

Die Schädeldecke aus dem 3D-Drucker

Modellieren von Hand war gestern: Heute werden Schädelimplantate in Bern mittels 3D-Drucker gefertigt. Die Innovation entstammt der Zusammenarbeit des Inselspitals und des ARTORG Centers for Biomedical Engineering Research der Universität Bern.

Von Marla Eva Moser

Ein schwerer Unfall, Autoimmunerkrankungen oder Entzündungsherde, welche die Knochensubstanz zerstören: Dies kann dazu führen, dass ein Teil des Schädelknochens entfernt und durch ein Implantat ersetzt werden muss. Am Inselspital ist dies rund 50 Mal pro Jahr der Fall: Fast jede Woche wird hier ein speziell an den Patienten angepasstes Schädelimplantat eingesetzt. Was diese Implantate so besonders macht, ist ihr Herstellungsprozess. Sie werden nicht mehr komplett von Hand modelliert, sondern mithilfe einer Formvorlage aus dem 3D-Drucker gefertigt. Eine Erfolgsgeschichte, die aus der Zusammenarbeit von Assistenzärzten und -ärztinnen an der Uniklinik für Neurochirurgie und Ingenieuren des ARTORG Center for Biomedical Engineering Research hervorgegangen ist.

Wie ein Bildhauer im Dunkeln

Bevor der Fertigungsprozess von patientenspezifischen Schädelimplantaten durch den Einsatz von Additiver Fertigung – 3D-Druck – revolutioniert wurde, wurden die Implantate in Handarbeit hergestellt. Basierend auf Röntgenaufnahmen und CT-Aufnahmen wurde ein Kunststoffteil gefertigt, um das fehlende Stück Schädelknochen zu ersetzen. «Diese Handmodellage von Implantaten können Sie sich ungefähr so vorstellen, wie wenn ein Bildhauer im Dunkeln eine Statue schaffen müsste», veranschaulicht Andreas Raabe, Direktor und Chefarzt der Universitätsklinik für Neurochirurgie, den Herstellungsprozess. Denn: «Die Oberfläche des Schädels ist mit kleinsten, schwer abbildbaren Unebenheiten versehen, die ihm seine einzigartige Form verleihen». Die von Hand gefertigten Implantate konnten dieser einzigartigen Struktur denn auch nur ansatzweise gerecht werden – entsprechend mässig befriedigend fiel für die Patientinnen und Patienten in der Folge das kosmetische Ergebnis aus.

Ästhetischer, verträglicher – und günstiger

Modellierermaschine von Hand in Form bringen, das war gestern – seit rund fünf Jahren setzt man in Bern bei der Fertigung der patientenspezifischen Schädelimplantate

auf die Hilfe des 3D-Druckers. Das Verfahren schreibt Jürgen Beck, Chefarzt an der Uniklinik für Neurochirurgie, der grossen Innovationskraft der Ärztinnen und Ingenieure, aber auch der hervorragenden Infrastruktur am ARTORG zu: «Dass in Bern beides zusammentrifft, ist ein Glücksfall.»

Der neue Herstellungsprozess führt nicht nur kosmetisch zu einem hervorragenden Ergebnis. Untersuchungen belegen, dass die Implantate auch den Härtestest in Bezug auf Belastbarkeit und Verträglichkeit mit ausgezeichneten Werten bestehen. Und damit nicht genug: Die Fertigung mit der Form aus dem Drucker ist erst noch wesentlich kostengünstiger als eine Handmodellage, betont Beck.

Das innovative Herstellungsverfahren stösst auf grossen Anklang: Kliniken aus ganz Europa melden sich bei den Berner Beteiligten und wollen wissen, wie denn nun dieser Deckel für den Schädel hergestellt wird.

Was passiert also in Bern, wenn ein Patient ein spezifisches Implantat benötigt? Zuerst muss die Grunderkrankung behandelt werden, also zum Beispiel das krankhaft veränderte oder beschädigte Knochenstück entfernt werden. Damit ein passgenauer «Deckel» rekonstruiert werden kann, müssen sowohl die Aussenseite als auch die Innenseite des Knochens mit bildgebenden Verfahren wie der Magnetresonanztomografie abgebildet werden. Werden diese beiden Aufnahmen am Computer übereinandergelegt, entsteht so erst einmal ein virtueller Knochendeckel auf dem Bildschirm. Der dazugehörige Datensatz dieses digitalen Modells wird anschliessend ans ARTORG übermittelt – dort befindet sich der 3D-Drucker. Hergestellt wird allerdings nicht das Teil, das später in den Schädel implantiert wird, sondern dessen Negativabbildung. «Mit Hilfe dieser Form stellt der Chirurg direkt im Operationssaal das Implantat her, indem er Knochenzement in die Form modelliert», erklärt Stefan Weber, Professor für bildgestützte Therapie, der das ARTORG seit fast fünf Jahren leitet. «Ganz plakativ erklärt: Die Chirurgen wallen den Kunststoff mit dem Nudelholz aus und drücken

das Ganze anschliessend in die Form aus dem 3D-Drucker – dieses Vorgehen erinnert, salopp gesagt, an das Backen von Weihnachtskekse», fügt er an. Bei dem sogenannten «Knochenzement», dem verwendeten Kunststoff, handelt es sich um polymeres Methyl-Methacrylat, ein Material, das bestens erforscht und sehr verträglich ist.

Vom Nebenprodukt zur Innovation

Das Berner Verfahren ist ein anschauliches Beispiel dafür, wie Innovationen in der Medizin entstehen. Am Inselspital sind die Ärzte und Ärztinnen in der Klinik nahezu täglich mit neuen Herausforderungen konfrontiert, und nicht immer versprechen die bewährten Therapieansätze den gewünschten Erfolg: «Es sind jeweils die Spezialfälle, die uns dazu bewegen, nach neuen Möglichkeiten zu suchen und unsere Behandlungsmethoden weiterzuentwickeln», so Beck. Völlig neu sind allerdings die wenigsten Innovationen in der Medizin, wie Direktor Andreas Raabe erklärt. Die Inspiration dazu komme oft aus anderen wissenschaftlichen Disziplinen oder sogar aus der industriellen Fertigung: «Das Geheimnis liegt darin, kreativ zu bleiben, assoziativ zu denken und über den eigenen Tellerrand hinauszublicken», sagt Raabe. Nur indem man beobachtet, diskutiert und sich zwischen den Fachbereichen austauscht, könnten neue Lösungen gefunden werden.

Diese Denkweise wird auch am ARTORG praktiziert. An der Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis arbeiten hier Forschende aus unterschiedlichen Feldern der biomedizinischen Technik und klinischen Departementen in verschiedenen Forschungsgruppen zusammen. Dabei fokussiert sich jede Gruppe auf ein spezifisches Organ und dessen typische Erkrankungen.

«Der Bereich der technischen 3D-Modellierung ist bei uns intrinsisch mit eingebaut: Wir arbeiten ständig mit Bilddaten, wir nehmen Segmentierungen und Analysen von Bildmaterial vor», erklärt Stefan Weber. Die Ausdrucke aus Kunstharz seien eigentlich ein Nebenprodukt – «doch im Austausch mit anderen Fachgebieten wurde

uns klar, dass eben gerade dieses Nebenprodukt in anderen Bereichen neue Wege eröffnen kann».

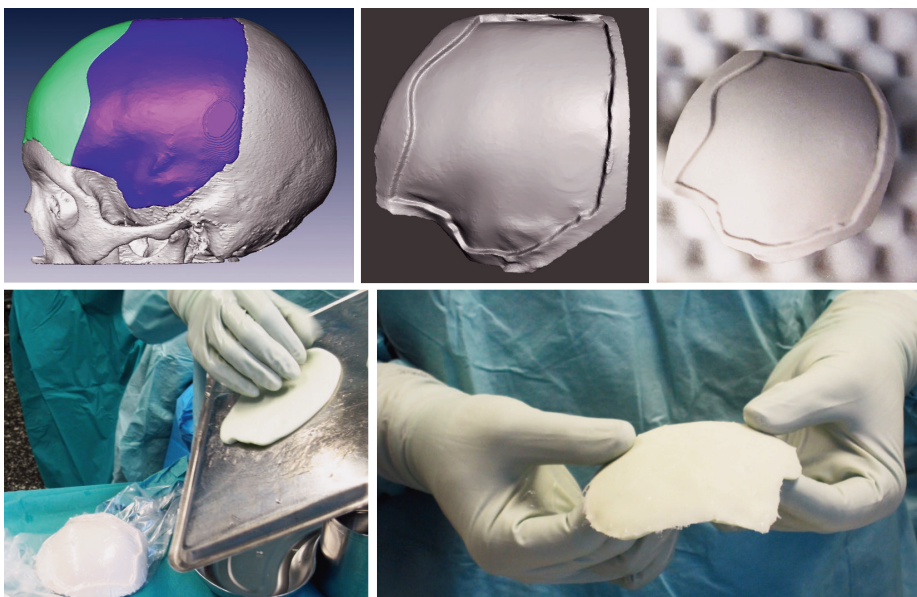
Unter einem Dach

«Innovationen wie die patientenspezifischen Implantate sind immer das Resultat von Teamwork», betont Jürgen Beck. In der Zusammenarbeit zwischen der Universitätsklinik und dem ARTORG habe sich gezeigt, dass in verschiedensten Projekten immer wieder Fragestellungen zur Additiven Fertigung, dem 3D-Druck, auftauchten. Es bot sich also an, eine Plattform zu gründen, um Synergien zwischen den verschiedenen Einheiten zu nutzen: Seit April 2016 betreiben das ARTORG Center und das Inselspital zusammen die «Medical Rapid Prototyping Core Facility», an welcher Additive Fertigung und 3D-Bioprinting unter einem Dach zusammengefasst sind.

Die Verfahren der Additiven Fertigung in der Medizin sind mittlerweile zwar gut bekannt und werden auch vielerorts eingesetzt – «das einzigartige hier in Bern ist jedoch, dass sie hier am ARTORG Ingenieure und Mediziner unmittelbar zusammenbringen und der Austausch und die Zusammenarbeit dadurch sehr eng ist», führt Stefan Weber aus. Dieser intensive Austausch bewährt sich: Die sitem-insel AG hat im Sommer 2016 eine Professur für Additive Fertigung in der Medizin ausgeschrieben. Nicht nur am ARTORG, sondern auch am dereinstigen Swiss Institute for Translational and Entrepreneurial Medicine (sitem-insel AG) soll die Entwicklung im Bereich 3D-Druck vorangetrieben werden.

Trainingsmodelle für Neurochirurgen

Die Additive Fertigung verspricht über die Herstellung von Implantaten hinaus Innovationspotential: Momentan wird am ARTORG und am Inselspital daran geforscht, die dünne Gewebewand eines Aneurysmas möglichst echt nachbilden zu können. «Wir arbeiten daran, die richtigen Materialien zu finden, um diese Gefässanomalie so echt wie möglich nachzubilden», erklärt der verantwortliche Forscher Nicolas Gerber.



Ein bisschen wie Kekse backen: Erst wird mit bildgebenden Verfahren die Form eruiert und im 3D-Drucker das Negativ hergestellt (oben). In dieses Negativ drücken die Chirurgen den ausgewählten Knochenzement und bringen ihn in Form des gewünschten Schädelimplantats (unten).

© ARTORG

Diese Modelle verändern nicht nur die Ausbildung junger Ärzte und Ärztinnen, sondern auch die Vorbereitung komplexer Eingriffe grundlegend. «Bisher gab es keine Möglichkeit, heikle Operationen im Vorfeld derart realitätsnah durchzuexerzieren», erklärt Andreas Raabe, «die einzige Möglichkeit zu lernen war, einem erfahrenen Kollegen zuzusehen – aber an irgendeinem Punkt muss jeder Chirurg das Skalpell selbst in die Hand nehmen auch komplexe Operationen eigenständig durchführen».

Zukunftsmusik: Weichgewebe und Bioprinting

Das Potenzial der Additiven Fertigung ist gross. «Wir versuchen, mit dem 3D-Druck Körperteile zu replizieren», so Andreas Raabe: «Noch beschränken wir uns auf Binde- und Stützgewebe wie Knochen und Knorpel – ein Ziel ist es aber auch, Weichgewebe ersetzen zu können, beispielsweise ein Stück von einem Gefäss». Doch die Suche nach bioverträglichen Materialien, die sich direkt zum Implantieren eignen, stecke noch in den Kinderschuhen, so Raabe.

Der Bereich Bioprinting und Tissue Engineering verspricht ebenfalls aussichtsreiche Möglichkeiten, wenn auch mit

einem etwas anderen Ansatz. Mit diesen Verfahren können Zellstrukturen gedruckt werden. Diese kommen bereits heute in Labors in der Forschung zum Einsatz, auch in Bern. Während Implantate und Ausbildungsmodelle an einem Punkt ansetzen, an dem es aus medizinischer Sicht schon zu spät ist und eine Operation notwendig geworden ist, hat dieses Vorgehen einen präventiven Charakter: Krankheiten sollen in der Petrischale erforscht werden, damit sie bekämpft werden können, bevor sie überhaupt im menschlichen Körper ausbrechen und Beschwerden verursachen können.

Kontakte: Prof. Dr. Andreas Raabe, andreas.raabe@insel.ch
Prof. Dr. Jürgen Beck, juergen.beck@insel.ch, beide Universitätsklinik für Neurochirurgie
Prof. Dr. Stefan Weber, stefan.weber@artorg.unibe.ch
Dr. Nicolas Gerber, nicolas.gerber@artorg.unibe.ch, beide ARTORG Center for Biomedical Engineering Research
Autorin: Marla Eva Moser, marlaeva.moser@gmail.com