

Aus dem Department Chirurgie
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.

Biomechanische Charakterisierung des anterolateralen Ligaments

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Medizinischen Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.

Vorgelegt von
Dipl.-Wi.-Ing.
Martin Zens
geboren in Essen

2015



Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	v
Abstract	ix
1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Stand der Technik	2
1.2.1. Messung von Längenänderungen	2
1.2.2. Spannungs-Dehnungs-Messungen von Bandstrukturen	4
1.2.3. Biomechanische FEM-Simulationen	5
1.2.4. Bewertung des Standes der Technik	5
1.3. Ziele der Arbeit	5
2. Theoretische Grundlagen	7
2.1. Anatomie und Biomechanik des Kniegelenks	7
2.2. Bandrupturen des Kniegelenks	8
2.2.1. Operative Rekonstruktion von Bandrupturen	9
2.3. Grundlagen der Mechanik und Materialwissenschaften	9
2.4. Dehnungsmessstreifen: Prinzipien und Anwendungen	12
2.4.1. Resistive Dehnungsmessstreifen	12
2.4.2. Kapazitive Dehnungsmessstreifen	13
2.4.3. Andere Messprinzipien von Dehnungsmessstreifen	14
2.5. Finite Elemente Methode	14
2.5.1. FE-Simulation hyperelastischer Materialien	15
3. Konzeption und Entwicklung	17
3.1. Konzeptentwurf	17
3.2. Messung der Längenänderungen	18
3.2.1. Konstruktion eines Messstandes	18
3.2.2. Programmierung einer Steuer- und Loggingsoftware	19
3.2.3. Fertigung geeigneter Messsensoren	19
3.3. Messung der Spannungs-Dehnungs-Werte	23
3.4. Erstellung eines FE-Modells	24
4. Experimentelle Messungen	27
4.1. Längenmessungen	27
4.1.1. Sensorcharakterisierung	27

4.1.2. Proof-of-Concept-Test und Vorstudien	30
4.1.3. Kadavermessungen	31
4.2. Zugversuche	32
5. Ergebnisse und FEM-Simulation	33
5.1. Ergebnisse der Dehnungsversuche zur Flexion	33
5.2. Ergebnisse der Dehnungsversuche zur Rotation	33
5.3. Ergebnisse der Zugversuche	36
5.4. Histologie des anterolateralen Ligaments	38
5.5. FEM-Simulation	42
6. Diskussion und Ausblick	43
6.1. Bewertung der Messmethodik	43
6.2. Biomechanischer Vergleich mit anderen Bandstrukturen	43
6.3. Bewertung und Interpretation des Dehnungsverhaltens	45
6.4. Rotationsinstabilitäten und extraartikuläre Rekonstruktionstechniken	46
6.5. Ausblick	47
7. Zusammenfassung	49
Literaturverzeichnis	51
Danksagung	65
Publikationen	67
A. Anhang	69
A.1. Materialdaten	69
A.2. Technische Zeichnungen	74
A.3. Motorkenndaten (Flexion) - Datenblatt.	78
A.4. Projektdaten - ANSYS FEM-Simulation	80