

# Schwerpunkt: Dynamische Maschinenmodelle

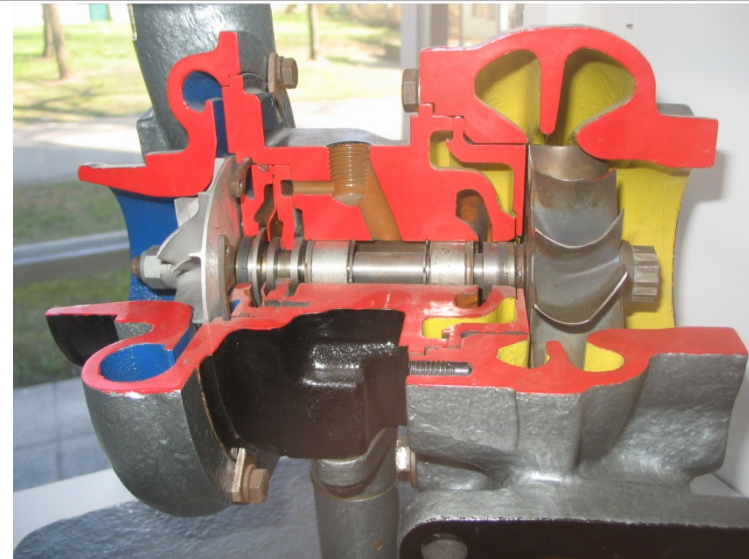
19.06.2013

Wolfgang Seemann

Institut für Technische Mechanik  
Fakultät für Maschinenbau

## Outline

1. Kernfächer
2. Ergänzungsfächer
3. Kurzvorstellung
4. Fragen



# Kernfächer und Wahlpflichtfächer

## Kernfächer (Wahlpflichtfach, alle 3 SWS)

- Einführung in die Mehrkörperdynamik
- Logistik – Aufbau, Gestaltung und Steuerung von Logistiksystemen
- Technische Schwingungslehre

## Wahlpflichtfächer (3 SWS)

- Maschinendynamik
- Technische Schwingungslehre

## Ergänzungsfächer (alle 2 SWS)

- **Adaptive Regelungssysteme**
- **Antriebssystemtechnik A-Fahrzeugantriebssysteme**
- **Ausgewählte Anwendungen der Technischen Logistik**
- **CAE-Workshop**
- **Dynamik mechanischer Systeme mit tribologischen Kontakten**
- **Dynamik vom KFZ-Antriebsstrang**
- **Energieeffiziente Intralogistiksysteme**
- **Fahreigenschaften von Kraftfahrzeugen I**
- **Fahreigenschaften von Kraftfahrzeugen II**
- **Fahrzeugkomfort und –akustik I**
- **Fahrzeugkomfort und –akustik II**
- **Konstruktiver Leichtbau**
- **Kontinuumsschwingungen**
- **Mathematische Methoden der Dynamik**
- **Mathematische Methoden der Schwingungslehre**

## Ergänzungsfächer (alle 2 SWS)

- **Nichtlineare Schwingungen**
- **Robotik I**
- **Schwingungstechnisches Praktikum**
- **Simulation gekoppelter Systeme (am Beispiel mobiler Arbeitsmaschinen)**
- **Simulation im Produktentstehungsprozess**
- **Stabilitätstheorie**
- **Verhaltensgenerierung für Fahrzeuge**
- **Virtual Engineering II**

# Einführung in die Mehrkörperdynamik

- Mechanismen, Fahrzeuge und Industrieroboter sind Beispiele für Mehrkörpersysteme. Zur Simulation des dynamischen Verhaltens werden Ausdrücke für kinematische Größen und Formulierungen für nichtlineare Bewegungsgleichungen benötigt, mit denen der Wechsel von einem System zu einem anderen leicht möglich ist. Die Vorlesung gibt eine Einführung in leistungsfähige Verfahren. Grundsätzlich beschreibt der erste Teil der Vorlesung die Kinematik, während der zweite Teil verschiedene Verfahren zum Herleiten von Bewegungsgleichungen behandelt.
- Mehrkörpersysteme und ihre technische Bedeutung
- Kinematik des einzelnen starren Körpers, Drehmatrizen, Winkelgeschwindigkeiten, Ableitungen in verschiedenen Bezugssystemen, Relativmechanik, holonome und nichtholonome Bindungsgleichungen für geschlossene kinematische Ketten
- Newton-Eulersche Gleichungen, Prinzip von d'Alembert, Prinzip der virtuellen Leistung, Lagrangesche Gleichungen, Kanescher Formalismus
- Struktur der Bewegungsgleichungen

# Logistik – Aufbau, Gestaltung und Steuerung von Logistiksystemen

- Die Vorlesung Logistik vermittelt Basiswissen zum Verständnis von Logistiksystemen. Es werden Lösungsverfahren vorgestellt und auf logistische Aufgabenstellungen angewendet.
  - Mehrstufige logistische Prozesskette
  - Transportkette in Logistiknetzen
  - Distributionsprozesse
  - Distributionszentren
  - Produktionslogistik
  - Abhängigkeiten zwischen Produktion und Straßenverkehr
  - Informationsfluss
  - Formen der Zusammenarbeit  
(Kanban, Just-in-Time, Supply Chain Management)

- Grundbegriffe bei Schwingungen, Überlagerung von Schwingungen, komplexe Frequenzgangrechnung.
- Schwingungen für Systeme mit einem Freiheitsgrad: Freie ungedämpfte und gedämpfte Schwingungen, Erzwungene Schwingungen für harmonische, periodische und beliebige Erregungen. Erregung ungedämpfter Systeme in Resonanz.
- Systeme mit mehreren Freiheitsgraden: Eigenwertproblem bei ungedämpften Schwingungen, Orthogonalität der Eigenvektoren, modale Entkopplung, Näherungsverfahren. Eigenwertproblem bei gedämpften Schwingungen. Erzwungene Schwingungen bei harmonischer Erregung, modale Entkopplung bei beliebiger Erregung, Schwingungstilgung.
- Schwingungen von Systemen mit verteilten Parametern: Beschreibende Differentialgleichungen, Wellenausbreitung, d'Alembertsche Lösung, Separationsansatz, Eigenwertproblem, unendlich viele Eigenwerte und Eigenfunktionen.
- Einführung in die Rotordynamik: Lavalrotor in starren und elastischen Lagern, Berücksichtigung innerer Dämpfung, Lavalrotor in anisotroper Lagerung, Gleich- und Gegenlauf, Rotoren mit unrunder Welle.

- Die Studierenden kennen die verschiedenen Typen, die Struktur und die Wirkungsweise adaptiver Regelungssysteme. Sie sind in der Lage, Systemgleichungen experimentell und theoretisch aufzustellen. Durch die Arbeit mit Beispielen sind die Studierenden auf die praktische Anwendung von adaptiven Regelungssystemen vorbereitet.
- Einführung: Begriffe, Einteilung adaptiver Regelungssysteme, Ziele
- Strukturen adaptiver Regelungssysteme: Überblick, parameter-, struktur- und signaladaptive Regelungssysteme, gesteuerte und geregelte ARS, ARS mit Referenz-/Identifikationsmodell, Anwendung
- Modellbildung: Verfahren, experimentelle Bedingungen, experimentelle Modellbildung, Identifikationsverfahren für Eingrößen-/Mehrgrößensysteme
- Parameteradaptive Regelungssysteme: Definitionen, Entwurfsprinzipien



# Fahreigenschaften von Kraftfahrzeugen I

- Die Studierenden kennen die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umgebung. Sie sind in der Lage, ein Fahrzeugsimulationsmodell aufzubauen, bei dem Trägheitskräfte, Luftkräfte und Reifenkräfte sowie die zugehörigen Momente berücksichtigt werden. Sie besitzen gute Kenntnisse im Bereich Reifeneigenschaften, da dem Reifenverhalten eine besondere Bedeutung bei der Fahrdynamiksimulation zukommt.
- Problemstellung: Regelkreis Fahrer - Fahrzeug - Umgebung (z.B. Koordinatensysteme, Schwingungsformen des Aufbaus und der Räder)
- Simulationsmodelle: Erstellung von Bewegungsgleichungen (Methode nach D'Alembert, Methode nach Lagrange, Automatische Gleichungsgenerierer), Modell für Fahreigenschaften (Aufgabenstellung, Bewegungsgleichungen)
- Reifenverhalten: Grundlagen, trockene, nasse und winterglatte Fahrbahn

# Fahreigenschaften von Kraftfahrzeugen II

- Die Studierenden haben einen Überblick über gebräuchliche Testmethoden, mit denen das Fahrverhalten von Fahrzeugen beurteilt wird. Sie kennen die Grundlagen, um die Ergebnisse verschiedener stationärer und instationärer Prüfverfahren interpretieren zu können. Neben den Methoden, mit denen z.B. das Kurvenverhalten oder das Übergangsverhalten von Kraftfahrzeugen erfasst werden kann, sind sie auch mit den Einflüssen von Seitenwind und von unebenen Fahrbahnen auf die Fahreigenschaften vertraut. Des Weiteren besitzen sie Kenntnisse über das Stabilitätsverhalten sowohl von Einzelfahrzeugen als auch von Gespannen.
- Fahrverhalten: Grundlagen, Stationäre Kreisfahrt, Lenkwinkelsprung, Einzelsinus, Doppelter Spurwechsel, Slalom, Seitenwindverhalten, Unebene Fahrbahn
- Stabilitätsverhalten: Grundlagen, Stabilitätsbedingungen beim Einzelfahrzeug und beim Gespann

# Fahrzeugkomfort und –akustik I

- Die Studierenden wissen, was Geräusche und Schwingungen sind, wie sie entstehen und wirken, welche Anforderungen seitens Fahrzeugnutzern und der Öffentlichkeit existieren, welche Komponenten des Fahrzeugs in welcher Weise an Geräusch- und Schwingungsphänomenen beteiligt sind und wie sie verbessert werden können.
- Wahrnehmung von Geräuschen und Schwingungen
- Grundlagen Schwingungen
- Signalanalyse
- Schwingungsmesstechnik
- Grundlagen Akustik
- Akustische Messtechnik
- Fahrwerk-NVH
- Reifen-Fahrbahngeräusche und Reifen-Fahrbahnkomfort
- Fahrbahnen
- Radungleichförmigkeit und Lenkunruhe
- Bremsen-NVH

# Fahrzeugkomfort und –akustik II

- Die Studierenden haben einen Überblick über die Geräusch- und Schwingungseigenschaften von Fahrwerks- und Antriebskomponenten. Sie wissen, welche Geräusch- und Schwingungsphänomene es gibt, wie sie entstehen und wirken, welche Komponenten des Fahrzeugs in welcher Weise beteiligt sind und wie sie verbessert werden können. Sie haben Kenntnisse im Themenbereich Geräuschemission von Kraftfahrzeugen: Geräuschbelastung, gesetzliche Auflagen, Quellen und Einflussparameter, Komponenten- und Systemoptimierung, Zielkonflikte, Entwicklungsmethodik.
- Kurze Einführung in die Grundlagen des Schwingungs- und Geräuschkomforts.
- Geräusch- und Schwingungseigenschaften, Optimierung des Komforts von Reifen, Bremsen, Fahrwerk, Motor, Antriebsstrang.
- Verkehrslärm.
- Eine Exkursion wird Einblicke in die Entwicklungspraxis eines Fahrzeugherstellers oder Zulieferers geben.

# Simulation gekoppelter Systeme (am Beispiel mobiler Arbeitsmaschinen)

- Nach der Teilnahme an Vorlesung und Übung sollen die Studierenden in der Lage sein, grundlegende Systeme selbstständig zu entwerfen, sowie komplexe bestehende Systeme zu verstehen.
- Die Simulation ist heute ein in der industriellen Praxis eingesetztes und etabliertes Werkzeug, mit dem Entwicklungszeit und Kosten reduziert werden können. Auch in der Entwicklung mobiler Arbeitsmaschinen wird die Simulation als Hilfsmittel eingesetzt. Allerdings ist es den Herstellern dieser Maschinen bisher nicht möglich, komplette Arbeitsmaschinen in der Simulation abzubilden. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Ein ausschlaggebender Grund ist, dass eine mobile Arbeitsmaschine eine Verschmelzung von mechanischen, hydraulischen und elektronischen Komponenten zu einem System darstellt. Die Vorlesung vermittelt Kenntnisse, um die verschiedenen Fachgebiete mit Hilfe am Markt etablierter Simulationsprogramme abzubilden und das Gesamtsystem durch eine Kopplung der Programme zu simulieren.

# Simulation gekoppelter Systeme (am Beispiel mobiler Arbeitsmaschinen)

- Grundlagen von Mehrkörper- und Hydrauliksimulationsprogrammen
- Möglichkeiten einer gekoppelten Simulation
- Durchführung einer Simulation am Beispiel des Radladers

Am Beispiel der Arbeitsbewegung eines Radladers werden die Möglichkeiten von Simulationsprogrammen dargestellt und die damit verbundenen Schwierigkeiten. Als Lösung wird die gekoppelte Simulation mehrerer Programme an dem genannten Beispiel erarbeitet.

# Virtual Engineering

- Die Studenten verstehen was Virtual Reality bedeutet, wie der stereoskopische Effekt zustande kommt und mit welchen Technologien dieser Effekt simuliert werden kann. Desweiteren wissen sie wie eine VR-Szene modelliert, intern in einem Rechner abgespeichert wird und wie die Pipeline zur Visualisierung dieser Szene funktioniert. Sie kennen sich mit verschiedenen Systemen zur Interaktion mit dieser VR-Szene aus und können die Nachteile und Vorteile verschiedener Manipulations- und Trackinggeräte abschätzen. Desweiteren wissen sie, welche Validierungsuntersuchungen mit Hilfe eines Virtual-Mock-Up (VMU) im Produktentstehungsprozess durchgeführt werden können und den Unterschied zwischen dem VMU, dem Physical-Mock-Up (PMU) und einem virtuellen Prototypen (VP). Sie wissen wie eine integrierte virtuelle Produktentwicklung in der Zukunft funktionieren sollte und verstehen welche Herausforderungen man auf dem Weg dorthin noch überwinden muss.

# Virtual Engineering

- Die Vorlesung vermittelt die informationstechnischen Aspekte und Zusammenhänge der virtuellen Produktentstehung. Im Mittelpunkt stehen die verwendeten IT-Systeme zur Unterstützung der Prozesskette des Virtual Engineerings: Virtual Reality-Systeme ermöglichen in Realzeit die hochimmersive und interaktive Visualisierung der entsprechenden Modelle, von den Einzelteilen bis zum vollständigen Zusammenbau.
- Virtuelle Prototypen vereinigen CAD-Daten sowie Informationen über restliche Eigenschaften der Bauteile und Baugruppen für immersive Visualisierungen, Funktionalitätsuntersuchungen und Simulations- und Validierungstätigkeiten in und mit Unterstützung der VR/AR/MR-Umgebung.
- Integrierte virtuelle Produktentstehung verdeutlicht beispielhaft den Produktentstehungsprozess aus der Sicht des Virtual Engineerings.
- Ziel der Vorlesung ist es, die Verknüpfung von Konstruktions- und Validierungstätigkeiten unter Nutzung virtueller Prototypen und VR/AR-Visualisierungstechniken in Verbindung mit PDM/PLM-Systemen zu verdeutlichen. Ergänzt wird dies durch Einführungen in die jeweiligen Systeme anhand praxisbezogener Aufgaben.



# Verhaltensgenerierung für Fahrzeuge

- Aktuelle Methoden zur Planung und Regelung von Fahrzeugtrajektorien
- Inhalt
  - + Längs- und Querdynamik
  - + Wurzelortskurvenverfahren
  - + Kaskadenregelung
  - + Fahrwerkstabilisierung (ABS, ASR, ESP)
  - + Längsführung (ACC, Notbremsung, ...)
  - + Querführung (Spurhalten, Ausweichen, ...)
  - + Fahrsicherheit, -komfort, -effizienz
  - + Trajektorienplanung, -regelung
  - + Autonomes Fahren
- Voraussetzung:  
Grundlagen der Mess- und Regelungstechnik
- Kombinierbar mit:  
Fahrzeugsehen (2V)  
Kognitive Automobile Labor (2P)



Dozent: Prof. Christoph Stiller, 2 V, Di. 09:45 – 11:15 Uhr

# Kontinuumschwingungen

- Schwingungen von Kontinua
- Rechenmethoden zur Behandlung eindimensionaler Kontinua (Saiten, Stäbe, Balken, etc)
- Zweiparametrische Kontinua (Platten, Scheiben)
- Behandlung zusätzlicher Effekte (z.B. rotierende Kontinua)

# Mathematische Methoden der Schwingungslehre

- Berechnungsmethoden dynamischer Systeme im Zeit- und Frequenzbereich
- Lösungsmethoden für lineare, gewöhnliche Differentialgleichungen
- Systeme gewöhnlicher Differentialgleichungen
- Prinzip von Hamilton
- Analytische Verfahren
- Einführung in die Stabilitätstheorie
- Ausgewählte Näherungsmethoden (Störungsrechnung)

# Dynamik vom KFZ-Antriebsstrang

- Erwerben der Kompetenzen im Bereich dynamischer Modellierung vom KFZ-Antriebsstrang inclusive wesentlicher Komponenten, Fahrsituationen und Anforderungen
- Hauptkomponenten eines KFZ-Antriebsstrangs und ihre Modelle
- Typische Fahrmanöver
- Problembezogene Modelle für einzelne Fahrsituationen
- Gesamtsystem: Betrachtung und Optimierung vom Antriebsstrang in Bezug auf dynamisches Verhalten

# Stabilitätstheorie

- Wesentliche Methoden der Stabilitätsanalyse lernen
- Anwendung der Stabilitätsanalyse für Gleichgewichtslagen
- Anwendung der Stabilitätsanalyse für periodische Lösungen
- Anwendung der Stabilitätsanalyse in der Regelungstechnik

## Inhalt

- Grundbegriffe der Stabilität
- Lyapunov'sche Funktionen
- Direkte Lyapunov'sche Methode
- Stabilität der Gleichgewichtslage
- Einzugsgebiet einer stabilen Lösung
- Stabilität nach der ersten Näherung
- Systeme mit parametrischer Anregung
- Stabilitätskriterien in der Regelungstechnik

# Nichtlineare Schwingungen

- Wesentliche nichtlineare Effekte erkennen können
- Minimalmodelle nichtlinearer Effekte kennenlernen
- Störungsmethoden zur Analyse nichtlinearer Systeme anwenden können
- Grundlagen der Bifurkationstheorie erlernen
- Dynamisches Chaos erkennen können

## Inhalt

- Dynamische Systeme
- Die Grundideen asymptotischer Verfahren
- Störungsmethoden: Linstedt-Poincare, Mittelwertbildung, Multiple scales
- Grenzzyklen
- Nichtlineare Resonanz
- Grundlagen der Bifurkationsanalyse, Bifurkationsdiagramme
- Typen der Bifurkationen
- Unstetige Systeme
- Dynamisches Chaos

# Schwingungstechnisches Praktikum

- Einführung in gebräuchliche Meßprinzipie für mechanische Schwingungen
- Kennenlernen ausgewählter Schwingungsproblemen verschiedener Kategorien in Theorie und Experiment
- Messung, Auswertung und kritischer Vergleich mit Modellrechnungen.

## Inhalt

- Frequenzgang eines krafterregten einläufigen Schwingers
- Erzwungene Schwingungen eines stochastisch angeregten Schwingers mit einem Freiheitsgrad
- Digitale Verarbeitung von Messdaten
- Messung des Lehrschen Dämpfungsmaßes im Resonanzversuch
- Zwangsschwingungen eines Duffingschen Drehschwingers
- Dämmung von Biegewellen mit Hilfe von Sperrmassen
- Biegekritische Drehzahlen eines elastisch gelagerten Läufers
- Instabilitätserscheinungen eines parametererregten Drehschwingers
- Resonanzbeanspruchung eingespannter verjüngter Stäbe
- Experimentelle Modalanalyse

# Dynamik mechanischer Systeme mit tribologischen Kontakten

- Einführung in grundlegende Aspekte mechanischer Systeme mit Kontakten
- Einbeziehung tribologische Parameter der Kontaktpaarungen
- Physikalisch-mathematische Beschreibung
- notwendige Lösungsstrategien, wie sie auch in gängiger Software zum Einsatz kommen
- Anhand einer Auswahl von Beispielproblemen werden typische dynamische Phänomene diskutiert

## Inhalt

- Einführung in die Kontakt-Kinematik
- Kinetik von Systeme mit unilateralen, reibungsbehafteten Kontakten
- Mathematische Lösungsstrategien
- Einführung in die Kontaktmechanik
- Normalkontakt (Hertzscher Kontakt, rauhe Oberfläche, Kontaktgesetze)
- Stöße (Newtonsche Stoßhypothese, Wellenphänomene)
- Reibungserregte Schwingungen (Stick-Slip, Bremsenquietschen)
- Geschmierte Kontakte: Rotoren in Gleitlagern, EHD-Kontakt



# Fragen ?