

Bachelor-Thesis Medizintechnik

Röntgen-Analyse von isolierten Kuh-Bandscheiben

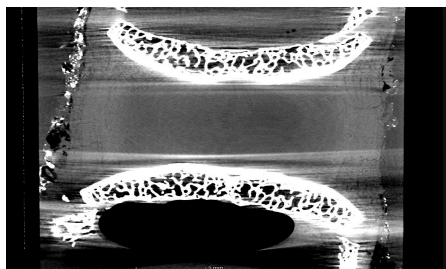


Abb. 1: Bandscheibe mit Endplatten (IVD-014)

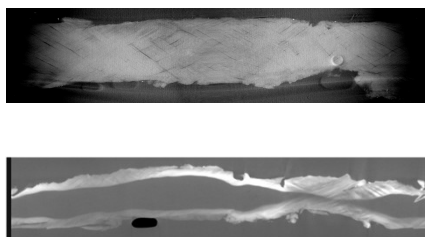


Abb. 2: Non-Planar View, nativ (oben) vs. PTA-kontrastiert (unten); Kontrastmittel nicht notwendig

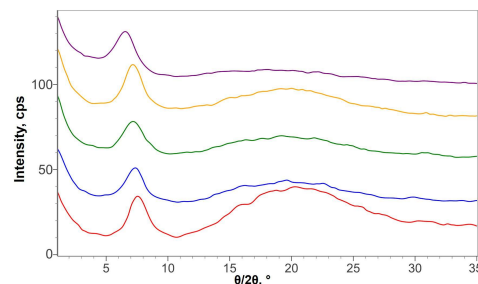


Abb. 3: PXRD-Diffraktogramme von fünf Proben



Abb. 4: Sagittalschnitt Flexion (IVD-012)



Abb. 5: Orientation Map belastet



Abb. 6: Orientation Map unbelastet

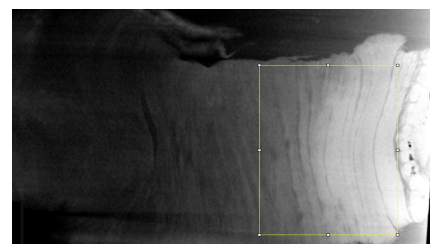


Abb. 7: Sagittalschnitt unbelastet (IVD-013)

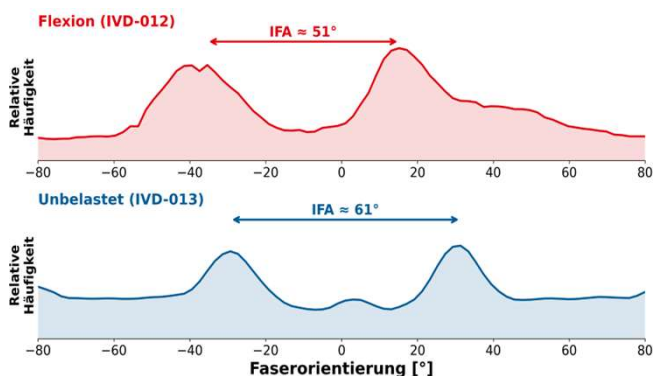


Abb. 8: Faserwinkelanalyse — Richtungsverteilung

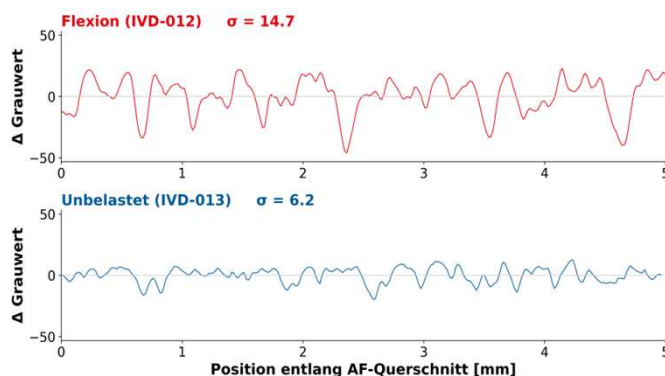


Abb. 9: Lamellenkontrast — Grauwertprofile

Problemstellung

Die Bandscheibe besteht aus einem äusseren Faserring (Anulus fibrosus) und einem weichen Kern (Nucleus pulposus). Mechanische Belastungen können die Struktur des Gewebes verändern, was langfristig zu Schäden führen kann. Im Mikro-CT sind diese beiden Bestandteile jedoch kaum zu unterscheiden, da sie Röntgenstrahlen ähnlich stark absorbieren. Bisherige Arbeiten an der HSLU zeigten, dass eine Darstellung grundsätzlich möglich ist, die inneren Strukturen aber nur eingeschränkt sichtbar werden. Parallel zu dieser Arbeit untersucht eine weitere Bachelor-Thesis die Bandscheibe auf zellulärer Ebene, während diese Arbeit die Morphologie mittels bildgebender Verfahren behandelt.

XRD und SAXS (Pilot)

Ergänzend wurde die molekulare Kollagenordnung mittels Röntgendiffraktometrie untersucht. Die PXRD-Diffraktogramme (Abb. 3) zeigen reproduzierbar einen Peak bei ca. 7°, der die periodische Kollagenpackung belegt. Die SAXS-Pilotmessung ergibt eine Strukturgrösse von $d \approx 8,3 \mu\text{m}$, nahe dem Kollagenfaserdurchmesser.

Lösungskonzept

Um herauszufinden, welche Strukturen der Bandscheibe im CT sichtbar gemacht werden können, wurden bovine Bandscheiben unter verschiedenen Bedingungen gescannt. In einem ersten Schritt wurden die knöchernen Endplatten entfernt, um die Bildartefakte der Knochen zu umgehen und gezielt zu untersuchen, was im Weichgewebe erkennbar ist (vgl. Abb. 1). Dabei wurden Einstellungen wie Leistung, Belichtungszeit und Positionierung der Probe schrittweise angepasst, um eine klare Bildqualität bei kurzer Messzeit zu erreichen. Zusätzlich wurde der Einsatz von Kontrastmitteln erprobt (Abb. 2), um den Weichteilkontrast gezielt zu verbessern. Auch die Probenvorbereitung wurde optimiert, unter anderem durch eine geeignete Einbettung. Mit dem erarbeiteten Verfahren wurden anschliessend eine belastete und eine unbelastete Bandscheibe verglichen (Abb. 4–7).

Ergebnisse

Mit dem optimierten Verfahren lassen sich die feinen Schichten des Faserrings auch bei kurzer Messzeit klar darstellen. Die Faserwinkelanalyse (Abb. 8) zeigt, dass sich die Kollagenfasern unter Belastung asymmetrisch umorientieren: Der Interfaserwinkel (IFA), also der Winkel zwischen den beiden Faserfamilien, sinkt von 61° auf 51°, wobei sich vor allem eine der beiden Faserfamilien Richtung Horizontale verschiebt. Die Lamellenkontrast-Analyse (Abb. 9) vergleicht die Grauwertverläufe quer durch den Faserring. Die Standardabweichung σ steigt von 6.2 auf 14.7, was zeigt, dass die Schichtgrenzen im belasteten Gewebe deutlich stärker hervortreten. Zudem konnte gezeigt werden, dass die Strukturen auch bei Bandscheiben mit vorhandenen Endplatten sichtbar und messbar sind (Abb. 1). Strukturelle Veränderungen durch mechanische Belastung können somit im industriellen Mikro-CT erkannt und quantifiziert werden.

Bovine Bandscheiben wurden im LuCi- μCT (Diondo D2) bei 17 μm Pixelgrösse und 120 kV gescannt. IVD-012 wurde im Bioreaktor mit statischer Flexion belastet, IVD-013 dient als unbelastete Referenz. Beide Proben wurden in Formalin fixiert und in Agar-Agar eingebettet. Ergänzend wurden PXRD- und SAXS-Messungen am Rigaku SmartLab (Cu-K α) durchgeführt.

Lukas Wild

Hauptbetreuer/Hauptbetreuerin
Prof. Dr. Jorge Martínez García
Prof. Dr. Philipp Schütz

Experte/Expertin
Dr. Iwan Jerjen, Gloor Instruments

Kooperationspartner
CC Biowissenschaften und Medizintechnik (IME CC BME)