous projection domain for arbitrary surfaces, 9th US National Congress on Computational Mechanics, San Francisco, July 2007
- S. Rues, H. J. Schindler, J. Lenz, K. Schweizerhof: Muscle and joint forces in the masticatory system during clenching, BMT 2007 41. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik, Aachen, 26.-29. September 2007
- E. Ewert, K. Schweizerhof: Numerical Aspects in the Computation of Singular Points, Post-Buckling Loads/Modes for Cylindrical Shells, Proceedings ANASS 2007 Workshop "Advanced Numerical Analysis of Shell-like Structures", Zagreb, Croatia, September 2007
- K. Schweizerhof, M. Hassler: Large deformation and stability analysis of thin shell and membrane structures under gas/fluid loading and support, 6th German-Greek-Polish Symposium "Advances in Mechanics", Alexandroupolis, Greece, September 2007
- A. Konyukhov, K. Schweizerhof: Generalized closest point projection for contact analyses: on existence and uniqueness for arbitrary contact surfaces, COMPLAS 2007, Barcelona, September 2007

### **3.4 Mitherausgeber und Gutachter wissenschaftlicher Publikationen**

#### **Prof. Dr.-Ing. K. Schweizerhof**

- Engineering Structures (Editorial Board, Gutachter)
- Structural Eng. Review (Gutachter)
- Engineering Computations (Gutachter)
- Engineering Mechanics (Gutachter)
- Computers & Structures (Gutachter)
- Int. J. Solids and Structures (Gutachter)
- Int. J. Num. Meth. Eng. (Gutachter)
- Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering (Gutachter)
- Computational Mechanics
- Archive of Applied Mechanics
- Mechanism and Machine Theory

## **4. Aktivitäten in Organisationen von Lehre und Forschung**

### **4.1 Universitäre Selbstverwaltung**

#### **Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof**

- Vorsitzender der Vorprüfungskommission Bauingenieurwesen
- Prodekan der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften
- Vorsitzender des Prüfungsausschusses Regionalwissenschaft/-planung

#### **Dipl.-Ing. Gunther Blankenhorn**

- Mittelbauvertreter in der Hauptprüfungskommission

### **4.2 Aktive Mitarbeit bei nationalen und internationalen Organisationen**

#### **Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof**

- 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 Fachausschusses Bauingenieur- und Vermessungswesen in der Akkreditierungsagentur für Studiengänge der Ingenieurwissenschaften und der Informatik (ASIIN) e.V., seit Sommer 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)

### **4.3 Mitglied bei wissenschaftlichen Vereinigungen**

#### **Dipl.-Ing. Johann Bitzenbauer**

- GAMM-Mitglied

#### **Dipl.-Ing. Gunther Blankenhorn**

- GAMM-Mitglied
- GACM-Mitglied

#### **Dipl.-Ing. Eduard Ewert**

- GAMM-Mitglied

#### **Dipl.-Ing. Marc Haßler**

- GAMM-Mitglied

**Dipl.-Ing. Stephan Kizio**

- GAMM-Mitglied

**Dr. Alexander Konyukhov**

- GAMM-Mitglied
- GACM-Mitglied

**Dipl.-Ing. Steffen Mattern**

- GAMM-Mitglied

**Dipl.-Ing. Ingolf Müller**

- GAMM-Mitglied

**Dipl.-Ing. Stephan Rues**

- GAMM-Mitglied

**Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof**

- GAMM-Mitglied
- GACM-Mitglied
- VDI-Mitglied
- Mitglied im Forschungsverbund „Wissenschaftliches Rechnen in Baden-Württemberg“ (WIR)