



Universität Karlsruhe (TH)  
Forschungsuniversität • gegründet 1825

# INSTITUT FÜR MECHANIK



## INSTITUTSBERICHT 2006

Berichtszeitraum Oktober 2005 bis September 2006



© Institut für Mechanik, Universität Karlsruhe (TH) Forschungsuniversität • gegründet 1825

Postadresse:

Institut für Mechanik  
Universität Karlsruhe  
Kaiserstr. 12  
76131 Karlsruhe

Telefon:

|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| Sekretariat                    | +49 (0) 721-608-7745 |
| Prof. Dr.-Ing. K. Schweizerhof | +49 (0) 721-608-2070 |
| Prof. Dr.-Ing. P. Vielsack     | +49 (0) 721-608-3714 |
| Fax                            | +49 (0) 721-608-7990 |

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

www: [www: www.ifm.uni-karlsruhe.de](http://www.ifm.uni-karlsruhe.de)

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. ORGANISATION UND PERSONAL .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. GLIEDERUNG DES INSTITUTES .....  | 1         |
| 1.2. WISSENSCHAFTLICHE MITARBEITER .....  | 1         |
| 1.3. STIPENDIATEN .....   | 1         |
| 1.4. VT-PERSONAL .....  | 1         |
| 1.5. SEKRETARIAT .....  | 1         |
| 1.6. WISSENSCHAFTLICHE HILFSKRÄFTE .....  | 1         |
| 1.7. STUDENTISCHE HILFSKRÄFTE .....   | 2         |
| 1.8. TUTOREN .....  | 2         |
| <b>2. LEHRE UND STUDIUM .....</b>   | <b>3</b>  |
| 2.1. LEHRVERANSTALTUNGEN .....  | 3         |
| 2.2. BESCHREIBUNG DER LEHRVERANSTALTUNGEN .....   | 4         |
| <b>2.2.1. Statik starrer Körper</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>2.2.2. Festigkeitslehre</b> .....  | <b>4</b>  |
| <b>2.2.3. Dynamik</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>2.2.4. Grundlagen der Baudynamik</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>2.2.5. Einführung in die Kontinuumsmechanik</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>2.2.6. Finite Elemente</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>2.2.7. Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>2.2.8. Plastizitätstheorie</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>2.2.9. Modellbildung in der Festigkeitslehre</b> .....   | <b>7</b>  |
| <b>2.2.10. Kinetische Stabilitätskriterien</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>2.2.11. Kreisel- und Satellitentheorie für Geodäten</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>2.2.12. Seminar für Mechanik</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>2.2.13. Contact Mechanics I: Static Problems</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>2.2.14. Contact Mechanics II: 3D problems with large deformation friction,</b> .....   | <b>9</b>  |
| <b>2.2.15. Messtechnisches Praktikum</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>2.2.16. Laborpraktikum</b> .....   | <b>9</b>  |
| 2.3. PRÜFUNGEN .....  | 10        |
| 2.4. DIPLOMARBEITEN .....   | 10        |
| 2.5. PROMOTIONEN .....  | 10        |
| <b>3. FORSCHUNG .....</b>   | <b>12</b> |
| 3.1. GRUNDLAGENFORSCHUNG .....  | 12        |
| <b>3.1.1. Mehrskalenerberechnungen bei inhomogenen Körpern</b> .....  | <b>12</b> |
| <b>3.1.2. Schwingungsbasierte Schadensdiagnose delaminierter Verbundstrukturen</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>3.1.3. Dreidimensionale Finite-Element-Modellierung der Kiefermuskulatur zur Simulation realistischer Belastungszustände im stomatognathen System</b> .....                    | <b>15</b> |
| <b>3.1.4. Untersuchungen zur Bestimmung von singulären Punkten, zum Nachbeulverfahren und zur Sensitivität von Schalentragerwerken mit der Methode der Finiten Elemente</b> ..... | <b>15</b> |
| <b>3.1.5. Fehlerschätzung und adaptive Methoden in der Strukturdynamik</b> .....  | <b>18</b> |
| <b>3.1.6. Covariant description of anisotropic contact surfaces</b> .....   | <b>20</b> |
| <b>3.1.7. Entwicklung fluidgestützter geometrisch nichtlinearer Finiter Elemente mit Hilfe einer analytischen Fluidbeschreibung</b> .....   | <b>24</b> |
| <b>3.1.8. Untersuchung der Sprengauswirkung im Nahbereich, Entwicklung effizienter und robuster 3D-Elemente, Adaptive Berechnung, Kopplung mit Starrkörpersimulation</b> .....    | <b>25</b> |
| 3.2. PUBLIKATIONEN .....  | 27        |
| 3.3. WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE .....   | 29        |
| 3.4. MITHERAUSGEBER UND GUTACHTER WISSENSCHAFTLICHER PUBLIKATIONEN .....  | 30        |
| <b>4. AKTIVITÄTEN IN ORGANISATIONEN VON LEHRE UND FORSCHUNG .....</b>   | <b>31</b> |
| 4.1. UNIVERSITÄRE SELBSTVERWALTUNG .....  | 31        |
| 4.2. AKTIVE MITARBEIT BEI NATIONALEN UND INTERNATIONALEN ORGANISATIONEN .....   | 31        |
| 4.3. MITGLIED BEI WISSENSCHAFTLICHEN VEREINIGUNGEN .....  | 31        |
| <b>5. TAGUNGEN UND KONTAKTE .....</b>   | <b>33</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.1. DURCHGEFÜHRTE TAGUNGSVERANSTALTUNGEN.....                                   | 33        |
| 5.1.1. VERLEIHUNG DER PREISE DER PROFESSOR DR. FRITZ PETER MÜLLER STIFTUNG ..... | 33        |
| 2005/2006 AM 7. JULI, 14 UHR, IM KLEINEN HÖRSAAL DES KOLLEGIENGEBÄUDES .....     | 33        |
| 5.2. SEMINARVORTRÄGE .....   | 36        |
| 5.3. INDUSTRIEKOOPERATIONEN.....   | 36        |
| 5.4. GASTWISSENSCHAFTLER.....  | 36        |
| <b>6. ÖFFENTLICHKEITSARBEIT .....</b>  | <b>38</b> |
| 6.1. MESSTECHNISCHES PRAKTIKUM 2006 .....  | 38        |
| 6.2. VORTRAGSREIHE IM SOMMERSEMESTER 2006: .....                                 | 39        |
| DIE VIELSEITIGKEIT DES BAUENS, INGENIEURE IM BERUF BERICHTEN.....                | 39        |



# **1. Organisation und Personal**

## **1.1. Gliederung des Institutes**

Kollegiale Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Vielsack (bis 30.04.06)

Lehrkörper

Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Vielsack (bis 30.04.06)

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 (Drittmittel, DFG)

Dipl.-Ing. Johann Bitzenbauer (50 %)

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**

Willi Wendler, Feinmechanikermeister

Dipl.-Inf. Klaus Neidhardt (50 %)

## **1.5. Sekretariat**

Marianne Benk (50 %)

Rosemarie Krikis (50 %)

## **1.6. Wissenschaftliche Hilfskräfte**

Dipl.-Ing. Alexander Siebert

Dipl.-Ing. Georgios Michaloudis

### **1.7. Studentische Hilfskräfte**

cand.-ing. Teresa Buckel  
cand.-ing. Zorana Djuric  
cand.-ing. Frank Eckardt  
cand.-ing. Sven Janson  
cand.-ing. Meike Karl  
cand.-ing. Oktavian Knoll  
cand.-ing. Huiwen Liu  
cand.-ing. Radmila Lutsenko  
cand.-ing. Markus Maerker  
cand.-ing. Pascal Ortmann  
cand.-phil. Irina Papakhova  
cand.-ing. Henning Peters  
cand.-ing. Tobias Schirmer  
cand.-ing. Johannes Schrade  
cand.-ing. Irina Schubski  
cand.-ing. Alexander Schrade

### **1.8. Tutoren**

cand.-ing. Jan Brien  
cand.-Ing. Zorana Djuric  
cand.-ing. Frederike Folke  
cand.-ing. Marion Kaiser  
cand.-ing. Oktavian Knoll  
cand.-ing. Anne Merkle  
cand.-ing. Nils Münzl  
cand.-ing. Sten Sieber



## 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 05/06          | Schweizerhof<br>Ewert     | 3      | 2   | 1.    | P, K    |
| Festigkeitslehre                                    | SS 06             | Schweizerhof<br>Kizio     | 4      | 2   | 2.    | P, K    |
| Dynamik   | WS 05/06          | Vielsack<br>Müller        | 2      | 2   | 3.    | P       |
| <b>Vertiefung, Pflicht</b>                          |                   |                           |        |     |       |         |
| Grundlagen der Baudynamik                           | SS 06             | Müller                    | 2      | 0   | 6.    | S       |
| Einführung in die Kontinuumsmechanik                | WS 05/06          | Vielsack<br>Kizio         | 1      | 1   | 5.    | S       |
| <b>Vertiefung, Wahlpflicht</b>                      |                   |                           |        |     |       |         |
| Finite Elemente                                     | WS 05/06          | Schweizerhof<br>Haßler    | 2      | 2   | 5./7. | P       |
| Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme | SS 06             | Schweizerhof<br>Haßler    | 2      | 2   | 8.    | P       |
| Plastizitätstheorie                                 | SS 06             | Schweizerhof              | 2      | 2   | 8.    | P       |
| Modellbildung in der Festigkeitslehre               | WS 05/06          | Vielsack                  | 2      | -   | 8.    | P       |
| Kinetische Stabilitätstheorie                       | SS 06             | Vielsack                  | 2      | -   | 7.    | P       |
| Kreisel- und Satellitentheorie für Geodäten         | SS 06             | Vielsack                  | 2      | -   | 6.    | P, S    |
| Seminar für Mechanik                                | WS 05/06<br>SS 06 | Schweizerhof,<br>Vielsack | 2<br>2 | -   | 6.-8. |         |
| <b>Vertiefung, Wahl</b>                             |                   |                           |        |     |       |         |
| Contact Mechanics I                                 | WS 05/06          | Konyukhov                 | 2      | 2   | 7.    |         |
| Contact Mechanics II                                | SS 06             | Konyukhov                 | 2      | 2   | 8.    |         |
| Messtechnisches Praktikum für Bauwerkschwingungen   | SS 06             | Müller<br>Wendler         | -      | 10  | 5.    | S       |
| Laborpraktikum 3. FS.                               | WS 05/06          | Müller<br>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. Eduard Ewert  
**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. Stephan Kizio  
**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. Peter Vielsack  
**Betreuer:** Dr.-Ing. Ingolf Müller  
**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<sup>3</sup> 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:** Prof. Dr.-Ing. Peter Vielsack  
**Betreuer:** Dipl.-Ing. Stephan Kizio  
**Turnus:** Sommersemester (5. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 1 Semester  
**Umfang:** 2 SWS (1 SWS Vorlesung / 1 SWS Übungen)  
**ECTS:** 3 Punkte

### 2.2.6. 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 angesprochen und auszugsweise auch programmtechnisch umgesetzt. Die Studierenden sollten danach in der Lage sein, erstens selbständig mit FE Programmen 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

### 2.2.7. 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

### 2.2.8. 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

### 2.2.9. 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. habil. Peter Vielsack  
**Turnus:** Wintersemester (7. Fachsemester)  
**Kursdauer:** 1 Semester  
**Umfang:** 2 SWS Vorlesung  
**ECTS:** 3 Punkte

### 2.2.10. 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

### 2.2.11. Kreisel- und Satellitentheorie für Geodäten

**Ziel:** Die kinematischen und kinetischen Grundlagen der Drehbewegung starrer Körper (Kreisel) und der Bewegung von Satelliten auf kreisförmigen Bahnen werden hergeleitet. Partikuläre Lösungen und deren kinetische Stabilität werden diskutiert. Anwendungsgebiete sind Himmels- und Satellitendynamik und die Grundlagen von Kreiselgeräten.

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

**Dozent/en:** N. N.  
**Turnus:** Sommersemester (6. 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 computergestützten Mechanik und erweitert ihre Kenntnisse in Theorie und Praxis.

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

**Dozent/en:** Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof  
Prof. Dr.-Ing. Peter Vielsack  
**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 (**F**inite **E**lement **A**nalysis **P**rogram, 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 with large deformation friction, Dynamic problems**

**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 (planned):** 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)  
wöchentliche Sprechstunden  
**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 Punkt

### 2.3. Prüfungen

|   | Zahl der Teilnehmer |      |
|---|---------------------|------|
|   | F 06                | H 06 |
| Statik starrer Körper                               | 136                 | 55   |
| Festigkeitslehre                                    | 41                  | 115  |
| Dynamik   | 85                  | 24   |
| Prüfung Baudynamik                                  | 6                   | 29   |
| Einführung in die Kontinuumsmechanik                | 36                  | -    |
| Finite Elemente                                     | 11                  |      |
| Finite Elemente für Feld- und zeitvariante Probleme | 2                   |      |
| Plastizitätstheorie                                 | -                   |      |
| Modellbildung in der Festigkeitslehre               | 2                   |      |
| Kinetische Stabilitätskriterien                     | -                   |      |
| Messtechnisches Praktikum                           | 5                   |      |
| Contact Mechanics I                                 | -                   |      |
| Contact Mechanics II                                | -                   |      |
| Einführung in die Kreisel- und Satellitentheorie    | 11                  |      |

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

### 2.4. Diplomarbeiten/Masterarbeiten

Suman, Roy: On the simulation of wave propagation problems in nonregular structures with FE programs  
 Betreuer: Schweizerhof, Mattern

### 2.5. Promotionen

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

#### *Korreferat*

Jörn Weichert: Ein Computerorientierter Algorithmus für die Traglastberechnung von Platten mittels der Fließlinientheorie, Brandenburgisch technische Universität Cottbus, Juli 2006  
 (Hauptreferent Prof.Dr.-Ing.P. Osterrieder)

M. Gebhardt: Hydraulische und Statische Bemessung von Schlauchwehren, Universität Karlsruhe, Februar 2006  
 (Hauptreferent Prof.Dr.-Ing. F. Nestmann)

M. Mohr: Mechanical modeling and deformation simulation of ventricular myocardium, Universität Karlsruhe, Februar 2006  
 (Hauptreferent Prof. Dössel, Uni Karlsruhe)



R. Porcaro (First Fakultätsopponent): Behaviour and modelling of self-piercing riveted connections, Norwegian Institute of Science and Technology, Trondheim, Norway, October 2005  
(Hauptreferent Prof.Dr.Magnus Langseth)

C. Hahn: Contact and Fragmentation in Computational Solid Mechanics, Universität Hannover, November 2005  
(Hauptreferent Prof.Dr.-Ing. P. Wriggers)

## 3. Forschung

### 3.1. Grundlagenforschung

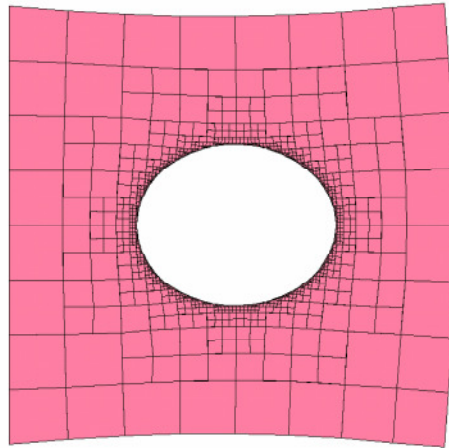
#### 3.1.1. Mehrskalenergebnisse bei inhomogenen Körpern

*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), siehe Sauter [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 die Steifigkeitsmatrizen des diskretisierten Problems herangezogen werden, nutzt der am Institut eingesetzte Algorithmus Geometrieinformationen aus, ohne jedoch die beim klassischen geometrischen Mehrgitterverfahren auftretenden Einschränkungen zu besitzen. 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 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 sei hier eine Scheibe mit Loch unter Verwendung von hängenden Knoten diskretisiert.



### 3.1.2. Schwingungsbasierte Schadensdiagnose delaminierter Verbundstrukturen

*Internes Projekt*

*Bearbeitung: I. Müller, (H. Schmiege, P. Vielsack, K. Schweizerhof)*

Geschichtet aufgebaute Verbundwerkstoffe werden aufgrund ihrer guten spezifischen und gezielt einstellbaren Materialeigenschaften in zunehmendem Maße für vielfältige technische Anwendungen eingesetzt. Delaminationen stellen die häufigste Schadensklasse laminatartiger Materialien dar und führen oft zu einer erheblichen Herabsetzung der mechanischen Eigenschaften, die nicht selten den Auslösemechanismus für ein globales Strukturversagen bildet. Dies begründet die Notwendigkeit der Entwicklung zuverlässiger und effizienter Verfahren zur zerstörungsfreien Schadensdiagnose.

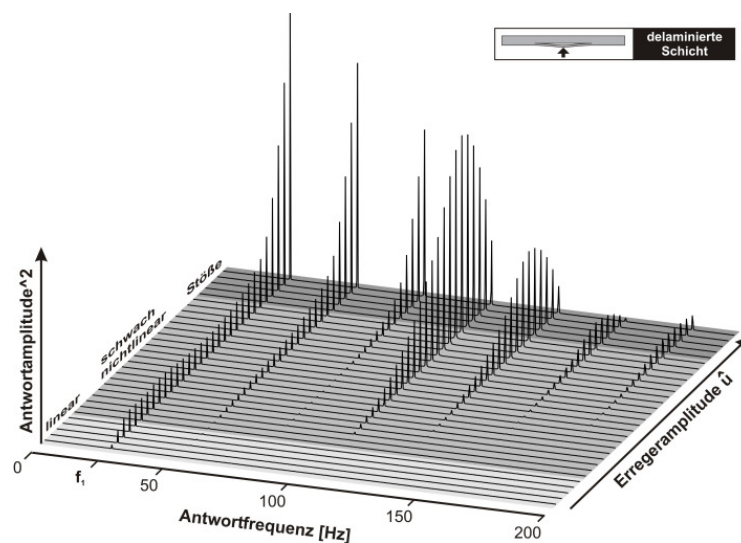


Bild 1: Beispiel für Antwortspektren einer delaminierten Struktur in Abhängigkeit der Erregeramplitude und Zuordnung in verschiedene Nichtlinearitätsbereiche

Das Schwingungsverhalten delaminierter Strukturen wird von stark nichtlinearen Phänomenen dominiert, die an der Schadensstelle entstehen und Auswirkungen auf die globale Bewegung des Systems besitzen. Das Vorliegen unilateraler Bindungen sowie das Auftreten flächenhafter, dissipativer Stoßkontakte zwischen den gelösten Teilsystemen führt gegenüber einer ungeschädigten Struktur zu einer erheblichen Änderung der Schwingungseigenschaften. Die gezielte Ausnutzung dieser Schadensnichtlinearität als Grundlage eines experimentellen, modellunterstützten Detektionsverfahrens zeigt eine bemerkenswerte schadensbezogene Sensitivität und erlaubt anhand des Nichtlinearitätsdurchgriffs eine Delaminationserkennung auf Systemebene. Hierfür wird ein Nichtlinearitätsmaß eingeführt, das die Linearitätsabweichung ausgewählter Schwingungsantworten quantifiziert und damit als Schadensindikator dient.

Die numerische Erfassung der beschriebenen Schwingungsphänomene führt auf den Problemkreis der nicht-glatte dynamischen Systeme. Alle grundlegenden Schwingungseigenschaften delaminierter Strukturen können anhand nicht-glatte Starrkörpermodelle mit einer geringen Anzahl unabhängiger Koordinaten herausgestellt werden. Die weiterführende FE-Simulation geschädigter Strukturen zur Einbindung in ein nichtlineares modellbasiertes Identifikationsverfahren erfordert die zuverlässige Erfassung der dynamischen Stoßkontakte, da diese den Schädigungszustand repräsentieren. Herkömmliche Kontaktelemente auf der Basis einer Feder-Dämpfer-Regularisierung können für die Abbildung dieses speziellen Kontakttyps nicht verwendet werden, da die Wahl der benötigten Regularisierungsparameter sich in hohem Maße auf die Struktur der berechneten Lösung auswirkt und somit den Prognosecharakter des Simulationsmodells in Frage stellt. Als Alternative wird eine Stoßgesetz-Penalty-Formulierung eingeführt, welche die genannten Schwierigkeiten überwindet und damit eine zuverlässige FE-Simulation des nicht-glatte Schwingungsverhaltens derart geschädigter Systeme erlaubt.

Das vorgestellte Konzept zur nichtlinearen modellbasierten Schadensidentifikation erfordert die Lösung eines inversen Problems, bei dem die Abweichungen der nichtlinearen Schwingungsantworten zwischen Experiment und Simulation als Residuum formuliert werden, dessen Minimierung die sukzessive algorithmische Modellkorrektur steuert. Das in diesem Zusammenhang zu lösende nicht-konvexe Optimierungsproblem verlangt die Verwendung einer speziellen Optimierungsstrategie mit globalem Charakter.

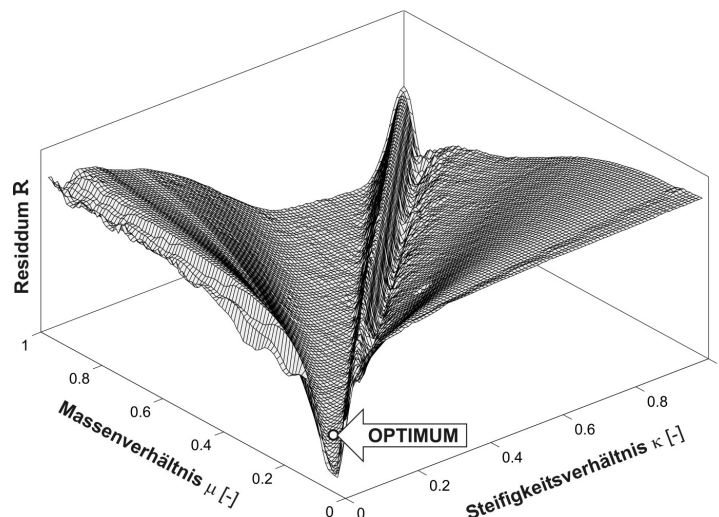


Bild 2: Beispiel für die nicht-konvexe Gestalt einer verschiebungsbasierten Zielfunktion  $R$  für eine nichtlineare, modellbasierte Schadensidentifikation

### 3.1.3. Dreidimensionale Finite-Element-Modellierung der Kiefermuskulatur zur Simulation realistischer Belastungszustände im stomatognathen System

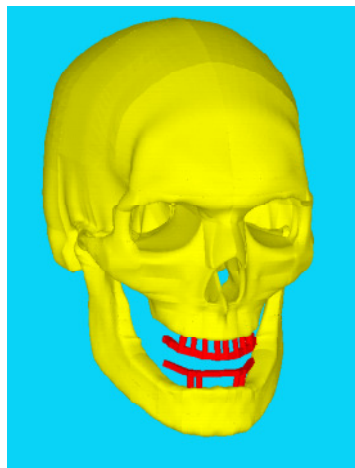
DFG Schw 307/15-1, bis 31.03.07

Bearbeitung: S. Rues<sup>2</sup>, J. Lenz<sup>2</sup>, K. Schweizerhof<sup>1</sup>

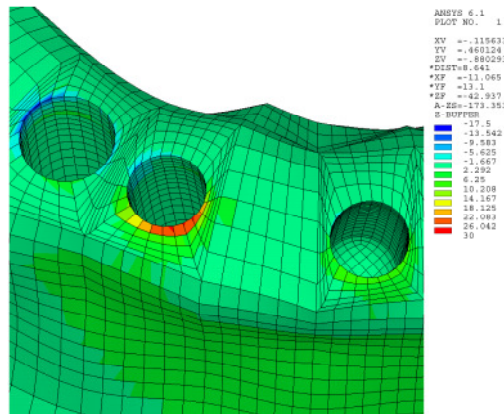
<sup>1</sup> Institut für Mechanik, Fakultät für Bauingenieurwesen

<sup>2</sup> Forschungsgruppe Biomechanik, Fakultät für Mathematik

Das linke Bild zeigt den für die FE-Analyse verwendeten Schädel und Unterkiefer, hier speziell bei Bestückung des Oberkiefers mit acht und des Unterkiefers mit vier Implantaten, die jeweils über einen Steg miteinander verblockt sind. Das rechte Bild zeigt die Verteilung der maximalen Zugspannungen im Unterkiefer bei einer symmetrischen Verteilung von Implantaten in regio 1,3,4, die miteinander verblockt sind. Die Belastung erfolgt mit jeweils 100 N über den Masseter-Muskel; der Unterkiefer steht in regio 5 mit dem Oberkiefer in Kontakt.



Schädel mit Implantaten



Detail Unterkiefer

### 3.1.4. Untersuchungen zur Bestimmung von singulären Punkten, zum Nachbeulverfahren und zur Sensitivität von Schalenträgwerken mit der Methode der Finiten Elemente

Internes Projekt

Bearbeitung: E. Ewert, (K. Schweizerhof, P. Vielsack)

Werden Strukturen mit der FE Methode auf Stabilität untersucht, so wird zumeist nach singulären Punkten - Verzweigungs- und Durchschlagspunkten - gesucht. Neuere Untersuchungen zeigen, dass auch bei Einbeziehen der realen Geometrie in die FEM-Berechnungen die so bestimmten Beullasten sehr schlecht mit den Experimenten übereinstimmen. Daher stellt sich zunächst die Frage, ob es mit den zur Verfügung stehenden Algorithmen und Elementen möglich ist, zuverlässige Aussagen über die singulären Lasten realer Strukturen zu erhalten.

Weiter werden bei statischen Untersuchungen Pfadverfolgungsalgorithmen eingesetzt, um als Ergebnis eine Lastverformungskurve für den gesamten Beulbereich zu erhalten. Die Richtigkeit und Eindeutigkeit der erhaltenen Kurve, vor allem bezüglich des Nachbeulbereichs, ist aber oft problematisch, z.B. bei Tragwerken mit mehreren Verzweigungspunkten und Pfaden oder Problemen mit Kontakt. Außerdem zeigen sich hier Konvergenzprobleme bei Verwendung statischer Methoden. Weiter ist für

die Bemessung und Auslegung von Schalen bzgl. Stabilität nicht nur die Gleichgewichtslage an sich, sondern vielmehr ihre Realisierbarkeit und Empfindlichkeit gegen Störungen von Interesse. Dies führt zu den Untersuchungen der Sensitivität stabiler Gleichgewichtslagen im Vorbeulbereich.

### Bestimmung singulärer Punkte mit der FEM

Aufgrund der rasanten Entwicklung von Computern und von Finite Element Programmen in den letzten Jahren haben die Stabilitätsuntersuchungen mittels FEM Einzug in die Normen gehalten. Hierbei wird zumeist nach folgendem Schema verfahren:

- Bestimmung des singulären Punktes für ein geometrisch perfektes System. Ergebnis:
  - Beullast = singuläre Last  $F_{cr,perf}$
  - Beulform = 1. Eigenform am singulären Punkt  $\Phi_{1,perf}$
- Die Beulform aus 1. wird als Imperfektion mit einer entsprechenden Skalierung auf die perfekte Struktur aufgebracht.
- Bestimmung des singulären Punktes der imperfekten Struktur aus 2. Ergebnis:
  - Beullast = singuläre Last  $F_{cr,imp}$
  - Beulform = 1. Eigenform am singulären Punkt  $\Phi_{1,imp}$
- Abminderung der Beullast  $F_{cr,imp}$  hinsichtlich Lasteinwirkungen und des Materials.

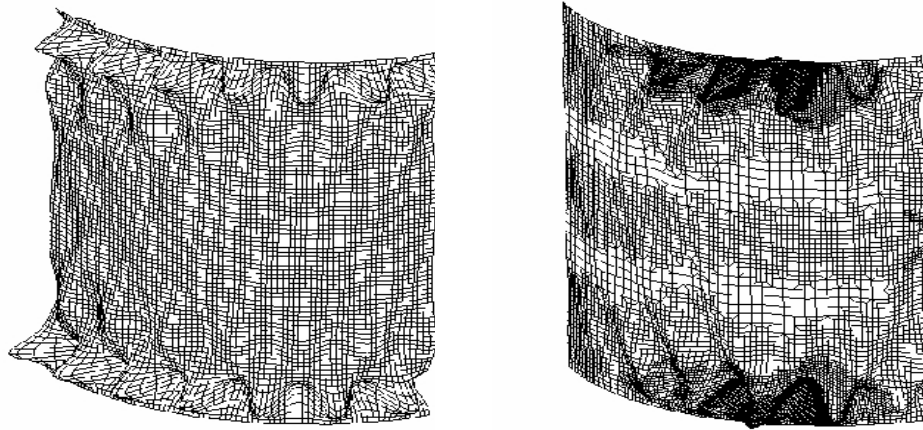
Die so bestimmte Last kann zur Bemessung herangezogen werden. Sofern bekannt, kann alternativ zu den eigenformaffinen Imperfektionen die reale Geometrie verwendet werden. Die Zuverlässigkeit des Verfahrens wird durch das Konvergenzverhalten der Lösung sowohl hinsichtlich der Beullast als auch hinsichtlich der Beulform bestimmt. Hierzu wurde das Konvergenzverhalten der Lösung für einen geometrisch perfekten Zylinderviertel mit unterschiedlichen Elementen – bilinear, biquadratisch und bikubisch – untersucht. Außerdem wurden adaptive Vernetzungsverfahren bei bilinearen und biquadratischen Elementen eingesetzt. Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Bei Verwendung bilinearer Elemente sind extrem feine Netze notwendig, um die konvergierte Lösung zu erhalten.
- Verwendung adaptiver Netze führt bei bilinearen Elementen zu stark abweichenden Eigenformen, die auch bei sehr feinen Netzen nicht gegen die Eigenformen der gleichmäßigen Netze konvergieren. Dies liegt an der Verwölbung von Übergangselementen, die eine künstliche Störung im FE-Netz bewirken.
- Bei gleichmäßiger Vernetzung stellen sich die biquadratischen Elemente unter Berücksichtigung der Genauigkeit und der Effizienz als die „beste Wahl“ heraus.
- Bei Verwendung schiefwinkliger, verwölbter Elemente ergeben sich für biquadratische Elemente trotz der künstlichen Störungen keine negativen Einflüsse. Die biquadratischen Elemente sind daher als wesentlich robuster im Hinblick auf unregelmäßige Vernetzung einzustufen als die bilinearen.

Für die Untersuchungen an imperfekten Zylinderschalen wurden zunächst die realen Oberflächen, die in Form von vermessenen Punkten vorlagen, mit Hilfe der *zweidimensionalen inversen diskreten Fouriertransformation* in eine kontinuierliche Form gebracht. Dies ermöglichte dann das Erzeugen beliebig feiner Netze für die imperfekte Geometrie. Die Untersuchung zur Bestimmung singulärer Lasten zeigt, dass auch hier die biquadratischen Elemente die besten Ergebnisse hinsichtlich Genauigkeit und Effizienz liefern. Allerdings ergibt sich bei der Verwendung höherer als bilinearer Ansätze keine monotone Konvergenz der Lösung hinsichtlich der singulären Last. Eingehende Untersuchungen zur Geometrieabbildung zeigen, dass allein die Vernetzung der gleichen imperfekten Geometrie mit leicht unterschiedlichen

Netzen zu Abweichungen in der Geometrie führt, die ihrerseits nennenswerte Abweichungen in den Beullasten verursachen.

Insgesamt ist die statische Bestimmung von singulären Punkten als sehr sensitiv gegenüber Berechnungsparametern wie Vernetzung und Geometrie einzustufen. Hier kann kaum eine verlässliche Aussage über die Beullasten realer Strukturen gemacht werden.



Konvergierte Beulformen  $\Phi_{1,perl}$  bei gleichmäßiger (links) und adaptiver (rechts) Vernetzung mit bilinearen Elementen.

## Untersuchungen des Nachbeulverhaltens

Wegen der Konvergenzprobleme statischer Berechnungsverfahren werden hier bei den Untersuchungen des Nachbeulverhaltens transiente Methoden eingesetzt. Dabei werden zwei unterschiedliche Zeitintegrationsverfahren verwendet: das Newmark-Verfahren im Rahmen des FE-Programms FEAP-MeKA und das Zentrale Differenzen Verfahren im Rahmen des FE-Programms LS-DYNA. Bei den Untersuchungen am Kreiszyylinder unter axialer Drucklast wird der Vorgang in einer Prüfmaschine simuliert: die Unterseite des Zylinders wird festgehalten, wobei an der Oberseite die Belastung über vorgeschriebene Verschiebung in axialer Richtung aufgebracht wird. Zunächst werden die zwei verwendeten Verfahren anhand von Untersuchungen an einem Zylinderviertel gegenübergestellt. Beide Verfahren führen zu gleichen Nachbeullasten und -formen mit marginalen Unterschieden in den Lastverformungsverläufen und zeigen sich weitgehend insensitive gegenüber Änderungen in den Berechnungsparametern wie Dämpfung und Belastungsgeschwindigkeit. Die Bestimmung des Nachbeulverhaltens mit Hilfe transienter FE-Methode kann daher als sehr robust bezeichnet werden. Weiter wird die Größe des Zeitschritts beim Newmark-Verfahren im Wesentlichen durch den sehr schnell ablaufenden Beulvorgang bestimmt. Dadurch ist der Zeitschritt sehr klein zu wählen, was seinerseits zum Verlust des Effizienzvorsprungs eines impliziten Verfahrens, welches Newmark ist, gegenüber dem expliziten Verfahren der Zentralen Differenzen führt. Daher wird bei den Untersuchungen an imperfekten Vollzylindern das Programm LS-DYNA verwendet. Im Übrigen zeigen die Konvergenzuntersuchungen mit bilinearen und biquadratischen Elementen eine wesentlich schnellere Konvergenz der Lösung im Nachbeulbereich als im Falle der singulären Lasten. Die Ergebnisse der gesamten Untersuchung lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

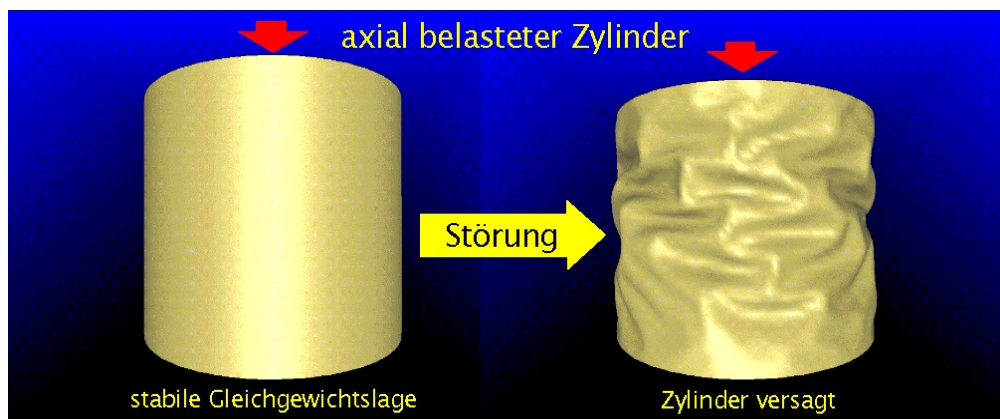
- Die Untersuchung des Beulverhaltens mittels transienter FE-Methode ist sehr robust. Bei quasi statischer Belastung ist hier auch die Bestimmung von Beullasten mit vertretbarem Aufwand möglich.

- Die Konvergenzuntersuchungen zeigen, dass bei der Bestimmung der Nachbeullasten und -formen die bilinearen und die biquadratischen Elemente gleichwertig sind.
- Die Nachbeullasten sind für unterschiedliche Imperfektionen nahezu gleich groß und stimmen sehr gut mit den Versuchsergebnissen und den Bemessungsnormen überein.

### Sensitivitätsuntersuchungen

Besitzt ein System mehrere Gleichgewichtslagen (GGL) bei einem Lastniveau, so kann es durch Zuführen von Energie, z.B. über eine kinetische Störung, von einer stabilen GGL in eine andere überführt werden oder zu einer freien Bewegung angeregt werden. Der Kehrwert der minimalen kinetischen Energie, die hierzu notwendig ist, wird als Sensitivität definiert.

Der gegenwärtige Forschungsschwerpunkt liegt bei der Suche nach Methoden, mit denen sich die nach der Störung einstellenden Bewegungen möglichst effizient und eindeutig beschreiben und beurteilen lassen.



Kreiszyylinder in einer stabilen Gleichgewichtslage im Vorbeulbereich (links), Beulenbildung nach Zuführen kinetischer Störung (rechts) dargestellt

### 3.1.5. Fehlerschätzung und adaptive Methoden in der Strukturmechanik

*Internes Projekt*

*Bearbeitung: S. Kizio, (K. Schweizerhof)*

Die gebräuchlichste numerische Lösungsmethode für Problemstellungen der Strukturmechanik ist die so genannte Semidiskretisierung. Hierbei erfolgt zunächst die räumliche Diskretisierung mit Finiten Elementen. Dies führt auf ein System gekoppelter gewöhnlicher Differentialgleichungen, die im nächsten Schritt mit geeigneten numerischen Zeitintegrationsverfahren gelöst werden.

Jede dieser Diskretisierungsstufen resultiert in einem Fehler in der numerischen Lösung des Problems. Der gesamte Diskretisierungsfehler lässt sich also formal in einen räumlichen Diskretisierungsfehler und einen Zeitintegrationsfehler aufspalten.

Ziel des Projektes ist die zielorientierte Fehlerschätzung und Adaption sowohl der räumlichen als auch der zeitlichen Diskretisierung. Zielorientiert bedeutet dabei, dass der Fehler in einem beliebigen Zielfunktional kontrolliert werden soll. Das grundlegende Konzept der Fehlerschätzung in beliebigen Zielfunktionalen geht auf die Arbeiten von Johnson et.al. und Rannacher et.al. zurück. Im Rahmen des Projektes erfolgt



die Darstellung des Diskretisierungsfehlers getrennt nach räumlichem Fehler und Zeitintegrationsfehler.

Die Schätzung des räumlichen Fehlers in einer beliebigen Zielgröße bedingt die Einführung eines Hilfsproblems, welches als adjungiertes oder duales Problem bezeichnet wird. Die Lösung des dualen Problems wird dann als Wichtungsfunktion für das Residuum des eigentlichen Problems, dem so genannten primalen Problem, verwendet. Aus diesem Grund wird das generelle Konzept der zielorientierten Fehlerschätzung als „Dual-Weighted-Residual“-Konzept bezeichnet.

Es kann gezeigt werden, dass diese Form der Fehlerschätzung der Auswertung des Satzes von Betti (Reziprozitätstheorem) entspricht. Folglich kann die Lösung des dualen Problems als Einflussfunktion für die gesuchte Fehlergröße interpretiert werden. Für Aufgabenstellungen in der Strukturmechanik ist das duale Problem ein „Rückwärtsproblem“ in der Zeit mit „Anfangsbedingungen“ zum aktuellen Zeitpunkt, an dem der räumliche Diskretisierungsfehler bestimmt werden soll. Die Anfangsbedingungen des dualen Problems legen dann die zu schätzende Fehlergröße fest. Das duale Problem stellt somit eine Einflussfunktion für die gesuchte Fehlergröße in Raum und Zeit dar. Entsprechend lässt sich die zielorientierte Fehlerschätzung für den Fall der linearen Elastodynamik analog zur Statik auf das bekannte Reziprozitätstheorem nach Graffi zurückführen.

Die Fehlerschätzung bedingt also die Lösung des dualen Problems und die Kopplung mit der Lösung des primalen Problems über den gesamten Zeitbereich. Der damit verbundene Rechenaufwand ist derart groß, dass die direkte numerische Auswertung der Fehlerdarstellungen für praktische Anwendungen unbrauchbar erscheint.

Ziel des Projektes ist aus diesem Grund zunächst die Ableitung von Fehlerschätzern mit vertretbarem numerischem Aufwand, bei denen auf eine vollständige Lösung des Rückwärtsproblems verzichtet werden kann. Bei Systemen mit Dämpfung ist z.B. die Fehlerfortpflanzung in der Zeit begrenzt, folglich muss auch das duale Problem nur in diesem Bereich gelöst werden. Ein weiterer heuristischer Ansatz besteht darin, nur den mittleren Fehler im letzten Zeitschritt zu schätzen und dann auf den gesamten Fehler zu schließen.

Im Rahmen des Projektes wird nun noch untersucht, welche Fehleranteile (z.B. falsche Approximation der Eigenformen oder Phasenfehler) mit den verschiedenen Methoden geschätzt werden können und ob nicht vollständig auf die Lösung des Rückwärtsproblems verzichtet werden kann, wenn z.B. der Phasenfehler nicht abgeschätzt werden soll.

Die entwickelten Fehlerschätzer dienen dann als Grundlage für die Adaption des Raumnetzes.

Ein weiterer Aspekt ist die Schätzung des Zeitintegrationsfehlers und die Adaption der Zeitschrittweite. Für die Fehlerschätzung ergeben sich in Abhängigkeit vom gewählten Zeitintegrationsverfahren verschiedene Möglichkeiten zur Fehlerschätzung.

Bei der Schätzung des Zeitintegrationsfehlers wird zwischen lokalem und globalem Fehler unterschieden. Der globale Fehler entspricht dem gesamten Zeitintegrationsfehler zu einem bestimmten Zeitpunkt, wohingegen der lokale Zeitintegrationsfehler ein Maß für den Fehler im aktuellen Zeitschritt darstellt.

Bei der Verwendung eines Finite Differenzenverfahrens, wie z.B. dem Newmarkverfahren, werden lokale Fehlerschätzer basierend auf Differenzenquotienten für höhere Ableitungen verwendet. Der globale Fehler kann dabei nicht direkt geschätzt werden, es muss also vom lokalen Fehler auf den globalen Fehler geschlossen werden. Im Falle linearer Bewegungsgleichungen lassen sich Abschätzungen des globalen Fehlers auf Grundlage lokaler Fehlerabschätzungen angeben, im Falle nichtlinearer Bewegungsgleichungen ist dies nicht möglich.

Bei der Verwendung von (kontinuierlichen und diskontinuierlichen) Galerkinverfahren in der Zeit können die bereits erwähnten Methoden zur Fehlerschätzung basierend auf dem Reziprozitätstheorem für die Schätzung des globalen und lokalen Zeitintegrationsfehlers übernommen werden. Zur Schätzung des globalen Zeitintegrationsfehlers ist auch hier das vollständige duale Rückwärtsproblem zu lösen, was wiederum

einen sehr hohen Aufwand mit sich bringt. Deshalb wird im Rahmen des Projektes der globale Fehler nur in einer reduzierten Basis geschätzt (z.B. modale Basis), wobei das duale Problem effizient für die Auswahl dieser reduzierten Basis verwendet werden kann.

Die Schätzung des globalen und lokalen Zeitintegrationsfehlers kann dann als Basis für die Adaption der Zeitschrittweite verwendet werden.

### 3.1.6. Covariant description of anisotropic contact surfaces

*Internes Projekt*

*Bearbeitung: A. Konyukhov, (K. Schweizerhof)*

#### 1. INTRODUCTION

A generalization of the isotropic macro characteristics for contact surfaces is described in the literature only for the sliding region mostly by means of the anisotropic friction tensor. A first general derivation of sliding characteristics was based on mechanics of a rigid block on an inclined plane. Later, the theory of tensor function representations has been applied to obtain the structure of the friction tensor for an arbitrary nonlinear case according to the relative sliding velocity.

Despite the extensive literature on finite element solutions for contact problems, there are only few publications on finite element models for anisotropic friction.

A covariant contact description, developed recently, allows to construct a numerical algorithm based on a Newton's type solution within the finite element method for arbitrary approximations of contact surfaces. The main advantage is that all contact characteristics as well as all necessary for solution operations are derived in a covariant form in a spatial coordinate system defined according to the closest point procedure on the contact surface. The covariance of all relations allows to generalize them into anisotropy for both friction and adhesion. It is shown that the latter can be used to define properties of machined surfaces.

#### 2. COVARIANT DESCRIPTION AND ITS GENERALIZATION

A spatial local coordinate system defined on the master surface is obtained at the projection point  $\mathbf{C}$  based on the closest projection of the slave point  $\mathbf{S}$ :

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

The first two convective coordinates  $\xi^1, \xi^2$  define the surface point  $\mathbf{C}$  and, therefore, are responsible for the tangential contact interaction. The third coordinate  $\xi^3$  is the value of the penetration and is used to define the properties of the normal interaction. The full contact traction vector  $\mathbf{R}$  is defined in contravariant basis vectors  $\boldsymbol{\rho}^i$  and  $\mathbf{n}$  as follows:

$$\mathbf{R} = \mathbf{T} + \mathbf{N} = T_i \boldsymbol{\rho}^i + N \mathbf{n}.$$

The penalty method is applied for the regularization of the contact conditions leading to an equation for the normal traction in a closed form:  $N = \varepsilon_N \xi^3$ , if  $\xi^3 \leq 0$ ; while the tangent traction  $\mathbf{T}$  is written in a rate form:

$$\frac{d\mathbf{T}}{dt} = -\varepsilon_T \dot{\xi}^i \mathbf{p}_i,$$

where a full time derivative  $\frac{d\mathbf{T}}{dt}$  is taken in covariant form in the spatial coordinate system on the tangent plane with  $\xi^3 = 0$ . A generalization for adhesion is obtained after the introduction of the adhesion tensor  $\mathbf{B}$  in the evolution equation (3):

$$\frac{d\mathbf{T}}{dt} = \mathbf{B}(\mathbf{v}_S - \mathbf{v}),$$

where  $\mathbf{v}_S - \mathbf{v} = \dot{\xi}^i \mathbf{p}_i$  is a relative velocity vector of the contact point  $\mathbf{C}$ . The generalization of the isotropic Coulomb friction law is obtained via the friction tensor  $\mathbf{F}$  defined in the surface metrics:

$$\Phi = \sqrt{f^{ij} T_i T_j} - N = \sqrt{\mathbf{TFT}} - N$$

The sliding criteria are written then as follows

$$\text{if } \Phi \leq 0 \rightarrow \text{sticking (adhesion), if } \Phi > 0 \rightarrow \text{sliding.}$$

The adhesion tensor  $\mathbf{B}$  and the friction tensor  $\mathbf{F}$  are chosen to fulfill some thermodynamical restrictions. In particular, the anisotropy can be inherited from the arbitrary coordinate system on the contact surface. In this case the tensor is defined via the unit vectors  $\mathbf{e}_i = \frac{\mathbf{r}_i}{|\mathbf{r}_i|}$ ,  $i=1,2$  of this coordinate system as  $\mathbf{B} = \lambda_i \mathbf{e}_i \otimes \mathbf{e}_i$ . Fig. 1 shows the so-called spiral orthotropy on a cylinder, which is defined via the orthogonal spiral net with tangent vectors  $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$ . The adhesion tensor with stiffnesses along the coordinate lines  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  is also given in the picture after the transformation to the contravariant basis  $\mathbf{p}^1, \mathbf{p}^2$  of the cylindrical coordinate system.

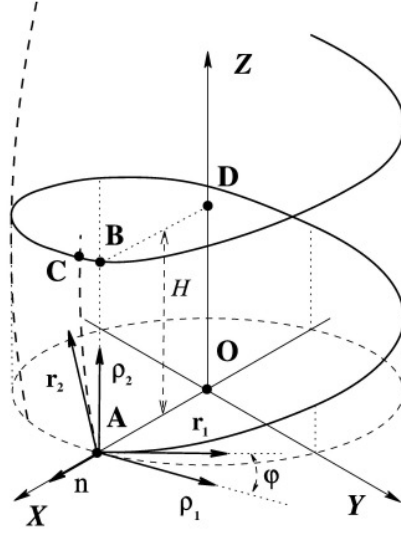


Figure 1: Spiral orthotropy on a cylinder.

Definition of a spiral net and the adhesion tensor  $\mathbf{B}$ .

$$\mathbf{B} = b_{ij} \boldsymbol{\rho}^i \boldsymbol{\rho}^j = -\frac{1}{R^2 + \left(\frac{H}{2\pi}\right)^2} \begin{bmatrix} g_\varepsilon R^2 & (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \frac{R^2}{2\pi} \\ (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \frac{R^2 H}{2\pi} & \varepsilon_1 \left(\frac{H}{2\pi}\right)^2 + \varepsilon_2 R^2 \end{bmatrix}$$

$$\text{with } g_\varepsilon = \varepsilon_1 R^2 + \varepsilon_2 \left(\frac{H}{2\pi}\right)^2$$

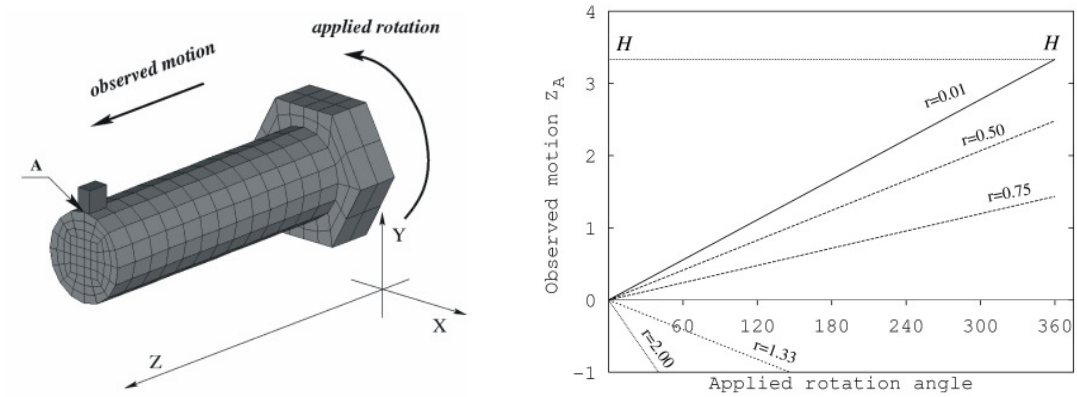


Figure 2: The variation of the parameters  $\Gamma = \frac{1}{\varepsilon_2}$  allows to describe different kinematics of the screw connection.

## 2.1 Derivation of the sliding forces and displacements

The anisotropic friction problem is formulated as an optimization problem via the principle of maximum dissipation in a continuous form. In order to construct the numerical

algorithm, the return-mapping algorithm with regard to inequalities (6) within the Euler backward scheme for the evolution equation (4) is applied to compute all characteristics for sliding, such as a sliding force  $\mathbf{T}^{\text{sl}}$  and a sliding displacement vector  $\xi^{\text{sl}}$  at each load step. The sliding force  $\mathbf{T}^{\text{sl}}$  e.g. is computed as follows:

$$\mathbf{T}^{\text{sl}} = -\frac{\hat{\mathbf{T}}}{\sqrt{\hat{\mathbf{T}}\hat{\mathbf{T}}}}|\mathbf{N}| \text{ with } \hat{\mathbf{T}} = \mathbf{BFT}^{\text{tr}},$$

where the trial force  $\mathbf{T}^{\text{tr}}$  is computed via the Euler backward scheme for the evolution equation (4).

The linearization procedure of the weak form, formulated also in the spatial coordinate system, is consistently performed as covariant differential operations on the tangent plane. As an advantage, all tangent matrices contain geometrical parameters of the contact surface and, therefore, can be implemented into a finite element program independent of the order of the corresponding surface approximation.

### 3. NUMERICAL EXAMPLE

A possibility to model a curved machined surface within the proposed approach is illustrated with a model of a screw connection, see Fig. 2. A screw, meshed with a relatively coarse finite element mesh, is contacting with a thread inside a rigid cylinder (the cylinder is schematically depicted with a single upper element in Fig. 2). Contact is modeled with a "point-to-analytical surface" approach. These elements are specified on the cylindrical part of the screw. As a result, the parameters of both, the adhesion and the friction tensors, can be calibrated in order to prescribe the resulting kinematics exactly by keeping the necessary sliding force at a certain level.

### 4. CONCLUSIONS

- The fully covariant description for the anisotropic contact surfaces was developed. The description includes the anisotropy for both sliding and adhesion and is realized as numerical approach within a Newton type iterative solution scheme for problems discretized by finite elements.
- Parameters of the model such as adhesion and friction tensors can be calibrated in order to describe e.g. the properties of the machined surfaces.

### 3.1.7. Entwicklung fluidgestützter geometrisch nichtlinearer Finiter 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).

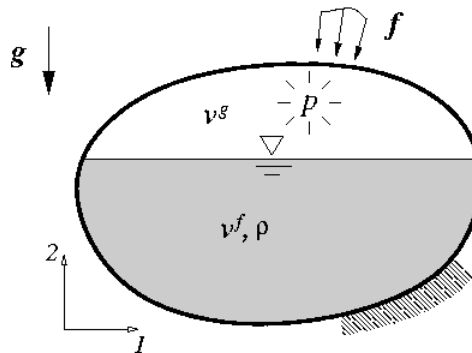


Bild 1: Dünwandige mit Flüssigkeit und/oder Gas gefüllte elastische Schalenstruktur unter externer Last

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. 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 2).

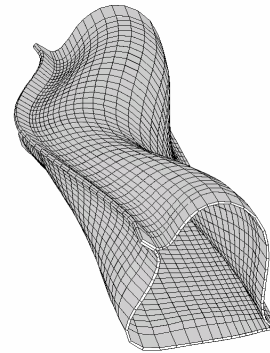


Bild 2: Ausbildung einer V-Kerbe als typisches Stabilitätsversagen eines Schlauchwehres

### 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.
- Kontaktalgorithmen:  
Ein weiterer Schwerpunkt ist die Implementierung von Kontaktalgorithmen, um z.B. die Faltenbildung einer aufgepumpten Membran in einer 3D-Simulation zu erfassen.
- Anisotropes Materialgesetz:  
Des Weiteren soll das Modell um ein anisotropes Materialgesetz, welches die Faserverbundstruktur der gängigen Membranmaterialien beschreibt, ergänzt werden.

### 3.1.8. Untersuchung der Sprengauswirkung im Nahbereich, Entwicklung effizienter und robuster 3D-Elemente, Adaptive Berechnung, Kopplung mit Starrkörpersimulation

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. Lothar Stempniewski, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Karlsruhe (TH), 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 die nicht mehr den heutigen Anforderungen an Funktionsfähigkeit, Ästhetik oder Qualität 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 Simulation gelöst.

#### Projekthinhalte Teilprojekt 2 (Institut für Mechanik):

Bei der Sprengung von Tragwerken treten nicht nur Fragestellungen unmittelbar im Bereich der Sprengladung bzw. nach der globalen Kollapsform auf, sondern es ist auch dafür Sorge zu tragen, dass die lokale Sprengung nicht weitere ungeplante Zerstörungen in den unmittelbar angrenzenden Tragwerksteilen zur Folge hat. Die Beobachtung des Einflusses der lokalen Sprengung auf diesen Nahbereich ist für eine gute Planung des zeitlichen Sprengablaufs unerlässlich. Hierzu sind systematische Untersuchungen von Sprengvorgängen im Hinblick auf Wellenausbreitung und Schwingungsvorgänge in der deformierten geschädigten Struktur zu berücksichtigen. Ziel des Teilprojekts ist, die in Teilprojekt 1 vorgenommene lokale Untersuchung im Sinne eines Meso Modells grob abzubilden, die Auswirkungen im Nahbereich durch weiterentwickelte robuste und effiziente Volumen- bzw. 3D Schalenelemente abzubilden und die Fehler der expliziten FE-Berechnung mit adaptiven Verfahren zu verbessern. Die dabei vorliegende Modellunschärfe soll mit Hilfe der deterministischen Grundlösung im Rahmen eines Unschärfe Analyse Algorithmus aus Teilprojekt 4 berücksichtigt werden. Außerdem soll das Projekt die im Teilprojekt 5 angenommenen Rechenmodelle absichern. Hierzu werden umfangreiche numerische Analysen an Referenzsystemen durchgeführt. Grundlage der Modelle dieser Referenzsysteme sind in der Vergangenheit durch Sprengung abgebrochene Gebäude. Die numerischen Analysen sichern so die Diskretisierung der Starrkörpermodelle ab und es werden auf Basis der Ergebnisse aus Parameterstudien Erfahrungen zur Ausbildung von Kollapsmechanismen bei Abbruch von Gebäuden durch Sprengung gewonnen.



### 3.2. Publikationen

H.J. Schindler, S.Rues, J.C.Türp, J.Lenz, K. Schweizerhof: Activity Patterns of the Masticatory Muscles during Feedback-Controlled Simulated Clenching Activities, *European Journal of Oral Sciences*, Volume 113, Issue 6, December 2005, Pages 469-478

A. Konyukhov, K. Schweizerhof, P. Vielsack: On models of anisotropic contact surfaces and their experimental validation, submitted for publication November 2005

E. Ewert, K. Schweizerhof: On Artificial Geometry Errors in the Adaptive Analysis of Eigenvalues and -modes of Curved Shell Structures Using the FE Method, *PAMM, Proc. Appl. Math. Mech.*, Volume 5, Issue 1, December 2005, Pages 231-232

M. Hassler, K. Schweizerhof: Simulation of Hydroforming of Metal Sheets with an Efficient FE-Formulation Based on an Analytical Meshfree Description of a Compressible Fluid, *PAMM, Proc. Appl. Math. Mech.*, Volume 5, Issue 1, December 2005, Pages 403-404

A. Konyukhov, K. Schweizerhof: Modelling of Anisotropic Surfaces within a Covariant Contact Description, *PAMM, Proc. Appl. Math. Mech.*, Volume 5, Issue 1, December 2005, Pages 421-422

S. Kizio, K. Schweizerhof: Time Integration Error Estimation for Continuous Galerkin Schemes, *PAMM, Proc. Appl. Math. Mech.*, Volume 5, Issue 1, December 2005, Pages 675-676

M. Harnau, K. Schweizerhof: Artificial Kinematics and Simple Stabilization of Solid-Shell Elements Occurring in Highly Constraint Situations and Applications in Composite Sheet Forming Simulation, *Finite Elements in Analysis and Design*, Volume 42, Issue 12, August 2006, Pages 1097-1111

B. Möller, M. Liebscher, K. Schweizerhof, S. Mattern, G. Blankenhorn: Structural Collapse Simulation under Consideration of Uncertainty Improvement of Numerical Efficiency, *Special Issue of Computers & Structures*, submitted for publication, 2006

D. Hartmann, M. Breidt, V. v. Nguyen, F. Stangenberg, S. Höhler, K. Schweizerhof, S. Mattern, G. Blankenhorn, B. Möller, M. Liebscher: Structural Collapse Simulation under Consideration of Uncertainty Concept and Results, *Special Issue of Computers & Structures*, submitted for publication, 2006

A. Konyukhov, K. Schweizerhof: On a Geometrical Approach in Contact Mechanics, Analysis and Simulation of Contact Problems, *Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics*, Eds. Wriggers, Nackenhorst, Series Editors Pfeiffer, Wriggers Volume 27, Springer 2006

A. Konyukhov, K. Schweizerhof: A Special Focus on 2D Formulations for Contact Problems Using a Covariant Description, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Volume 66, Issue 9, May 2006, Pages 1432-1465

A. Konyukhov, K. Schweizerhof, P. Vielsack: On Models of Contact Surfaces Including Anisotropy for Friction and Adhesion and their Experimental Validations, *ECCM 2006*, Lissabon, June 2006

- I. Savion, C. L. Saucier, S. Rues, A. Sadan, M. Blatz: The Pier Abutment: A Review of the Literature and a Suggested Mathematical Model, *Quintessence International*, Volume 37, Issue 8, May 2006, Pages 345-352
- K. Schweizerhof, E. Ewert, P. Vielsack: Measures to Judge the Sensitivity of Thin-Walled Shell Structures Concerning Stability under Different Loading Conditions, *Proceedings WCCM VI World Congress on Computational Mechanics 2004, Beijing / China, Tsinghua University, Press & Springer Verlag 2004*, also in *Spezial issue of Computational Mechanics*, Volume 37, Number 6, May 2006, Pages 507-522
- H. J. Schindler, S. Rues, J. C. Türp, J. Lenz: Heterogeneous Activation of the Medial Pterygoid Muscle during Simulated Clenching, *Archives of Oral Biology*, Volume 51, Issue 6, June 2006, Pages 498-504
- H. J. Schindler, S. Rues, J. C. Türp, K. Schweizerhof, J. Lenz: Jaw clenching: muscle/joint forces and optimization strategies, *Journal Dental Research*, September 2006
- S. Mattern, G. Blankenhorn, K. Schweizerhof: Computer-Aided Destruction of Complex Structures by Blasting, *High Performance Computing in Science and Engineering '06*, W. E. Nagel, W. Jäger, M. Resch (Eds.), Pages 449-457, Springer, 2006
- S. Mattern, K. Schweizerhof: Wave Propagation in Automotive Structures Induced by Impact Events, *High Performance Computing in Science and Engineering '06*, W. E. Nagel, W. Jäger, M. Resch (Eds.), Pages 459-470, Springer, 2006
- I. Müller, P. Vielsack, K. Schweizerhof: On the Numerical Simulation of Non-Smooth, Vibro-Impacting Systems Using Finite Element Methods, "Analysis and Simulation of Contact Problems", Eds. Wriggers, Nackenhorst, *Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics*, Series Editors Pfeiffer, Wriggers, Volume 27, Springer 2006
- I. Müller: Analysis of Nonlinear Vibrations for the Experimental Detection of Delamination, *Experimental Mechanics*, submitted for publication, 2006
- A. Konyukhov, K. Schweizerhof: On models of anisotropic contact surfaces and their experimental validation, submitted for publication, November 2005
- S. Mattern, G. Blankenhorn, K. Schweizerhof: Numerical Analysis of Building Collapse, *NATO ARW 981641 - Extreme Man-Made and Natural Hazards in Dynamics of Structures*. Opatija, May/June 2006
- M. Hassler, K. Schweizerhof: Stability Analysis of Fluid Loaded Structures, *PAMM, Proc. Appl. Math. Mech.*, submitted for publication, 2006
- M. Hassler, K. Schweizerhof: On the stability analysis of thin walled shell structures containing gas or fluid, *Proceedings 2006, Lissabon*
- A. Konyukhov, K. Schweizerhof: High Order FE and Covariant Description for Contact Problems, *PAMM, Proc. Appl. Math. Mech.*, submitted for publication, 2006
- A. Konyukhov, K. Schweizerhof: A special focus on 2D formulations for contact problems using a covariant description, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Volume 66, Issue 9, 28 May 2006, Pages 1432-1465

### 3.3. Wissenschaftliche Vorträge

S. Rues, H. J. Schindler, J. C. Türp, J. Lenz, K. Schweizerhof: Masticatory Muscle and Joint Forces during Clenching, 3rd European Medical and Biological Engineering Conference (EMBEC' 05), Prague, November 2005, Proceedings 2005, 11 (1) of the International Federation for Medical and Biological Engineering, 2005

S. Rues, H. J. Schindler, K. Schweizerhof, J. Lenz: Calculation of Muscle and Joint Forces in the Masticory System, III. European Conference on Computational Mechanics. Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering, Lisbon, Portugal, 5-8 June 2006. Proceedings (Eds.: C.A. Mota Soares et al.), 1-12, June 2006

I. Müller, J. Schmidt, P. Vielsack: Parametric Updating of Non-Smooth FE-Models for Nonlinear Vibration-Based Damage Identification, Proceedings of the IMAC XXIV Conference & Exposition on Structural Dynamics 2006, St. Louis, MO / USA, January/February 2006

S. Mattern, G. Blankenhorn, M. Breidt, van Vinh Nguyen, S. Höhler, K. Schweizerhof, D. Hartmann, F. Stangenberg: Comparison of Building Collapse Analysis Results from Finite Element and Rigid Body Models, Proceedings IUTAM Symposium - Multiscale problems in Multibody System Contacts. Stuttgart, Februar 2006

A. Konyukhov, K. Schweizerhof: On a Continuous Transfer of History Variables for Frictional Contact Problems Based on Interpretations of Covariant Derivatives as a Parallel Translation, IUTAM Symposium - Multiscale problems in Multibody System Contacts. Stuttgart, Februar 2006

A. Konyukhov, K. Schweizerhof, P. Vielsack: On Models of Contact Surfaces Including Anisotropy for Friction and Adhesion and their Experimental Validations, Proceedings ECCM 2006, Lissabon, June 2006

M. Hassler, K. Schweizerhof: On the Stability Analysis of Thin Walled Shell Structures Containing Gas or Fluid, ECCM 2006, Lissabon, June 2006

M. Haßler, K. Schweizerhof: On the Influence of Fluid and Gas Loading on the Stability of Thin Walled Shell Structures, WCCM 2006, Los Angeles, July 2006

S. Kizio, K. Schweizerhof: On the balance between spatial and temporal resolution – a closer look at the combined spatial FE-discretization and time integration error in structural dynamics, WCCM 2006, Los Angeles, July 2006

A. Konyukhov, K. Schweizerhof: Development of a Model for Contact Surfaces Including Friction and Adhesion, WCCM 2006, Los Angeles, July 2006

K. Schweizerhof, A. Konyukhov, M. Harnau: Contact with Shells, WCCM 2006, Los Angeles, July 2006

K. Schweizerhof, A. Konyukhov, M. Harnau: Large Deformation Contact Analysis using Slid Shell Elements, WCCM 2006, Los Angeles, July 2006

A. Siebert, G. Blankenhorn, K. Schweizerhof: Investigating the vibration behavior and sound of church bells considering ornaments and reliefs using LS-DYNA, 9. Int. LS-DYNA Conf., Detroit, April 2006

### **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

#### **Prof. Dr.-Ing. P. Vielsack**

- Int. Journ. Nonlin. Mech. (Gutachter)
- Int. Journ. Sound and Vibration (Gutachter)
- Computational Mechanics (Gutachter)

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

### **4.1. Universitäre Selbstverwaltung**

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

- Vorsitzender der Vorprüfungskommission ab 01.05.2006

#### **Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Vielsack**

- Vorsitzender der Vorprüfungskommission bis 31.04.2006

#### **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, ab 1.1.2004
- Vertreter der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Karlsruhe beim Fakultätentag Bauingenieur- und Vermessungswesen (FTBV) 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 Bauingenieurwesens des ASBau (Akkreditierungsverbund für Studiengänge des Bauingenieurwesens) seit April 2002
- Vertrauensdozent der Studienstiftung des Deutschen Volkes, seit 1990
- Gutachter für die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

### **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

## 5. Tagungen und Kontakte

### 5.1. Durchgeführte Tagungsveranstaltungen

#### 5.1.1. Verleihung der Preise der Professor Dr. Fritz Peter Müller Stiftung 2005/2006 am 7. Juli, 14 Uhr, im kleinen Hörsaal des Kollegengebäudes für Bauingenieure

Mit dieser Auszeichnung würdigte die Stiftung herausragende wissenschaftliche Leistungen auf dem Gebiet der Baudynamik. Die mit jeweils 1.500 Euro dotierten Preise für die Jahre 2005 und 2006 stiftete Berta Müller-Czerwenka zum Gedenken an Professor Dr. Fritz Peter Müller. Müller war von 1971 bis 1981 Inhaber des Lehrstuhls für Beton- und Stahlbeton an der Universität Karlsruhe. Der Preis wird seit 1983 im zweijährigen Turnus verliehen.

Der Preisträger des Jahres 2006 kam mit Dr. Ingolf Müller von der Universität Karlsruhe. Er hat seine Doktorarbeit am Institut für Mechanik angefertigt. Müller entwickelte ein neues Konzept zum zerstörungsfreien Aufspüren von Delaminationsschäden in geschichteten Strukturkomponenten wie sie häufig im modernen Flugzeugbau eingesetzt werden. Unter Delaminationen versteht man das Ablösen von Schichten - sie stellen gerade im Flugzeugbau ein sicherheitsrelevantes Problem dar. Zur Schadensdiagnose hat Müller in innovativen Verfahren erstmals die stark nichtlinearen Schwingungseigenschaften delaminierter Strukturen gezielt ausgenutzt.

Preisträger des Jahres 2005 war Dr. Matthias Behrens von der Technischen Universität Braunschweig. Er erhielt die Auszeichnung für seine Doktorarbeit, in der er sich mit dem dynamischen Verhalten hoher, schlanker Gebäude bei Böen, vorwiegend bei Starkwinden, beschäftigte. In theoretischen Untersuchungen und umfangreichen Messungen hat er konventionelle Ansätze zur aerodynamischen Admittanz überprüft. Die aerodynamische Admittanz beschreibt die räumlich-zeitliche Übertragung der Windturbulenz auf die Druckverteilung an der Gebäudeoberfläche.

Im Hauptvortrag sprach Professor Dr. Claudio Borri von der Universität Florenz über das aerodynamische Verhalten großer Brücken. Die zunehmende Spannweite moderner, in Leichtbauweise hergestellter Brücken, macht diese immer anfälliger für aeroelastische Phänomene wie das Flattern bei Wind und Sturm. Am Beispiel der Superbrücke über die Strasse von Messina zwischen Sizilien und dem italienischen Festland mit 3300 m Spannweite stellte Borri verschiedene Designkonzepte vor.

#### Preisträger:

- **Dr.-Ing. Ingolf Müller** (Preisträger 2006)  
Universität Karlsruhe (TH)
- **Dr.-Ing. Matthias Behrens** (Preisträger 2005)  
Technische Universität



Begrüßung durch Dekan der Fakultät für  
Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften  
Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c.mult. F. Nestmann



Begrüßung durch den Prorektor der Universität  
Karlsruhe, Prof. Dr. rer. nat. Norbert Henze



Prof. Dr. rer. nat. Norbert Henze verleiht den  
Fritz-Peter-Müller-Preis für das Jahr 2005  
an Dr.-Ing. Matthias Behrens...



...und anschließend den Fritz-Peter-Müller-Preis  
für das Jahr 2006 an Dr.-Ing. Ingolf Müller





Der erste Vortragende, Dr.-Ing. Matthias Behrens



Dr.-Ing. Ingolf Müller trägt vor



Gastvortrag von Prof. Dr. Claudio Borri,  
Universität Florenz, zum Thema:  
"Large bridge aerodynamics and aeroelastic  
phenomena: what's really new?"



Von links nach rechts: die Initiatorin  
der Stiftung, Frau Müller-Czerwenka,  
Prof. Dr. Claudio Borri und  
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Franz Nestmann

## 5.2. Seminarvorträge

Alexander Siebert: Numerische Analysen zum Einfluss von Dekor und Reliefs auf das Schwingungsverhalten von Kirchenglocken, 04.11.2005

Prof. Dr.-Ing Peter Betsch: Zur Diskretisierung flexibler Mehrkörpersysteme in Raum und Zeit, 20.01.2006

Prof. Dr. Krzysztof Chelminski (IWRMM): Theory of inelastic deformations. Modelling and mathematical results. 02.02.2006

Dr. Necmettin Kaya (IWRMM): Development and optimization of vehicle hood structures to protect pedestrians, 02.03.2006

Stefan Rues (IWRMM): Joint and muscle forces during clenching, 21.04.2006

Marc Haßler (IWRMM): A nonlinear finite element formulation of fluid and gas supported shells availing the special assembly of the tangent stiffness matrix, 21.04.2006

Johann Bitzenbauer (IWRMM): Mehrskalenergebnisse bei inhomogenen Körpern, 21.04.2006

Prof. Dr. Peter Sanders (IWRMM): Algorithm Engineering – Versuch einer Definition, 05.05.2006

Suman Roy: On the simulation of wave propagation problems in nonregular structures with FE-programs, 26.05.2006

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Wolfgang L. Wendland (IWRMM): Schnelle Randelementmethode für die Simulation von elektrischen Wirbelstromfeldern sowie ihre Wärmeproduktion und Kühlung, 01.06.2006

Prof. Dr. Adnan Ibrahimbegovic (IWRMM): Multi-scale analysis of inelastic materials and related optimization, identification and control problems, 22.06.2006

Prof. Dr. Martin Arnold (IWRMM): Modulare Zeitintegration von gekoppelten Differentialgleichungssystemen, 07.07.2006

Jean Sebastian Steffen: Ein Finite-Element-Modell zur Analyse der Inaktivitätsatrophie des Parodontiums bei Zahn/Implantatverbindungen, 01.09.2006

## 5.3. Industriekooperationen

Fa. BASF, Ludwigshafen, Meßtechnische Untersuchungen an Rohrleitungen

Fa. Porsche AG

DYNAmore GmbH

FAT Composites, Berechnung von CFK im Fahrzeugbau - Projektarbeit für die Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT)<sup>3</sup>

## 5.4. Gastwissenschaftler

Assist. Prof. Dr. Necmettin Kaya  
Uludag University, Bursa, Engineering and Architecture Faculty, Mechanical  
Engineering Department, Januar-April 2006

Prof. Dr. Ibrahimbegovic, Multi-scale analysis of inelastic materials, and related optimization, identification and control problems, 22 June 2006

## 6. Öffentlichkeitsarbeit

### 6.1. Messtechnisches Praktikum 2006

Abschlussexkursion zum Messtechnischen Praktikum (Messungen an realen Bauwerken)  
Vergleich des Schwingungsverhaltens zweier Aussichtstürme im Südschwarzwald

Der Eichbergturm:

Baujahr: 2005  
Konstruktion: Stahlfachwerk  
Höhe: 29m

Aussichtsturm am Windpark  
Ettenheim

Baujahr: 2002  
Konstruktion: Stahl / Holz  
Höhe: 50m



Beobachtung der Schwingungsmessung am Oszilloskop

## **6.2. Vortragsreihe im Sommersemester 2006: Die Vielseitigkeit des Bauens, Ingenieure im Beruf berichten**

Im Sommersemester 2006 wurde eine Vortragsreihe für Studierende des Bauingenieurwesens und Studieninteressierte veranstaltet.

### **Vorträge:**

Freitag, 19. Mai 2006:

- Dipl.-Ing. G. Schönbeck, Stadtbaudirektor Stadt Karlsruhe:  
„Der Bauingenieur in der öffentlichen Verwaltung – ein vielseitiges und anspruchsvolles Aufgabenspektrum“
- Dr.-Ing. R. Egner, Ingenieurgruppe Bauen, Karlsruhe:  
„Planen und Bauen – die Vielseitigkeit des konstruktiven Ingenieurbaus“