FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG

Modulbezeichnung:	**Dynamik nichtlinearer Balken (DyNiLiBa)** (Dynamics of nonlinear rods)	**5 ECTS**
Modulverantwortliche/r:	Holger Lang	
Lehrende:	Holger Lang	

Startsemester: SS 2015	Dauer: 1 Semester	Turnus: jährlich (SS)
Präsenzzeit: 60 Std.	Eigenstudium: 90 Std.	Sprache: Deutsch

Lehrveranstaltungen:

Dynamik nichtlinearer Balken (SS 2015, Vorlesung mit Übung, 4 SWS, Holger Lang et al.)

Inhalt:

- Dynamik linearer gerader Balken entkoppelt (Zug, Torsion, Biegung und Scherung)
- Dynamik linearer Balken gekoppelt
- Modellierung der Dämpfung (Viskoelastizität)
- Lineare Elastodynamik in 3D
- Euler-Bernoulli-Balken, Timoshenko-Balken
- Modalanalyse
- Querschnitte als starre Körper
- Infinitesimale Rotationen
- Finite Rotationen und Quaternionen
- Isomorphie der Mannigfaltigkeiten SO(3) und S3
- Kinematik nichtlinearer Balken (beliebig große Translationen und finite Rotationen)
- Cosserat-Balken, Reissner-Balken, Kirchhoff-Balken
- Nichtlineare Dehnungsmaße für Zug, Biegung, Torsion und Scherung
- Dynamik geometrisch exakter Cosserat- und Kirchhoff-Balken
- Linearisierung geometrisch exakter Balken um statische Gleichgewichtspunkte
- Diskretisierungsvarianten (Finite Elemente/Differenzen/Quotienten)
- Zeitintegration

Lernziele und Kompetenzen:

Fachkompetenz

Wissen

Die Studenten/Studentinnen

kennen den Aufbau linearer, gerader Balken (Zug, Torsion, Biegung und Scherung) in entkoppelter Form.

kennen den Aufbau allgemeiner linearer, gerader Balken (Zug, Torsion, Biegung und Scherung) gekoppelt.

kennen die Grundlagen linearer Elastodynamik in 3D.

kennen die wichtigsten Viskoelastizitätsgesetze (Kelvin-Voigt, Maxwell, linearer Standardkörper).

kennen wichtige Standard-Diskretisierungsvarianten via Finite Elemente.

kennen den mechanischen Hintergrund für die Symmetrie von Massen-, Dämpfungs- und Steifigkeitsmatrix.

kennen das Verfahren der Modalanalyse mit und ohne Dämpfung.

kennen die Begriffe Eigenfrequenz und Eigenschwingform eines linearen mechanischen Systems.

wissen, dass sich die Bewegungsgleichungen im ungedämpften Fall stets entkoppeln lassen.

kennen die den geometrisch exakten Balken zugrundeliegende Kinematik im Kontinuierlichen und im Diskreten.

kennen die Mannigfaltigkeit SO(3) mit Tangentialraum so(3).

kennen den Unterschied zwischen infinitesimalen und endlichen Rotationen.

kennen die Newton-Euler-Gleichungen für ebene Querschnitte in Form starrer Körper.

kennen den Unterschied zwischen physikalischen Tensoren/Vektoren und mathematischen Matrizen/Tripeln.

kennen die Parametrisierung der SO(3) via Euler-Winkel, Euler-Rodrigues-Parameter und Quaternionen.

kennen die Euler-Hamilton-Abbildung und den Spurrier-Klumpp-Algorithmus.
kennen die universelle Definition der Winkelgeschwindigkeit für starre Balkenquerschnitte.
kennen verschiedene nichtlineare, objektive Dehnungsmaße für nichtlineare Balken.
kennen die Analogie zwischen Winkelgeschwindigkeit und Balkenkrümmung.
wissen, dass Finite Quotienten zur Diskretisierung der Krümmung ideal geeignet sind.
kennen das Phänomen des Shear lockings.
kennen die Lagrange-Gleichungen erster und zweiter Art.
kennen das Verfahren der Indexreduktion.
kennen die dynamischen Gleichgewichtsgleichungen geometrisch exakter Balken.
kennen den Begriff des statischen Gleichgewichtspunkts eines dynamischen Systems.
kennen die formale Prozedur, dynamische Systeme um statische Gleichgewichtspunkte zu linearisieren.
kennen die weitverbreitendsten Zeitintegrationsverfahren (RK, BDF).
kennen die zugehörigen analytischen Zusammenhänge.

Verstehen

Die Studenten/Studentinnen
verstehen die Dynamik linearer, gerader Balken (Zug, Torsion, Biegung und Scherung) in entkoppelter Form.
verstehen die Dynamik allgemeiner linearer, gerader Balken (Zug, Torsion, Biegung und Scherung) gekoppelt.
verstehen die Grundlagen linearer Elastodynamik in 3D.
verstehen die wichtigsten Viskoelastizitätsgesetze (Kelvin-Voigt, Maxwell, SLS) qualitativ.
verstehen den Aufbau wichtiger Standard-Diskretisierungsvarianten via Finite Elemente (stückweise linear/kubisch).
verstehen die Methode der Modalanalyse mit und ohne Dämpfung.
verstehen die Bedeutung von Eigenfrequenz und Eigenschwingform eines linearen mechanischen Systems.
verstehen die Bedeutung von Defintheit der Massen-, Dämpfungs- und Steifigkeitsmatrix.
verstehen, warum sich die Bewegungsgleichungen im ungedämpften Fall stets entkoppeln lassen.
verstehen, warum gewisse Diskretisierungsvarianten die Eigenfrequenzen über-, andere unterschätzen.
verstehen die den geometrisch exakten Balken zugrundeliegende Kinematik im Kontinuierlichen und im Diskreten.
verstehen den Unterschied zwischen infinitesimalen und endlichen Rotationen.
verstehen, wie sich die Parametrisierung der SO(3) mit Quaternionen in den allgemeinen Kontext (Lagrange-Gleichungen erster Art) einordnet.
verstehen, wie man die Eulerschen Gleichung via quaternionischer Parametrisierung und Nullraummatrix gewinnen kann.
verstehen, dass die SO(3) (multiplikative) Gruppenstruktur, die so(3) Vektorraumstruktur trägt.
verstehen, dass die SO(3) und die S3 mit ihrer quaternionischen Struktur bis auf Antipodie isomorph/diffeomorph sind.
verstehen die Geometrie der S3 und die Isotropie ihrer quaternionischen Struktur.
verstehen die Struktur der Bewegungsgleichungen linearer Balken im Kontext der Lagrange-Dynamik.
verstehen, wie man durch Modalanalyse die Bewegungsgleichungen linearer dynamischer Balken entkoppeln kann.
verstehen, warum dies im ungedämpften Fall immer, im gedämpften Fall meistens möglich ist.
verstehen, warum es mitunter unumgänglich ist, zwischen physikalischen Tensoren/Vektoren und mathematischen Matrizen/Tripeln zu unterscheiden.
verstehen, dass Translation und Rotation eines starren Querschnitts nicht vollständig analog behandelt werden können.
verstehen, wo die Singularitäten bei der Parametrisierung der SO(3) mit Euler-Winkeln oder Euler-Rodrigues-Parametern liegen.
verstehen, wie sich die Matrix des Trägheitstensors bei Translation und Rotation transformiert.

verstehen, warum die Objektivität der Dehnungsmaße für geometrisch exakte Modelle unerlässlich ist.
verstehen die Analogie zwischen Winkelgeschwindigkeit (eines Querschnitts) und Krümmung (eines Balkens).
verstehen, warum Finite Quotienten zur Krümmungsdiskretisierung der Struktur der SO(3) ideal Rechnung tragen.
verstehen die Ursache für Shear locking.
verstehen die Signifikanz des Kreiselterms in den Euler-Gleichungen für die Querschnitte in hochdynamischen Anwendungen.
verstehen den strukturellen Aufbau der Lagrange-Gleichungen erster und zweiter Art.
verstehen das Verfahren der Indexreduktion.
verstehen die dynamischen Gleichgewichtsgleichungen geometrisch exakter Balken.
verstehen methodischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Zeitintegrationsverfahren.
verstehen, dass statische Gleichgewichtspunkte konstante Lösungstrajektorien der Dynamik darstellen.
verstehen, wie man mit Hilfe des Satzes von Taylor-Maclaurin dynamische Systeme um statische Gleichgewichtspunkte linearisiert.
verstehen die Beweise aller zugehörigen analytischen Zusammenhänge, einschließlich den Voraussetzungen.

Anwenden

Die Studenten/Studentinnen
können zu gegebenen Ansatzfunktionen die Methode der Finiten Elemente auf lineare, dynamische Balken anwenden.
können Masse-, Dämpfungs- und Steifigkeitsmatrix berechnen.
können die Definitheit von Massen-, Dämpfungs- und Steifigkeitsmatrix via Eigenwerte beurteilen.
können die Bewegungsgleichungen eines linearen dynamischen Balkens entkoppeln.
können Schubstarrheit mit Hilfe holonomer Zwangsbedingungen erzwingen.
können die Zwangskräfte schubstarrer linearer Balken in den Bewegungsgleichungen auf Lageebene via Nullraummatrix eliminieren.
können Hauptträgheitsmomente und -richtungen von Querschnitten via Hauptachsentransformation berechnen.
können Trägheitsmomente von Querschnitten via Integration berechnen.
können Koeffizienten von Vektoren und Tensoren zwischen verschiedenen Koordinatensystemen transformieren.
können Singularitäten bei Parametrisierungen als mechanische Locking-Effekte interpretieren.
können die translatorische und rotatorische Energie eines starren Querschnitts berechnen.
können die Winkelgeschwindigkeit zu einer gegebenen Parametrisierung der Rotationsmatrix berechnen.
beherrschen das Rechnen innerhalb der Quaternionen-Algebra.
können Rotationen via Quaternionen objektiv sphärisch interpolieren.
können Rotationsmatrizen in Quaternionen umrechnen, und umgekehrt.
können die Isomorphie zwischen SO(3) und S3 sicher anwenden.
können die Balkenkrümmung auf verschiedene Arten diskretisieren.
können die zugehörigen Krümmungscharakteristiken berechnen.
können je nach Diskretisierungsvariante geeignete Quadraturformeln für Energien oder Dissipationspotentiale verwenden.
können durch geeignete reduzierte Integration das problematische Shear locking vermeiden.
können die Lagrange-Gleichungen erster und zweiter Art für nichtlineare Balken aufstellen.
können die dynamischen Gleichgewichtsgleichungen mit dem konstitutiven Materialgesetz kombinieren.
können die reaktiven Querkräfte schubstarrer nichtlinearer Balken systematisch berechnen.
können die Projektionstechnik auf indexreduzierten Fassungen der Bewegungsgleichungen zur Vermeidung des Wegdriftens anwenden.

können den statischen Gleichgewichtspunkt eines verzwängten nichtlinearen Balkens (analytisch oder numerisch) berechnen.
können einen nichtlinearen Balken um einen statischen Gleichgewichtspunkt mit Hilfe des Satzes von Taylor-Maclaurin linearisieren.
können die wichtigsten Herleitungen eigenständig führen.

Analysieren

Die Studenten/Studentinnen
können anhand des Aufbaus der Dämpfungsmatrix analysieren, wieviel Energie in linearen Balken dissipiert wird.
können die Lösungen der Bewegungsgleichungen in wichtigen Anwendungen diskutieren und analysieren (z.B. Einfluss der Parameter).
können sämtliche Herleitungen eigenständig führen und Querzusammenhänge analysieren.

Erschaffen

Die Studenten/Studentinnen
können nichtlineare Balkenmodelle eigenständig diskretisieren, implementieren und in der Zeit vorwärtsintegrieren.
können Mehrkörpermodelle realer Maschinen mit starren Körpern, Kraftelementen, Gelenken und flexiblen Balken selbstständig aufbauen.
können deren Dynamik theoretisch (oder numerisch) analysieren.

Literatur:

- Gross, Hauger, Schröder, Wall: Technische Mechanik II, III, IV. Springer.
- Kuypers: Klassische Mechanik. Wiley-VCH, 2010.
- Bonet, Wood: Nonlinear Continuum Mechanics for Finite Element Analysis. Cambridge University Press, 2008.
- Arnold: Mathematical Methods of Classical Mechanics. Springer, 2010.
- Craig, Kurdila: Fundamentals of Structural Dynamics. Wiley-VCH, 2011.

Verwendbarkeit des Moduls / Einpassung in den Musterstudienplan:

Das Modul ist im Kontext der folgenden Studienfächer/Vertiefungsrichtungen verwendbar:

[1] **Mechatronik (Master of Science): 1-3. Semester**
(Po-Vers. 2012 | M1-M2 Vertiefungsrichtungen | 7 Technische Mechanik)

Dieses Modul ist daneben auch in den Studienfächern "Berufspädagogik Technik (Master of Education)", "Maschinenbau (Master of Science)", "Mechatronik (Bachelor of Science)", "Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science)" verwendbar.

Studien-/Prüfungsleistungen:

Dynamik nichtlinearer Balken (Prüfungsnummer: 72761)
Prüfungsleistung, Klausur, Dauer (in Minuten): 120
Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100%

Erstablegung: SS 2015, 1. Wdh.: WS 2015/2016
1. Prüfer: Holger Lang

Organisatorisches:

- Grundkenntnisse Mathematik
- Kenntnisse aus Statik, Elastostatik und Dynamik starrer Körper (= Technische Mechanik I, II und III)