



3D-Planungsdaten und 3D-gedrucktes 1:1-Modell zur Planung einer Schädelplastik bei einem Baby (Kraniosynostose). Quelle: Florian M. Thieringer.

Eine kleine medizintechnische Revolution

Körperteile aus dem 3D-Drucker

Sie dienen als Vorlage für Chirurgen und Chirurgen, die sich anhand der 3D-Modelle perfekt auf einen Eingriff vorbereiten können, wie auch direkt für Implantate, um einen Körperteil exakt zu rekonstruieren: die Objekte aus dem 3D-Drucklabor des Universitätsspitals Basel – eine medizinische Innovation. von Florian M. Thieringer

3D-Druck oder Additive Manufacturing (AM) wurde vor mehr als drei Jahrzehnten erfunden und setzte sich erstmal vor allem in der Industrie durch. In der Medizin nimmt diese Technologie erst seit einigen Jahren so richtig Fahrt auf und die Vorteile im medizinischen Behandlungsprozess sind gross: Vor der Behandlung eines Patienten im Operationssaal, hält der Arzt bereits die individuelle Anatomie seines Patienten in den Händen: *touch to comprehend* – also wortwörtlich die Anatomie «begreifen» [1].

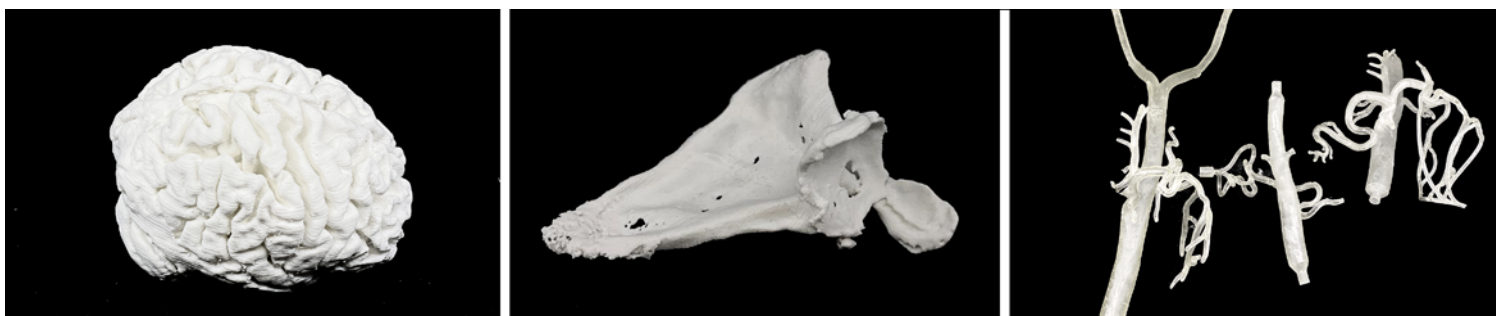
QUALITÄT DER VERSORGUNG VERBESSERN UND KOSTEN SENKEN

Mit dem 3D-Druck gelingt es, komplexe Pathologien einfach und millimetergenau dreidimensional darzustellen, bei Bedarf mehrfarbig und mit unter-

schiedlichen Materialien mit spezifischen Eigenschaften (z.B. biokompatibel, transparent, flexibel, starr) [2]. Das erhöht die Qualität des chirurgischen Eingriffs, die Operationszeit verkürzt sich deutlich und das Chirurgie-Team ist besser vorbereitet [3]. Bei vielen komplexen Operationen ist das Ergebnis vorhersehbarer und dadurch besser als bisher, weil die Operationen am Computer und mit Hilfe von *Virtual* und *Augmented Reality* in Kombination mit 3D-Druck präzise geplant werden können. Patientenspezifische Implantate aus 3D-gedruckten Hochleistungsmaterialien (zum Beispiel PEEK/PEKK oder Titan) stabilisieren oder ersetzen Knochendefekte individuell [4, 5, 6].

Ferngesteuert über das Highspeed-Internet kann der Druck auf einem der zahlreichen 3D-Drucker im Universitätsspital Basel oder im Forschungszentrum gestartet und gesteuert werden, so dass ein anatomi-

Bildstrecke: Hirnatrophie, Schulterarthrose, Gefäss-Trainingsmodelle, komplizierte Fussinfektion, Kinderherzmodelle mit Fehlbildungen und komplizierte Trümmerverletzung des Sprunggelenks – diese realistischen 3D-Modelle aus dem 3D Print Lab am USB zeigen die vielfältigen Anwendungsbereiche des medizinischen 3D-Drucks. Quelle: Florian M. Thieringer.



sches Modell der individuellen Verletzung (z.B. ein gebrochener Unterkiefer oder eine beschädigte Augenhöhle) zur Verfügung steht, bevor der Patient in den Operationsaal gelangt. Wenn der schnelle Druck von grösseren Modellen erforderlich ist, kommt ein «Trick» zum Zuge. Die 3D-Modelle werden in vier Teilen auf verschiedenen 3D-Druckern gleichzeitig gedruckt, was die Druckzeit auf bis ein Viertel der ursprünglichen Zeit reduziert. So ist zum Beispiel der Druck kompletter 1:1-Beckenmodelle innerhalb weniger Stunden realisierbar.

MENSCHLICHE ERSATZTEILE AUS DEM 3D-DRUCKER – PERFEKT PASSENDE «SMART IMPLANTS»

Implantate aus dem 3D-Drucker lassen sich exakt an die anatomischen Gegebenheiten und biomechanischen Anforderungen anpassen und ahmen die Natur perfekt nach. In Zukunft wird es sogar «smarte» Implantate (*Smart Implants*) geben, die spezielle «intelligente» Eigenschaften haben, so zum Beispiel besitzen sie funktionale Oberflächen, messen sie Kräfte oder lösen sich langsam auf, währenddessen der menschliche Körper Zeit hat, das verletzte Gewebe wieder selbst zu ersetzen. Zudem steht bald im Bereich der «regenerativen Chirurgie» der Druck und der biologische Ersatz von Knorpeln, Knochen, Sehnen und anderen menschlichen Geweben zur Verfügung.

Der medizinische 3D-Druck eignet sich auch hervorragend für die medizinische Ausbildung, Simulation und Schulung. Die individuellen 3D-Modelle zeigen den Betroffenen realistisch, wo operiert wird und was im weiteren Verlauf der Behandlung wichtig zu wissen und zu verstehen ist.

Korrespondenz:

PD Dr. mult. Florian M. Thieringer, MHBA
3D Print Lab
Universitätsspital Basel
Spitalstrasse 21
4031 Basel
Tel. 061 265 73 44
3DPrintLab[at]usb.ch

Literatur

- 1 Petzold R, Zeilhofer HF, Kalender WA. Rapid prototyping technology in medicine – basics and applications. *Comput Med Imaging Graph.* Sep-Oct 1999;23(5):277-84.
- 2 Msallem B, Sharma N, Cao S, Halbeisen FS, Zeilhofer H-F, Thieringer FM. Evaluation of the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Anatomical Mandibular Models Using FFF, SLA, SLS, MJ, and BJ Printing Technology. *Journal of Clinical Medicine.* 2020; 9(3):817. <https://doi.org/10.3390/jcm9030817>

3D-DRUCKLABOR AM UNIVERSITÄTSSPITAL BASEL

Bis vor kurzem mussten sich die meisten Spitäler auf externe Anbieter verlassen, um medizinische 3D-Modelle zu erstellen. Das ist ein Prozess, der teuer und zeitaufwendig sein kann – lange Wartezeiten sind bei Personen, die einen Unfall erlitten haben und auf eine operative Behandlung warten jedoch möglichst zu vermeiden. Aus diesem Grund ist es die Mission des 3D-Drucklabors des Universitätsspitals Basel, die *Point-of-Care-Fertigung* einzuführen und zu etablieren und die medizinischen 3D-Technologien in Spitälern zu fördern.

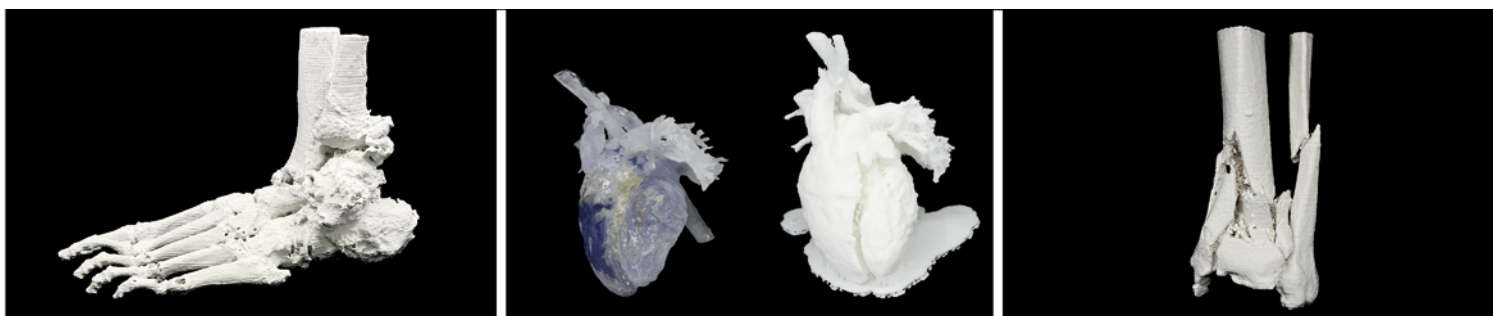
Das Universitätsspital Basel ist im internationalen Vergleich weit fortgeschritten: Mit dem vor vielen Jahren gegründeten 3D-Drucklabor auf dem Campus und der dazugehörigen 3D-Druck-Forschungsgruppe (Swiss MAM) am Departement für Biomedical Engineering (DBE) der Universität Basel, und den angeschlossenen Institutionen und Partnern.

Am Universitätsspital Basel wird sieben Tage die Woche gedruckt, wenn nötig 24 Stunden am Tag. In Notfällen ist innerhalb kürzester Zeit (<2 Stunden für kleinere anatomische Modelle) die Erstellung eines 3D-Anatomie-modells aus einem CT-Datensatz möglich.

- 3 Sigron GR, Rüedi N, Chamartin F, Meyer S, Msallem B, Kunz C, Thieringer FM. Three-Dimensional Analysis of Isolated Orbital Floor Fractures Pre- and Post-Reconstruction with Standard Titanium Meshes and “Hybrid” Patient-Specific Implants. *Journal of Clinical Medicine.* 2020 May 22;9(5):1579. <https://doi.org/10.3390/jcm9051579>
- 4 Honigmann P, Sharma N, Okolo B, Popp U, Msallem B, Thieringer FM. Patient-Specific Surgical Implants Made of 3D Printed PEEK: Material, Technology, and Scope of Surgical Application. *BioMed Research International.* 2018 Mar 19;2018:4520636. <https://doi.org/10.1155/2018/4520636>
- 5 Hirsch JM., Palmquist A., Rännar LE., Thieringer F.M. (2020) Additive Manufacturing and 3D Printing. In: Stübinger S., Klämpfl F., Schmidt M., Zeilhofer HF. (eds) *Lasers in Oral and Maxillofacial Surgery.* Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29604-9_17
- 6 Honigmann P, Sharma N, Schumacher R, Rueegg J, Haefeli M, Thieringer F.M. In-Hospital 3D Printed Scaphoid Prosthesis Using Medical-Grade Polyetheretherketone (PEEK) Biomaterial. *BioMed Research International.* 2021 Jan 11;2021:1301028. <https://doi.org/10.1155/2021/1301028>

Weiterführende Literatur und Informationen:

<https://bit.ly/FTpublications>
<https://www.usb.ch/3DPrintLab>
<https://www.swiss-mam.ch>



Interview mit PD. Dr. mult. Florian M. Thieringer, Co-Direktor des 3D-Drucklabors des Universitätsspitals Basel

Eine grosse Zukunft für 3D-Technologien in der Medizin

Interview: Dr. med. Nadja Pecinska, Kommerzielle Redaktion EMH Schweizerischer Ärzteverlag



ZUR PERSON

Priv.-Doz. Dr. mult. Florian M. Thieringer arbeitet als Kaderarzt in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie am Universitätsspital Basel. Er ist Mitgründer und Co-Direktor des dortigen 3D Print Labs und leitet am Department Biomedical Engineering der Universität Basel die internationale Forschungsgruppe «Medical Additive Manufacturing – Swiss MAM», die sich mit diesen Themen intensiv beschäftigt.

Florian Thieringer, woher stammt Ihre Faszination für das Thema des 3D-Drucks?

3D-Druck hatte mich bereits zu Anfang meiner Ausbildung fasziniert: in kurzer Zeit wachsen auf der Bauplatzform eines 3D-Druckers komplexe geometrische, kunstvolle Objekte, wie die menschliche Anatomie. Ich bin Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurg und arbeite in einer anatomischen Region, die hohe Ansprüche an die Kenntnisse und Fähigkeiten eines Chirurgen stellt. Mit patienten-spezifischen 3D-Modellen plane ich schon vor dem Eingriff genau, in welche Richtung die Operation gehen soll – besonders in sehr komplizierten Fällen wie der Tumorchirurgie, bei Schädel- und Gesichtsfehlbildungen oder bei Rekonstruktionen nach schweren Unfallverletzungen. Das bedeutet, dass der Patient ein exakt auf seine anatomischen Verhältnisse abgestimmtes Implantat bzw. menschliches Ersatzteil erhält, zum Beispiel aus Titan oder Hochleistungspolymeren. Damit können wir Ergebnisse erzielen, die früher kaum zu erreichen waren.

Am Universitätsspital Basel ist der 3D-Druck ja aus dem experimentellen Nischendasein herausgetreten und hat sich bereits fest in den Arbeitsalltag integriert. Wie viele 3D-Drucke stellen Sie her, und was ist die häufigste Anwendung?

Mit der Gründung des 3D Print Labs im Jahr 2016 konnten wir den 3D-Druck für alle im Universitätsspital Basel und der medizinischen Fakultät der Universität Basel verfügbar machen – von A wie Anatomie bis Z wie Zahnmedizin. Unsere «grössten Kunden» sind die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Neurochirurgie, Ortho- und Traumatologie, Urologie und viele weitere Disziplinen. Pro Jahr drucken wir ca. 1000 3D-Modelle auf ca. zwei Dutzend 3D-Druckern. Für mich ist es grossartig zu sehen, wie der medizinische 3D-Druck Einzug in den Alltag von uns Chirurginnen und Chirurgen hält. Wenn Sie eine virtuelle Planung oder ein 3D-Modell für eine Operation benötigen – am Universitätsspital Basel können Sie es einfach bestellen wie ein Röntgenbild.

Neben Modellen werden Sie in Zukunft auch direkt Implantate herstellen, die dann bei den Betroffenen eingesetzt werden. Schildern Sie uns doch bitte den Ablauf vom Röntgenbild bis zu einem fertigen Implantat.

Dieser Bereich ist tatsächlich die «Königsdisziplin» des medizinischen 3D-Drucks im Spital / am Point-of-Care. Momentan sind wir im Bereich des direkten Drucks, zum Beispiel von Titanimplantaten, noch auf externe MedTech-Partner angewiesen. Wir forschen jedoch schon seit mehreren Jahren im Bereich der Herstellung von Kunststoffimplantaten (Polyetheretherketon, PEEK) und sind dabei den Ablauf des PEEK-3D-Druckes zu validieren. Aktuell wird ein derartiger Drucker im OP-Trakt des Universitätsspitals Basel installiert. Dieser wird es uns in Zukunft ermöglichen, in bisher unerreichbar kurzer Zeit exakt passende, individuelle Hochleistungsimplantate herzustellen.

Was wird man in Zukunft von der Entwicklung des 3D-Drucks erwarten können? Wo kann das noch hinführen? Was ist bald schon umsetzbar und von was träumen Sie?

Es gibt eine grosse Zukunft für 3D-Technologien in der Medizin und viele sind schon im Alltag angekommen. Spannend ist nicht nur der 3D-Druck von anatomischen Modellen und Implantaten aus verschiedenen Materialien am Point-of-Care, sondern vor allem der Bereich des sogenannten Bioprintings. In Zukunft wird es möglich sein, biologische «Ersatzteile» aus Trägerstrukturen und eigenen Körperzellen zu drucken, zum Beispiel als Knochenersatz oder bei Knorpelschäden. Am Departement für Biomedical Engineering (DBE) zusammen mit dem Departement Biomedizin (DBM) forschen wir auch an Zukunftsvisionen, wie dem intraoperativen, intrakorporalen 3D-Druck. Unsere Vision ist es, mit robotergesteuerten Laser-Skalpellen und Mini-3D-Druckern durch winzige Zugangswege defekte Körperteile direkt im Körper zu ersetzen. Das ist allerdings noch Zukunftsmusik – wichtige Schlüsseltechnologien stehen jedoch schon zur Verfügung und werden in den kommenden Jahren im klinischen Alltag Einzug halten.