

Einfluss der Lagerung auf die experimentelle Modalanalyse eines Lochbalkens

Matthias Kirschstein, B. Eng., Hochschule Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau und Kunststofftechnik
 Jörn Tampe, B. Eng., Hochschule Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau und Kunststofftechnik
 Prof. Dr.-Ing. Katrin Baumann, Hochschule Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau und Kunststofftechnik

1 Experimentelle Modalanalyse (EMA)

- Aussage über Schwingungsverhalten einer realen mechanischen Struktur durch experimentelle Ermittlung von Eigenfrequenzen und Eigenformen
- Versuchsdurchführung:
 - näherungsweise frei-freie Lagerung des Testobjekts z.B. mit Gummiseilen oder anderen Federn
 - breitbandige Anregung des Testobjekts z.B. mit einem Impulshammer mit Kraftaufnehmer
 - Erfassung der Schwingungsantwort des Testobjekts z.B. mit Beschleunigungssensoren
 - Messung der Übertragungsmatrix der Struktur → Identifikation der Eigenfrequenzen und -formen

2 Ziel der Untersuchung

- Hintergrund:
 - Abweichung der realen Lagerung von der ideal frei-freien Lagerung ohne Gewichtseinfluss
 - dadurch Vorspannungen im Testobjekt mit Einfluss auf die dynamischen Eigenschaften
- Ziel: Erfassung des Einflusses verschiedener Lagerungen auf die Ergebnisse der EMA

3 EMA des Lochbalkens

3.1 Testobjekt

- Aluminiumbalken (EN AW 7075) mit sieben asymmetrischen Bohrungen (siehe Abb. 1)
- Masse: 0,837 kg

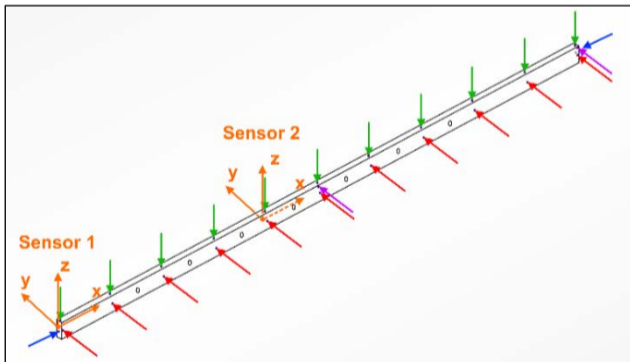


Abbildung 1 • Erreger-FG und Antwort-FG am Lochbalken

3.2 Testplanung

- Numerische Modalanalyse (NMA) eines FE-Modells mit symmetrischer Vernetzung und frei-freier Lagerung mit ANSYS Workbench 2019 R2: 21 Biege-, Axial- und Torsionsmoden bis 3100 Hz

Tabelle 1 • Unterschiedliche frei-freie Lagerungen für EMA des Lochbalkens

Lagerung	Ausrichtung Balkenachse	Ausrichtung Bohrungsachsen	Aufhängung	Skizze
1	horizontal	horizontal	Durch 3. und 6. Bohrung ($x_1 = 350$ mm, $x_2 = 650$ mm)	
2	horizontal	horizontal	Durch 1. und 7. Bohrung ($x_1 = 150$ mm, $x_2 = 750$ mm)	
3	horizontal	vertikal	Umschlingen ($x_1 = 150$ mm, $x_2 = 850$ mm)	
4	horizontal	horizontal	Umschlingen ($x_1 = 150$ mm, $x_2 = 850$ mm)	
5	vertikal	horizontal	Durch 1. Bohrung ($x_1 = 150$ mm)	

- Methode des wandernden Hammers nach Abb. 1 mit
 - 26 Erreger-FG zur Anregung der Biege-, Axial- und Torsionsschwingungen
 - 6 Antwort-FG mit 2 Triaxial-Beschleunigungssensoren

3.3 Versuchsdurchführung

- Versuchsaufbau (Abb. 2) mit Anregung durch elektromechanischen Impulshammer

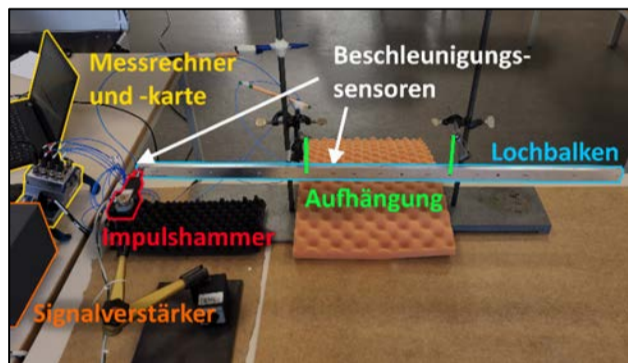


Abbildung 2 • Versuchsaufbau für Lagerung 1

- Sensorik:

Tabelle 1 • Verwendete Sensorik

Sensor	Position	Funktion	Typ	Sensitivität
Kraft	wandernd	Kraftanregung	Kistler 9132b21	0,0005 mV/N
Beschleunigung	X = 0 mm stirnseitig	Schwingungsantwort	PCB-356A03	X: 10,4 mV/g Y: 9,93 mV/g Z: 10,26 mV/g
Beschleunigung	X = 400 mm rückseitig	Schwingungsantwort	PCB-356A03	X: 9,17 mV/g Y: 9,19 mV/g Z: 9,56 mV/g

- Messdatenerfassung:
 - 2 4-kanalige Schwingungsmessmodule National Instruments NI-9234 via Matlab R2019b
 - Erfassung von Kraft- und Beschleunigungs-Zeitsignalen → Berechnung der H4-Übertragungsmatrix
 - 8 Mittelungen pro Erreger-FG
- Untersuchung von 5 Lagerungen entsprechend Tab. 1
- Lagerung 1 = Referenzlagerung: horizontal mit möglichst geringer statischer Vorspannung

3.4 Auswertung

- Software: EasyMod-Toolbox [1] mit Matlab R2020b
- Methode: Least Square Complex Exponential (LSCE) für jeden Antwort-FG separat
- Mittelung der Eigenfrequenzen bei mehrfacher Identifikation
- sehr gute Übereinstimmung der Eigenfrequenzen aus der EMA für die Lagerung 1 mit der NMA, vgl. Tab. 2

4 Einfluss der Lagerung

- Eigenfrequenzen aus der EMA und relative Frequenzabweichungen für alle Lagerungen siehe Tab. 2:
 - bei 18 von 21 ermittelten Eigenfrequenzen nur kleine relative Abweichungen $\leq \pm 1$ %
 - bei den Torsionsmoden erwartungsgemäß nur sehr geringe Abweichungen ($\varnothing 0,08$ %), da keine Änderung der Torsions-Vorspannung durch Lagerungen
 - 1. Axial-Eigenfrequenz (Mode 18, grün in Tab. 2) bei vertikaler Lagerung 5 erwartungsgemäß deutlich größer aufgrund der axialen Vorspannung; Biege- und Torsionsmoden davon unbeeinflusst
 - 1. Biege-Eigenfrequenz um y (Mode 3, gelb in Tab. 2) für alle Lagerungen mit größeren Abweichungen $\leq \pm 2$ % aufgrund größerer Biegesteifigkeit und damit deutlich reduzierter Biege-Vorspannung im Vergleich zu den Biegemoden um z
 - 1. Eigenfrequenz (1. Biegung um z) für Lagerung 3 (rot in Tab. 2) wahrscheinlich Messfehler, da Frequenz bei Auswertung nur in einem Datensatz erkannt und sonst geringe Abweichungen für andere Frequenzen bei der Lagerung 3 sowie die 1. Eigenfrequenz bei den anderen Lagerungen → Wiederholung des Versuchs empfohlen
- Eigenformen für alle Lagerungen weitgehend identisch

5 Schlussfolgerungen

- Einfluss der Lagerung bei der EMA auf die Eigenfrequenzen aufgrund der dadurch verursachten Vorspannung im Bauteil vorhanden und messbar
- für simple und kompakte Struktur des Lochbalkens nur geringer Einfluss, dennoch gut erkennbar an Axialmode
- vermutlich größerer Einfluss der Lagerung auf die Eigenfrequenzen bei komplexeren Strukturen mit höherem Eigengewicht aufgrund größerer Vorspannungen
- Handlungsempfehlungen für die Lagerung bei der EMA:
 - Testobjekt gemäß der Einbaulage im Raum orientieren, um Verformungen und Vorspannungen im Betrieb abzubilden
 - Ausnahme: rotationssymmetrische Bauteile vertikal lagern, um nicht eine der doppelten Biege-Eigenfrequenzen durch die Biege-Vorspannung aufgrund des Eigengewichts zu verschieben

6 Ausblick

- Verifikation durch NMA mit vertikaler Lagerung
- EMA der Laborstative → Störfrequenzen?
- weiterführende Untersuchungen an größeren Bauteilen

7 Quellen

- [1] EasyMod, as for Easy Modal analysis, <https://hosting.umons.ac.be/html/mecara/EasyMod/> (18.09.2021)

Tabelle 2 • Eigenfrequenzen und rel. Frequenzabweichungen für die verschiedenen Lagerungen

Mode	Bezeichnung der Mode	Lagerung 1 [Hz]	Lagerung 2 [Hz]	Relative Abweichung zu Lagerung 1 [%]	Lagerung 3 [Hz]	Relative Abweichung zu Lagerung 1 [%]	Lagerung 4 [Hz]	Relative Abweichung zu Lagerung 1 [%]	Lagerung 5 [Hz]	Relative Abweichung zu Lagerung 1 [%]	NMA [Hz]	Relative Abweichung zu Lagerung 1 [%]
1	1. Biegung um z	51,7	51,6	-0,19	54,4	5,22	51,6	-0,19	52	0,58	51,3	-0,77
2	2. Biegung um z	142,1	142,3	0,14	142,2	0,07	142,3	0,14	142,4	0,21	141,4	-0,49
3	1. Biegung um y	155,9	154,2	-1,09	154,4	-0,96	154,6	-0,83	154,3	-1,03	155,1	-0,51
4	3. Biegung um z	278,8	278,9	0,04	279,8	0,36	279,3	0,18	279,3	0,18	277,4	-0,50
5	2. Biegung um y	423,7	423,1	-0,14	423,1	-0,14	422,6	-0,26	422,4	-0,31	425,2	0,35
6	4. Biegung um z	460,5	460,8	0,07	461,9	0,30	460,8	0,07	461,3	0,17	458,5	-0,43
7	5. Biegung um z	688,6	689,1	0,07	689,6	0,15	689,2	0,09	689,3	0,10	684,2	-0,64
8	3. Biegung um y	821,5	822,3	0,10	822,6	0,13	821	-0,06	822,5	0,12	826,3	0,58
9	1. Torsion um x	856,7	856,5	-0,02	858,6	0,22	857	0,04	857	0,04	857,5	0,09
10	6. Biegung um z	959,3	960,1	0,08	958,8	-0,05	960,2	0,09	960	0,07	953,9	-0,56
11	7. Biegung um z	1274	1275	0,08	1274	0,00	1275	0,08	1276	0,16	1268	-0,47
12	4. Biegung um y	1342	1340	-0,15	1343	0,07	1339	-0,22	1342	0,00	1350	0,60
13	8. Biegung um z	1635	1636	0,06	1635	0,00	1636	0,06	1636	0,06	1626	-0,55
14	2. Torsion um x	1718	1721	0,17	1719	0,06	1721	0,17	1719	0,06	1718	0,00
15	5. Biegung um y	1979	1983	0,20	1981	0,10	1986	0,35	1980	0,05	1989	0,51
16	9. Biegung um z	2043	2045	0,10	2041	-0,10	2046	0,15	2043	0,00	2033	-0,49
17	10. Biegung um z	2473	2473	0,00	2473	0,00	2475	0,08	2475	0,08	2459	-0,57
18	1. Axialmode in x	2498	2500	0,08	2498	0,00	2499	0,04	2531	1,32	2489	-0,36
19	3. Torsion um x	2585	2586	0,04	2584	-0,04	2586	0,04	2583	-0,08	2583	-0,08
20	6. Biegung um y	2723	2736	0,48	2719	-0,15	2735	0,44	2721	-0,07	2734	0,40
21	11. Biegung um z	2965	2967	0,07	2966	0,03	2968	0,10	2967	0,07	2951	-0,47

h_da

HOCHSCHULE DARMSTADT
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



im²s

INSTITUT FÜR MECHANISCHE UND MECHATRONISCHE SYSTEME

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Katrin Baumann
 Institut für mechanische und mechatronische Systeme IM²S
 Fachbereich Maschinenbau und Kunststofftechnik
 Hochschule Darmstadt, Schöfferstraße 3, 64295 Darmstadt
 E-Mail: katrin.baumann@h-da.de

Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. Thomas Grönsfelder
 Institut für mechanische und mechatronische Systeme IM²S
 Fachbereich Maschinenbau und Kunststofftechnik
 Hochschule Darmstadt, Schöfferstraße 3, 64295 Darmstadt
 E-Mail: thomas.groensfelder@h-da.de