

Strukturdynamik von Knochen



Polytec Technical Papers

- A Luft- und Raumfahrt
- B Audio & Akustik
- C Automobilentwicklung
- D Datenspeicher
- G Vibrometrie allgemein
- M Mikrosystemtechnik
- P Fertigungsprüfung
- S Wissenschaft/Medizin
- T Strukturuntersuchungen
- U Ultraschalltechnik

Schwingungsmessung zur Ermittlung mechanischer Eigenschaftsparameter des humanen Hüftbeins

Die Einsatzmöglichkeiten der berührungslosen Laser-Doppler-Vibrometrie in der Biomechanik sind vielfältig. Jüngste Experimente zur Ermittlung der dynamischen Eigenschaften eines Beckenknochens wurden mit einem 3D-Laservibrometer durchgeführt und zeigen auf, dass mit dieser Messtechnik auch bei geometrisch sehr anspruchsvollen Objekten Ergebnisse in hoher Qualität erzielt werden.

Einführung

In den Ingenieurwissenschaften wird die experimentelle Modalanalyse routinemäßig für die Analyse des Schwingungsverhaltens von Bauteilen eingesetzt. Die Messergebnisse werden üblicherweise für die Verifizierung von Simulationsmodellen herangezogen. Die so genannte Finite-Elemente-Methode (FEM) wird mittlerweile auch in der Biomechanik für die Bearbeitung medizinischer Fragestellungen eingesetzt. In der Knochenchirurgie werden derzeit verschiedene Ansätze verfolgt, um aus Computer-Tomographie (CT)-Daten realitätsnahe Knochenmodelle zu generieren. Auch hier werden zur Verifizierung Experimente durchgeführt, wobei die Qualität der Ergebnisse wesentlich von Messmethode und einge-

setzter Technik abhängt. Im Gegensatz zur Ingenieurwissenschaft stehen im Arbeitsfeld der Biomechanik vorwiegend biologische Materialien im Fokus des Interesses. Aufgrund von komplexen Prozessen, die sich bei biologischem Material abspielen (Austrocknung, Zersetzung) steht für die Messung nur eine begrenzte Zeit zur Verfügung. Aus diesem Grund wird eine zeit- und aufwandsoptimierte Messmethode benötigt, die auch eine Untersuchung von Frischpräparaten ermöglicht.

Versuchsaufbau

Erste Versuche zur Entwicklung einer optimierten Prozesskette wurden an einem präparierten Beckenknochen

durchgeführt. Zunächst wurde eine geeignete Aufhängung für den zu untersuchenden Knochen konstruiert. Hierbei war zu beachten, dass die Experimente unter „frei-freien-Lagerbedingungen“ durchzuführen sind. Mit Hilfe von Gummiseilen wird der Knochen an einem Prüfraum so aufgehängt, dass die Resonanzfrequenzen des Starrkörpers an den Seilen unter 10 Hz liegen. Oberhalb von 100 Hz kann das Untersuchungsobjekt als frei gelagert angesehen werden. Ebenso sorgfältig ist die rückwirkungs-freie Anbindung des elektrodynamischen Schwingerreger an das Untersuchungsobjekt und dessen schwingungs isolierte Lagerung auszuführen.

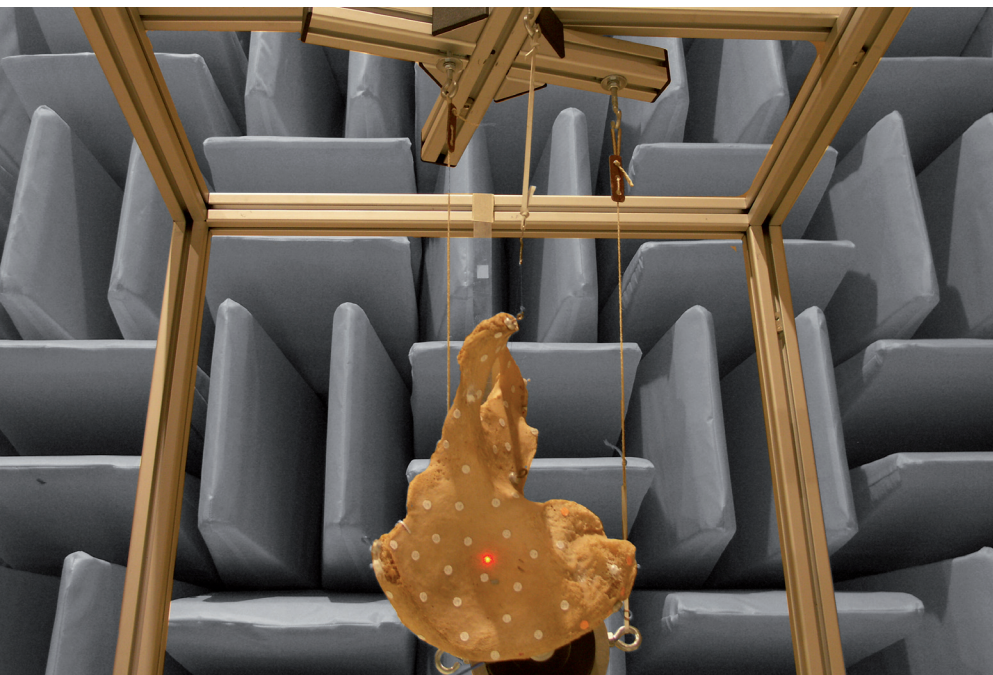


Bild 1: Aufhängung des Hüftbeins an Gummibändern; rot: Fokuspunkt des Laserstrahls



Bild 2: Versuchsaufbau mit 3D-Laservibrometer

Kalibrierung und Messung

Für die Messung der Schwingungsantwort kommt das PSV-400-3D Scanning Vibrometer zum Einsatz (Bild 1,2). Aufgrund der drei eingesetzten Laserköpfe wird die Schwingungsantwort in allen drei Raumrichtungen gleichzeitig gemessen und somit dreidimensional erfasst. Beim Abgleich der Laserköpfe untereinander sollte durch die gemessenen Abgleichpunkte ein möglichst großes Volumen aufgespannt werden. Für gute Messergebnisse ist zudem eine Verteilung der Messpunkte über die Tiefe zu empfehlen. Entsprechend dieser Kriterien wurden sechs Abgleichpunkte festgelegt (Bild 3). Für die Messung von Objekten innerhalb des Prüfrahmens sind noch folgende Schritte durchzuführen:

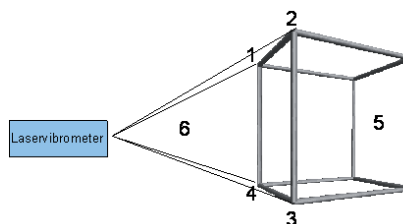


Bild 3: Position der Abgleichpunkte am Prüfrahmen

- Festlegung von Messgitter und Messkoordinatensystem
- Durchführung eines Geometriescan
- Zuweisung der Fokuswerte

Für die Messungen am Knochen wird das Koordinatensystem des FE-Modells verwendet. Dazu werden vor dem CT-Scan an bestimmten Stellen des Knochens Marker aufgeklebt, welche als Abgleichpunkte dienen und somit eine exakte Übertragung der Position der einzelnen Messpunkte in das FE-Modell ermöglichen. Für die Ermittlung der optimalen Messpunkte werden die Ergebnisse der FEM-Modalanalyse herangezogen, welche Aufschluss über die Knochenareale gibt, an denen die größten Verschiebungen stattfinden. Bei der kontinuierlichen Anregung mit Hilfe eines Schwingerreger (Shaker) wurde am Ankopplungspunkt die in die Struktur eingeleitete Kraft und gleichzeitig die Beschleunigung

antwort (Schwinggeschwindigkeit) an den definierten Messpunkten gemessen. Die Messung am konservierten Knochen wurde an zwei Teilflächen durchgeführt (Bild 4). Die gemessenen Übertragungsfunktionen sind in Bild 5 überlagert dargestellt, wobei fünf Resonanzüberhöhungen ermittelt werden können.

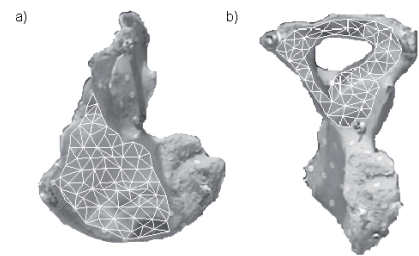


Bild 4: Teilflächen der Messung am präparierten Knochen: a) Messgitter Teilmessung 1, b) Messgitter Teilmessung 2

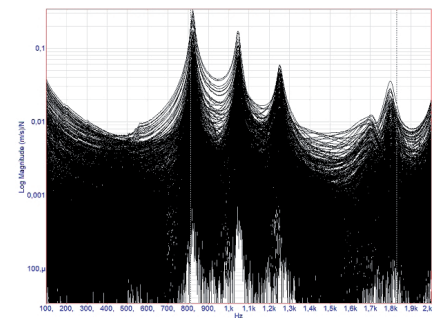


Bild 5: Überlagerte Darstellung der gemessenen Übertragungsfunktionen

Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Ergebnis der bisher durchgeführten Arbeiten stehen für den Abgleich numerischer und experimenteller Ergebnisse fünf Modenformen im Frequenzbereich von 100 Hz bis 2000 Hz zur Verfügung. Der entwickelte Versuchsstand und die aufwandsoptimierte Prozesskette erfüllen die Randbedingungen und Anforderungen, die für zukünftige Arbeiten mit Frischpräparaten gestellt werden.

Der Einsatz des 3D-Laservibrometers, das erstmals für die Bestimmung der modalen Parameter eines Beckenknochens verwendet wurde, ermöglichte eine Messung der räumlichen Schwingungsformen in bisher nicht gekannter Genauigkeit und Auflösung. Hierdurch konnten, ausgehend vom derzeitigen Stand der Technik, große Fortschritte bei der dynamischen Analyse und Modellierung humaner Beckenknochen erzielt werden.

Die vorgestellten Arbeiten wurden durch Fördermittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung ermöglicht.

Autoren - Kontakt

Dipl.-Ing. Martin Quickert

Dipl.-Ing. (FH) Michael Werner

Dipl.-Inf. (FH) Sandra Scherer, Master en Multimédia

Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und

Umformtechnik

Nöthnitzer Str. 44

01187 Dresden

Martin.Quickert@iwu.fraunhofer.de

Europa fördert Sachsen.



Quelle: InFocus – Magazin für Optische Messsysteme, Ausgabe 1/2009 – ISSN 1864-918.

© 2009 Polytec GmbH (www.polytec.de/infocus).

Weitere Informationen finden Sie unter www.polytec.de/anwendungen, oder lassen Sie sich durch unsere Produktspezialisten beraten: LM@polytec.de.

Polytec GmbH

Polytec-Platz 1-7

76337 Waldbronn

Tel. + 49 (0) 7243 604-0

Fax + 49 (0) 7243 69944

info@polytec.de

Polytec GmbH

Vertriebs- und

Beratungsbüro Berlin

Schwarzschildstraße 1

12489 Berlin

Tel. + 49 (0) 30 6392-5140

Fax + 49 (0) 30 6392-5141