

Referent/in

Carabello, Alina (Dresden DE)

Technische Universität Chemnitz - Professur Adaptronik und Funktionsleichtbau

Titel

Optische Analyse der Probengeometrie biologischer Proben während mechanischer Testung

Coauthors

Neupetsch C, Rotsch C, Prof. Dr.-Ing. Drossel WG, Werner M

Zusammenfassung

Materialkennwerte von Geweben sind ein wichtiger Input zur Erstellung realistischer Mensch-Modelle. Die optische Analyse ermöglicht die Untersuchung der Geometrie biologischer Proben während mechanischer Testung. Die Ergebnisse können zur Ermittlung von Materialkennwerten herangezogen werden.

Einführung

Für die realistische Nachbildung menschlicher Körperstrukturen als virtuelles oder physisches Modell sind genaue Kenntnisse über die biomechanischen Eigenschaften enthaltener Körpergewebe notwendig. Dazu werden mechanische Testungen durchgeführt, um Materialkennwerte zu ermitteln. Das bedarf unter anderem die Untersuchung der Probengeometrie. Dazu werden in der Literatur unterschiedliche Ansätze verfolgt. Die Bestimmung der Querschnittsfläche kann mit Sonographie [2, 1], Magnetresonanztomografie [3], Abformung der Probe [5] oder einer taktilen Vermessung [7, 4] erfolgen. Die digitale Bildkorrelation (DIC) ist eine berührungslose Alternative zur Vermessung der Probenoberfläche im gesamten Versuch [6]. In dieser Arbeit wird ein Messaufbau zur Untersuchung der Deformation einer biologischen Probe unter Zugbelastung beschrieben und erprobt. Ziel ist die kontinuierliche Betrachtung der Probengeometrie im Versuch und die Berücksichtigung der Probenvariabilität in der Auswertung.

Methodik

Aufgrund ihrer komplexen Geometrie sollen biologische Probe während einer Zugbelastung dreidimensional erfasst werden. Dazu werden die DIC-basierten Messsystemen ARAMIS 3D-Kamera und ATOS Core 300 (GOM, Braunschweig) seitlich einer Zugprüfmaschine (DYNA-MESS, Stolberg) positioniert. Das ermöglicht die zeitgleiche Erfassung der Probenvorder-

und -rückseite. Zur Detektion und Digitalisierung der Oberfläche durch die Messsysteme wird diese mit einem Specklemuster texturiert. Nach der Messung werden die Oberflächendaten zusammengefügt. Durch Einbringung eines digitalen Schnittes senkrecht zur Zugachse kann der Flächeninhalt des Schnittes berechnet werden (Abb. 1).

Zunächst wird der Versuch mit 20 Silikonproben zur Untersuchung der Wiederholgenauigkeit durchgeführt. Anschließend wird die Methodik an drei Schweinesehnen erprobt. Zur Abschätzung der Genauigkeit wird eine Schweinesehne zusätzlich mit einem Mikro-CT vermessen.

Ergebnisse

Mit den optischen Messsystemen können in allen Versuchen die Anteile der Probenoberflächen, die im Sichtfeld der Messsysteme liegen, erfasst und in digitale Oberflächen überführt werden (Abb. 1-D). Mit zunehmender Dehnung nehmen die Querschnittsflächen der Silikonproben ab. Der mittlere Anstieg der Graphen beträgt $0,24\text{mm}^2/\text{N} \pm 0,012\text{mm}^2/\text{N}$. Im Vergleich zu den Silikonproben sind die Graphen der biologischen Proben durch starkes Messwertrauschen und Lücken geprägt. Aufgrund der unregelmäßigen Struktur der Proben kommt es bei steigender Dehnung zum Aufbrechen des Specklemusters und damit zu Lücken in den digitalen Oberflächen.

Bei Betrachtung der Querschnitte aus der optischen Messung fällt auf, dass die Seitenränder der Probe nicht vollständig erfasst werden und so nicht zur Berechnung des Flächeninhalts herangezogen werden können. Zum Schließen der Lücken wird softwareseitig eine lineare Interpolation durchgeführt. Beim Vergleich der optisch und mittels CT ermittelten Querschnittsflächen der Schweinesehnen fällt eine Varianz entlang der Probe auf. (Abb. 3). Der Mittelwert der relativen Abweichungen beträgt $18,65\% \pm 6,98\%$.

Schlußfolgerung

Die beschriebene Methodik ist prinzipiell geeignet zur Untersuchung der Probengeometrie während mechanischer Testung. Die Ergebnisse zeigen, dass Teile der Probenoberflächen mit zwei optischen Messsystemen berührungslos und ohne zusätzliche Beeinflussung der Probe erfasst und die Probengeometrien ermittelt werden können. Durch Optimierung der Bespeckelung, beispielsweise mit Graphitpulver, kann eine geschlossene Probenoberfläche

erzeugt werden. Der Einfluss der offenen Probenränder nimmt mit Abnahme der Probendicke ebenfalls ab. Alternativ kann eine Variierung des Messaufbaus zur Verbesserung führen. Die dynamische Erfassung der Oberfläche ermöglicht die Bestimmung der Probengeometrie über den ganzen Versuch. Die Ergebnisse sind reproduzierbar und können zur Berechnung von Materialkenngrößen herangezogen werden. Im Weiteren gilt es die Validität des Konzeptes zu untersuchen. Dazu ist eine Messreihe mit einem technischem Referenzmaterial durchzuführen.

Literaturreferenzen

- [1] Bogaerts, S; Desmet, H; Slagmolen, P; Peers, K: Strain mapping in the Achilles tendon - A systematic review. In: Journal of biomechanics (2016), Nr. 9, S. 1411–1419
- [2] Heintel, KE.: Untersuchungen zu biomechanischen Eigenschaften von Gleit- und Zugsehnen: München, Ludwig-Maximilians-Universität, Diss., 2013. München
- [3] Heister, C: Biomechanische Untersuchungen zum Einfluß der hydrostatischen Hochdruck-Behandlung auf Zugfestigkeit und E-Modul von Sehnen des Schweins, München, Techn. Univ., Diss., 2007
- [4] Macrae, R. A. ; Miller, K. ; Doyle, B. J.: Methods in Mechanical Testing of Arterial Tissue: A Review. In: Strain 52 (2016), Nr. 5, S. 380–399
- [5] Schleifenbaum, S; Prietzel, T; Hädrich, C; Möbius, R; Sichtung, F; Hammer, N: Tensile properties of the hip joint ligaments are largely variable and age-dependent - An in-vitro analysis in an age range of 14-93 years. In: Journal of biomechanics (2016), Nr. 14, S. 3437–3443
- [6] Schleifenbaum, S; Schmidt, M; Möbius, R; Wolfskämpf, T; Schröder, C; Grunert, R; Hammer, N; Prietzel, T: Load and failure behavior of human muscle samples in the context of proximal femur replacement. In: BMC musculoskeletal disorders (2016), S. 149
- [7] Stäubli, H. U. ; Schatzmann, L. ; Brunner, P. ; Rincón, L. ; Nolte, L. P.: Mechanical tensile properties of the quadriceps tendon and patellar ligament in young adults. In: The American journal of sports medicine (1999), Nr. 1, S. 27–34

Image: Abbildung_1_2560.png

