

Schallemissionsanalyse zur Untersuchung von Bruchprozessen an Femur-Knochen

Ronald RICHTER*, Rainer BURGKART**, Peter FÖHR**, Eduardo GRANDE**,
Christian U. GROßE*, Fabian MALM*, Florian STARK*

* TU München Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm) Lehrstuhl ZfP
(Baumbachstraße 7, 81245 München)

** Klinikum rechts der Isar der TU München Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie
(Ismaninger Straße 22, 81675 München)

Kurzfassung

Die Bruchmechanismen die zu Frakturen an Oberschenkelknochen (Femur) aufgrund von Osteoporose oder Sportunfällen führen, sind noch nicht ausreichend erforscht. Um die Bruchprozesse besser verstehen zu können sind experimentelle Untersuchungen notwendig. Hierfür kommen uniaxiale Druckprüfverfahren zum Einsatz. Um aus diesen Untersuchungen möglichst viele belastbare Daten zu bekommen sollen Schallemissionsanalyseverfahren (SEA) zum Einsatz kommen. Mit diesem dynamischen integralen Echtzeitprüfverfahren können Bruchprozesse während der Entstehung detektiert werden. Erste Machbarkeitsstudien des Lehrstuhls für Zerstörungsfreie Prüfung in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Orthopädie und Sportorthopädie (beide Technische Universität München) zeigen, dass die SEA durchaus in der Lage ist Frakturen im Knochen lastabhängig aufzuzeichnen. Als Versuchspräparate wurden Oberschenkelknochen von Schafen, Rindern und Schweinen verwendet. Die Datenauswertung der durchgeführten Untersuchungen ergab vielversprechende Ergebnisse bezüglich der Ortung von Schallemissionsquellen und deren Korrelation mit der zeitabhängigen Schallemissionsaktivität und den Kraft-Zeit-Diagrammen der Prüfmaschinen.

Die Bruchmechanismen die zu Frakturen an Oberschenkelknochen (Femur) aufgrund von Osteoporose oder Sportunfällen führen, sind noch nicht ausreichend erforscht. Um die Bruchprozesse besser verstehen zu können sind experimentelle Untersuchungen notwendig. Hierfür kommen uniaxiale Druckprüfverfahren zum Einsatz. Um aus diesen Untersuchungen möglichst viele belastbare Daten zu bekommen sollen Schallemissionsanalyseverfahren (SEA) zum Einsatz kommen.

Mit diesem dynamischen integralen Echtzeitprüfverfahren können Bruchprozesse während der Entstehung detektiert werden. Erste Machbarkeitsstudien des Lehrstuhls für Zerstörungsfreie Prüfung in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Orthopädie und Sportorthopädie (beide Technische Universität München) zeigen, dass die SEA durchaus in der Lage ist Frakturen im Knochen lastabhängig aufzuzeichnen.

Aufbau und Struktur



Links: Makrostruktur eines humanen Femurs [1].
Mitte: Darstellung eines gesunden (oben) [2] und eines osteoporotisch veränderten Femurknochens (unten) [2].
Rechts: Echtilde des Spongiosagerüsts eines humanen Femurs (oben) und Fotografie einer homogenen Trabelstruktur [3].


Präparate und Präparation



Links: Präparation von Oberarmbeinen vom Schaf (oben) und eines Oberschenkelknochen vom Rind (unten).
Rechts: Für die Versuchsdurchführung fertig präparierte Oberschenkelknochen vom Schwein.

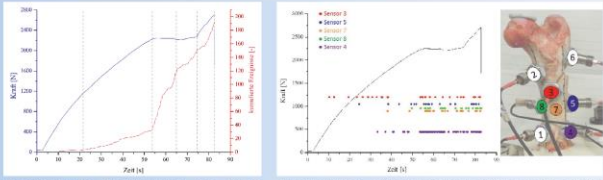
Sensorik und Messtechnik

Die Sensoranordnung, Sensoranordnung und Sensorverteilung haben einen wesentlichen Einfluss auf die Messgenauigkeit. Um einzelne Messungen quantitativ miteinander vergleichen zu können, ist eine einheitliche und reproduzierbare Ankopplung der Sensoren notwendig. Aufgrund der gerundeten Knochenstruktur, der unregelmäßigen Knochenmaterialoberfläche (Kortikalis, Knochengewebe und hyaliner Knorpel) und der Knochengometrie wurden unterschiedliche Ankopplungsmethoden mit verschiedenen Koppelmitteln ausprobiert.



Links: Sensorankopplung mit Sekundenkleber + Heißkleber am Rinderfemur (oben - mit Panametrics V103) und am Schweinefemur mit Gewindeschraube und Heißkleber (unten - mit SteveCo KRNB-PC Point Contact Sensor).
Mitte: Eingebetteter und eingespannter Schweinefemur in der Druckprüfmaschine (auf Winkeltsch).
Rechts: Versuchsaufbau SEA mit Belastungstest. Von links nach rechts: Universalprüfmaschine mit Kraftmessdose und eingespanntem Schweineknochen-Präparat, Steuerungseinheit der Prüfmaschine, KRN AMP-12-BB-J, Mess-PC auf Tektronix AM502.

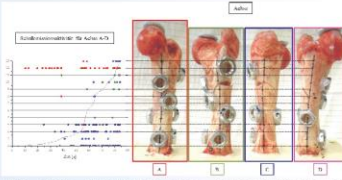
Ergebnisse



Kombinierte Darstellung der Kraft (blau) und der Schallemissionsaktivität (rot) über die Zeit. Die Kraftkurve zeigt eine Korrelation mit den aufgetretenen Schallemissionsereignissen. Kommt es zu einem Kraftabfall oder Kraftaufbau, so ist dies immer mit einem deutlichen Anstieg der Schallemissionskurve verknüpft.

Auswertung einer zonaren Ortung für einen Schweinefemur mit angebrachter Kerbe. Die visuelle Darstellung ermöglicht es die Ergebnisse zu einem verständlichen Schädigungsprozess zusammen zu setzen. Mit bekannten Schallemissionsquellen, wie z. B. Sollbruchstellen, würden sich somit auch die Einflüsse von Störgeräuschen untersuchen lassen.


Um den Ursprung der Schallemissionen deutlicher einzugrenzen wurde zuletzt ein numerischer Lokalisierungsansatz verfolgt. Eine Diskretisierung des Prüfmediums und ein anschließender Mustervergleich zwischen Signalmustern von Bleistiftminenbrüchen auf der Oberfläche und anschließend aufgezeichneten Zeitsignalen aus der SEA sollte die Ortung präzisieren.



Zusammenfassung

- Die Anwendung der Schallemissionsanalyse als zerstörungsfreie Prüfmethode am Knochen ist möglich.
- Korrelationen zwischen den unterschiedlichen Ergebnissen (Kraft-Zeit-Kurve, Schallemissionsaktivität,...) konnten gemessen werden.
- Eine Lokalisierung mit der zonaren Ortung lieferte nachvollziehbare Ergebnisse.
- Begleitende Untersuchungen (CT-Aufnahmen, FE-Methode) dienen als Unterstützung.
- Eine Simulation der Wellenausbreitung im Knochenmodell (Forward and Backward-Simulation) zeigte erfolgreiche Ansätze von numerischen Methoden.

Ausblick



Modellbildung mit ANSYS, Belastungsszenario mit ANSYS, CT-Aufnahme, Vorwärts-Simulation [4]

[1] WordPress.org (2012), <http://raptorsandie.wordpress.com/les-bases/>, 19.10.2012
 [2] Schwalbe H.-J., Subke J., Dörner P., Franke R.-P. (2011): VDI-Richtlinienentwurf: Medizinische Diagnostik von Gelenkreibung mit Hilfe der Schallemission (SE) bei Bewegung unter alltäglicher Belastung. 18. Kolloquium Schallemission - Vortrag 09
 [3] Cherkaev E., Bonifazi-Lieta C. (2011): Characterization of structure and properties of bone by spectral measure method. Journal of Biomechanics 44, pp. 345-351
 [4] Wille H., Lehrstuhl für Computation in Engineering, Technische Universität München