

VIRTUAL ORTHOPEDIC LAB

Entwicklung einer Simulationsumgebung für die Orthopädie

VON BEATE DOROW, ELLANKAVI RAMASAMY, OLIVER RÖHRLE UND URS SCHNEIDER

Biomechanik-Simulationen sollen künftig die oft langwierigen Entwicklungs- und Testphasen von Prothesen und Implantaten beschleunigen. Die Forschungsgruppe „Virtual Orthopedic Lab“ (VOL) am Stuttgart Research Centre for Simulation Technology (SRC SimTech) der Universität Stuttgart entwickelt deshalb einen Workflow, bei dem simulierte Tests die Zahl von Produktmustern reduzieren sollen, um Kosten zu sparen. Ein konfigurierbares Workflow-System mit intuitiver grafischer Schnittstelle soll die Bedienung und Aufgabenplanung erleichtern.

Während computergestützte Simulationsverfahren bereits seit langem im Automobil- und Flugzeugbau verbreitet sind, ist deren Einsatz zur Optimierung biomedizinischer Anwendungen noch wenig gängig. Bisher hängen Verbesserungen der einzelnen Entwicklungsstufen eines medizintechnischen Produkts stark von der Erfahrung, dem Können und dem Geschick des Entwicklers ab.

Um mit Hilfe von Simulationsmethoden den Fortschritt in der Medizintechnik voranzutreiben, entwickelt die Arbeitsgruppe VOL eine Simulationsumgebung für die Orthopädie. Anstelle umfangreicher experimenteller Tests sollen simulierte Tests helfen, die Zeit von der Konzeption bis zur Markteinführung deutlich zu verringern.

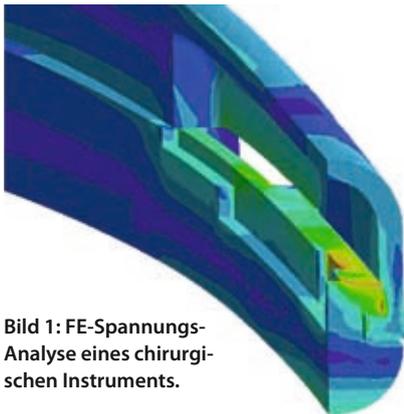


Bild 1: FE-Spannungsanalyse eines chirurgischen Instruments.

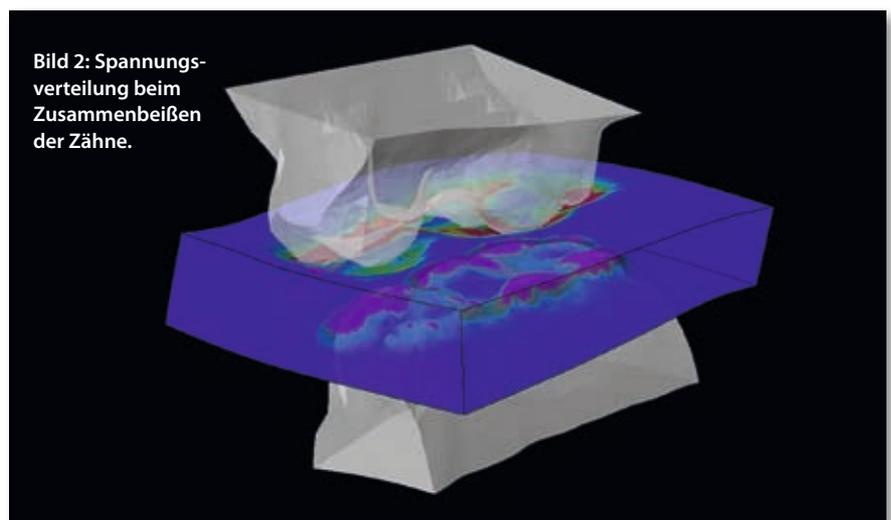


Bild 2: Spannungsverteilung beim Zusammenbeißen der Zähne.

Die angestrebte Simulationsplattform soll die virtuelle Entwicklung und Analyse von unterschiedlichen medizintechnischen Anwendungen ermöglichen, etwa von Exoprothesen (beispielsweise ein Prothesenfuß), Endoprothesen (zum Beispiel künstliche Bandscheiben) und chirurgischen Instrumenten (Bild 1). Zudem sind zahnmedizinische Anwendungen wie die Analyse von Beißkräften während des Kauens möglich (Bild 2).

Über eine intuitive grafische Oberfläche lassen sich verschiedene Konstruktionsvarianten (Geometrie, Material) und Belastungssituationen per Mausklick auswählen und virtuell durchspielen. Ziel ist, zusammen mit den Experten anwendungsspezifische Indikatoren für die Be-

wertung der Funktionsfähigkeit einer Konstruktion zu entwickeln, um physikalische Schwachstellen bereits in der Entwicklungsphase am virtuellen Prototyp entdecken und beheben zu können. Idealerweise ergänzen existierende CAD/CAM-Verfahren die innerhalb von VOL entwickelten Simulationsverfahren, um eine integrierte CAD-SIM-CAM-Entwicklungsumgebung zu bilden.

Ein weiterer Schwerpunkt der Forschungsgruppe liegt in der Darstellung der Simulationsergebnisse. Es gilt, am Bildschirm verschiedene Simulationsszenarien einander gegenüberzustellen und mit den idealen Daten zu vergleichen. Dies ist beispielhaft in Bild 3 dargestellt. Die 3D-Rekonstruktion einer Motion-

Capture-Aufnahme überlagert ein synchron aufgezeichnetes Kamerabild der Szene.

Beispielanwendungen

Ein Beispiel für VOL im Einsatz ist die Entwicklung eines Prothesenfußes. Wie bei jedem anderen medizintechnischen Produkt ist die Entwicklung eines Prothesenfußes ein zeitintensiver Prozess. Neue und verbesserte Produkte müssen vor ihrer Zulassung umfangreiche und langwierige Belastungstests bestehen. Das bedeutet, dass ein nicht bestandener Test eine Prothese in der Entwicklung möglicherweise um Monate zurückwirft.

Das VOL zielt auf die Entwicklung virtueller Tests, die dem Entwicklungsingenieur helfen, die Prothese bereits vor der experimentellen Erprobung zu testen. Bild 4 zeigt, wie der Produktentwicklungsprozess umgestaltet werden kann und damit effizienter wird. Die virtuellen Tests werden am Computer mit Modellierungs- und Analyse-Werkzeugen durchgeführt. Ein vom Entwicklungsingenieur erstelltes CAD-Modell lässt sich relativ schnell mit FE-Berechnungen auf grundlegende Konstruktionsmängel prüfen. Mit Hilfe von simulierten Tests können auch komplexere oder extreme Belastungsbedingungen nachgestellt werden, beispielsweise mit Hilfe von Motion-Capture-Systemen aufgezeichnete und in einer Datenbank abgespeicherte natürliche menschliche Bewegungen, die sich unter unterschiedliche experimentellen Bedingungen betrachten las-



Bild 3: Überlagerung einer Simulation mit einem Kamerabild.

sen. Die Ergebnisse der FE-Simulation dienen dann dazu, Festigkeit, Gewicht, Material und die Kosten der Prothese zu optimieren. Erst dann entsteht auf Basis der Simulationen ein Prototyp der Prothese und wird am Roboter experimentell erprobt.

Workflow und Oberfläche

Ein weiteres wichtiges Ziel des VOL ist die Entwicklung einer intuitiven grafischen Benutzeroberfläche (Graphical User Interface – GUI), der ein XML-basierter Workflow zugrunde liegt. Über das Workflow-System kann der Entwicklungsingenieur die für seine Anwendung erforderlichen Arbeitsschritte festlegen (in Form von benötigter Software und Daten) und zu einem koordinierten Prozessablauf verbinden.

Für jeden Arbeitsschritt definiert ein XML-Dokument die benötigten Software-Komponenten (CAD, FE, Statistik), Eingangsdaten (CAD-/CT-Daten, Motion-Capture-Bewegungsdaten, EMG-Signale, Kräfte und Momente). Der Zusammenhang und die Schnittstellen zwischen den einzelnen Arbeitsschritten beschreibt eine weitere XML-Datei.

Über das GUI kann der Entwickler Parameter festlegen und Eingangsdaten auswählen, die an das Workflow-System weitergeleitet und verarbeitet werden sollen. Die Simulationsergebnisse werden

grafisch aufbereitet und dem Entwickler präsentiert. Die GUI soll insbesondere dazu dienen, Feedback zur Konstruktionsverbesserung zu geben.

Die grafische Oberfläche nutzt zur Darstellung Zinc, ein Browser-Plug-in für CM-GUI, ein von der University of Auckland entwickeltes 3D-Visualisierungs- und Modellierungstool, insbesondere für FE-Anwendungen (www.cmiss.org). Über Zinc lassen sich Ergebnisse einer Simulation auf einer Webseite mit benutzerspezifischer Oberfläche anzeigen und weiterverarbeiten. jbi ■

Dr. med. Urs Schneider leitet die Abteilung Biomechatronische Systeme des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart.

Ellankavi Ramasamy ist Strukturingsenieur in der Abteilung Biomechatronische Systeme des Fraunhofer-IPA.

Dr. Beate Dorow ist als Mathematikerin in der Abteilung Biomechatronische Systeme des Fraunhofer IPA tätig.

Oliver Röhrle, PhD, ist Professor für Kontinuumsbiomechanik und Mechanobiologie am Institut für Mechanik der Universität Stuttgart.

Virtual Orthopedic Lab

Die Forschungsgruppe „Virtual Orthopedic Lab“ (VOL) der Universität Stuttgart ist Teil der Abteilung „Biomechatronische Systeme“ des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), das technische Lösungen für orthopädische Hilfsmittel entwickelt und testet. Das Fraunhofer IPA ist in der Biomechanikforschung und -entwicklung international vernetzt. So besteht zum Beispiel eine intensive Forschungsk Kooperation mit dem Minneapolis Veteran Affairs Healthcare System, einer Klinik des US-Veteranenministeriums. Darüber hinaus forscht das Institut zusammen mit der Universität Southampton an der statistischen Modellierung biomechanischer Fragestellungen und der Entwicklung eines virtuellen Patienten für Vorab-Tests. Die Abteilung „Biomechatronische Systeme“ ist außerdem Initiator von O-PAEDIX (www.o-paedix.com), einem Netzwerk für innovative Orthopädiertechnik.

Das Virtual Orthopedic Lab wurde Mitte 2011 im Rahmen des Förderprogramms „Fraunhofer Attract“ genehmigt. „Fraunhofer Attract“ bietet Wissenschaftlern die Möglichkeit, kreative und zukunftsfähige Ideen anwendungsorientiert und marktnah weiterzuentwickeln. Das Programm fördert mit bis zu 1,7 Millionen Euro über fünf Jahre den Aufbau des VOL.

Seit November 2011 entwickelt das VOL eine Simulationsplattform für die virtuelle Entwicklung und Analyse von orthopädischen Hilfsmitteln wie Prothesen und Implantaten.

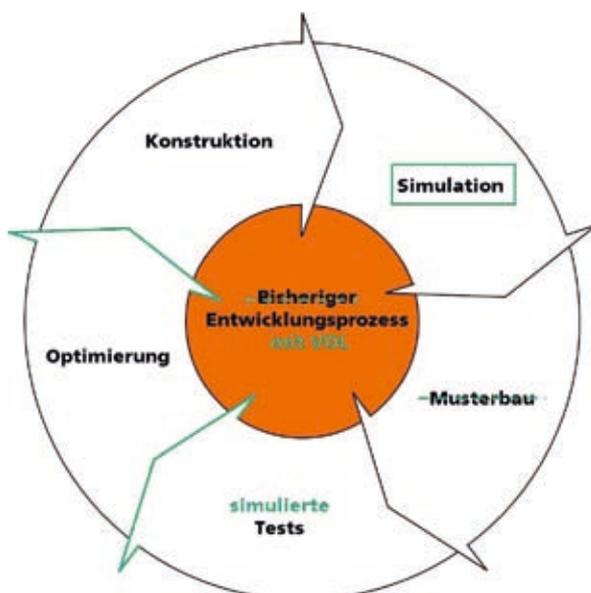


Bild 4: Ziel des VOL ist, die Produktentwicklung durch Simulation zu beschleunigen. Bilder: Fraunhofer IPA, Universität Stuttgart