

Master-/Studienarbeiten

Simulation und Optimierung von Wirbelsäulenimplantaten

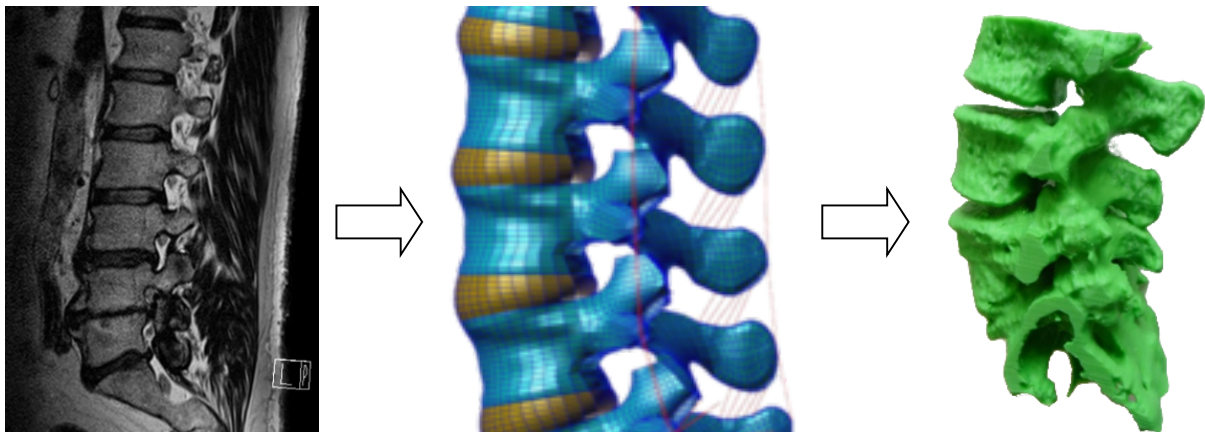


Bild 1: CT-Bild einer Wirbelsäule und 3D-Modell der Wirbelsäule

In vielen medizinisch relevanten Situationen werden Knochenimplantate zur Stabilisation während des Heilungsvorgangs eingesetzt. Der Konstruktion wie auch der Einbaulage im Körper liegt dabei häufig ein „trial and error“ Ansatz zugrunde. Im Bereich der Wirbelsäule führen Defekte wie Implantat-Brüche oder -Lockerungen zu erheblichen Beeinträchtigungen der Patienten, so dass ein hohes Interesse an der Weiterentwicklung dieser Bauteile besteht. Da sich aus ethischen Gesichtspunkten ein Testen verschiedener Lösungsansätze am Patienten verbietet, sind computergestützte Verfahren notwendig.

Die Lehrstühle für Produktentwicklung und Numerische Mechanik wollen in einem koordinierten Projekt ein strukturiertes Vorgehen zur Simulation und Optimierung von Implantaten entwickeln, die im Bereich der Wirbelsäule Verwendung finden. Ziel des Gesamtprojektes ist das Erstellen eines optimierten Workflows vom CT-Bild bis zur FEM-Analyse, um langfristig eine virtuelle Analyse optimierter Designs der Implantate zu ermöglichen. Das Projekt gliedert sich in die drei Teilbereiche

- Modellerstellung & Simulation (Projekt I),
- Elemententwicklung & Implementierung (Projekt II),
- Interfaces & Gleichungslösung (Projekt III),

die jeweils in einer eigenen Masterarbeit zu bearbeiten sind. Das Projekt I wird am Lehrstuhl für Produktentwicklung, die Projekte II und III am Lehrstuhl für Numerische Mechanik betreut. Dabei wird von den Lehrstühlen gemeinsame Projektbesprechungen und der Gedankenaustausch zwischen den Teilprojekten gewünscht und gefördert.



UNIVERSITÄT SIEGEN
Lehrstuhl für Produktentwicklung
Prof. Dr.-Ing. T. Reinicke
Lehrstuhl für Numerische Mechanik
Prof. Dr.-Ing. habil. C. Hesch



Simulation und Optimierung von Wirbelsäulenimplantaten

Projekt I

Modellerstellung & Simulation

Der erste Teil des Gesamtprojektes soll sich mit der Ist-Analyse der Beanspruchungen eines vorhandenen Implantates befassen. Dazu gehört zunächst die Generierung eines qualitativ hochwertigen 3D-CAD-Modells als Volumenmodell aus den vorliegenden Daten der Computer-Tomographie Aufnahmen (CT-Daten). Das Volumenmodell soll im Rahmen des sog. Pre-Processings zu einem FEM-Modell mit entsprechender Vernetzung, realitätsnahen Randbedingungen sowie Beschreibung des Materialverhaltens für Knochenstruktur, Bandscheibe und Implantat aufbereitet und an ein FE-Solver übergeben werden. Abschließend erfolgt im Rahmen des Post-Processings die Auswertung der Ergebnisse sowie eine kritische Beurteilung des Ist-Zustandes.

Folgende Teilaufgaben sind zu bearbeiten:

- Einarbeitung in die Thematik der Funktionsweise von CAD-Software bzw. der Erstellung von 3D-CAD-Daten
- Einarbeitung in die Thematik der FEM
- Generierung eines 3D-CAD-Volumenmodells aus den CT-Daten
- Vernetzung und Überführung des 3D-CAD-Modells in die FE-Umgebung einer kommerziellen FEM-Software
- Recherche bzgl. der auftretenden Belastungen einer Wirbelsäule
- Recherche bzgl. der Materialdaten für Knochenstruktur, Bandscheibe und Implantat
- Definition der Randbedingungen und der Materialdaten
- Durchführung der Berechnung
- Auswertung und Diskussion der Ergebnisse

Voraussetzungen/Anforderungen:

- sehr gute Kenntnisse bzgl. CAD-Software
- gute Mechanik-Kenntnisse
- hohes Maß an Eigenverantwortung und Selbstständigkeit
- stark ausgeprägtes analytisches Denkvermögen

Ansprechpartner:
Dipl.-Ing. Sofia Hesch
PB - A 421
0271 / 740 - 3175

Siegen, den 26.12.2016



UNIVERSITÄT SIEGEN
Lehrstuhl für Produktentwicklung
Prof. Dr.-Ing. T. Reinicke
Lehrstuhl für Numerische Mechanik
Prof. Dr.-Ing. habil. C. Hesch



Simulation und Optimierung von Wirbelsäulenimplantaten *Projekt II* *Elemententwicklung & Implementierung*

Der zweite Teil des Gesamtprojektes befasst sich mit der Elemententwicklung zur Beschreibung der Knochen wie auch der Bandscheiben. Das Knochenmaterial kann als linear-elastisch angenommen werden. Zur Berücksichtigung von großen Verschiebungen ist die Verwendung eines nichtlinearen Verzerrungsmaßes (Hencky-Tensor) notwendig. Das Element muss zusätzlich mit einem entsprechenden Knochenwachstums-Gesetz ausgestattet werden. Für die Simulation der Bandscheiben ist die Implementierung eines Druckelementes notwendig, da diese als inkompressibel zu erachten sind. Die Elemente sollen getestet und in die Element-Bibliothek des Lehrstuhls sowie in die bestehenden Post-Processing Routinen integriert werden.

Folgende Teilaufgaben sind zu bearbeiten:

- Einarbeitung in die Esra-Programmbibliothek des Lehrstuhls Numerische Mechanik
- Implementierung des Knochen-Elementes inklusive des Wachstumsgesetzes
- Implementierung des Bandscheiben-Druckelementes
- Integration in die Programmbibliothek
- Erstellen verschiedener Benchmarks
- Applikation auf die Vernetzung aus dem Projekt I
- Simulation des Knochenwachstums in der Umgebung der Implantate

Voraussetzungen/Anforderungen:

- gute Programmier-Kenntnisse in MATLAB
- FEM-Kenntnisse
- hohes Maß an Eigenverantwortung und Selbstständigkeit
- stark ausgeprägtes analytisches Denkvermögen

Ansprechpartner:
Prof. Dr.-Ing. habil. C. Hesch
PB - A 207
0271 / 740 - 5204

Siegen, den 26.12.2016



UNIVERSITÄT SIEGEN
Lehrstuhl für Produktentwicklung
Prof. Dr.-Ing. T. Reinicke
Lehrstuhl für Numerische Mechanik
Prof. Dr.-Ing. habil. C. Hesch



Simulation und Optimierung von Wirbelsäulenimplantaten

Projekt III

Interfaces & Gleichungslösung

Der dritte Teil des Gesamtprojektes befasst sich mit der Gleichungslösung großdimensionaler Probleme. Des Weiteren sollen Interface-Strukturen für das FE-Modell aus den Projekten I und II etabliert werden. Zum einen müssen die unterschiedlich diskretisierten Gebiete der Knochen und der Bandscheiben über ein nicht-konformes Interface verbunden werden. Zum anderen ist es notwendig, die Kontaktbedingungen an den Facettengelenken zu berücksichtigen. Beide Interfaces sollen über variationell konsistente Mortar-Methoden beschrieben werden, die bereits in der Esra-Programmbibliothek des Lehrstuhls für Numerische Mechanik vorhanden sind und angepasst werden müssen. Gerade im Hinblick auf das Konvergenzverhalten iterativer Gleichungslöser ist es erforderlich, Penalty oder Augmented-Lagrange Verfahren einzuführen. Zuletzt soll das gesamte Wirbelsäulenmodell fertiggestellt werden.

Folgende Teilaufgaben sind zu bearbeiten:

- Einarbeitung in die Esra-Programmbibliothek des Lehrstuhls Numerische Mechanik
- Modifikation der Mortar-Methoden für die Gebietszerlegung und den Kontakt
- Implementierung des Druckelementes im Rahmen eines Hu-Washizu Ansatzes
- Testen der Routinen mit verschiedenen Vorkonditionierern (u.a. LDL-Zerlegung)
- Assemblierung aller Projekte des Wirbelsäulenmodells

Voraussetzungen/Anforderungen:

- gute Programmier-Kenntnisse in MATLAB
- FEM-Kenntnisse
- hohes Maß an Eigenverantwortung und Selbstständigkeit
- stark ausgeprägtes analytisches Denkvermögen

Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. habil. C. Hesch

PB - A 207

0271 / 740 - 5204

Siegen, den 26.12.2016