



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG

MB

FAKULTÄT FÜR
MASCHINENBAU

Institut für Maschinenkonstruktion (IMK)
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik

Entwicklung und Herstellung künstlicher Felsenbeinpräparate mittels Rapid-Prototyping-Verfahren für die Optimierung von Cochlea-Implantat-Operationen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur
(Dr.-Ing.)

von Dipl.-Wirtsch.-Ing. Fabian Klink
geb. am 15.03.1984 in Magdeburg

genehmigt durch die Fakultät für Maschinenbau
der Otto-von Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter

Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinrich Grote
Prof. Dr.-Ing habil. Ralph Stelzer
Priv.-Doz. Dr. med. Ulrich Vorwerk

Promotionskolloquium am 07.07.2015

Fortschritte in der Maschinenkonstruktion

Band 2/2015

Fabian Klink

**Entwicklung und Herstellung künstlicher Felsenbein-
präparate mittels Rapid-Prototyping-Verfahren für die
Optimierung von Cochlea-Implantat-Operationen**

Shaker Verlag
Aachen 2015

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Magdeburg, Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2015

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3836-1

ISSN 1615-7192

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Geleitwort des Lehrstuhlinhabers

Die Forschungsarbeiten an den Hochschulen müssen sich heute mehr denn je den Anforderungen aus der Industrie stellen. Der wirtschaftliche Erfolg des Unternehmens wird besonders an einer schnellen Produkt- und Prozessinnovation gemessen. Der internationale Wettbewerb ist dabei durch die umfassende Nutzung technologischen Fortschritts gekennzeichnet. Unternehmen integrieren oft auch externe Potentiale und Ressourcen, um dem Kostendruck für Forschungs- und Entwicklungsleistungen zu begegnen. Besonders die aufstrebenden Industrieunternehmen in den neuen Bundesländern greifen die anwendungsorientierten Ergebnisse der Hochschulen als Technologietransfer auf. Dabei führen theoretische Ergebnisse zu effizienteren Vorgehensweisen in der Entwicklung und praktische Resultate zu einer Umsetzung in Serienprodukte.

Die Schriftreihe „Fortschritte in der Maschinenkonstruktion“ berichtet über abgeschlossene Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Institutes, die als Abschlussberichte der aus unterschiedlichen Finanzierungsquellen geförderten Vorhaben oder als Dissertationen erarbeitet wurden.

Der hier vorliegende Band kommt aus dem Lehrstuhl für „Konstruktionstechnik“ und berichtet über die Entwicklung und Herstellung künstlicher Felsenbeinpräparate mittels Rapid-Prototyping-Verfahren für die Optimierung von Cochlea-Implantat-Operationen. Die Forschungsarbeiten wurden in enger Kooperation mit der Universitätsklinik für Hals-, Nasen, Ohrenheilkunde Magdeburg durchgeführt.

Magdeburg, im Juli 2015

Univ. Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinrich Grote

Leiter des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik im Institut für Maschinenkonstruktion

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Mein besonderer Dank gilt vor allem meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Karl-H. Grote für die effektive Zusammenarbeit und die Betreuung während der Promotion. Für die Übernahme des zweiten Gutachtens bzw. den Vorsitz des Promotionskolloquiums möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Ralph Stelzer und Prof. Dr. rer. nat. Michael Scheffler meinen Dank aussprechen.

Vor allem für die fachliche Unterstützung bei medizinischen Fragestellungen und den kontinuierlichen Wissensaustausch möchte ich dem Drittgutachter Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Ulrich Vorwerk danken. Seine wichtigen Anregungen waren maßgebend für das Ergebnis dieser Arbeit.

Des Weiteren möchte ich den Mitarbeitern des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik und den Kollegen der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg danken, die mich sowohl fachlich als auch organisatorisch unterstützt haben.

Ein großer Dank geht auch an meine Eltern, ohne die ein Studium und eine Doktorarbeit niemals möglich gewesen wären. Abschließend danke ich noch meiner Lebenspartnerin, sie hat mich stets motiviert und tatkräftig unterstützt.

Kurzreferat

Die in der jüngeren Vergangenheit revolutionären Fortschritte in der visuellen Erfassung und Auswertung von Patientenbilddaten eröffnen Ärzten sowie Patienten weitreichende Möglichkeiten für eine bessere individuelle Therapie. Besonders durch medizinischen Bildgebungsverfahren wie z. B. Computertomographie, Angiographie oder Magnetresonanztomographie-Systeme der neusten Generation, ist es möglich, detaillierte Daten über den Zustand eines Patienten zu gewinnen und Diagnosen bzw. Therapieentscheidungen exakter zu stellen. Diese Informationen können in Zukunft z. B. für die praktische Vorbereitung bei Cochlea-Implantat-Operationen von hochgradig schwerhörigen und tauben Patienten verwendet werden. Dafür soll eine Herstellung von Faksimilemodellen der feinporigen Felsenbeinknochenstrukturen des jeweiligen Patienten durch generative Fertigungsverfahren erfolgen. Diese Methode soll patientenindividuell die Vorbereitung auf die Operation verbessern. Die aus einzelnen Schichtbildern aufgenommenen medizinischen Datensätze müssen zu diesem Zweck segmentiert und in für die Rapid-Prototyping-Anlagen verwendbare Datensätze umgewandelt werden. In dieser Arbeit erfolgt eine Erforschung der notwendigen Arbeitsschritte für dieses Vorgehen.

Abstract

Revolutionary improvements made in the recent past in visual perception and the examination of patient details lead to extensive possibilities for an improved individual rehabilitation. This is essentially made possible because of Flat panel computer tomograph, angiography or magnetic resonance tomography systems. These systems allow a more detailed analysis of a patient's condition. In the future such information could be used for the practical preparation of Cochlea-Implant surgeries of profoundly hearing impaired or deaf patients. Instead, a production of facsimile models of microporous petrous bone structures of the individual patient has to happen with the help of generative manufacturing processes. This method is intended to improve individual patient preparation for surgery. The captured images from each layer of the gathered medical data sets must be segmented and converted into records usable by rapid prototyping systems. In this dissertation, the basic workflow for this approach will be presented.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Rahmenbedingungen	2
1.2 Motivation	4
1.3 Aufbau der Dissertation	6
2 Grundlagen	9
2.1 Entwicklungsprozess medizinischer Produkte	9
2.1.1 Methodische Vorgehensweise	10
2.1.2 Besonderheiten der Medizintechnik	11
2.1.3 Individuelle Patientenmodelle	12
2.2 Durchführung von Cochlea-Implantat-Operationen	13
2.2.1 Funktionsweise des Cochlea-Implantats	14
2.2.2 Operationsbeschreibung	17
3 Stand der Technik	21
3.1 Forschungsvorarbeiten	21
3.2 Aktuelle Operationsmodelle	22
3.2.1 Haptisches Modell	22
3.2.2 Virtuelles Modell	24
3.2.3 Felsenbeine von Tieren	25
3.3 Anforderungen	27
3.3.1 Bestehende Anforderungen	27
3.3.2 Technologische Kennwerte	28
3.4 Evaluation von Rapid-Prototyping Anlagen	32
3.4.1 Ausgewählte generative Fertigungsverfahren	34
3.4.2 Bewertung der generativen Fertigungsverfahren	39
3.4.3 Auswahl des geeigneten generativen Fertigungsverfahrens	42

4	Darstellung der Prozesskette	43
4.1	Datenaufnahme	45
4.1.1	Computertomographie	46
4.1.2	Magnetresonanztomographie.....	51
4.1.3	DICOM-Datenformat	52
4.1.4	Vergleich der medizinischen Bildgebungsdatensätze	53
4.2	Datenaufbereitung	61
4.2.1	Visualisierung.....	62
4.2.2	Segmentierung.....	65
4.2.3	Netzoptimierung	69
4.2.4	Optische Kontrolle der STL-Daten	73
4.3	Rapid-Prototyping-Fertigung.....	76
4.3.1	Stützstrukturen generieren	77
4.3.2	Nachbearbeitung.....	80
4.4	Prozesseinflussparameter	82
5	Validierungsprozess.....	87
5.1	Technologische Validierung.....	87
5.1.1	Prüfkörperentwicklung.....	88
5.1.2	Messdaten.....	94
5.2	Abweichungsanalyse mittels Computertomographie	97
5.3	Eignung und Handhabung	99
6	Schlussbetrachtungen	105
6.1	Zusammenfassung	105
6.2	Ausblick	107
	Quellenverzeichnis.....	XI
	Anhang A.....	XVIII
	Anhang B.....	XXII