

Das Institut für Baustatik bietet interessante und vielfältige Masterarbeiten und –projekte in Bereich der Mechanik und Simulation an. Der Fokus kann dabei auf Anwendungen, Simulationsverfahren, App-Entwicklung, Literaturrecherchen oder die Unterstützung unserer Forschungsaktivitäten gelegt werden. Alle Themen sind dazu geeignet, sich für weiterführende Tätigkeiten sowohl in der Praxis als auch an Universitäten zu qualifizieren. Für die Bearbeitungsdauer und weitere Regeln wird auf das Curriculum verwiesen. Anpassungen der Aufgabenstellungen sind auf Wunsch möglich. Die Themen werden auf den folgenden Seiten beschrieben und strukturieren sich wie folgt:

A) Anwendungsorientierte Simulationen

In diesem Bereich steht die Simulation praktischer Anwendungen im Vordergrund. Dafür werden kommerzielle oder Open Source FEM-Programme genutzt. Ein vertieftes Verständnis für die mechanischen Grundlagen und Modelle der jeweiligen Anwendung ist unerlässlich.



Zum Download der Themen QR-Code scannen und Link folgen

B) Implementierungen im Kontext von Simulationen

Bei diesen Themen werden üblicherweise inhouse FEM-Programme des Instituts für Baustatik eingesetzt und erweitert. Implementierungen und Verifizierungen sind wesentlicher Bestandteil der Aufgaben. Alle Aufgaben sind von einem allgemeinen und grundlegenden Interesse im Bereich Numerik und Simulation, so dass hier keinesfalls rein akademische oder allzu forschungsnahe Detailthemen behandelt werden.

C) Entwickeln von Smartphone-Apps und GUIs

Die Neu- oder Weiterentwicklung von Apps und graphical user interfaces (GUIs) steht bei diesen Projekten im Vordergrund.

D) Literaturrecherchen

In ausgewählten Themenbereichen sollen Grundlagen, Methoden und Modelle beschrieben werden. Dabei soll der Stand der Technik identifiziert werden und offene Probleme bzw. aktuelle Forschungsfragen herausgearbeitet werden.

E) Unterstützung unserer Forschungstätigkeiten

Studierende, die nach dem Studium eine Promotion anstreben und Spaß an Programmier-tätigkeiten haben, können auch aktuelle Forschungstätigkeiten am Institut für Baustatik unterstützen.

A) Anwendungsorientierte Simulationen

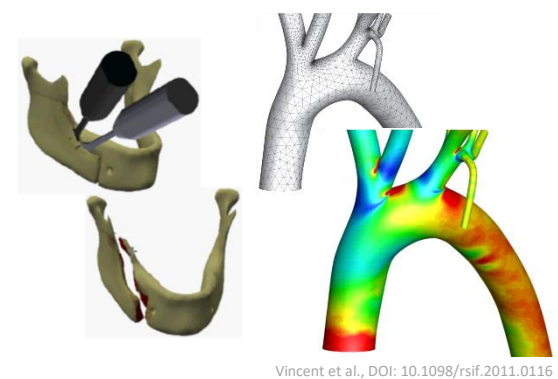
A1) Bögen und Schalen

Ziel dieses Projekts ist der Vergleich von Modellen mit unterschiedlicher Dimensionalität. Zum Beispiel soll eine schalenförmige Tragstruktur einmal als dreidimensionales Bauteil modelliert werden und einmal als Schale (gekrümmte Oberfläche im Raum). Die Gültigkeit der unterschiedlichen mechanischen Modelle und der Lösungsaufwand soll dabei untersucht werden.



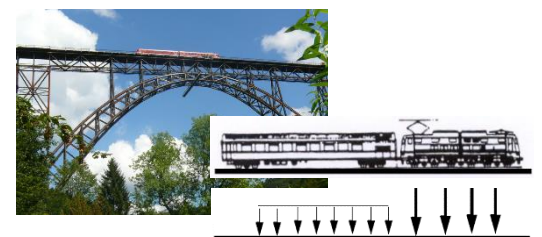
A2) Biomechanik

In diesem Projekt sollen FEM-Programme in ausgewählten Anwendungsbereichen aus der Biomechanik eingesetzt werden. Beispiele sind Simulationen von Knochenbrüchen, Beanspruchung von Gelenken, Blutströmungen oder ähnliches. Der Fokus kann jeweils auf der Erstellung von Netzen zum Beispiel aus CT-Daten oder bei der geeigneten Auswahl und Adaptierung von komplexen Materialmodellen liegen. Der Stand der Technik ist dabei herauszuarbeiten.



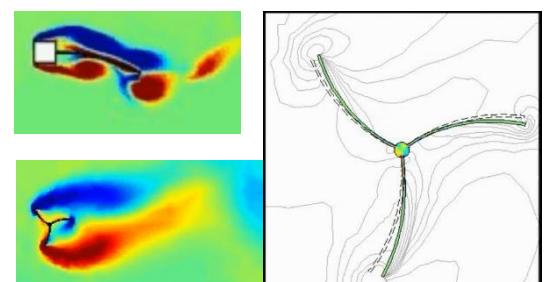
A3) Interaktion eines Zuges mit einer Brücke

Am Beispiel der Überquerung eines Zuges über eine Brücke sollen Simulationen im Zeitbereich mit solchen aus Modalanalysen verglichen werden. Zwei- und dreidimensionale Modelle der Brücke sollen mit einfachen Stabtragwerken verglichen werden und dabei Aufwand und Gültigkeit der unterschiedlichen Modelle untersucht werden.



A4) Fluid-Struktur-Interaktion

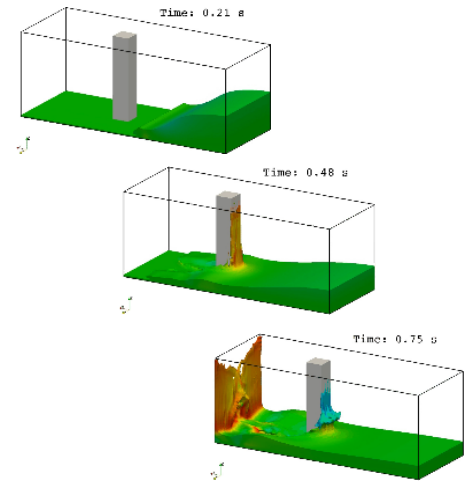
Die Interaktion eines Bauwerks oder Bauteils mit einer Strömung ist eine wichtige Anwendung im Bauingenieurwesen. Ein Beispiel ist die Interaktion einer Brücke mit einer Windströmung. Die Eignung kommerzieller FEM-Programme für die Lösung dieser Anwendung aus dem Bereich multi-physics soll untersucht werden. Anwendungsnahe Testfälle sind



umzusetzen, nachdem zuvor die Eignung über ausgewählte Benchmark-Testfälle sichergestellt wurde.

A5) Inkompressible Strömungen und freie Oberflächen

Kommerzielle FEM-Programme sind für die Umströmung von typischen Bauteilen anzuwenden. Beispielhaft sollen dafür Brückenpfeiler und die Umströmung von Wehren untersucht werden. Für das Fluid soll der Fokus auf Wasser liegen, welches mit den inkompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen modelliert wird. Die freie Oberfläche wird durch eine zusätzliche Gleichung beschrieben. Netzverformungen sind zu berücksichtigen, um der sich bewegenden Oberfläche Rechnung zu tragen.



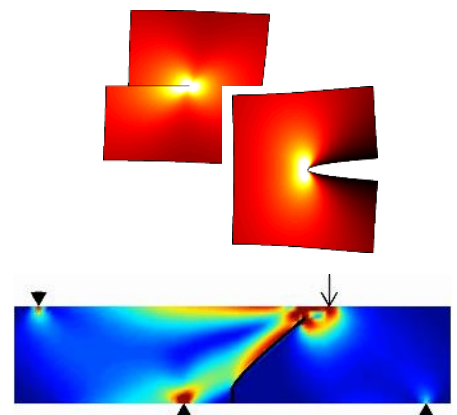
A6) Topologie- und Formoptimierung

Die Topologie- und Formoptimierung von Bauteilen ist eine etablierte Disziplin, bei der Netzgenerierung, Simulationen und Adaptierungen der Geometrie in einem iterativen Prozess durchlaufen werden. Unterschiedliche Workflows, die diese Felder mit unterschiedlichen kommerziellen Programmen kombinieren, sind zu untersuchen, vergleichen und zu dokumentieren.



A7) Rissfortschritt in komplexen Bauteilen

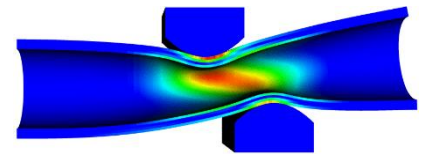
Die Bruchmechanik ist eine eigenständige Disziplin der Mechanik, die von hoher Bedeutung für die Sicherheit und Tragfähigkeit von Bauwerken ist. Das Verhalten und die Beurteilung von Rissen spielt dabei eine wichtige Rolle. Unterschiedliche FEM-Programme sind für Rissfortschrittssimulationen anzuwenden und die Ergebnisse zu vergleichen. Auch die Eignung für dreidimensionale Geometrien ist zu untersuchen. Unterschiedliche bruchmechanische Modelle sind zu dokumentieren und zu vergleichen.



B) Implementierungen im Kontext von Simulationen

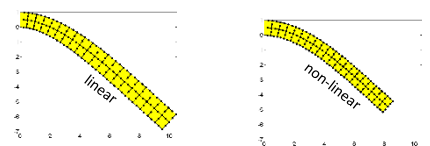
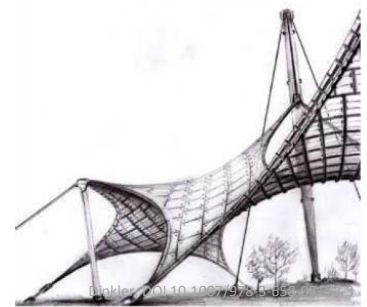
B1) Nichtlineare Materialmodelle: Plastizität und Viskosität

Das Materialverhalten vieler Baustoffe wird bei kleinen Verformungen durch einen linearen Zusammenhang zwischen Spannungen und Dehnungen beschrieben, dem berühmten Hooke'schen Gesetz. Dies setzt jedoch kleine Verformungen voraus, die so in der Praxis oft nicht gegeben sind. Viskose und plastische Verformungen sind bei komplexeren Materialien (Beton, Gummi, Böden etc.) oder größeren Verformungen wesentliche Größen, die geeignete Modelle erfordern. Dieses Projekt beschäftigt sich mit der Umsetzung eines ausgewählten nichtlinearen Materialmodells in der FEM.



B2) Große Verformungen

Nur die Annahme vernachlässigbar kleiner Verformungen in Relation zu den Systemabmessungen führt in der Strukturmechanik auf lineare Modelle. Das Verhalten vieler Bauwerke und Tragstrukturen ist jedoch durch größere Verformungen geprägt, zum Beispiel bei Seilen, Zeltdächern etc. Dies führt auf geometrisch nichtlineare Modelle, die auch für Stabilitätsanalysen in der Baupraxis von hoher Bedeutung sind, etwa im Kontext von Knicken und Beulen. Ziel dieses Projekts ist die Umsetzung geometrisch nichtlinearer Modelle für den Dehnstab, den Balken oder die Scheibe.



B3) Simulation zeitabhängiger Probleme in der Strukturdynamik

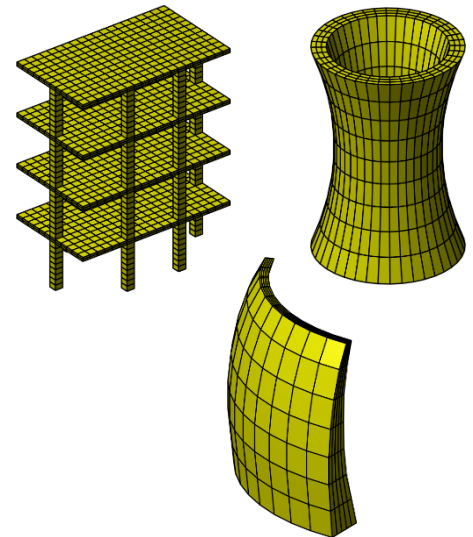
In der Strukturdynamik wird das Verhalten von Kraft- und Weggrößen über die Zeit betrachtet, also zum Beispiel die Bewegungen eines Gebäudes unter Erdbebeneinfluss. Für die Simulation wird üblicherweise die FEM für das *räumliche* Problem verwendet (je nach Anwendung: Stabtragwerk, Flächentragwerk, gedrungenes Bauwerk etc.) und für den *zeitlichen* Anteil Finite Differenzen Verfahren. In diesem Projekt sind klassische Verfahren wie das Newmark-



Verfahren, das HHT- α -Verfahren oder Raumzeit-FEM-Verfahren für ausgewählte Anwendungen umzusetzen.

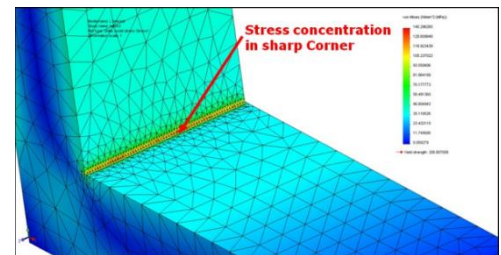
B4) Implementierung von Netzgeneratoren

Die Generierung von Netzen ist für jede Art von FEM-Analysen ein wesentlicher erster Schritt. Dabei wird das Gebiet, in dem ein Randwertproblem zu lösen ist, durch Finite Elemente eines bestimmten Typs beschrieben. Für diese Aufgabe stehen auch kommerzielle Vernetzungsprogramme zur Verfügung. Die Netzgenerierung ist eine interessante Teildisziplin des wissenschaftlichen Rechnens mit eigenen Algorithmen und Verfahren. Ziel dieses Projekts ist es, einen eigenen Matlab-Code für die Vernetzung von zwei- oder dreidimensionalen Gebieten zu erstellen. Der Fokus kann hier auf speziellen Geometrien und Anwendungen liegen, oder auf allgemeinen, generischen Geometrien. Auch die Konvertierung von Netzen zwischen kommerziellen Formaten und dem inhouse-Format kann im Vordergrund stehen.

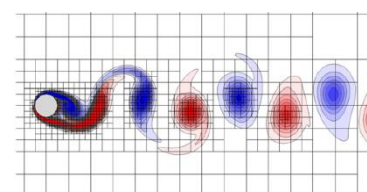
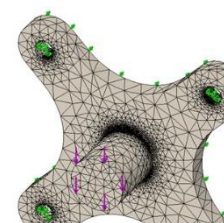


B5) Adaptivität in der FEM

Brauchbare Approximationen von Randwertproblemen sind mit der FEM nur dann bestimmbar, wenn geeignete Netze verwendet werden. Zu grobe Netze mit zu wenig Elementen und Knoten führen auf ungenaue Näherungen, während zu feine Netze zu hohen Rechenzeiten führen. Auch heutige Computergeräten bei dreidimensionalen und/oder zeitabhängigen Anwendungen an ihre Grenzen, wenn unsachgemäße Netze unnötig viele Freiheitsgrade hervorrufen. Adaptive Methoden starten dagegen mit einem groben Netz und verfeinern Elemente in einem iterativen Prozess nur dort, wo dies den Gesamtfehler der Näherungslösung am deutlichsten verbessert. Adaptive Verfahren beinhalten Fehlerschätzer und Algorithmen zur Netzverfeinerung, die in diesem Projekt an einer ausgewählten Anwendung umgesetzt werden sollen.



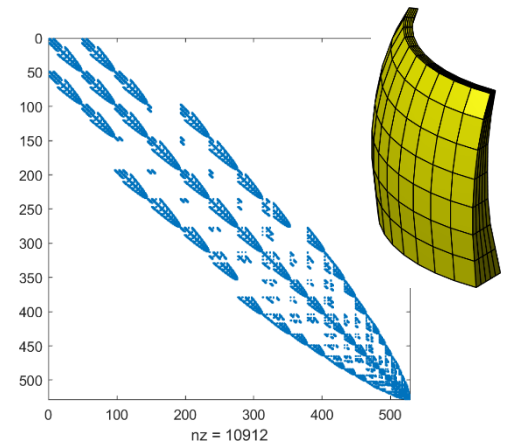
hawkridgesys.com



Vanella et al., DOI: 10.1115/1.4026415

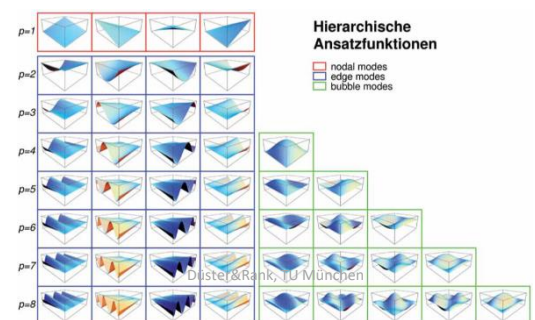
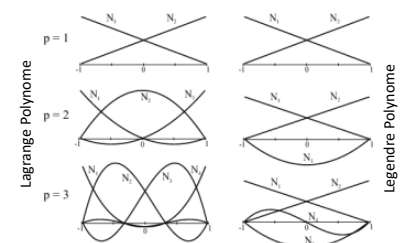
B6) Iteratives Lösen von Gleichungssystemen

Simulationen komplexer dreidimensionaler Anwendungen führen häufig auf sehr große Gleichungssysteme mit mehr als 1 Million Unbekannten. Auch wenn sie in der FEM nur spärlich besetzt sind, lassen sich diese Gleichungssysteme nicht mehr mit direkten Lösern wie dem Gaußverfahren lösen. Es werden dann iterative Lösungsverfahren eingesetzt, bei denen die Invertierung durch eine Folge von schnellen und speichereffizienten Matrix-Vektor-Produkten abgelöst wird. Die Effizienz dieser Verfahren wird auch durch eine geeignete Vorbehandlung der Matrix, dem Vorkonditionieren, mitbestimmt. In diesem Projekt sind unterschiedliche iterative Löser und Vorkonditionierer für stukturmechanische Anwendungen umzusetzen, wobei Matlab-Grundfunktionen bereits zur Verfügung stehen.



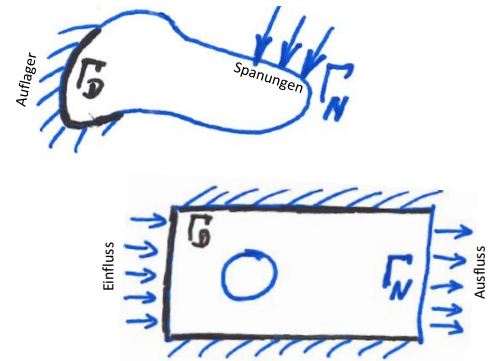
B7) Implementierung hierarchischer Elemente

Das vom Institut entwickelte und auch in der Lehre eingesetzte Matlab-FEM-Programm unterstützt bereits Elemente unterschiedlicher Ordnung in ein, zwei und drei Dimensionen. Dabei werden klassische Lagrange-Elemente verwendet, die sich durch Ansatzfunktionen mit Kronecker- δ -Eigenschaft auszeichnen. Dies führt jedoch bei zunehmender Elementordnung zu wohl bekannten Problemen in der Konditionierung des Gleichungssystems und dem sogenannten Runge-Phänomen. Deshalb verwenden die meisten FEM-Programme, die Elemente höherer Ordnungen unterstützen, hierarchische Elemente, die in diesem Projekt implementiert werden sollen. Die dazugehörigen Ansatzfunktionen überwinden die Probleme der klassischen Lagrange-Elemente, allerdings um den Preis, dass nun keine Kronecker- δ -Eigenschaft mehr vorliegt, was das Aufbringen von Randbedingungen und das anschauliche Interpretieren der Knotenwerte erschwert.



B8) Fortgeschrittene Verfahren für Randbedingungen

Durch die Modellierung von Anwendungen entstehen Randwertprobleme, deren Lösungen erst durch geeignete Randbedingungen eindeutig bestimmbar werden. Im Standardfall einer klassischen FEM-Analyse werden Knotenwerte direkt vorgeschrieben, was jedoch Anforderungen an die FEM-Funktionen stellt (Kronecker- δ -Eigenschaft) und nur bei einfachen Auflagern funktioniert (z.B. keine schrägen Rollenlager). Allgemeinere Methoden dafür sind Lagrange Multiplikatoren, das Penalty-Verfahren oder die Nitsche Methode, die im Rahmen dieses Projektes umgesetzt werden sollen.



B9) Simulationen auf Hochleistungsrechnern

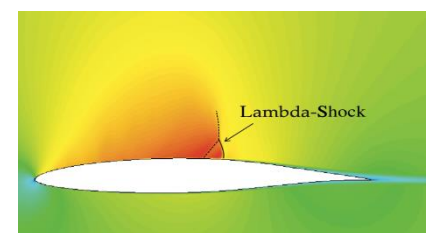
Komplexe und aufwändige Simulationen sind mit vertretbarem Aufwand nicht immer auf einem einzelnen Computer realisierbar. Deshalb stehen an der Technischen Universität Graz Hochleistungsrechner mit Hunderten oder sogar Tausenden von Prozessoren zur Verfügung. Allerdings stellt die effiziente Verwendung dieser Rechnerarchitekturen hohe Ansprüche an die Simulationssoftware. In diesem Projekt soll der inhouse-Code, der sowohl in Matlab als auch in der Programmiersprache C vorliegt, auf Hochleistungsrechnern ausgeführt werden. Dazu müssen vorgefertigte Software-Bibliotheken geeignet in die bestehende Software eingebunden werden. Untersucht werden sollen Hochleistungsrechner mit distributed oder shared memory.



wikipedia.org

B10) Implementierung eines Strömungslösers

Am Institut für Baustatik liegt bereits ein Strömungslöser für inkompressible Fluide vor. In diesem Projekt soll ein FEM-Programm für kompressible Strömungen entwickelt werden. Die kompressiblen Navier-Stokes Gleichungen sind dabei in zwei Dimensionen zu lösen. Auch die Verifikation mit bekannten Benchmark-Testfällen ist durchzuführen.



aviation.stackexchange.com

C) Entwickeln von Smartphone-Apps und GUIs

Die Entwicklung von Apps und Berechnungs-Programmen hat am Institut für Baustatik eine lange Tradition, die mit den erfolgreichen Programmen RuckZuck und Schnittkraftmeister begonnen hat. Matlab-GUIs für die Verwendung der inhouse-FEM-Software sind vor einiger Zeit hinzugekommen. In den Bereichen Apps, graphical user interfaces (GUIs), Statikprogramme etc. gibt es eine fortlaufende Notwendigkeit der Weiterentwicklung und Verbesserung. Masterprojekte und –arbeiten können sich zum Beispiel mit den folgenden Bereichen auseinandersetzen:

- C1) Weiterentwicklung des Schnittkraftmeisters (neue Beispiele oder überarbeitetes Spielprinzip)
- C2) Entwickeln einer Fachwerk-App
- C3) Entwickeln einer App für allgemeine Stabtragwerke
- C4) Matlab-GUIs zur Netzgenerierung oder Visualisierung

D) Literaturrecherchen

Die Ausarbeitung von Literaturrecherchen im Rahmen von Masterprojekten und Masterarbeiten dient dazu, in einem ausgewählten Themenbereich Grundlagen, Methoden und Modelle zu erarbeiten, den Stand der Technik zu identifizieren und offene Probleme bzw. aktuelle Forschungsfragen herauszuarbeiten. Dies ist schriftlich so festzuhalten, dass eine Einarbeitung in den entsprechenden Themenkomplex einfach fällt oder ein Einsatz in der Lehre möglich ist. Einige Themenfelder sind:

- D1) Historische und grafische Rechenmethoden in der Baustatik
- D2) Locking-Verhalten in der FEM
- D3) Topologie- und Formoptimierung im Kontext von 3D-Drucken

E) Unterstützung unserer Forschungstätigkeiten

Masterprojekte und –arbeiten können auch aktuelle Forschungstätigkeiten am Institut für Baustatik unterstützen. Dies kann vor allem für Studierende sinnvoll sein, die nach dem Studium eine Promotion anstreben und Spaß an Programmierfähigkeiten haben. Mögliche Themenfelder sind dann in folgenden Bereichen zu finden:

- E1) Innovative Simulationsverfahren wie Isogeometrische Analyse, Extended Finite Element Methods (XFEM), Fictitious Domain Methods (FDMs), higher-order FEM, Randelemente (BEM) etc.
- E2) Anwendungen in der Bruchmechanik, Biomechanik und der Fluid-Struktur-Interaktion
- E3) PDEs auf gekrümmten Oberflächen mit Anwendungen in Strömungen und Strukturen
- E4) Experimentelle Arbeiten in Kooperation mit dem Labor für Konstruktiven Ingenieurbau (LKI)