

**Modulbezeichnung:** Numerische und experimentelle Modalanalyse (2V+2Ü) (NEMA) 5 ECTS  
(Numerical and Experimental Modal Analysis (2L+2E))

Modulverantwortliche/r: Kai Willner  
Lehrende: Dominik Süß, Kai Willner

Startsemester: WS 2014/2015      Dauer: 1 Semester      Turnus: jährlich (WS)  
Präsenzzeit: 60 Std.      Eigenstudium: 90 Std.      Sprache: Deutsch

**Lehrveranstaltungen:**

Numerische und Experimentelle Modalanalyse (WS 2014/2015, Vorlesung, 2 SWS, Kai Willner)  
Übungen zur Numerischen und Experimentellen Modalanalyse (WS 2014/2015, Übung, 2 SWS, Dominik Süß)

**Empfohlene Voraussetzungen:**

Kenntnisse aus den Modulen *Technische Schwingungslehre* und *Methode der Finiten Elemente*

**Es wird empfohlen, folgende Module zu absolvieren, bevor dieses Modul belegt wird:**

Technische Schwingungslehre (2V+2Ü)

**Inhalt:**

**Numerische Modalanalyse**

- Numerische Lösung des Eigenwertproblems
- Modale Reduktion
- Dämpfungs-, Massen- und Punktmassenmatrizen
- Lösung der Bewegungsgleichungen, Zeitschrittintegration

**Experimentelle Modalanalyse**

- Grundlagen der Signalanalyse: Fourier-Transformation, Aliasing, Leakage
- Experimentelle Analyse im Zeit- und Frequenzbereich

**Lernziele und Kompetenzen:**

*Fachkompetenz*

*Wissen*

- Die Studierenden kennen die analytische Lösung für die freie Schwingung einfacher Kontinua wie Stab und Balken.
- Die Studierenden kennen verschiedene Verfahren zur Lösung des Eigenwertproblems.
- Die Studierenden kennen die Methode der modalen Reduktion.
- Die Studierenden kennen verschiedene Möglichkeiten der Dämpfungsbeschreibung.
- Die Studierenden kennen den Unterschied zwischen der konsistenten Massenmodellierung und Punktmassen.
- Die Studierenden kennen verschiedene Verfahren zur Zeitschrittintegration.
- Die Studierenden kennen die Grundlagen der Signalanalyse im Frequenzbereich auf der Basis der Fouriertransformation.
- Die Studierenden kennen die Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der numerischen und experimentellen Modalanalyse.
- Die Studierenden kennen die prinzipielle Vorgehensweise bei der experimentellen Modalanalyse sowie die entsprechenden Fachtermini.
- Die Studierenden kennen verschiedene Messaufnehmer und Anregungsverfahren.
- Die Studierenden kennen die verschiedenen Übertragungsfrequenzgänge und Verfahren zur Bestimmung der modalen Parameter.
- Die Studierenden kennen verschiedene Verfahren zur Überprüfung der Linearität eines Systems.

*Verstehen*

- Die Studierenden können die Probleme bei der numerischen Dämpfungsmodellierung erläutern.
- Die Studierenden können die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Massenmodellierungen erklären sowie den Einfluss auf die Eigenwerte bei verschiedenen Elementtypen erläutern.

- Die Studierenden verstehen das Shannonsche Abtasttheorem und können damit den Einfluss von Abtastauflösung und Abtastlänge auf das Ergebnis der diskreten Fouriertransformation erläutern.
- Die Studierenden können die Probleme des Aliasing und des Leakage erklären und Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduktion dieser Fehler erläutern.
- Die Studierenden verstehen den Einfluß verschiedener Lagerungs- und Anregungsarten der zu untersuchenden Struktur auf das Messergebnis.
- Die Studierenden verstehen den Zusammenhang der verschiedenen Übertragungsfrequenzgänge und können diesen zum Beispiel anhand der Nyquist-Diagramme erklären.

#### Anwenden

- Die Studierenden können das Verfahren der simultanen Vektoriteration zur Bestimmung von Eigenwerten und -vektoren implementieren.
- Die Studierenden können verschiedene Zeitschrittintegrationsverfahren implementieren.
- Die Studierenden können eine Signalanalyse im Frequenzbereich mit Hilfe kommerzieller Programme durchführen.
- Die Studierenden können verschiedene Übertragungsfrequenzgänge ermitteln und daraus die modalen Parameter bestimmen.

#### Analysieren

- Die Studierenden können eine geeignete Dämpfungs- und Massenmodellierung für die numerische Modalanalyse auswählen.
- Die Studierenden können ein problemangepasstes Verfahren zur Lösung des Eigenwertproblems auswählen.
- Die Studierenden können ein problemangepasstes Zeitschrittintegrationsverfahren auswählen.
- Die Studierenden können für eine gegebene Messaufgabe einen Versuchsaufbau mit geeigneter Lagerung und Anregung der Struktur konzipieren.
- Die Studierenden können für eine gegebene Messaufgabe eine passende Abtastrate und -dauer sowie entsprechende Filter bzw. Fensterfunktionen wählen.
- Die Studierenden können ein geeignetes Dämpfungsmodell zur Bestimmung der modalen Dämpfungen auswählen.

#### Evaluieren (Beurteilen)

- Die Studierenden können eine numerische Eigenwertlösung anhand verschiedener Kriterien wie verwendetes Verfahren, Dämpfungs- und Massenmodellierung kritisch beurteilen und gegebenenfalls qualifizierte Verbesserungsvorschläge machen.
- Die Studierenden können eine numerische Lösung im Zeitbereich anhand verschiedener Kriterien wie verwendetes Verfahren, Zeitschrittweite etc. kritisch beurteilen und gegebenenfalls qualifizierte Verbesserungsvorschläge machen.
- Die Studierenden können das Ergebnis einer Fourier-Signalanalyse kritisch beurteilen, eventuelle Fehler bei der Messung erkennen und sinnvolle Maßnahmen zur Verbesserung aufzeigen.
- Die Studierenden können die experimentell ermittelten modalen Parameter anhand verschiedener Kriterien wie zum Beispiel MAC-Werte beurteilen.
- Die Studierenden können die Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Modalanalyse anhand von Linearitätstests überprüfen und beurteilen.
- Die Studierenden können die Ergebnisse einer numerischen und experimentellen Modalanalyse kritisch vergleichen, qualifizierte Aussagen über die jeweilige Modellgüte machen und gegebenenfalls Vorschläge zur Verbesserung machen.

#### Literatur:

- Bode, H.: Matlab-Simulink: Analyse und Simulation dynamischer Systeme. Stuttgart, Teubner, 2006
- Bathe, K.; Finite-Elemente-Methoden. Berlin, Springer, 2001
- Ewins, D.J.: Modal Testing. Research Studies Press, 2000

---

#### Verwendbarkeit des Moduls / Einpassung in den Musterstudienplan:

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

- [1] **Berufspädagogik Technik (Master of Education): 3-4. Semester**  
(Po-Vers. 2010 | Studienrichtung Metalltechnik (Masterprüfungen) | Wahlpflichtmodule Fachwissenschaft | Wahlpflichtmodule (Vertiefungsmodul) | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- [2] **Maschinenbau (Bachelor of Science): ab 3. Semester**  
(Po-Vers. 2009w | Wahlmodule | Technische Wahlmodule)
- [3] **Maschinenbau (Master of Science): 2. Semester**  
(Po-Vers. 2007 | Studienrichtungen Allgemeiner Maschinenbau, Fertigungstechnik, und Rechnergestützte Produktentwicklung | Masterprüfung | Studienrichtung Allgemeiner Maschinenbau | Wahlpflicht-/Vertiefungsbereich in der Studienrichtung Allgemeiner Maschinenbau | Modulgruppe 2.2 Höhere Mechanik | Vertiefungsmodul 2.2 | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- [4] **Maschinenbau (Master of Science): 2. Semester**  
(Po-Vers. 2007 | Studienrichtungen Allgemeiner Maschinenbau, Fertigungstechnik, und Rechnergestützte Produktentwicklung | Masterprüfung | Studienrichtung Allgemeiner Maschinenbau | Wahlpflicht-/Vertiefungsbereich in der Studienrichtung Allgemeiner Maschinenbau | Modulgruppe 2.2 Höhere Mechanik | Wahlpflichtmodul 2.2 | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- [5] **Maschinenbau (Master of Science): 2. Semester**  
(Po-Vers. 2007 | Studienrichtungen Allgemeiner Maschinenbau, Fertigungstechnik, und Rechnergestützte Produktentwicklung | Masterprüfung | Studienrichtung Allgemeiner Maschinenbau | Wahlpflicht-/Vertiefungsbereich in der Studienrichtung Allgemeiner Maschinenbau | Modulgruppe 2.2 Höhere Mechanik | Vertiefungsmodul 2.2 | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- [6] **Maschinenbau (Master of Science): 2. Semester**  
(Po-Vers. 2007 | Studienrichtungen Allgemeiner Maschinenbau, Fertigungstechnik, und Rechnergestützte Produktentwicklung | Masterprüfung | Studienrichtung Allgemeiner Maschinenbau | Wahlpflicht-/Vertiefungsbereich in der Studienrichtung Allgemeiner Maschinenbau | Modulgruppe 2.2 Höhere Mechanik | Wahlpflichtmodul 2.2 | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- [7] **Maschinenbau (Master of Science): 2. Semester**  
(Po-Vers. 2007 | Studienrichtungen Allgemeiner Maschinenbau, Fertigungstechnik, und Rechnergestützte Produktentwicklung | Masterprüfung | Studienrichtung Rechnergestützte Produktentwicklung | Wahlpflicht-/Vertiefungsbereich in der Studienrichtung Rechnergestützte Produktentwicklung | Modulgruppe 2.2 Höhere Mechanik | Vertiefungsmodul 2.2 | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- [8] **Maschinenbau (Master of Science): 2. Semester**  
(Po-Vers. 2007 | Studienrichtungen Allgemeiner Maschinenbau, Fertigungstechnik, und Rechnergestützte Produktentwicklung | Masterprüfung | Studienrichtung Rechnergestützte Produktentwicklung | Wahlpflicht-/Vertiefungsbereich in der Studienrichtung Rechnergestützte Produktentwicklung | Modulgruppe 2.2 Höhere Mechanik | Wahlpflichtmodul 2.2 | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- [9] **Maschinenbau (Master of Science): 2. Semester**  
(Po-Vers. 2007 | Studienrichtungen Allgemeiner Maschinenbau, Fertigungstechnik, und Rechnergestützte Produktentwicklung | Masterprüfung | Studienrichtung Rechnergestützte Produktentwicklung | Wahlpflicht-/Vertiefungsbereich in der Studienrichtung Rechnergestützte Produktentwicklung | Modulgruppe 2.2 Höhere Mechanik | Vertiefungsmodul 2.2 | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- [10] **Maschinenbau (Master of Science): 2. Semester**  
(Po-Vers. 2007 | Studienrichtungen Allgemeiner Maschinenbau, Fertigungstechnik, und Rechnergestützte Produktentwicklung | Masterprüfung | Studienrichtung Rechnergestützte Produktentwicklung | Wahlpflicht-/Vertiefungsbereich in der Studienrichtung Rechnergestützte Produktentwicklung | Modulgruppe 2.2 Höhere Mechanik | Wahlpflichtmodul 2.2 | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- [11] **Maschinenbau (Master of Science): 1. Semester**  
(Po-Vers. 2013 | Studienrichtung International Production Engineering and Management | Masterprüfung | Vertiefungsmodul)
- [12] **Mechatronik (Bachelor of Science): 5-6. Semester**  
(Po-Vers. 2007 | Wahlpflichtmodule (für alle Studierende des Bachelorstudiums, die vor 01. Oktober 2012 Wahlpflichtmodule begonnen haben) | Wahlpflichtmodule | Katalog | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- [13] **Mechatronik (Bachelor of Science): 5-6. Semester**  
(Po-Vers. 2009 | Wahlpflichtmodule (für alle Studierende des Bachelorstudiums, die vor 01. Oktober 2012 Wahlpflichtmodule begonnen haben) | Wahlpflichtmodule | Katalog | Numerische und experimentelle Modalanalyse)

- [14] **Mechatronik (Bachelor of Science): 5-6. Semester**  
(Po-Vers. 2009 | Wahlpflichtmodule | 7 Technische Mechanik)
- [15] **Mechatronik (Master of Science): 1-3. Semester**  
(Po-Vers. 2010 | Wahlpflichtmodule | Katalog | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- [16] **Mechatronik (Master of Science): 1-3. Semester**  
(Po-Vers. 2010 | Vertiefungsrichtungen | Technische Mechanik | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- [17] **Mechatronik (Master of Science): 1-3. Semester**  
(Po-Vers. 2012 | M1-M2 Vertiefungsrichtungen | 7 Technische Mechanik)
- [18] **Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science): 1-2. Semester**  
(Po-Vers. 2009 | Ingenieurwissenschaftliche Studienrichtungen | Studienrichtung Maschinenbau | Wahlpflicht- und Vertiefungsmodul Modulgruppe 2.2 | Vertiefungsmodul Modulgruppe 2.2 | Numerische und experimentelle Modalanalyse)
- 

**Studien-/Prüfungsleistungen:**

Numerische und experimentelle Modalanalyse (Prüfungsnummer: 72651)

(englische Bezeichnung: Numerical and Experimental Modal Analysis)

Prüfungsleistung, Klausur, Dauer (in Minuten): 60

Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100%

Erstablingung: WS 2014/2015, 1. Wdh.: SS 2015

1. Prüfer: Kai Willner

---