

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
2	Frakturfixationssysteme zur Knochenbruchheilung	4
2.1	Der passive Bewegungsapparat und das biologische Material Knochen.....	4
2.2	Histologie der Frakturheilung.....	8
2.3	Stand der Forschung.....	14
2.4	Vision eines aktiven Implantats.....	17
3	Strukturmechanische Berechnungsmodelle zur Knochenbruchheilung	24
3.1	Beschreibung prinzipieller Basisdaten der Modellbildung.....	25
3.2	Analytische Untersuchungen eines mit Standardverriegelungsnagel versorgten Femurs..	28
3.2.1	Modellbildung.....	29
3.2.2	Normalkraftbelastung.....	34
3.2.3	Biegebelastung.....	39
3.2.4	Torsionsbelastung.....	45
3.3	Numerische Simulationen zur Heilung eines Femurs mit Standardverriegelungsnagel....	48
3.3.1	Anwendung der Finite Elemente Methode in der Biomechanik.....	49
3.3.2	Untersuchung des Einflusses der Reibung infolge radialer Vorspannung.....	52
3.3.3	FE-Analyse von Verriegelungssystemen für Marknägel.....	58
3.3.4	FE-Analyse eines aus CT-Daten erstellten Femurs mit Verriegelungsnagel....	63
3.4	Knochenbruchheilung mit Implantaten unterschiedlicher Axialsteifigkeiten.....	69
3.4.1	Materialeinfluss.....	70
3.4.2	Variation verschiedener Geometrieparameter.....	72
3.5	Erforderliche strukturmechanische Eigenschaften eines aktiven Implantats.....	74
4	Entwicklung eines aktives Implantats	79
4.1	Vorraussetzung zur Problemlösung: Die Entwicklungsmethodik.....	80
4.2	Produktplanung als Grundlage zur Lösung.....	85

4.2.1 Aufgaben- und Anforderungsbeschreibung des zu entwickelnden Systems	85
4.2.2 Bildung von Funktionsmodulen und Strukturierung der Schnittstellen	88
4.3 Konzeptentwicklung der Systemkomponenten	93
4.3.1 Funktionsstruktur und Wirkprinzipien des aktiven Implantats	93
4.3.2 Biokompatibles Marknagelgehäuse	96
4.3.3 Aktives Federsystem	99
4.3.3.1 Steuerventil-Federkonzept	100
4.3.3.2 Mehrkammerprinzip	102
4.3.3.3 Federpaketekonzept	105
4.3.4 Translationsmechanismus	108
4.3.4.1 Gewindespindelkonzept	110
4.3.4.2 Steuerventil-Translationskonzept	111
4.3.5 Mess- und Kontrollsystem/Informationsverarbeitung	114
4.3.5.1 Informations- und Energiestrom	115
4.3.5.2 Strukturelle Grundlagen zur Messung der Frakturheilung	118
4.4 Analyse, Bewertung und Auswahl	120
4.4.1 Ergebnis der Bewertung	121
4.5 Entwurf und Konstruktion eines ausgewählten Konzepts	122
5 Biomechanische Eigenschaften des entwickelten Systems und deren Anwendung..	127
5.1 Systemverhalten des aktiven Implantats	127
5.2 Hinweise für die medizinische Anwendung	129
6 Zusammenfassung und Ausblick	131
7 Anhang.....	134
7.1 Generelles Vorgehen bei der Entwicklung von Produkten der Feinwerktechnik	134
7.2 Anforderungsliste	135
7.3 Bewertungstabellen	138
8 Literaturverzeichnis	140