

Nichts für Zartbesaitete: 3-D-Drucke von Fallbeispielen am Basler Universitäts-spital.

DRUCKFRISCH IMPLANTIERT

Einfach, rasch und passgenau: Am Universitätsspital Basel entstehen anatomische Modelle und sogar Implantate im 3-D-Drucker. Es ist der Anfang eines neuen Kapitels der Medizingeschichte.

— Text **Simon Koechlin** Fotos **René Ruis**

Vorsichtig öffnet Florian Thieringer den mikrowellengrossen Apparat, der auf einem Regal steht. Zum Vorschein kommt – ein Schädel. Klingt gruselig? Ist es aber kein bisschen. Der Schädel ist nicht echt, sondern ein Modell. Ein frisch gedrucktes Modell.

Florian Thieringer ist Chefarzt für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie am Universitätsspital Basel – und was vor ihm steht, ist keine Mikrowelle, es ist ein 3-D-Drucker. Einer von vielen hier: Ungefähr ein Dutzend solche Geräte sind in dem Raum verteilt – das grösste hat die Masse eines geräumigen Kühlschrankes. Aus einem der Drucker dringen ratternde Geräusche. Die anderen haben gerade Pause, sie warten auf Aufträge.

Wir befinden uns im Herzstück des 3-D-Druck-Labors des Universitätsspitals Basel, das Florian Thieringer und der Radiologe Philipp Brantner vor ungefähr zehn Jahren gegründet haben. Florian Thieringer muss schmunzeln, wenn er an die Anfänge denkt. «Wir begannen als kleines Start-up in einem Abstellraum.» Heute gilt das Labor in Spitalkreisen als europaweit führendes Projekt und umfasst mehrere Räume und Standorte mit knapp drei Dutzend 3-D-Druckern. Was auf den ersten Blick im hektischen Spitalalltag wie eine exotische Spielerei wirkt, ist ein Schritt in die Zukunft der Medizin. «Der medizinische 3-D-Druck hilft uns, Patientinnen und Patienten rasch, präzise und auf ihre individuellen Bedürfnisse zugeschnitten zu behandeln», sagt Thieringer.

«3-D-Technologien und -Modelle helfen uns enorm bei der Planung unserer operativen Eingriffe.»

Florian Thieringer, Chefarzt Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

Der frisch gedruckte Modellschädel ist ein Beispiel dafür. Thieringer zeigt auf den grossen Unterkiefer und den deutlich zurückliegenden Oberkiefer. «Es ist die exakte Nachbildung des Schädels eines Patienten mit einer ausgeprägten Kieferfehlstellung», erklärt er. Betroffene leiden unter Schmerzen, haben Schwierigkeiten beim Kauen, Schlucken und Sprechen – oder wünschen sich ästhetischere Gesichtszüge. Um die Fehlstellung zu korrigieren und die optimale Gesichtsharmonie zu erzielen, braucht es einen chirurgischen Eingriff, bei dem es auf jedes Detail ankommt. «3-D-Technologien und 3-D-Modelle helfen uns enorm bei der Planung unserer operativen Eingriffe», sagt Thieringer. An dem gedruckten Schädel etwa werden die Chirurginnen und Chirurgen bestimmen, welche Knochen sie wo und wie durchtrennen oder verschieben.

Tenzin Somokaso ist ein Patient, der an einer solchen Kieferfehlstellung litt. Sie habe ihn beim Essen und beim Schlafen gestört, erzählt der 18-Jährige. «Ich konnte nicht beissen, und weil ich nachts durch den Mund atmete, wachte ich oft mit einem ausgetrockneten Gaumen auf.»

Die Ärzte beschlossen, Somokasos Fehlstellung zu korrigieren. Beteiligt am Eingriff waren neben Florian Thieringer auch die Oberärzte Sead Abazi und Lukas Seifert. Früher habe man zur Operationsplanung Gipsmodelle angefertigt, erzählt Abazi. «Damit liess sich aber nur schwer beurteilen, wie der Eingriff die Gesichtszüge verändern oder wie stark er die Atemwege behindern würde.» Neue bildgebende Methoden erlauben es den Ärz- →



Florian Thieringer und Sead Abazi vor einem Bildschirm, auf dem der korrigierte Kiefer eines ihrer Patienten simuliert ist.

GESUNDHEIT

Vor der Operation: Die Fehlstellung von Tenzin Somokasos Unterkiefer ist deutlich sichtbar.



Am 3-D-Modell von Tenzin Somokasos eigenem Unterkiefer erklärt der Chirurg den Eingriff.



Florian Thieringer zeigt Tenzin Somokaso an einem Modell, wie Ober- und Unterkiefer korrekt zusammenarbeiten.





«Sprechstunde» am 3-D-Drucker: Chefarzt Florian Thieringer präsentiert das PEEK-Implantat, Patient Thomas Wirth hält ein Modell seiner zerstörten Schädeldecke in den Händen.

Scannen Sie den QR-Code, und verfolgen Sie in einem Filmbeitrag die Entstehung und Implantation einer Schädelplatte aus dem 3-D-Drucker. Oder: *tinyurl.com/sf-3D-Drucker*

SO FUNKTIONIERT EIN 3-D-DRUCKER

3-D-Drucker erzeugen Gegenstände, indem sie ein bestimmtes Material Schicht für Schicht auf eine Oberfläche auftragen. Es gibt verschiedene Druckverfahren. Das Grundprinzip ist aber bei allen ähnlich:

- Als Vorlage dient nicht wie bei einem normalen Drucker eine Textdatei, sondern eine 3-D-Konstruktions-Datei.
- Damit der 3-D-Drucker mit dieser Datei arbeiten kann, wird sie von einem sogenannten Slicing-Programm sozusagen in Scheiben geschnitten.
- Der 3-D-Drucker wird – je nach Druckverfahren – mit einem Kunststoff-Filament, einem Flüssigkunststoff oder einem Pulver geladen.
- Je nach Verfahren wird das gewählte Material erhitzt und verflüssigt.
- Das Druckgerät spritzt, presst oder sprüht eine dünne Schicht des Materials auf eine Platte.
- Die Schicht wird ausgehärtet, zum Beispiel durch einen Laser.
- Die nächste Schicht wird aufgetragen und ausgehärtet – etc.
- Nach dem Abschluss des Drucks erfolgt die Nachbearbeitung. Je nach Verfahren werden nun Stützstrukturen oder überschüssiges Material entfernt.

> *«Weil ich vor dem Eingriff nachts stets durch den Mund atmete, wachte ich oft mit ausgetrocknetem Gaumen auf.»*
>
> *Tenzin Somokaso, Patient*

tinnen und Ärzten, den betreffenden Körperteil am Bildschirm von allen Seiten anzuschauen und digital zu verändern. Und die 3-D-Bild-Daten, zum Beispiel von Magnetresonanz- oder Computertomografien, dienen als Vorlagen für 3-D-Drucker. Für den Eingriff bei Tenzin Somokaso stellten die Ärzte ein 3-D-Modell her, das zeigte, wie sein Kiefer nach dem Eingriff aussehen würde. Zur Planung – und damit Somokaso es selber anschauen konnte. «Solche Modelle steigern das Vertrauen des Patienten», sagt Sead Abazi.

Wichtig war der 3-D-Druck auch bei Somokasos Operation. Zum einen druckte das Chirurgenteam individuelle Schablonen oder Schnittblöcke. Auf dem Knochen angebracht, geben solche Kunststoffformen exakt vor, wo ein Schnitt angesetzt werden muss. Zum anderen dienten 3-D-gedruckte Gesichtsknochen-Modelle während des Eingriffs als Vorlagen, um an ihnen Implantat-Platten in die richtige Form zu biegen. «Dank der exakten Planung verringert sich die Operationszeit deutlich», sagt Sead Abazi. Früher hätte man für einen Eingriff wie bei Tenzin Somokaso fünf bis sechs Stunden benötigt, heute knapp drei Stunden.

Das spart nicht nur Kosten, sondern verringert auch das Risiko für den Patienten. Das Gesicht schwillt weniger stark an, die Erholungszeit verkürzt sich. Heute, zwei Monate nach dem Eingriff, deutet bei Tenzin Somokaso ausser einer Zahnspange nichts mehr auf die einstige Fehlstellung hin.

Schädelplatte vom Spitallabor

Medizinische 3-D-Drucker fertigen aber nicht nur anatomische Modelle, Vorlagen, Schablonen und Schnittblöcke. Thieringers Team druckt sogar patientenspezifische Implantate. Vor eineinhalb Jahren gelang es ihnen, gemeinsam mit Kollegen von der Neurochirurgie, europaweit erstmals einem Patienten eine am Spital selbst gedruckte Schädelplatte zu implantieren.

Der damalige Patient heisst Thomas Wirth – und steht nun neben Florian Thieringer im 3-D-Druck-Labor. Im Jahr 2019 erlitt der heute 47-Jährige einen Schlaganfall. Zur Behandlung musste ihm die Schädeldecke entfernt und wieder eingesetzt werden. Das ging ungefähr drei Jahre gut. «Dann begann ich stechende Kopfschmerzen und kurzfristige Schwindelgefühle zu bekommen, zum Beispiel, wenn ich mich bückte, um das Katzenkistchen zu putzen», erzählt Wirth. Die Ärzte stellten fest, dass sich die wieder eingesetzte Schädeldecke auflöste.

Florian Thieringer holt aus einem Regal ein 3-D-Druck-Modell von Thomas Wirths Schädel, das die damalige Situation zeigt. Der gelb gefärbte, wieder eingesetzte Schädelteil weist daumengrosse Dellen und zentimeterbreite Lücken auf.

Die Ärzte entschieden, einen zweiten Eingriff vorzunehmen und Thomas Wirth ein 3-D-Druck-Implantat einzusetzen. Bedenken habe er deswegen nie gehabt, sagt Wirth. Der Eingriff sei hervorragend verlaufen. «Ich hatte danach kaum Schmerzen, und die Schwellungen liessen rasch nach.» Die Kopfschmerzen von damals seien verschwunden. Was ihm vom Schlaganfall blieb, sind Einschränkungen des Sehfelds und leichte Sprachstörungen. Manchmal, erzählt Wirth, brauche er lange, um die richtigen Wörter zu finden.

Wie das Implantat aussieht, zeigt ein zweites Schädelmodell, das Thieringer im 3-D-Druck-Labor aufbewahrt: Millimetergenau ist eine bräunliche, mit feinen Befestigungslöchern versehene Platte in die Schädeldecke eingepasst – die Lücken sind verschwunden. Der Chefarzt klopft leicht darauf. Bei dem Material handle es sich um einen Hochleistungs-Kunststoff namens Polyetheretherketon (PEEK), erklärt er. «PEEK ist biologisch kompatibel, gut verträglich und hat viele Eigenschaften, die menschlichem Knochen ähnlich oder gar überlegen sind. Im Gegensatz zu Metallen leitet es keine Wärme, deshalb verursacht das Implantat im Winter keine Beschwerden.»

Ein wachsender Trend

3-D-Druck in der Medizin ist nicht neu. Die Zahnmedizin arbeitet schon seit einigen Jahren mit der Technik. In der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie sei der 3-D-Druck von patientenspezifisch geformten Implantaten ein wachsender Trend, sagt Florian Thieringer. Doch bis vor kurzem habe sein Team sämtliche Implantate bei spezialisierten, externen Firmen bestellt. «Das hat Nachteile», sagt er. «Die Wartezeiten betragen oft mehrere Wochen, und individuelle Wünsche lassen sich nicht immer erfüllen.» Der spitalinterne 3-D-Druck vereinfacht die Abläufe und Kommunikationswege. «Wir sind schneller und können noch besser auf die Bedürfnisse des Patienten eingehen.» →



Dieses frisch gedruckte Schädelmodell im 3-D-Drucker muss nur noch von seinen Stützelementen befreit werden.



Poröses Knochenersatzmaterial aus dem Drucker ist so komplex strukturiert, dass es auf herkömmliche Weise nicht herstellbar ist.

Ein aus radiologischen Bilddaten generiertes 3-D-Druck-Modell eines Auges mit Tumor.



Der Aufbau des 3-D-Druck-Labors war allerdings kein einfaches Unterfangen. «Es genügt nicht, einige Drucker zu kaufen», sagt Thieringer. Es braucht Bildgebungs-, Druck- und Designabläufe oder technische Dokumentationen. PEEK etwa ist ein neuartiger Kunststoff. Das Basler Team musste in Zusammenarbeit mit Druckerherstellern zuerst herausfinden, wie er sich am besten drucken lässt.

Hinzu kommen die strengen Zulassungsvorschriften für Implantate. «Vom Material über die Planung und Fertigung bis zum Sterilisierungsverfahren muss alles validiert sein», sagt Thieringer. Inzwischen hat sein Team bereits mehr als zwei Dutzend selbst gedruckte Implantate eingesetzt. Neben Schädeldachimplantaten darf das Universitätsspital Basel auch Knochenaufbau-Implantate für die Gesichtschirurgie selbst fertigen. «Zudem arbeiten wir an der Zulassung für Augenhöhlen- und später auch für Wirbelsäulenimplantate», erzählt Thieringer.

Und wie sieht die Zukunft des 3-D-Drucks in der Medizin aus? Die Anwendungen, ist Florian Thieringer überzeugt, werden noch breiter werden. «3-D-gedruckte Implantate, gerade vor Ort hergestellte, sind keine Massenanfertigungen, sondern sehr spezifisch unseren Patienten angepasst – in diese Richtung bewegt sich die Medizin.» Selbst für sehr häufige Operationen wie den Kniegelenkersatz gibt es heute Prothesen aus dem 3-D-Drucker.

«Wir arbeiten an der Zulassung für Augenhöhlen- und später auch für Wirbelsäulenimplantate.»

Florian Thieringer, Chefarzt

Präziser als Handwerkstechnik

Kommt hinzu, dass 3-D-Drucker wahre Alleskönner sind. Sie arbeiten mit diversen Materialien, von Kunststoff und Keramik über Metalle bis hin zu Knorpel und Knochenmaterialien. Sogar der 3-D-Druck von Haut- oder Muskelgewebe wird wissenschaftlich erforscht.

Auch Thieringer betreibt mit seinem Team Forschung. Er fischt einige kubikzentimetergrosse, löchrige Quader aus einer Plastikschale. «Wir experimentieren mit abbaubaren Knochenersatzmaterialien», erzählt er. Dereinst könnten solche Materialien dem Knochenaufbau dienen – zum Beispiel bei Tumoren, beim Knochenschwund durch Entzündungen oder wenn die Kieferknochensubstanz einer Patientin oder eines Patienten nicht ausreicht, um ein Zahnimplantat fest zu verankern. Fügt nun, so die Idee, die Chirurgin oder der Chirurg ein Stück des porösen Knochenersatzmaterials samt Wachstumsfaktoren ein, wird es vom gesunden Knochen durchwachsen, der sich so vergrössert. Das Implantat dagegen zersetzt sich mit der Zeit – es muss nicht mit einem Folgeeingriff entfernt werden.

Die porösen Knochenblöcke demonstrieren auch, wie flexibel 3-D-Drucker punkto Design sind. Die Geräte erstellen Formen, die für klassische Handwerkstechniken wie Drehen oder Fräsen zu komplex wären. Und das rasend schnell. «Ein kompliziertes Planungsmodell entsteht in wenigen Stunden, ein einfaches in einer halben Stunde», sagt Thieringer. Die Ärztinnen und Ärzte am Basler Unispital nutzen diesen Vorteil immer häufiger. Im Spitalinformationssystem können sie inzwischen per Mausklick ein anatomisches 3-D-Modell anfordern – so wie einen Bluttest oder ein Röntgenbild. Das zahle sich etwa auf der Notfallstation aus, erzählt Florian Thieringer. «In den meisten Fällen haben wir bereits ein Modell in den Händen, bevor die Patientin oder der Patient in den Operationssaal gebracht wird.» ■