

ICOM International Council of Museums

Grundkurs Museumspraxis 2022/2023

Zertifikatsarbeit

Möglichkeiten von 3D-Druck für Museen



eingereicht von

Philipp Hirzel, Ortsmuseum Dietikon, 8953 Dietikon

betreut durch

Tina Wodiunig, Ethnologin, lic.phil., Museologin, Lehrbeauftragte PHZH

«Mutig zu sein, neue Dinge zu kreieren, Visionen zu haben und auch mal ungewohnte Wege zu gehen, sind Voraussetzungen für Innovation und Erfolg.»

(Philipp Hirzel 2015)

Möglichkeiten von 3D-Druck für Museen

Philipp Hirzel

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
1. Einführung	3
2. Geschichte des 3D-Drucks	4
3. Das Prinzip 3D-Druck	6
4. 3D-Druck für Museen	10
5. Grundlagen und Anforderungen	12
6. Eine kleine Materialkunde für 3D-Drucker	16
7. Beispiel von 3D-Druck im Zoologischen Museum der Universität Zürich (Lautsprechersystem)	19
8. Fazit	23
9. Dank und Schlusswort	24
10. Quellen	25

1. Einführung

Die erste Begegnung mit 3D haben viele von uns mit 3D-Brillen gemacht, mit denen wir sogenannte 3D-Filme geschaut haben. 3D-Brillen ermöglichen uns ein räumliches Sehen von Filmen, die mit einer speziell gebauten 3D-Kamera gefilmt wurden.

Wenn man über 3D-Druck und ihre Anwendungen liest, denkt man vor allem an Entwicklungen für die Industrie. Von Anfang an war die Automobilindustrie ein grosses Anwendungsgebiet für 3D-Druck. Karosserien sind heute nicht mehr nur aus Blech, sondern grösstenteils aus Verbundmaterialien. Diese lassen sich gut mit der 3D-Drucktechnik herstellen. Aber auch viele verschiedene andere Teile der Automobilindustrie werden mit 3D-Druck hergestellt. Auch für Formel1 Autos wird aus Gewichtsgründen und Festigkeit immer mehr auf 3D-Druck gesetzt.

Das Betätigungsfeld für die 3D-Drucktechnik ist eigentlich grenzenlos. Es reicht von einfachsten Teilen für den Hausgebrauch bis zu hochtechnologischen Teilen für die Raumfahrt. Kürzlich wurde ein kleiner Satellit ins All befördert, der zum grössten Teil mit Teilen aus dem 3D-Drucker bestand. Das Material, dass verwendet wurde, entspricht dem von Kevlar. Sehr leicht und sehr robust.

Warum 3D-Druck speziell für Museen? Welches Museum benötigt Formel1 Technologie oder Raumfahrttechnologie? KEIN Museum braucht das!

Was Museen brauchen, sind kostengünstige und einfach herzustellende Hilfsmittel, vor allem für den Bereich Ausstellungstechnik. Der Bereich geht von speziellen Verschraubungen, Halterungen für Ausstellungsobjekten, bis, zu komplexen Lautsprechersystemen wie z.B. am zoologische Museum an der Universität Zürich. Das Beispiel des Lautsprechersystems an der Uni Zürich wird in einem späteren Kapitel ausführlich besprochen. Es ist ein Paradebeispiel dafür, wie man Zeit und Geld durch Verwenden der 3D-Drucktechnik einsparen kann. Das Finanzieren von Ausstellungen und Hilfsmitteln ist für Museen immer ein grosses Thema.

Als erstes habe ich beim Thema 3D-Druck für Museen natürlich ans Drucken von Kopien von Ausstellungsobjekten jeglicher Art gedacht. Insbesondere von Objekten, die von ihrer Art oder vom Zustand, nicht oder nur unter aufwändigen Bedingungen präsentiert werden können. So werden etwa Kopien von Stoffen, Stickereien oder Klöppelarbeiten mit 3D-Druck gefertigt. Die Originale waren in einem so schlechten Zustand oder zu kostbar, weil einzigartig, dass sie nicht ausgestellt werden konnten. Durch das Drucken von feinsten Strukturen, wir sprechen hier von hundertstel Millimetern, kann die Art des Textils gut nachgebildet werden. Die Kopien müssen als solche gekennzeichnet werden.

Auch das Material (Filament), dass für den 3D-Druck verwendet wird, hat sich rasant an die Entwicklung immer neuer, innovativer 3D-Drucker angepasst. War es zu Beginn der 3D-Drucktechnik einfaches Kunststoff filament in Weiss, erhalten wir heute Filamente in jeder Farbe und solche mit Zusätzen z.B. mit Holzfasern, mit Ton, mit Textilfasern und sogar elektrisch leitendes Filament mit Metallzusatz.

Auf die Druckmaterialien und deren Einsatzmöglichkeiten, gehe ich in einem speziellen Kapitel näher ein.

2. Geschichte des 3D-Drucks

Als Erfinder des 3D-Drucks gilt der Amerikaner Charles Hull, der 1984 sein erstes Patent für das Fertigungsverfahren Stereolithografie anmeldete, das ihm 1986 bewilligt wurde. 1987 wurde der weltweit erste 3D-Drucker in den Vereinigten Staaten von Amerika auf den Markt gebracht.

Aber los ging es schon viel, viel früher. Das 3D-Druckverfahren ist ein sogenanntes Aditiv Verfahren. Das heisst, Material, z.B. Ton, wird zu einem Gefäss geformt, indem man aus einem Klumpen Ton einen Boden formt und mit Zugeben von weiteren Tonwürsten die gewünschte Höhe und Form des Gefässes erreichte.

In der Neuzeit nahm die Idee eines 3D-Druckers in den 60er und 70er Jahren des letzten Jahrhunderts Fahrt auf. Der britische Physiker und Science-Fiction Autor Arthur C. Clark verwendete die Idee eines 3D-Druckers in einer Science-Fiction Kurzgeschichte. Im Comic «Tim und Struppi und der Haifischsee» erfindet Professor Bienlein eine 3D-Fotokopiermaschine.

In den 1960er-Jahren wurde von der Firma Teletype Corporation der Tintenstrahldrucker erfunden. Es handelt sich um ein elektronisches Verfahren zum gezielten Abschuss von Tinte aus einer Düse. Später begann man bei Teletype mit Verfahren zu experimentieren, bei denen geschmolzenes Wachs anstelle von Tinte verarbeitet wurde.

1971 meldete Johannes F. Gottwald eine Erfindung zum Patent an, die er als Liquid Metall Recorder bezeichnete, quasi den Prototypen des Rapid Prototypings. Das Verfahren beruhte auf der Idee, ein Objekt Schicht für Schicht aus flüssigem Metall herzustellen, wobei die Form durch die Bewegung des Druckkopfes vorgegeben wurde.

Der erste Schritt zu einem 3D-Druckverfahren wie wir es heute kennen, war damit getan.

1980 beschrieb der Patentanwalt Dr. Hideo Kodama zwei verschiedene Methoden zur Verwirklichung von Gottwalds Vision unter Verwendung eines lichtempfindlichen Harzes, das unter Einwirkung von UV-Licht polymerisiert wurde. Kodama meldete 1981 selbst ein Patent an, scheiterte jedoch aufgrund mangelndem kommerziellen Interesse.

Im Laufe der 1980er-Jahre brachte eine ganze Reihe von weiteren Patentanmeldungen die Entwicklung des 3D-Druckes voran. Getrieben durch den Bedarf an schnellen und kostengünstigen Lösungen zur Generierung von Prototypen für die Serienfertigung. Viele davon fanden aber wenig Interesse seitens der Wirtschaft.

Die von Hull gegründete 3D Systems Corporation brachte 1987 den SLA-1 als ersten SLA-Drucker auf den Markt. SLA steht für Stereolithografie Verfahren. Damit liessen sich auch komplexe Werkstücke im schichtweisen Aufbau in einem Bruchteil der Zeit fertigen, als herkömmliche Verfahren dafür benötigen würden. Insgesamt meldete Hull über 60 Patente im Zusammenhang mit der Stereolithografie an. Er begründete

damit den Trend zum Rapid Prototyping und entwickelte das bis heute gültige STL-Dateiformat. Die Drucker waren aber so teuer, wir sprechen von einer sechsstelligen Summe, dass sich die Anschaffung nur für Grossbetriebe lohnte. Der Vertrieb an private Endanwender lag noch in ferner Zukunft.

Ende der 1980er-Jahre und Anfang der 1990er-Jahre kamen mit dem Lasersinterverfahren und dem FDM-Verfahren (Fused Deposition Modelling) zwei weitere Prototyp-Technologien auf den Markt. 1988 meldete der Amerikaner Carl Deckard ein Patent für das «Selektive Lasersintern» an. Ein Verfahren, bei dem ein Kunststoffpulver mit einem Laser verschmolzen wird. Hierbei können Bauteile von fast beliebiger Komplexität gefertigt werden.

Zeitlich fast parallel entwickelte Scott Crump das FDM-Druckverfahren und meldete es 1989 zum Patent an. Dieses Verfahren funktionierte wie eine Heisskleber-Pistole. Das fadenförmige Kunststoff-Material wird durch eine heisse Düse gepresst, dabei wird das Material geschmolzen und schichtweise aufgetragen.

Um die Jahrtausendwende setzte sich branchenübergreifend zunehmend das Bewusstsein für die Vorteile von 3D-Druck durch. Auf dem Gebiet der Biotechnik fanden zu der Zeit entscheidende Fortschritte auf dem Gebiet der Regenerativen Medizin statt. Am Wake Forest Institut in North Carolina druckten Forscher die synthetischen Bausteine für eine künstliche Harnblase, die mit körpereigenen Zellen beschichtet wird, um eine Abstossung des Organs vom Immunsystem des Empfängers zu verhindern. Das Beispiel machte Schule und im laufenden Jahrzehnt verwendeten Wissenschaftler, Verfahrenstechniker und Mediziner die neue Technologie zur Herstellung einer künstlichen Niere im Miniaturformat, hochkomplexer Beinprothesen und künstlich hergestellter Blutgefässe, stets unter Verwendung von Zellmaterial menschlicher Spender.

Im Jahre 2005 wurde vom britischen Maschinenbauexperten Adrian Bowyer ein Projekt gestartet, aus dem der 3D-Drucker Darwin 1.0 hervorging. Zum Preis von 400 Euro standen nun jedem Hobbytütfler die Mittel zu Verfügung, eigene Objekte zu entwerfen und zu drucken.

2011 bis heute kann als die Glanzzeit des 3D-Drucks bezeichnet werden, denn in dieser Phase hat die additive Fertigung ihre technische Reife erlangt. Einerseits war das wachsende Interesse der Verbraucher extrem hoch, andererseits wurde die Entwicklung robuster industrieller Plattformen gepusht. Mancher Prognosen zufolge, ist davon auszugehen, dass die additive Fertigung herkömmliche CNC- und Fräsverfahren obsolet machen wird. Laut einer Schätzung des Marktforschungsinstituts Lux Research soll der weltweite Marktwert des 3D-Drucks bis 2030 auf 44 Milliarden Euro ansteigen.

Die Technologie des 3D-Drucks finden wir in der Lebensmittelindustrie, in der Medizin (Bioprinting), der Luft- und Raumfahrttechnik, im Automobilbau und sogar in der Bauindustrie (Druck von Einfamilienhäusern). Das Spektrum der verarbeiteten Werkstoffe geht dabei von menschlichem Gewebe und Zellmaterial für massgefertigte Organe bis hin zu Edelmetallen. Ansonsten ist die additive Fertigung längst in zahlreichen Branchen verbreitet. Den meisten Menschen ist vermutlich gar

nicht bewusst, in wie vielen Alltagsgegenständen 3D gedruckte Elemente enthalten sind.

Heute finden wir auf dem Markt für 3D-Drucker unzählige Anbieter die Drucker für jede Anwendung und jeden Geldbeutel anbieten. Im Bereich von 200 Euro bis zu 2500 Euro findet der hobby- und semiprofessionelle Anwender eine grosse Auswahl. Das macht allerdings die Wahl eines geeigneten Gerätes nicht immer einfach. Aber normalerweise ist die Beratung sehr gut und man findet im Internet viele nützliche Informationen. Es gibt auch Gerätehersteller, die den Drucker als Bausatz verkaufen. Der Vorteil dabei ist, dass sie die Bauweise des Druckers von Grund auf kennen. Das benötigte Werkzeug zum Zusammenbau wird mitgeliefert. Sie benötigen zum Zusammenbau keine Ingenieursausbildung, sondern nur zwei nicht allzu ungeschickte Hände. Die Preise der Drucker sind entsprechend günstiger.

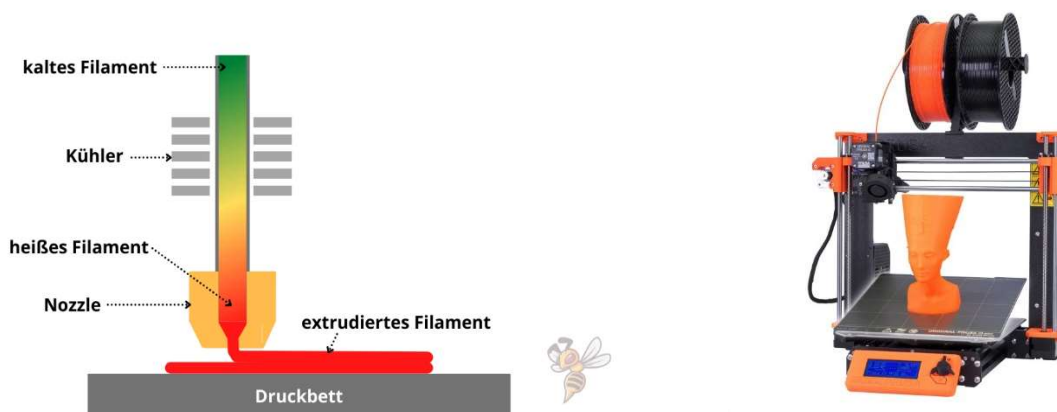
Die Zukunft? Alle Zeichen weisen auf Manufacturing. Der Siegeszug der 3D-Technologie hat sich weiter beschleunigt, die 3D-Druck-Technologie ist bereit für die Serienproduktion. Immer mehr Materialien können gedruckt werden und das immer schneller und in immer besserer Qualität. Bisher genutzt für eher Nischen-Produkte, wird der 3D-Druck zur Schlüsseltechnologie. Diese völlig neue Art der Fertigung ist nutzbar für Prototypen, Einzelstücken und Serien und das rund um die Uhr. Diese Technologie ermöglicht kürzere Lieferketten, die Vermeidung von Überproduktion und Ersatzteillagern, den Einsatz von recyclingfähigen Materialien im Kreislaufsystem. Die Chancen sind immens.

3. Das Prinzip 3D-Druck

Es gibt zwei wesentliche Verfahren von 3D-Druck.

Beim additiven Druckverfahren wird im wesentlichen Material auf eine Grundplatte aufgetragen. Hier unterscheiden wir wiederum zwei verschiedene Prinzipien.

3.1 Das FDM (Fused Deposition Modeling) Verfahren.



Hier wird von oben eine Kunststoffmasse durch eine Düse Schicht für Schicht auf die Grundplatte aufgetragen. Dies geschieht im sogenannten Extruder. Das Filament wird von einer Spule durch den Extruder in die beheizte Düse befördert. Dabei wird das Filament an der Düsenspitze erwärmt und so weit verflüssigt, dass es unter Druck Schicht um Schicht in die gewünschte Form auf die Grundplatte gedruckt werden kann. Die Grundplatte wird dabei in Z-Richtung nach unten bewegt. Bei einigen wenigen Marken wird nicht die Druckplatte, sondern der Extruder in Z-Richtung bewegt.

Das Filament verfestigt sich in kurzer Zeit, sodass die neue Schicht in einer moderaten Geschwindigkeit auf die vorhergehende Schicht aufgetragen werden kann. Mit einer speziellen Software (Slicer) auf die ich später noch eingehen werde, wird das konstruierte 3D Modell in einzelne Schichten aufgeteilt. Die Geschwindigkeit, mit der das Modell gefertigt werden kann, hängt im Wesentlichen von der Schichtdicke ab. Auch die Beschaffenheit der Oberfläche des Modells hängt von der Schichtdicke ab. Je feiner die einzelnen Schichten sind, desto länger dauert der Druck, aber die Oberfläche ist fein und muss nicht nachbearbeitet werden. Für den Prototypenbau wird eher eine höhere Schichtdicke gewählt und die Oberfläche ist rau. Zur Überprüfung, ob die Funktionen des Modells und der Druckablauf korrekt sind, genügt diese Druckqualität. Kleinserien- und Seriendrucke verlangen präzisere Qualitäten.

Die additive Fertigung ermöglicht eine grosse Designfreiheit, um komplexe Teile zu schaffen. Das erfordert aber manchmal Zwischenschritte, wie z.B. den Einsatz von Stützen. Beim 3D-Druck sind mit Stützen Strukturen gemeint, die die freitragenden Bereiche eines Objekts stützen.

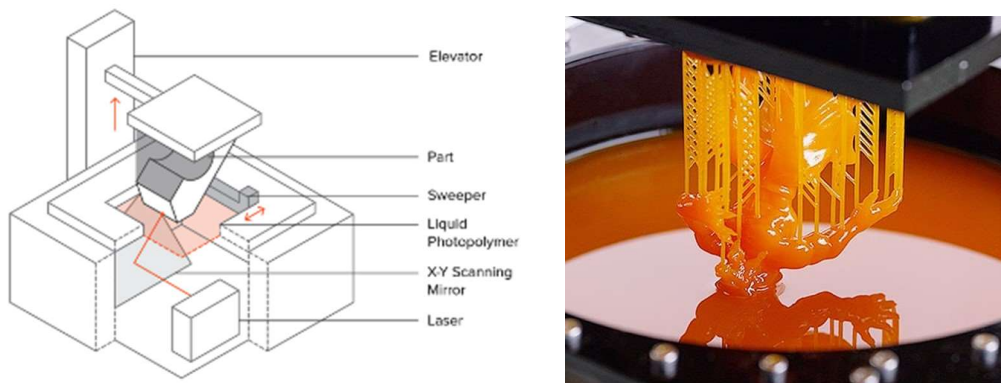
Beim FDM-Druck gibt es zwei allgemeine Regeln. Die 45 Grad-Regel und die 5-Millimeter-Regel. Die erste bezieht sich auf den horizontalen Versatz der 3D-Drucker zwischen aufeinanderfolgenden Schichten. Wenn also ein Überhang weniger als 45° aufweist, kann das Objekt ohne Stütze gedruckt werden. Wenn aber der Überhang vertikal grösser als 45° ist, stapelt der Drucker die Lagen nicht richtig und der Überhang erfordert Stützen. Andererseits besagt die 5-Millimeter-Regel, dass keine Stütze erforderlich ist, wenn eine Brücke weniger als 5 Millimeter lang ist.



Die 45-Grad-Regel gilt für den 3D-Extrusionsdruck

Ob Stützstrukturen nötig sind und wo sie benötigt werden, errechnet im Normalfall das gleiche Programm, das auch die Druckdaten berechnet.

3.2 Das **SLA** (Stereolithografie Verfahren) Verfahren.



Das Stereolithografie-Verfahren, besser bekannt als SLA (stereolithograph apparatus), verwendet das Prinzip der Photopolymerisation, um 3D-Modelle aus einem UV-empfindlichen Harz (Resin) herzustellen. Bei diesem Verfahren verfestigt beim Auftreffen eines Lasers auf das Harz dieses an der besagten Stelle, sodass Schicht für Schicht das Objekt aufgebaut wird. Die Stereolithografie schafft damit eine der hochwertigsten Oberflächen, die bei den heutigen Druckverfahren möglich sind.

Die 3D-Drucker, die Stereolithografie verwenden, zeichnen sich durch flüssiges Druckmaterial aus. Diese Drucker haben aber normalerweise einen relativ kleinen Druckbereich gegenüber anderen Drucktechniken. Es gibt wenige Modelle, die bis zu 2 Meter lange Strukturen drucken können

Ein SLA-Drucker besteht in der Hauptsache aus einem Behälter mit flüssigem Photopolymer, eine Druckplatte, die sich in der Z-Achse bewegt, ein Auftragsarm, der sich in X-Richtung bewegt und ein UV-Laser. Mittels eines Spiegels wird der Laserstrahl in X- und Y-Richtung gelenkt.

Nach Beendigung des Druckvorgangs muss das gedruckte Objekt unter Verwendung von Lösungsmitteln, z.B. Isopropanol, gereinigt werden, um den überschüssigen Harz zu entfernen. Normalerweise ist auch eine UV-Nachbehandlung erforderlich. Sie schliesst den Photopolymerisations-Prozess ab und maximiert die Festigkeit des Materials.

Mit SLA lassen sich glatte Oberflächen und eine Schichtdicke zwischen 0,05 und 0,01 mm erzielen, sodass Objekte mit extrem dünnen Schichten gedruckt werden können.

Bei allen 3D-Druck-Verfahren mit Resin (Harz) ist eine Nachbearbeitung der Teile zwingend notwendig. Dies kommt daher, dass für den Druck der teilweise sehr feinen Modelle, Stützstrukturen notwendig sind, welche nach der Aushärtung entfernt werden müssen. Diese Nachbearbeitung kann sehr aufwendig sein und ist wohl einer der größten Nachteile der Technologie an sich. Unterschiede in der Nachbearbeitung ergeben sich dabei mehrheitlich aus dem verwendeten Material.



SLA-Drucker mit Aushärtungs- und Waschmaschine

Natürlich gibt es noch andere Verfahren für 3D-Druck. Nachfolgend nur zwei Beispiele, die für den Museumsgebrauch interessant werden könnten.

Technologie 3D-Metalldruck.

Das bereits in den 1970er Jahren vorgestellte pulverbettbasierte Schmelzverfahren unterliegt einem relativ einfachen Prinzip: einer Energiequelle, die ein Metallpulver sintert oder schmilzt, um Schicht für Schicht das endgültige Stück zu erzeugen. Die bekannteste Technologie, die auf diesem Prinzip basiert, ist zweifellos das Direct Metal Laser Sintering (DMLS), das in den 1990er Jahren von ERD und EOS patentiert wurde.

Technologie Selektives Lasersintern.

Die Entwicklung dieser Technologie, besser bekannt unter ihrem englischen Namen SLS (selective laser sintering), begann bereits in den 80er Jahren. Dr. Carl Deckard und Dr. Joe Beaman von der University of Texas in Austin, USA, entwickelten die Grundlagen für Pulverbettfusionstechnologien (Powder Bed Fusion). Diese Technologien sind dazu in der Lage, verschiedene Materialien, von Polymeren bis hin zu Metallen, durch den Einsatz eines Lasers zu verarbeiten. Wenn wir uns speziell auf die SLS-Technologie beziehen, sprechen wir vor allem von Kunststoffpolymeren, hauptsächlich Nylon. Jedoch hat sich dies in den letzten Jahren etwas verändert. Interessanter Fakt: 1979 erfand R. F. Householder einen ganz ähnlichen Prozess und ließ ihn auch patentieren, allerdings wurde dieser nie kommerzialisiert.

Im Rahmen dieser Arbeit ist es nicht möglich, alle Verfahren zu besprechen. Ich glaube, dass die zwei ausführlich dargestellten 3D-Druckverfahren, **FDM** und **SLA**, für den Museumsbetrieb am geeignetsten sind.

4. 3D-Druck für Museen

Wenn man an 3D-Druck und seine Einsatzmöglichkeiten denkt, stehen Museen nicht im Vordergrund. Wie aber kommt der 3D-Druck ins Museum? Bei meinen Recherchen bin ich immer wieder auf die etwa gleichen Gründe gestossen. Eine der Hauptgründe sind Beschaffungsprobleme. Terminlicher Art oder ganz einfach, dass Teile von Ausstellungsobjekten die defekt oder nicht mehr vorhanden sind, nicht mehr zu beschaffen sind. Gerade das Thema Ersatzteile oder Rekonstruktion von nicht mehr zu beschaffenden Teilen schreit geradezu nach 3D-Druck.

4.1 Ergänzung fehlender, mechanischer Teile

Ein Museum konzipiert eine Ausstellung mit dem Thema der Vermittlung von Informationen und auf welche Art sie zustande kommen. Das ging von Keilschrift bis Texten von KI. Unter den Ausstellungsstücken war eine Schreibmaschine eines weltbekannten Autors. Leider nicht vollständig. Der Hebel, der die Walze bewegt, war nicht mehr vorhanden. Der Kurator wollte die Schreibmaschine nur vollständig in die Ausstellung aufnehmen. Die Schreibmaschine war so alt, dass keine Ersatzteile mehr zu kaufen waren. Der Hersteller der Schreibmaschine hatte noch die originalen Konstruktionszeichnungen. Anhand dieser Zeichnungen konnte schlussendlich mittels 3D-Druck ein neuer Hebel gedruckt werden. Kostengünstig und zeitnah.

4.2 Vervollständigen von menschlichen und tierischen Skeletten

Ein weiteres Gebiet von 3D-Druck finden wir im Vervollständigen von Skeletten. Viele von uns haben Skelette von Tieren gesehen, die nicht vollständig ausgegraben werden konnten, weil ein Teil der Knochen durch Erosion zerstört wurden. Für ein vollständiges Skelett wurden die fehlenden Teile mühsam von Hand nachmodelliert. Zeitaufwändig und teuer. Heute geht es mit 3D-Druck schneller und kostengünstiger. Die nachgebildeten Skelettteile werden meistens in einer von den Originalteilen etwas abweichenden Farbe gedruckt. Dadurch wird sichtbar, dass nicht das vollständige Skelett ausgegraben werden konnte. Hier muss schriftlich darauf hingewiesen werden, welche Teile nachgedruckt wurden. Diese Vorgehensweise wird schon angewendet.

In einer Steingrube in Deutschland wurden Überreste eines menschenähnlichen Skelettes gefunden. Die Skelettteile bestanden aus einem Fuss, einer Hand, Oberschenkelknochen, einige Rippen und Wirbelkörper sowie der grösste Teil des Schädels. Die fehlenden Teile konnten gedruckt werden, weil z.B. der rechte Fuss gescannt, gespiegelt und in 3D gedruckt wurde. Somit konnte das Skelett soweit vervollständigt werden, dass vermutet wird, dass schon viel früher menschenähnliche Geschöpfe im heutigen Mitteleuropa gelebt hatten als allgemein angenommen wurde.

4.3 Druck von Ausstellungshilfsmittel

Eine andere Möglichkeit von 3D-Druck für Museen ist das Drucken von Ausstellungshilfsmitteln. Gerade auf diesem Gebiet sehe ich ein grosses Potenzial. Wer schon einmal eine Ausstellung konzipiert hat, weiss, dass immer wieder Teile schwer zu beschaffen sind oder in der Ausführung, die benötigt wird, nicht auf dem Markt vorhanden sind. Das kann eine spezielle Schraube sein, eine Aufhängung für ein Objekt oder spezielle Halterungen. Es ist auch legitim, Gegenstände, die gekauft wurden und stark beansprucht werden, mit 3D-Druck zu kopieren. Aber nur, wenn kein Kopierschutz besteht.

Im Zoologischen Museum der Universität Zürich wurde ein Lautsprecher System mit 3D-Druck gefertigt. Als Vorlage diente ein System aus den USA, das optimiert und an die speziellen Anforderungen des Museums und deren Besuchern angepasst wurde. Dieses Projekt wird im nachfolgenden Kapitel ausführlich besprochen.

Als letztes, aber nicht uninteressantes Anwendungsgebiet, sehe ich die Möglichkeiten, für den Museumsshop zu drucken. Je nach Art des Museums können Kopien von interessanten Ausstellungsobjekten gedruckt werden und zum Kauf angeboten werden. Auch für spezielle Ausstellungen oder Vernissagen können günstige Give Aways produziert werden etc.

3D-Druck hat für Museen ein grosses Potenzial in verschiedensten Gebieten. Inzwischen gibt es viele Firmen, die einen 3D-Druck Service anbieten. Ich kann mir auch gut vorstellen, dass sich verschiedene Museen zusammen einen Druckservice aufbauen. Die Voraussetzungen dafür, werden in einem späteren Kapitel ausführlich besprochen.

5. Technische Grundlagen und Anforderungen

Nach dem Entschluss, einen 3D-Drucker zu beschaffen, sind zwei wichtige Entscheidungen zu treffen. Welches Drucksystem passt zu unserm Museum und ist sinnvoll? Mit welchem CAD-System wollen wir konstruieren oder 3D-Scannen?

Damit wir drucken können, braucht es zuerst einmal Druckdaten. Die für den Drucker lesbaren Daten sind leider nicht dieselben Daten, die wir vom CAD-System oder von einem Scanner zu Verfügung gestellt bekommen.

Eine wichtige Quelle für den 3D-Druck ist der reale Gegenstand. Aber wie bekomme ich die Daten in den PC, damit ich ihn nachdrucken kann? Die Lösung: 3D-Scannen. Damit kommen wir zu einem weiteren wichtigen Glied in der Kette der 3D-Technologien.

Für das 3D-Scannen gibt es eine ganze Reihe von Anwendungsmöglichkeiten. Wir beschränken uns aber auf die Anwendung im Bezug zum 3D-Druck in der Museumsumgebung. In vielen Museen können nicht die originalen Fundstücke ausgestellt werden. Sei es aus Gründen der Sicherheit oder weil die Ausstellungsobjekte in einer besonderen, atmosphärischen Umgebung ausgestellt werden sollen. Hier kommen Kopien zum Einsatz, die aufwändig und teuer bei der

Herstellung sind. Ein anderes Beispiel haben wir bei uns in Dietikon erlebt. Bei Ausgrabungen am römischen Gutshof wurde ein sehr seltener Talisman gefunden. Den Kopf eines glatzköpfigen Athleten mit einem Haarbüschel und einem Phallus auf dem Kopf. Davon fand man bisher nur rund ein Dutzend gleiche oder ähnliche Objekte. Das Original wanderte in den Fundus der Kantonsarchäologie und ins Landesmuseum. Dietikon erhielt aber eine Kopie dieses Fundes. Von Hand nachmodelliert. Zeitaufwändig und teuer.

Für diese Beispiele und viele weitere liegt es heute auf der Hand, Kopien mit dem 3D-Drucker zu produzieren. Die benötigten genauen Daten werden mittels 3D-Scann ermittelt. Es existieren viele verschiedene Arten von Scantechnologien. Allen Technologien ist aber eines gemeinsam. Alle Scandaten müssen von einer Software zu einem 3D-Modell zusammengestellt werden. Die einfachste Art ist, 3D-Modelle aus einer Fotoserie zu berechnen. Diese Technik nennt sich Fotogrammetrie. Aus einer Reihe Fotos errechnet eine Software ein 3D-Modell. Die Aufnahmen können mit einer gebräuchlichen Digitalkamera mit entsprechender SW gemacht werden. Wenn die Ansprüche geringer sind, genügt auch ein Smartphone mit der entsprechenden App. Für die Fotos wird die Kamera auf einem Stativ befestigt und das zu fotografierende Objekt auf einen Drehteller. Dann werden möglichst viele überlappende Aufnahmen gemacht. Je mehr, desto genauer wird die Kopie. Die Software errechnet nun eine sogenannte Punktwolke und daraus ein Flächenmodell. Das Ergebnis kann dann in verschiedene CAD-Formaten gespeichert werden oder direkt in ein druckbares STL-Format. Es ist auch möglich, diese Daten, wenn nötig, nachzuarbeiten.

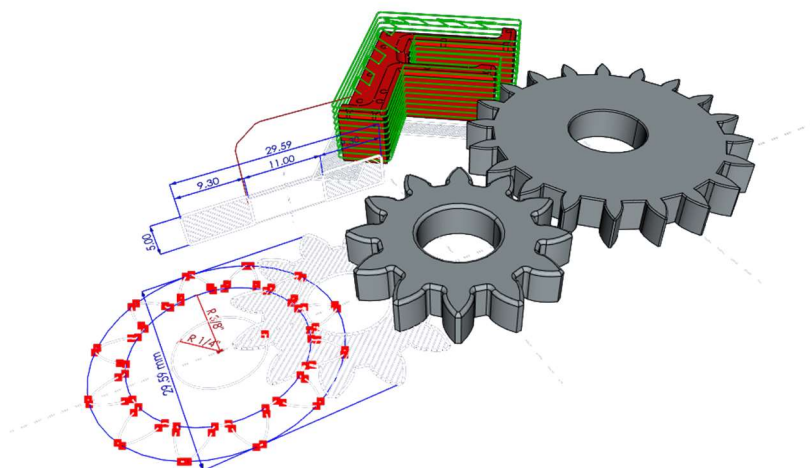
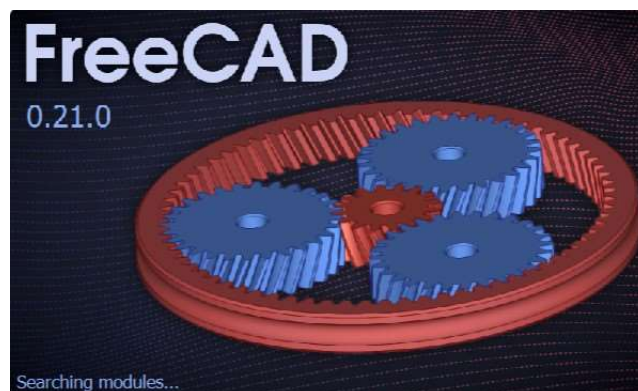
Komfortabler und genauer wird Scannen mit strukturiertem Licht, auch 3D-Streifenlicht-Scantechnologie genannt. Es wird von einem Beamer ein Streifenmuster auf das Objekt projiziert und zwei Kameras stellen fest, ob ein Punkt im hellen oder dunklen Bereich ist. Damit kann dann die Software die Tiefe eines jeden Punkts berechnen. Um ein 3D-Modell zu erhalten, muss auch hier von allen Seiten gescannt werden und die Scann Daten zusammengesetzt werden.

Auch hier bieten verschiedene Firmen 3D-Scanner in verschiedenen Preisklassen an. Es gibt schon Scanner ab ca. 1000 Euro. Einer davon ist der Creality3D Scanner CR-Scan 01. Er liefert Scans ab Stativ und Drehteller aber auch Aufnahmen frei Hand. Die Scans sind von guter Qualität.

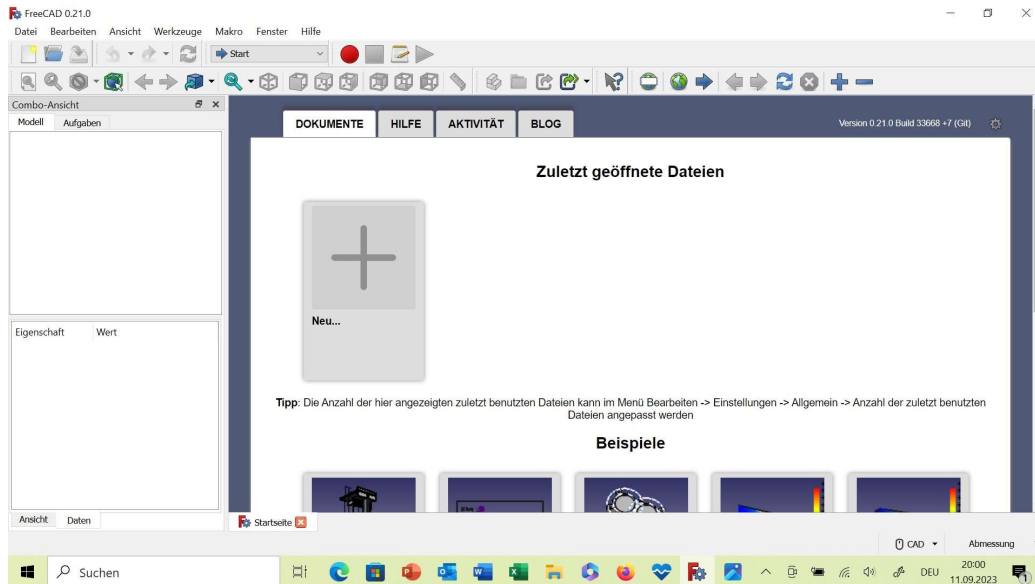


Scanner von Creality mit Drehteller

Eine weitere Möglichkeit Daten für den 3D-Druck zu generieren ist das Konstruieren mit einem CAD-Programm (Computer Aided Design). Hier gibt es unzählige Produkte zu grossen Preisunterschieden. Aber...es gibt auch gute, kostenlose Programme. Eines davon ist das Programm «FreeCAD». FreeCAD ist eine bekannte und beliebte Open-Source-Software mit umfangreichen Funktionen. Es ist ein parametrisches CAD, d.h. es kann nachträglich auf alle Parameter zugreifen und diese können auch geändert werden. FreeCAD ist auf Dauer kostenlos und trotzdem manchem Profiprogramm ebenbürtig. Es geht sogar darüber hinaus, was bei einer Modellierung von Teilen für den 3D-Druck gebraucht wird. Das System läuft unter Windows, macOS und Linux. Jeweils in der 64-Bit-Version. Alle neuen Versionen werden kostenlos zu Verfügung gestellt. Jeder Benutzer kann seine Projekte in die CAD-Library einfügen und zur Benutzung freigeben.



Aus einer 2D Zeichnung wird eine 3D Ansicht generiert



Hier sehen wir die Startseite von FreeCAD. Die Handhabung des Programms kann durch Handbücher oder online gelernt werden. FreeCAD ist für eine Person mit normalem technischem Verständnis als eher leicht erlernbar. Es ist eine Frage der Übung und der Geduld. Das fertig konstruierte Objekt wird als STL-Datei abgespeichert und dem 3D-Drucker zu Verfügung gestellt. Allerdings muss die STL-Datei noch mit einer Slicer-Software bearbeitet werden, damit das Objekt Schicht für Schicht gedruckt werden kann. In der FreeCAD Library stehen viele druckfertige Modelle zu Verfügung. Allgemein stehen im Internet eine grosse Anzahl von Modellen für jeden Bereich zum Drucken bereit, was zum Testen und Kennenlernen von 3D-Druckern eine grosse Hilfe ist.

Wir haben gelernt, dass die CAD-Daten mit einer Software in eine STL-Datei umgewandelt werden muss, die vom 3D-Drucker gelesen werden kann. Was ist eine STL-Datei? Die Bedeutung der Abkürzung ist nicht eindeutig definiert. Zunächst besteht die STL-Datei eines Objektes aus Punkten. Das können Punkte aus einem Scanner sein oder berechnete Punkte aus einem CAD-Modell, die sich alle auf der Oberfläche des Objekts befinden. Die Punkte werden zu Dreiecken verbunden, die mehr oder weniger exakt die Oberfläche des Objekts beschreiben. Dieser Vorgang wird auch als Triangulation beschrieben. Die Triangulation hat den Nachteil, dass gekrümmte Flächen nicht ganz genau wiedergegeben werden können. Die Genauigkeit der STL-Datei ist aber im Allgemeinen höher als die Auflösung des 3D-Druckers. Heisst, dass der 3D-Drucker nicht so genau arbeiten kann, wie die STL-Datei es ermöglichen würde.

Die STL-Datei kann aber noch nicht an den Drucker geschickt werden. Weil der 3D-Drucker das Modell Schicht für Schicht druckt, benötigt man noch ein Programm, dass die STL-Datei in die einzelnen Schichten zerlegt. Anhand dieser Bewegungen wird der Extruder in X- und Y-Richtung gesteuert und das Druckbett in Z-Richtung. Die Ansteuerung des Druckers erfolgt mit dem G-Code.

Die Software, die das macht, wird Slicer (von slice, zu Deutsch «Scheibe») genannt. Heute liefern die meisten Hersteller von 3D-Druckern die Slicersoftware mit dem

Drucker aus. Nach einigen zusätzlichen Funktionseinstellungen (Heizung vom Extruder und Druckbett, das Objekt muss auf dem Druckbett positioniert werden und eventuell vervielfältigt werden) kann der G-Code an den Drucker gesendet werden.

Damit wir mit CAD konstruieren und Scandaten erfassen und bearbeiten können, die Daten mit dem Slicerprogramm zu einem G-Code umwandeln und dem Drucker die Daten schicken können, braucht es einen leistungsfähigen PC mit entsprechender Speicherkapazität. Es gibt 3D-Drucker, die einen USB-Anschluss haben. Hier können die Druckdateien von einem Stick direkt per USB-Schnittstelle übermittelt werden. Nützlich ist auch ein grosser oder zwei kleinere Bildschirme. Den Vorteil eines grossen Bildschirms schätzt man vor allem im Umgang mit der CAD-Software zum Konstruieren von Modellen.

Wobei wir jetzt beim grossen Thema 3D-Drucker angekommen sind. Welches ist der richtige Drucker für meine Bedürfnisse? Es ist hilfreich, für seine Bedürfnisse eine Checkliste zu machen. Auf der Internetseite von [Der 3D-Drucker Biene – 3D-Druck Tipps für Heimwerker, Hobby & Profis \(the3dprinterbee.com\)](http://the3dprinterbee.com) kann eine Checkliste angefordert werden (Startseite rechts oben unter: FREE FDM Basics Cheat Sheet). Diese Checkliste enthält alles, was Sie für den Einstieg in den FDM-3D-Druck benötigen und berücksichtigen sollen. Die Checkliste enthält auch Informationen, die für eine Entscheidung für ein SLA-Drucker helfen können. Die Sucherei im Internet kann beginnen. Es ist sicher auch wertvoll, Kontakte zu Anwendern zu suchen, die schon mit 3D-Druck arbeiten. Wenn man auf die Webseite von Anbietern für 3D-Druckern geht, findet man immer Foren mit Erfahrungsaustausch von Nutzern. Natürlich ist der Preis immer ein Faktor, der beachtet werden muss. Dann steht die Frage im Raum, was ich mit dem Drucker herstellen will. Brauche ich einen Drucker, mit dem ich vorwiegend feine Strukturen drucken will, entscheide ich mich eher für einen **SLA-Drucker**, der mit Photopolymerisation, also UV-empfindlichem Harz, arbeitet. Für alle anderen Anwendungen genügt ein **FDM-Drucker**, der mit Filament aus Kunststoff arbeitet. Natürlich gibt es noch andere Druckverfahren, die aber in der Museumswelt nicht, oder noch nicht, verwendet werden. Die zwei relevanten Druckverfahren wurden im Kapitel 3 «Das Prinzip 3D-Druck» beschrieben.

Es muss noch beschlossen werden, ob man sich beim FDM-Drucker für ein offenes System oder ein geschlossenes System entscheidet. Wichtig ist die Umgebung, indem das Gerät eingesetzt wird.



Offenes System von Prusa



Geschlossenes System von Creality

6. Eine kleine Materialkunde für 3D-Drucker

In den vorhergehenden Kapiteln haben wir uns damit beschäftigt, wie die Dateien, die der Drucker zum Drucken braucht, entstehen. Nun möchte der Drucker endlich mal arbeiten und verlangt nach Material, damit der Drucker die Software in Hardware umwandeln kann.

Welches Material hängt vom Druckerverfahren ab. Obwohl bei den FDM-Druckern nur Kunststoff infrage kommt, wird das Angebot an Druckmaterial immer grösser. Auch durch beimischen von Holz, Metall und anderen Materialien.

Bei STL-Druckern ist die Materialvielfalt eingeschränkt auf Photopolymere, auch Resine genannt.

Filament, das Material für den FDM-Druck: Hier wird mit Kunststoff in Form von Fäden gearbeitet, dem sogenannten Filament. Das Filament wird üblicherweise in Form von Rollen geliefert.



Filament in verschiedenen Farben

Verbreitet sind die Materialstärken 1,75 mm und 2,8 mm. Wird ein Durchmesser von 3 mm angegeben, sind es in der Regel auch 2,8 mm. Hier wird bei den Angaben aufgerundet. Eine Filament Rolle enthält in der Regel 1 kg Material. Für Spezial-Filamenten sind Rollen von 250 bis 750 Gramm üblich. Manche Hersteller liefern auch Spulen von 2 kg, was den Vorteil hat, dass beim Druck von grösseren Teilen die Rolle nicht gewechselt werden muss. Beim Rollenwechsel können Unregelmässigkeiten beim Druck oder Farbunterschiede entstehen.

Die Kilopreise bewegen sich von ca. 25 Euro für ABS und PLA, schon in Premiumqualität, bis ca. 100 Euro für Spezialfilamente. Im Einzelfall sogar bis 150 Euro und mehr. Für Probedrucke und Testzwecken gibt es bei www.filamentworld.de Proben von 50 Gramm für alle dort verfügbaren Materialien. Der Preis liegt zwischen 4 Euro und 20 Euro. Vom Kauf allzu billigen Filamenten ist abzuraten. Die

Druckqualität kann aufgrund ungleichmässiger Materialdicke beeinträchtigt sein. Es kann so weit gehen, dass die Filament Zufuhr abreisst. Ein weiteres Problem können Flüssigkeitseinschlüsse sein. Diese verdampfen im heissen Extruder und erzeugen Unebenheiten auf der Oberfläche.

Noch ein wichtiger Hinweis: **Filament nicht auf Vorrat kaufen!**

Nur so viel Filament kaufen, wie man in einem halben Jahr verbraucht. Ausser als Violdrucker mit grossem Durchfluss. Das Filament zieht Feuchtigkeit aus der Luft an, was zu schlechter Druckqualität führen kann. Wenn selten benötigtes Filament nur in 1 kg. Rollen zu bekommen ist, kann es nach Gebrauch vakuumiert oder eingeschweisst werden. Vielleicht haben Sie so ein Gerät für Lebensmittel zu Hause.

Im Anschluss eine kleine Auswahl an Filamenten:

PLA (**P**oly **L**actic **A**cid) Polymilchsäure, kann in jedem 3D-Drucker verwendet werden. Es handelt sich um einen thermoplastischen Kunststoff. PLA ist biologisch abbaubar. Verarbeitungs-Temperatur bei 180-210 °C. Druckbett Raumtemperatur.

ABS (**A**crylnitril **B**utadien **S**tyrol) ist ein zähes und flexibles Material. ABS kann sehr gut nachbearbeitet werden. Es wird auch als Lego-Kunststoff bezeichnet, weil die Legobausteine aus diesem Material hergestellt werden. Verarbeitungstemperatur bei 220-250 °C. Druckbett bei 90-110°C

PETG (Polyethylenterephthalat) modifiziert mit Glykol. Vereint die positiven Eigenschaften von PLA und ABS. Resistent gegen viele Chemikalien. Verarbeitungstemperatur bei 195-225 °C. Druckbett bis 80°C

PET (Polyethylenterephthalat) ist in seinem ursprünglichen Zustand ein farbloses und glasklares Material. Es kann mit jedem 3D-Drucker verwendet werden. Neben dem durchsichtigen und neutralen Filament gibt es auch verschiedene semitransparente Farben. Verarbeitungstemperatur ca. 210 °C, Druckbett Raumtemperatur.

Filamente für Stützmaterial:

PVA (Polyvinylalkohol) ist wasserlöslich. Dieses Material ist interessant als Stützmaterial für komplexe PLA- oder ABS-Modelle. Wenn der Drucker über zwei Extruder verfügt, kann PVA zusammen mit PLA verwendet werden und so Objekte drucken, die ohne oder mit festem Supportmaterial unmöglich anzufertigen wären. Nach dem Druck das Objekt in handwarmes Wasser legen. Das Supportmaterial löst sich einfach und rückstandsfrei auf. Das Ergebnis ist ein perfektes Druckobjekt ohne die übliche Nachbearbeitung. Verarbeitungstemperatur bei 215 °C, Druckbett Raumtemperatur.

Filamente mit Beimischungen:

Es gibt Filamente mit Beimischungen von Kupfer, Messing und Bronze. Mit Carbon, Edelstahl und Eisen (magnetisch). Mit Beimischungen von Holz (40% gemahlene Holz, 60% Polymer, riecht wie Holz) Glasfaser, Sandstein, Marmor, Beton, Ton, Ziegel und Zement.

Daneben gibt es Filamente mit speziellen Eigenschaften. Zum Beispiel PLA fluoreszierend, stromleitend, reflektierend oder antibakteriell, lebensmittelecht.

Tipps zum FDM-Druck

Auf der Homepage von Simplify3D, dem Hersteller des gleichnamigen Programms zur Druckersteuerung, findet man den «Ultimate 3D Printing Materials Guide» mit Erfahrungsberichten zum Drucken vieler gebräuchlicher Materialien für den FDM-Druck. Hier kann man sich wichtige Anregungen und Tipps holen: [Ultimativer Leitfaden für 3D-Druckmaterialien | Simplify3D](#)

Resin, das Material für SLA-Drucker:

Beim Stereolithografie-Verfahren (SLA-Drucker), wird mit einem flüssigen Kunststoff gedruckt, einem Photopolymer. Im Zusammenhang mit 3D-Druck wird dieses Material Resin genannt. Die Materialvielfalt ist zwar eingeschränkt, die Drucker überzeugen aber durch ihre hohe Detailwiedergabe bei filigranen Objekten.

Das Resin wird in Flaschen oder Tanks geliefert. Bei den Geräten von z.B. Formlabs wird mit Ein-Liter-Kartuschen gearbeitet. Diese werden in verschiedenen Farben geliefert. Sogar in einem Color-Kit mit einem Basismaterial und fünf Farbpigmenten (Cyan, Magenta, Gelb, Schwarz und Weiss) um die gewünschte Farbe selbst zu mischen.

Es gibt noch andere Materialien, z.B. speziell für Dentaltechnik. Diese Materialien müssen nach dem Drucken mit UV-Licht nachgehärtet werden.

So wie es noch etliche andere 3D-Druckverfahren gibt z.B. Pulverdruckverfahren, Jet-Fusion-Technologie (HP), Selektives Lasersintern, Selektives Laserschmelzen, Metalldruck etc., gibt es zu jedem Druckverfahren auch das geeignete Druck-Material. Viele Materialien sind in Pulverform und werden mittels Laserstrahlen aufgeschmolzen (z.B. Metalldruck).

All diese speziellen 3D-Drucker sind im oberen Preissegment angesiedelt und für Hobby und Semiprofessionelle Anwendungen eher teuer.

7. 3D-Druck im Zoologischen Museum der Universität Zürich: Ein Anwendungsbeispiel

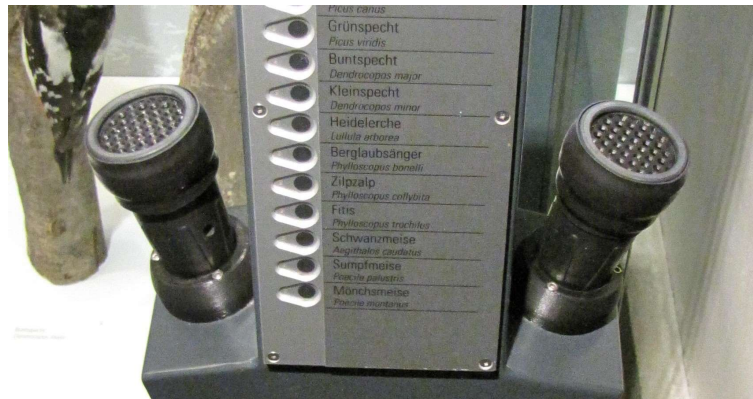
Am Zoologischen Museum der Universität Zürich wurden ein Hand-Lautsprecher beschafft. Damit sollten Informationen zu verschiedenen Ausstellungs-Objekten vermittelt werden. Die Uni hat sich für einen Hand-Lautsprecher der Firma Sennheiser entschieden und es wurden etliche davon angeschafft. Leider wurden nach zwei Jahren die Hand-Lautsprecher vom Markt genommen.

Die Universität beschloss deshalb, dass ein Hand-Lautsprecher Museumsintern gebaut werden soll. Sie wurden aus einem harten Kunststoff gefräst und gedreht.



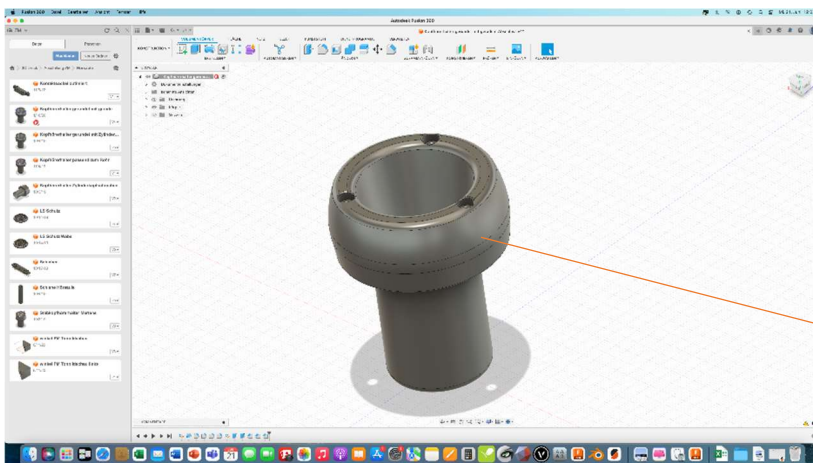
Nach kurzer Zeit stellte sich heraus, dass die interne Lösung schlecht Schläge absorbieren konnte. Wurde ein Hand-Lautsprecher fallengelassen, war die Gefahr gross, dass sich der Magnet des Lautsprechers, der sich im Inneren des Kopfes befand, beim Aufprall löste und ersetzt werden musste. Ebenso wurde das Verbindungskabel vom Hand-Lautsprecher zum Informationssystem oft aus den Hörern gerissen.

Als ein neuer Museumstechniker seine Arbeit am Zoologischen Museum in Zürich antrat, brachte er neue Ideen zu einem sicheren Hand-Lautsprecher mit.



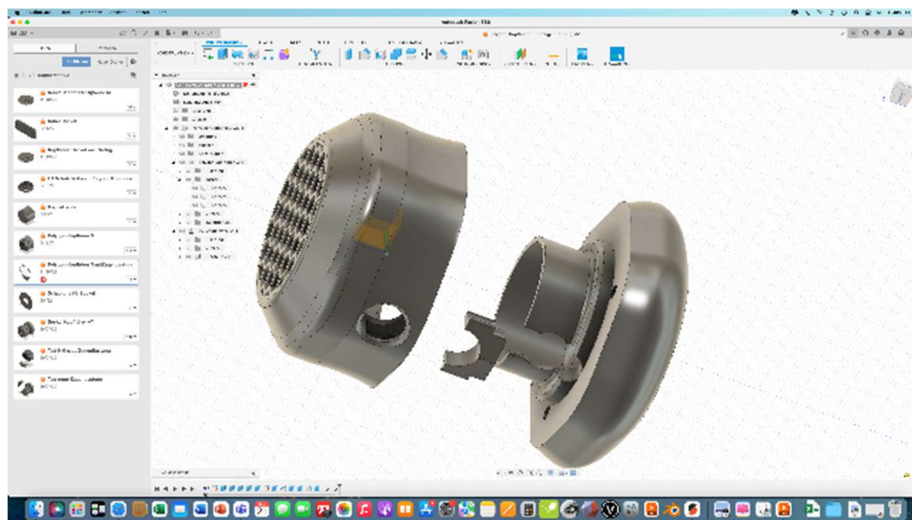
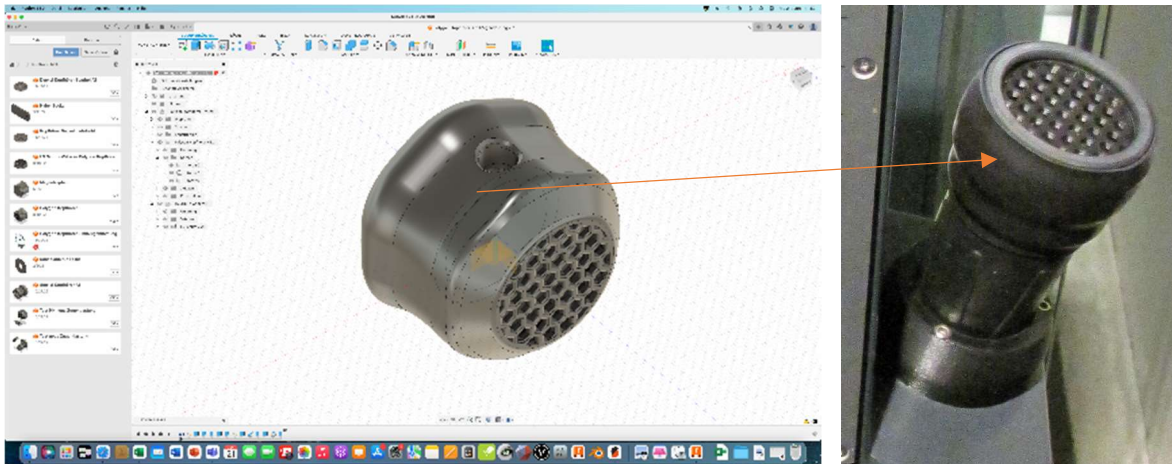
Dieser Hand-Lautsprecher im Zoologischen Museum an der Universität Zürich wurde zum grössten Teil mit Komponenten aus dem 3D-Drucker hergestellt.

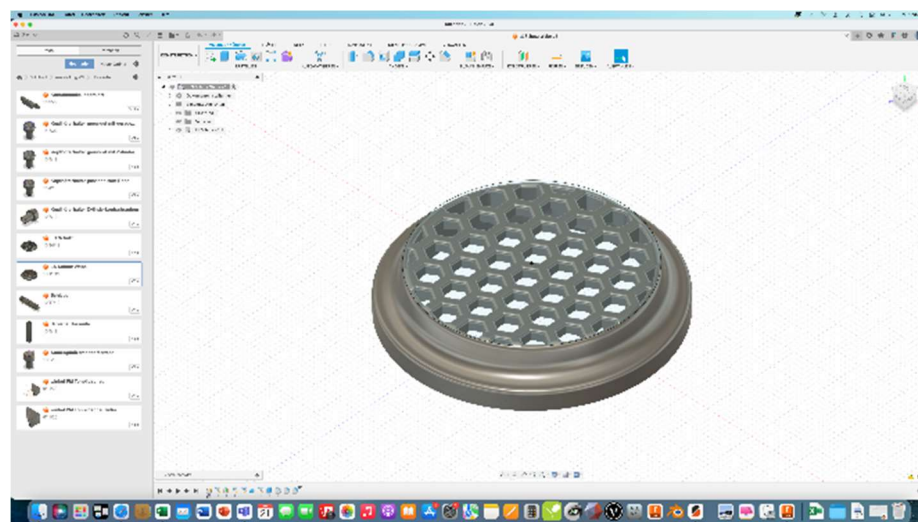
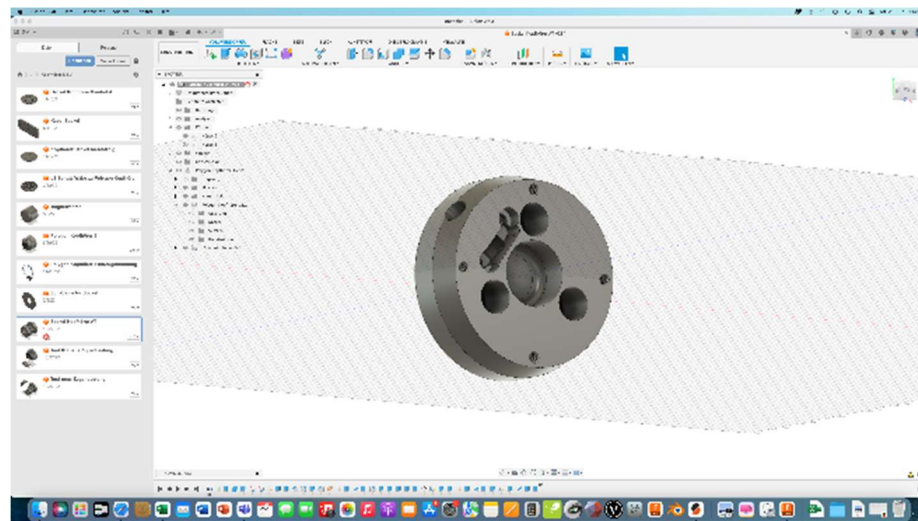
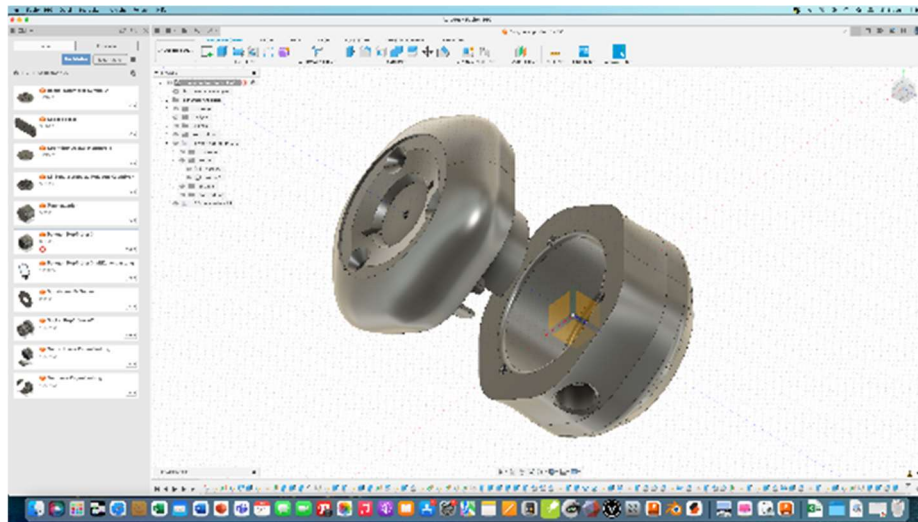
Das System besteht aus zwei einzelnen Hand-Lautsprechern, die bei Nichtgebrauch in eine Halterung gesteckt werden können. In der mittleren Konsole können z.B. Stimmen von verschiedenen Vögeln angewählt werden.



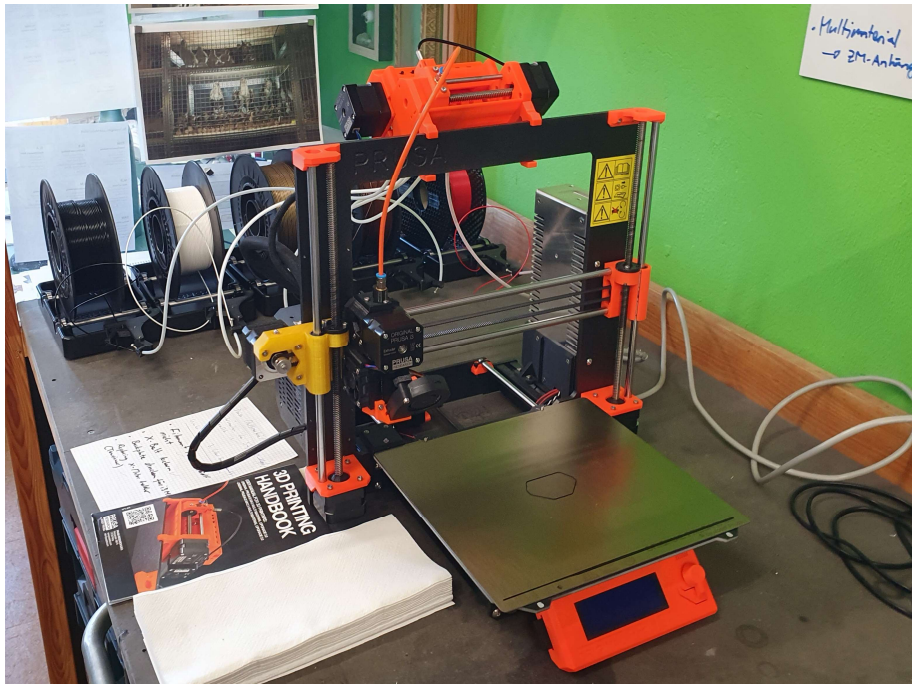
Dieses Teil ist die Halterung für den Hand-Lautsprecher, die am Blechgehäuse montiert ist. Im Bild rechts der untere Ring in den der Hand-Lautsprecher gesteckt werden kann. Der Teil, der in die Halterung gesteckt wird, ist ein konischer Zylinder aus Gummi.

Aus den nachfolgenden Objekten wird das Gehäuse für den Hand-Lautsprecher zusammengestellt. Die Einzelteile sind alle mit 3D-Druck gefertigt. Das erste Bild zeigt das zusammengefügte Gehäuse. Darin enthalten ist der gekaufte Lautsprecher. Die komplette Lautsprechereinheit wird ebenfalls in den Gummizylinder montiert.





Konstruiert und gezeichnet wurden die Objekte mit dem CAD-Programm Fusion360 von Autodesk. Gedruckt wurden sie mit dem 3D-Drucker Prusa i3 MK3S+



8. Fazit

Die Möglichkeit für 3D-Druck sind im Moment grenzenlos. In jedem Bereich unseres Lebens ist der Einsatz von 3D gedruckten Teilen, bewusst oder unbewusst, bereits Wirklichkeit. Wie schon im Kapitel 4 beschrieben, finden wir bereits heute viele Einsatzmöglichkeiten von 3D-Druck für Museen. Einmal für Kopien von Ausstellungsstücken oder das Drucken von Ausstellungszubehör nach Mass. Jede Woche kommen neue, druckbare Materialien auf den Markt. Machen Sie mal den Versuch und gehen Sie durch ihr Museum und schauen Sie, wo es sinnvolle Möglichkeiten für 3D-Druck gefertigte Teile gibt. Denken Sie dabei grosszügig und auch an Objekte, die nur am Rande mit dem Museum zu tun haben. Vielfach zeigen sich gerade dort gute Einsatzmöglichkeiten von 3D-Druck.

Die Anschaffung von 3D-Druckern ist in der Zwischenzeit auch preislich sehr interessant. An der Universität Zürich wird mit einem FDM-Drucksystem von Prusa, dem Prusa i3 MK3S+, gearbeitet. Die Baugrösse von 250 x 210 x 210mm ist in den meisten Fällen ausreichend. Für die wenigen Drucke, die ein grösseres Volumen benötigen, wird auf einen externen Hersteller zugegriffen. Mit dem FDM-Druck-System von Prusa, wurden sehr gute Erfahrungen gemacht. Ebenso wird ein SLA-System mit einem Post-Processing-System, beides ebenfalls von Prusa (SL1S, CW1S), genutzt. Dies für kleine und sehr präzise Drucke.

Um wieder zum Thema dieser Zertifikatsarbeit «**Möglichkeiten von 3D-Druck für Museen**» zu kommen, noch ein persönlicher Gedanke:

In Zürich gibt es das Restaurant «Blinde Kuh». Viele kennen das Restaurant im Dunkeln, wo Blinde und Sehbehinderte servieren. Es ist kein Restaurant nur für Blinde, sondern auch für Sehende. Aber eben, die Sehenden sehen auch nichts.

Blinde und sehbehinderte Personen «sehen» mit ihren Händen. Mit 3D-Druck haben wir heute die Möglichkeit, mit geringem Aufwand, Kopien von Ausstellungsobjekten jeglicher Art herzustellen, die in die Hände genommen werden können. Mit heute schon vorhandenen Materialien fühlt sich Keramik wie Keramik an, Holz riecht nach Holz und Ton fühlt sich wie Ton an, etc. Es muss nicht ein ganzes Museum sein, es genügt schon ein Raum in einem bestehenden Museum. Ein Black-Room ist auch für sehende Besucher ein Erlebnis.

Bezüglich Museen steht immer die Frage im Raum: Wie bringen wir junge Menschen ins Museum? Wie können wir das Interesse von jungen Menschen fürs Museum wecken? Indem wir den Jugendlichen erlauben, ebenfalls mit den Händen zu sehen. In den meisten Museen sind die Ausstellungsobjekte hinter Glas oder durch eine Absperrung gesichert. Objekte könnten mit 3D-Druck kopiert werden und den Jugendlichen in die Hände gegeben werden. Was für ein Erlebnis. Im Naturmuseum Frauenfeld werden die Besucher eingeladen, ausgestellte Tiere, die nicht hinter Glas stehen, zu berühren oder das Fell zu streicheln. Es spielt keine Rolle, dass nach einem Jahr kein Fell mehr auf dem Rücken des Fuchses ist. Das Erlebnis für die Besucher ist aber einzigartig und macht Lust auf mehr Museum.

9. Dank und Schlusswort

Meinen grossen Dank geht an Rema Antenori, Museums-Techniker am Zoologischen Museum der Universität Zürich. Durch sein grosses Wissen und Erfahrung mit 3D-Druck am Museum, hat er mich inspiriert und Möglichkeiten aufgezeigt, an die ich nie gedacht hätte.

Dank geht auch an meinen Co-Leiter im Ortsmuseum Dietikon, Sven Wahrenberger. Die Gespräche, meistens auf der Fahrt zu den Schulungsorten des ICOM-Kurses, über die Einsatzmöglichkeiten von 3D-Druck für Museen haben mich in der Wahl des Themas der Zertifikatsarbeit bekräftigt. Die manchmal verrückten und unwirklichen Ideen sind heute in manchen Fällen Wirklichkeit.

Einen besonderen Dank geht an meine Betreuerin dieser Zertifikats-Arbeit, Tina Wodiunig. Mit ihren guten Ratschlägen und grosser Geduld hat sie mich sehr unterstützt und diese Arbeit erst möglich gemacht.

Mir ist bewusst, dass meine Erläuterungen, eher technischer Natur sind. Aber ich finde es wichtig, aufzuzeigen, dass die Saat zuerst in den Boden muss, bevor geerntet werden kann. Das Bewusstsein, welche grossen Möglichkeiten vorhanden sind und welchen Nutzen die Museen daraus ziehen können, muss zuerst in den Köpfen der Verantwortlichen ankommen und reifen. Nur schon in den 18 Monaten der ICOM-Schulung «Grundkurs Museumspraxis 2022/2023» hat sich die Welt des 3D-Drucks auf rasante Weise weiterentwickelt. Monatlich kommen neue Druckmaterialien auf den Markt und vergrössern dadurch die Einsatzmöglichkeiten für 3D-Druck. Die Druckergebnisse werden immer realistischer und können manchmal vom Original nicht mehr unterschieden werden. Freuen wir uns auf ein neues Werkzeug, das mithelfen kann, die Museumswelt zu bereichern.

10.Quellen

Verwendete Literatur

- 3Dnatives, Ihr Portal für den 3D-Druck, Alexander h. Kunststoffe als Material für den 3D-Druck, 11. Juli 2023, www.3dnatives.com/de/
- 3Dnatives, Ihr Portal für den 3D-Druck, Leonie M., Ein Blick in die Zukunft: Prognosen für den 3D-Druck bis 2030, 20. Juni 2023, www.3dnatives.com/de/
- 3Dnatives, Ihr Portal für den 3D-Druck, Raphael S., SLA (Stereolithografie): Wir erklären Ihnen das 3D-Druckverfahren, 15.Juli 2016, www.3dnatives.com/de/
- 3Dnatives, Ihr Portal für den 3D-Druck, Alexander H., Alles, was Sie über 3D-Druck mit Fused Deposition Modelling / FDM wissen müssen, 6. Mai 2023, www.3dnatives.com/de/
- 3Dnatives, Ihr Portal für den 3D-Druck, Delona Z., Alles was Sie über Stützstrukturen im 3D-Druck wissen müssen, 27. Februar 2023, [Stützstrukturen im 3D-Druck - 3Dnatives](http://www.3dnatives.com/de/)
- 3faktor.com, Blog, Eine Vision wird Wirklichkeit – Geschichte des 3D-Drucks, Keine Angaben über den Autor, [Eine Vision wird Wirklichkeit – Die Geschichte des 3D-Drucks | 3Faktur](http://www.3faktor.com/)

- Sculpteo.com, 3D-Lernzentrum, Die Grundlagen des 3D-Druckens, Die Geschichte des 3D-Drucks: 3D-Drucktechnologien von den 80er Jahren bis heute, Keine Angaben über den Autor, [Die Grundlagen des 3D-Druckens - Sculpteo](#)
- Werner Sommer, Andreas Schlenker, Faszination 3D-Druck, Alles zum Drucken, Scannen und Modellieren, Buch von Markt und Technik. 3. aktualisierte Auflage, ISBN 978-3-95982-518-4

Bildernachweis

- Titelseite, [Original Prusa i3 MK3S+ 3D-Drucker | Original Prusa 3D-Drucker direkt von Josef Prusa](#)
- Seite 6, oben rechts; [Original Prusa i3 MK3S+ 3D-Drucker | Original Prusa 3D-Drucker direkt von Josef Prusa](#)
- Seite 6, oben links, [Was ist die FDM-Technologie im 3D-Druck? + Bilder & Grafiken \(the3dprinterbee.com\)](#)
- Seite 7, [Stützstrukturen im 3D-Druck - 3Dnatives](#)
- Seite 8, oben rechts, [SLA \(Stereolithografie\): Wir erklären Ihnen das 3D-Druckverfahren \(3dnatives.com\)/](#)
- Seite 8, oben links, [SLA vs DLP: Ein Vergleich der beiden Technologien - 3Dnatives](#)
- Seite 9, [Original Prusa SL1S SPEED 3D printer + CW1S BUNDLE | Original Prusa 3D-Drucker direkt von Josef Prusa](#)
- Seite 12, [CR-Scan Lizard 3D-Scanner - Creality 3D](#)
- Seite 13, 14, FreeCAD ist ein Open-Source CAD Programm, [FreeCAD: Ihr parametrischer 3D-Modellierer](#)
- Seite 15, rechts, [CR-5 Pro 3D-Drucker \(creality.com\)](#)
- Seite 15, links, [Original Prusa i3 MK3S+ 3D-Drucker | Original Prusa 3D-Drucker direkt von Josef Prusa](#)
- Seite 16, [Welches 3D-Druck-Filament eignet sich für Ihre Anwendungszwecke? - 3Dnatives](#)
- Seite 19 – 22, Zoologisches Museum Universität Zürich, Remo Antenori