



MUSEUMSVERBAND
RHEINLAND-PFALZ

Museumsverband Rheinland-Pfalz (Hrsg.)

Vom Digitalen zum Realen

Museen und der 3D-Druck in
Rheinland-Pfalz und Deutschland

| | |
|---|------------|
| Grußwort | 5 |
| 3D-Druck an deutschen Museen und mehr | |
| Museum und 3D-Druck? | 6 |
| <i>Miriam Anders</i> | |
| 3D-Druck: Was kann gedruckt werden und wie funktioniert Additive Fertigung? | 14 |
| <i>Miriam Anders</i> | |
| Museen in Deutschland und der 3D-Druck: Eine Bestandsaufnahme | 26 |
| <i>Miriam Anders</i> | |
| 3D-Druck an Londoner Museen – Ein Blick nach Großbritannien | 46 |
| <i>Miriam Anders</i> | |
| 3D-Drucke in der inklusiven musealen Vermittlungsarbeit | 52 |
| <i>Linda C. Reiter, Moritz Neumüller, Andreas Reichinger</i> | |
| Infobox: 3D-Druck am Futurium in Berlin | 60 |
| <i>Miriam Anders</i> | |
| Infobox: Restaurierung eines Schädelmodells | 61 |
| <i>Lisa Burkart</i> | |
| Herausforderungen und Strategien für den Erhalt von 3D-gedruckten Objekten in Sammlungen | 62 |
| <i>Lisa Burkart</i> | |
| Projekte aus Rheinland-Pfalz | |
| Von Gutenberg zum 3D-Druck: Buchdruck und Medizintechnik – Eine Kabinett-Ausstellung im Gutenberg-Museum | 68 |
| <i>Annette Ludwig</i> | |
| Inklusion und Architektur: Tastmodell der Porta Nigra | 70 |
| <i>Dorothee Henschel</i> | |
| Inklusion und Archäologie: Die Mainzer Römerschiffe als Tastmodelle | 72 |
| <i>Ingrid Schmidts-Jütting</i> | |
| Museumspädagogik zum Anfassen: FabLab mit Karl Marx & Co. | 76 |
| <i>Anne Wiedau</i> | |
| Landesausstellung mit Marx in 3D: KARL MARX 1818 – 1883. LEBEN. WERK. ZEIT. | 78 |
| <i>Rainer Auts</i> | |
| 3D-Druck und rheinland-pfälzische Museen: Ein Überblick über weitere Projekte | 80 |
| <i>Miriam Anders</i> | |
| Anhang | |
| Checkliste zur Umsetzung eines 3D-Druckprojekts | 88 |
| Liste von 3D-Druckprojekten an Museen in Deutschland | 91 |
| Kommentiertes Literaturverzeichnis | 113 |
| Glossar | 120 |
| Danksagungen | 122 |
| Autorinnen und Autoren | 123 |
| Impressum | 124 |

Ludwigshafen am Rhein, 10. Oktober 2022

1992 wurde der Museumsverband Rheinland-Pfalz als Interessenvertretung der rheinland-pfälzischen Museen gegründet. Seit 2001 berät er im Auftrag der Landesregierung alle rund 500 nichtstaatlichen Museen und unterstützt außerdem die Landesregierung bei museumsspezifischen Fragen.

Digitale Themen stellen seit langer Zeit einen Schwerpunkt der Arbeit des Verbands dar – von der ersten Schulung zum Inventarisieren von Museumsobjekten mit einer Datenbank im Jahr 2001 über den Einstieg ins Online-Publizieren von Museumsobjekten mit der Software „museum-digital“ 2009 bis zum Relaunch des offiziellen Museumsportals Rheinland-Pfalz im Jahr 2019.

Aus museum-digital ist in den vergangenen Jahren in Kooperation mit anderen Museumsämtern und -verbänden der Bundesrepublik Deutschland sowie ehrenamtlichen Programmierenden eine umfangreiche Software und Plattform zum Inventarisieren und Publizieren von Museumsobjekten geworden. Mit dem Museumsportal Rheinland-Pfalz ist eine attraktive, redaktionell betreute Webseite entstanden, auf der sich alle Museen des Landes mit ihren Angeboten präsentieren können.

Neben dieser im Internet sichtbaren Präsenz von Museen gibt es jedoch auch Aspekte der digitalen Museumsarbeit, die Besucher*innen normalerweise verborgen bleiben. Ein solcher ist der 3D-Druck, der mittlerweile von vielen Museen selbstverständlich genutzt wird, um Exponate oder Tastobjekte herzustellen. Auch die Vermittlung dieser spannenden Technik steht immer stärker im Fokus von Museen, von Workshops über Maker Messen bis hin zu Sonderausstellungen.

Daher ist es uns eine Freude, dass sich der vorliegende Band diesem Thema, das bisher wenig im Fokus der Aufmerksamkeit stand, ausführlich widmet. Zum 30jährigen Jubiläum des Museumsverbands Rheinland-Pfalz könnte es kaum eine passendere Publikation geben. Der 3D-Druck kommt nicht nur in allen Bereichen der Museumsarbeit zum Einsatz, sondern er ist auch ein wichtiges Werkzeug für Kernthemen, die dem Verband seit langem ein Anliegen sind: Digitalisierung, Besucherorientierung und Barrierefreiheit.

Dem Team der Geschäftsstelle des Verbands gilt besonderer Dank, denn es war keine leichte Aufgabe, die große Lücke seit dem Erscheinen der letzten Ausgabe der verbandseigenen Schriftenreihe „Museumsmitteilungen Rheinland-Pfalz“ im Jahr 2010 zu überbrücken. Auch gestalterisch und inhaltlich geht der Band neue Wege.

Wir wünschen uns, dass sich zahlreiche aktuelle und zukünftige Museumsmitarbeiter*innen durch die Lektüre inspiriert fühlen, eigene Experimente mit dem 3D-Drucker zu wagen. Die 3D-Daten, die sie dabei produzieren, werden in Zukunft – so hoffen wir – auch Eingang in die Online-Sammlungen für Museumsobjekte finden.



*Elisabeth Dühr
(Leitung Stadtmuseum Simeonstift
Trier und Vorstandsvorsitzende
Museumsverband Rheinland-Pfalz)*




*Bettina Scheeder
(Geschäftsführerin
Museumsverband
Rheinland-Pfalz)*



Museum und 3D-Druck?

Abb. 1: 3D-gedruckter Wikipedia-Globus
(Foto: Lane Hartwell für die Wikimedia
Foundation, CC BY-SA 3.0).

Miriam Anders

 <https://orcid.org/0000-0001-5027-6310>

3D-Druck ist in aller Munde, nahezu jeder dürfte bereits davon gehört haben – doch wie sieht es mit 3D-Druck in der Museumsarbeit aus? Spielt er in deutschen Museen eine Rolle und bietet er einen Mehrwert? Mit der (nicht mehr) neuen Technik können Objekte hergestellt werden, deren Produktion ansonsten sehr teuer oder sogar unmöglich wäre. Andererseits sind 3D-Drucker von der Einfachheit der Anwendung normaler Papierdrucker noch weit entfernt.

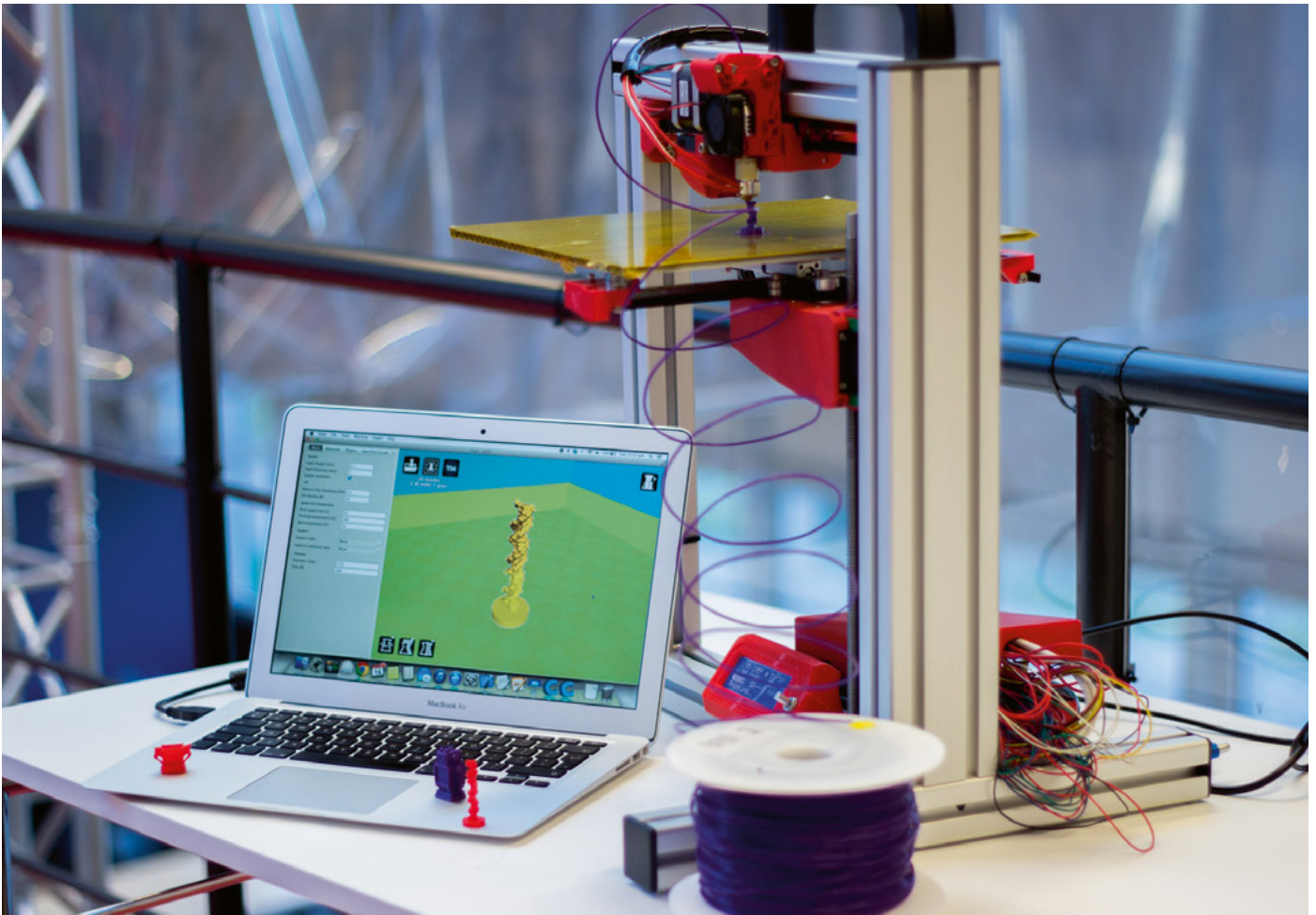


Abb. 2: Ausstattung zum 3D-Druck: 3D-Drucker für Kunststoffe, Druckmaterial auf Spule, Laptop (Foto: Jonathan Juursema, CC BY-SA 3.0).

International haben sich zahlreiche Museen bereits dem 3D-Druck gewidmet: Mit eigenen Ausstellungen, Besucherbefragungen oder innovativen Vermittlungsprogrammen. Regelmäßig schaffen es prominente Beispiele in die Medien. Überregional berichtet wurde etwa über „The Next Rembrandt“, ein Kooperationsprojekt von Mauritshuis (Den Haag) und Museum Het Rembrandthuis (Amsterdam) mit dem Finanzinstitut ING, Microsoft und Technische Universität Delft¹. 346 Rembrandt-Werke wurden dafür unter Nutzung digitaler Techniken analysiert mit dem Ziel, ein neues Rembrandt-Gemälde zu erschaffen. Dieses wurde dann auf einem speziellen 3D-Drucker hergestellt.

In der Anwendung des 3D-Drucks hatten Museen des englischsprachigen Raums, aus Großbritannien und in den USA, allerdings in den frühen 2000er Jahren zunächst die Nase vorn, vor den Museen in Deutschland. Aktuell ist es einfacher, etwas über internationale, vor allem auf Englisch publizierte Aktivitäten von Museen zum 3D-Druck zu erfahren. Beispielhaft zeigen das die unterschiedlichen Ergebnisse der Literatur-Suchmaschine „Google Scholar“ für die Suchbegriffe „museum 3d printing“ (ca. 57.700 Ergebnisse) bzw. „museum 3d druck“ (ca. 9.440 Ergebnisse)². Auch ein Vergleich der englischen und deutschen Wikipedia-Einträge zeigt: Im März 2021 bot der englischsprachige Überblicksartikel „3D printing“ der Wikipedia eine kurze Passage zur Nutzung der Technik durch Museen mit einigen Anwen-

dungsbeispielen³ (**Abb. 1**). Explizit genannt wurden das Metropolitan Museum of Art (New York), das British Museum (London) sowie zwei bulgarische Museen. In der deutschsprachigen Wikipedia wurden zum gleichen Zeitpunkt in dem Artikel „3D-Druck“ die Worte „Kultur“ oder „Museum“ nicht verwendet. Nur die Anwendung im Bereich Kunst wurde ohne konkrete Beispiele umrissen⁴. Ginge man danach, so ist für den deutschsprachigen Raum die Verbindung von Museen und 3D-Druck noch nicht so selbstverständlich, dass die Wikipedia Autor*innen das Thema aufgreifen.

Tatsächlich jedoch täuscht dieser Eindruck: In Deutschland und Rheinland-Pfalz haben sich in den letzten Jahren zahlreiche Museen mit dem 3D-Druck beschäftigt, wie die vorliegende Handreichung nun mit einem umfangreichen Überblick zeigt. Wie sieht es also konkret mit der Nutzung des 3D-Drucks an deutschen Museen aus?



Abb. 3: 3D-gedruckter Mechanismus mit ineinandergreifenden Zahnrädern. Mechanische oder mathematische Modelle wären ein Anwendungsszenario für naturwissenschaftliche Museen (Foto: www.pixabay.com).

3D-Druck und die klassischen Museumsaufgaben

In Deutschland gibt es (bisher) kein 3D-Druck-Museum, wohl aber zahlreiche Projekte großer, mittelgroßer und auch kleiner Museen, die den 3D-Druck verwenden⁵. Der 3D-Druck (**Abb. 2**) berührt heute potenziell alle Bereiche der modernen Museumsarbeit:

- **Sammeln:** Sammlungsobjekte werden damit hergestellt.
- **Bewahren:** Unter welchen Bedingungen können 3D-gedruckte Sammlungsobjekte optimal für die Zukunft bewahrt werden? 3D-Druck kann zudem bei der Restaurierung eine Rolle spielen, beispielsweise für die Herstellung von Ergänzungen.
- **Forschen:** Der 3D-Druck kommt im Rahmen von Forschungsprojekten an originalen Museumsobjekten zum Einsatz, beispielsweise für die Erstellung von Rekonstruktionen.
- **Vermitteln:** 3D-Drucker werden bei museumspädagogischen Aktionen eingesetzt und 3D-Drucke werden als haptische Elemente in Führungen verwendet (**Abb. 3**).
- **Ausstellen:** 3D-gedruckte Objekte befinden sich als Exponate oder Teile von Medienstationen in Dauer- und Sonderausstellungen.

Der 3D-Druck findet darüber hinaus nach und nach auch seinen Platz in der Werkstatt zur Reparatur von Verschleißteilen in den Ausstellungen oder als Souvenir im Museumsshop. Möglicherweise werden in einigen Jahren selbst Museumsgebäude 3D-gedruckt⁶.

Was ist 3D-Druck?

3D-Druck, auch bekannt als Rapid Prototyping oder Additive Fertigung, ist ein „Sammelbegriff für Verfahren zur schnellen Herstellung von Grundtypen, Abgussvorlagen, industriellen Mustern ohne Verwendung von Formen oder Werkzeugmaschinen“⁷. Dabei werden bei Zimmertemperatur feste, flüssige oder pulverförmige Materialien verwendet und computergesteuert schichtweise zu einem dreidimensionalen Gegenstand aufgebaut (**Abb. 4**).

Der 3D-Druck ist keine neue oder junge Technik. Bereits in den 1980er Jahren wurden viele maßgebliche Verfahren entwickelt, beispielsweise für den Druck von schmelzfähigen Kunststoffen⁸. Heute existiert eine große Vielfalt an 3D-Druckverfahren und druckbaren Materialien⁹. Auch kleine und günstige Desktop-3D-Drucker für Kunststoffe sind breit verfügbar.

3D-Druck an Bibliotheken, Universitäten und Schulen

Blickt man über den musealen Tellerrand, so zeigt sich, dass andere Bildungseinrichtungen das Thema 3D-Druck ebenfalls für sich entdeckt haben. Bereits seit einigen Jahren bieten Bibliotheken in Deutschland neue Formate der Interaktion mit ihren Nutzer*innen an. Der Deutsche Bibliotheksverband stellt in seinem „Bericht zur Lage der Bibliotheken“ 2016/2017 fest: „Als meist besuchte Bildungs- und Kultureinrichtungen tragen Bibliotheken mit ihrem breiten Bildungsauftrag dazu bei, die gesellschaftliche Teilhabe aller Bürger*innen abzusichern und sehen in der Vermittlung von digitaler Bildung ein wesentliches Ziel.“¹⁰

So haben Menschen etwa in Bibliotheken in Ludwigshafen am Rhein¹¹ oder Köln¹² die Möglichkeit, Kurse und Einführungen zum 3D-Druck zu besuchen und anschließend selbst kleine Objekte in 3D zu drucken (Abb. 5). An der Sächsischen Landesbibliothek — Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB) gibt es einen **Makerspace**¹³ mit 3D-Drucker, es ist „ein offener Kreativraum für Menschen, die ihre Ideen und Do-It-Yourself-Projekte realisieren möchten“¹⁴.

Auch Universitäten bieten entsprechende Werkstätten an. Aktuell gibt es 24 **Makerspaces** an 18 deutschen Universitäten¹⁵. Sie sind mindestens für Hochschulpersonal, teilweise aber auch für Studierende, externe Privatpersonen und Schüler*innen geöffnet.

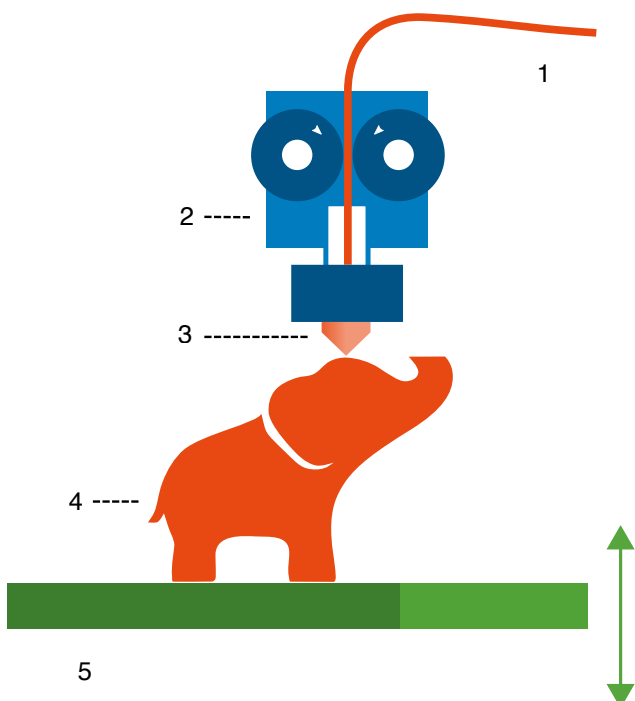


Abb. 4: Schema zum 3D-Druck mit Kunststoffen (Bild: Originaldatei von Kholoudabdolqader, Vektordatei von Jona, CC BY-SA 4.0).

In Nordrhein-Westfalen wurde eine Handreichung mit Empfehlungen für die Einbindung des 3D-Drucks in den Schulunterricht entwickelt, die auch für die Museumspädagogik hilfreich ist¹⁶. Das sächsische Fabmobil ist „ein mit Digitaltechnik und Werkzeugmaschinen ausgestatteter Doppeldeckerbus und (...) ein fahrendes Kunst-, Kultur und Zukunftslabor für die Oberlausitz und darüber hinaus“¹⁷. Er fährt Schulen, Museen, Jugendtreffpunkte, Kulturzentren und andere Begegnungsstätten an und erhielt im März 2021 die Auszeichnung „KULTURLICHTER – Deutscher Preis für kulturelle Bildung“ in der Kategorie „Preis der Länder“¹⁸.

Kontra: 3D-Druck an Museen

Handfeste Gründe sprechen gegen die Beschäftigung mit oder die Verwendung von 3D-Druck am Museum, vor allem sind dies technische und finanzielle Hürden:

- Zeit für die Einarbeitung
- Fehlendes technisches Know-How
- Fehlendes Personal
- Kosten (Datenerstellung, 3D-Drucker, Druckmaterial, Arbeitsschutz)
- Eingeschränkte Farbpalette (je nach Druckverfahren)
- Eingeschränkte Materialauswahl (z. B. durchsichtiges Material, elastisches Material)
- Niedrige Druckauflösung und sichtbare Druckschichten (je nach Verfahren)
- Aufwändige Nachbearbeitung
- Andere Verfahren möglicherweise besser geeignet (z. B. Handarbeit oder klassischer Modellbau)
- Skalierbarkeit (keine Serienproduktion aufgrund langer Druckzeiten)
- Umweltschutz (z. B. 3D-Druck mit Kunststoff, Fehldrucke)

Auch Museen, die keine Einsatzmöglichkeit für 3D-Druck sehen, müssen möglicherweise bei genauer Betrachtung feststellen, dass ihre externen Ausstellungsgestalter*innen, Kooperationspartner*innen oder Dienstleister*innen den 3D-Druck bereits verwenden. Es ist jedoch ein Unterschied, ob 3D-Druck „hinter den Kulissen“ eine Rolle spielt oder aktiv in die Vermittlungsarbeit getragen wird.



Abb. 5: Die Medien- und Kreativwerkstatt „Ideenw3rk“ der Stadtbibliothek Ludwigshafen verfügt über einen eigenen 3D-Drucker (Mitte rechts) und bietet Kurse zum 3D-Druck und 3D-Design an (Foto: Stadt Ludwigshafen, Joachim Werkmeister).

Wenn Besucher*innen mit 3D-Druckern in Interaktion treten sollen, beispielsweise im Rahmen von Schulprogrammen, so gilt es, einige Hürden zu überwinden¹⁹:

- Komplexität der Softwareprogramme
- Wartezeiten für Scans und Drucke
- Unerfahrenheit mit der Hardware
- Fremdheit des 3D-Druck-Prozesses und 3D-Design-Prozesses
- Anwesenheit und Kompetenz des Museumspersonals, der unterrichtenden Künstler*innen und der technischen Assistenz, generell also ein hoher Bedarf an qualifiziertem Personal.

Pro: 3D-Druck an Museen

Es gibt allerdings auch gute Gründe für den 3D-Druck in Museen. Der 3D-Druck hat zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten im Museumsalltag:

- Modelle und Kopien eigener und fremder Objekte herstellen
- Reparaturen von Verschleißteilen
- Ergänzungen bestehender Ausstellungen
- Formen und Gussvorlagen herstellen
- Gestaltungsfreiheit, z. B. bionisches Design
- „Unsichtbares“ drucken, z. B. innere Strukturen von Objekten, die über CT-Scans sichtbar gemacht wurden
- Exponate zeigen, die nicht transportiert werden können
- Moderne Vermittlungsformate anbieten
- Inklusion im eigenen Museum umsetzen

- Besucherwünsche berücksichtigen, Besuchsanreize schaffen
- Imagegewinn
- Bessere Bewertung eingehender Angebote von Dienstleistern, die den 3D-Druck einsetzen
- Nachnutzung eigener, bereits vorhandener digitaler 3D-Modelle
- Interaktionen mit digitalen Besucher*innen schaffen: Teilnahme an 3D-Plattformen, Remix von Museumsobjekten, Print@Home
- Herstellung von hilfreichen Gegenständen für den Museumsalltag, die im Handel nicht angeboten werden

Tastbare 3D-Drucke in Ausstellungen sprechen Besucher*innen multisensual an und erlauben einen erweiterten Zugang zur musealen Welt. Das Berühren von Objekten bleibt damit nicht mehr auf Kurator*innen oder ausgewählte Vermittlungsangebote begrenzt²⁰ (Abb. 6). Es gibt in diesem Zusammenhang Hinweise darauf, dass 3D-Drucke nicht unbedingt aufwändig produziert und möglichst authentisch sein müssen: Eine kleine Studie fand heraus, dass selbst günstig produzierte Kopien von den befragten Besucher*innen positiv wahrgenommen wurden und dass Realismus wünschenswert, aber keine Notwendigkeit sei²¹. Das kommentarlose Ausstellen von Tastobjekten allein ist jedoch nicht ausreichend: Auch die 3D-Drucke müssen in den Kontext der Ausstellung eingebunden werden und ergänzen diese als zusätzlicher, interessant aufbereiteter Inhalt²². Sie müssen eindeutig als Repliken oder Tastobjekte benannt sein, und die Gestaltung sollte für Besucher*innen vor Ort kenntlich machen, dass Berühren erwünscht ist²³.

3D-Druck findet nicht nur analog im Museum statt, sondern kann auch Teil des digitalen Angebots eines Museums sein. Beim „Remixen“ werden von Museen frei zur Verfügung gestellte 3D-Daten von digitalen Nutzer*innen bearbeitet, verändert und erweitert. Objekte erhalten so über die Laufzeit von Projekten hinaus ein nachhaltigeres, digitales Eigenleben. Die Analyse zweier britischer Projekte, die 3D-Technologien verwendeten, ergab, dass rein digitales Remixen nicht im Fokus stand: Die private Nachnutzung digitaler 3D-Modelle von Kulturerbe-Objekten geschah hauptsächlich für den 3D-Druck²⁴.

Das bedeutet: Auch Museen, die keinen eigenen 3D-Drucker besitzen oder im Museum 3D-Druck nicht nutzen wollen, können 3D-Druck mitdenken, wenn 3D-Daten für Forschungs- oder Ausstellungsprojekte entstehen. Die Initiative „Scan the World“ (Deutsch: Scanne die Welt) von MyMiniFactory, einer kommerziellen Plattform für 3D-Druckdateien, hat das Ziel, Skulpturen und andere Kulturobjekte als druckbare 3D-Daten öffentlich verfügbar zu machen. Scan the World übernimmt auch das 3D-Scannen, die Datenerstellung und das (exklusive) Hosting, die Daten bleiben jedoch Eigentum des Museums²⁵.

Was sagen die Besucher*innen?

Was halten Besucher*innen vom 3D-Druck? Aus dem nichtdeutschen Sprachraum liegen mittlerweile einige Evaluationen vor, wie diese 3D-gedruckte Objekte und zugehörige Vermittlungsangebote wahrnehmen und bewerten.

Am Oxford University Museum of Natural History fand eine Besucherbefragung zu 3D-gedruckten Tastobjekten statt²⁶. Die Mehrheit der Museumsbesucher war hier der Ansicht, dass 3D-gedruckte, berührbare Repliken die Besuchsqualität steigerten und dass diese in mehr Museen verfügbar sein sollten²⁷. Die meisten, jedoch nicht alle Besucher sahen dies auch als Besuchsanzreiz. Einige jüngere Kinder bewerteten negativ, dass es sich dabei nicht um Originale handelte. Nahezu alle Studienteilnehmer hatten bereits einmal vom 3D-Druck gehört, doch rund 70 % verstanden die grundlegenden Prozesse nicht.

Am KUNSTEN Museum of Modern Art Aalborg in Dänemark wurde ein Workshop-Format evaluiert²⁸. Dort wurden Lehrer im Anschluss zu ihrer Motivation für den Besuch befragt. Die Lehrer ...

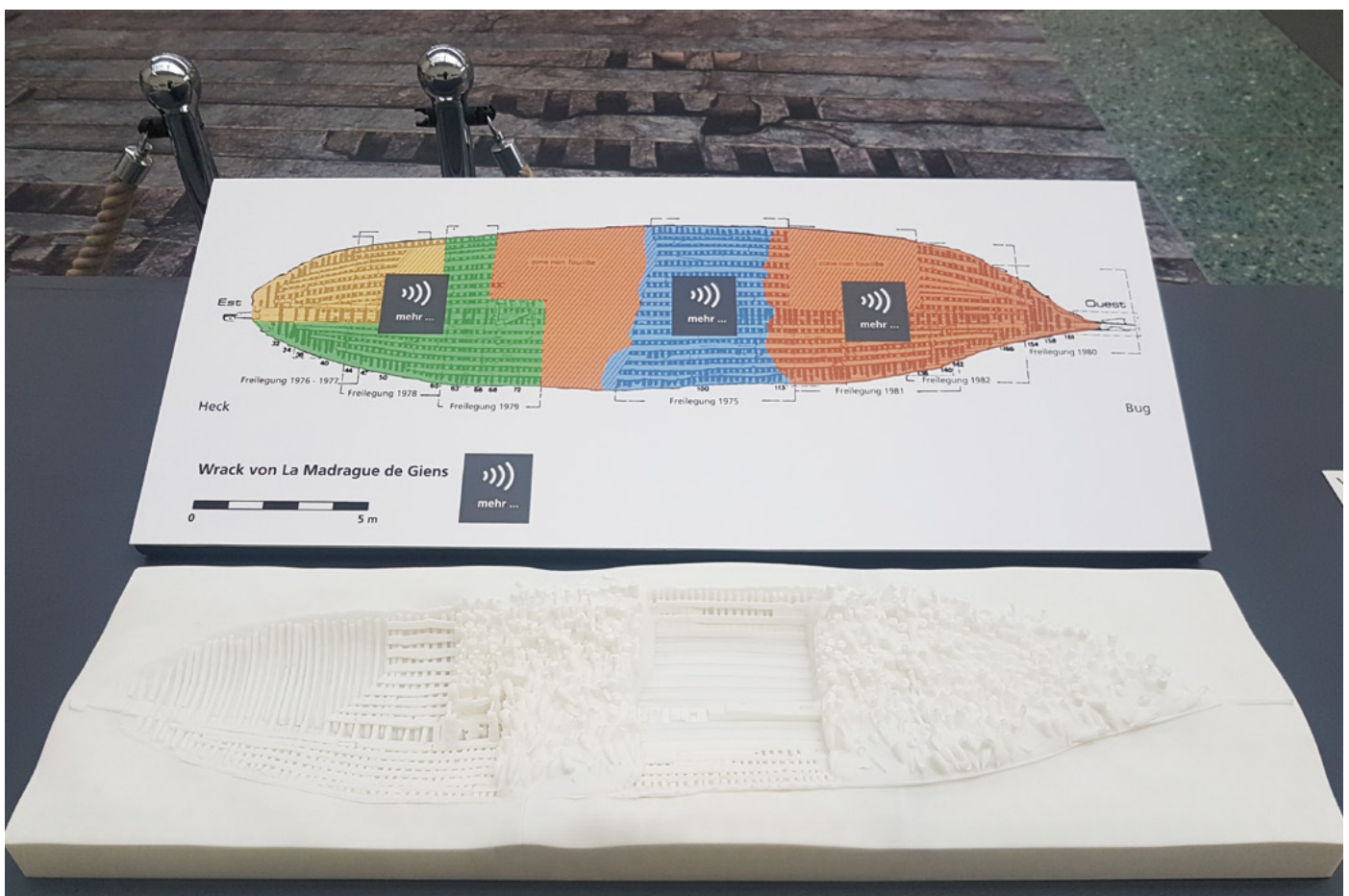


Abb. 6: Tastbarer 3D-Druck des Ausgrabungsbefunds eines römischen Frachtschiffs (Wrack von La Madraque de Giens) im Römisch-Germanischen Zentralmuseum, Mainz (Foto: Dominik Kimmel).

1. ... wollten, dass die Klasse mehr über 3D-Technologie lernt – und dies in Bezug zu Kunst.
2. ... fühlten sich in Bezug auf Technologie und Computer im Allgemeinen inkompetent und wollten dies durch die Teilnahme am 3D-Workshop kompensieren.
3. ... hatten bereits einen 3D-Drucker erworben oder planten dies, fühlten sich aber unsicher, wie sie diesen in Bezug auf ihre Lehre verwenden könnten.
4. ... erfüllten die Wünsche ihrer männlichen Studenten und Schüler, mehr Technologie einzubeziehen.

Die Evaluierung zeigte, dass der 3D-Workshop „Männer jeden Alters anzog und dass Männer oder Jungen die Teilnahme mehrerer Gruppen und Familien an dem Workshop entweder organisiert oder initiiert hatten“²⁹.

Am Bata Shoe Museum in Toronto (Kanada) fand ein Workshop statt, in dem Schüler*innen zunächst in der Theorie Wissen über historische Schuhschnallen sowie 3D-Druck und Design vermittelt wurde. Im Anschluss hatten sie Gelegenheit, eigene Schuhschnallen zu designen und zu drucken. Die Evaluation ergab, dass die Kinder das Wissen aus den Bereichen Schuhschnallen, 3D-Druck und -Design gleichermaßen verstehen und wiedergeben konnten³⁰. 3D-Techniken wurden also eingesetzt, um Museumsinhalte erfolgreich zu vermitteln und den Anschluss an die moderne Lebenswelt der Kinder herzustellen.

Ein umfangreiches Projekt für unterschiedliche Zielgruppen fand 2013 bis 2014 am Arts Institute of Chicago (USA) statt. Das Museum zog hier ebenfalls überwiegend positive Schlussfolgerungen aus Besuchersicht, setzte sich jedoch auch kritisch mit den hohen Anforderungen an Museumsausstattung und Museumspersonal auseinander³¹.

Literatur:

Bandyopadhyay u. a. 2020: A. Bandyopadhyay/T. Gualtieri/B. Heer/S. Bose, Introduction to Additive Manufacturing. In: A. Bandyopadhyay/ S. Bose (Hrsg.) Additive Manufacturing (2. Ausgabe, 2020, Boca Raton) 1–24.

Cooper 2019: C. Cooper, You Can Handle It: 3D Printing for Museums. In: Advances in Archaeological Practice 7/4, 2019, 443–447. Online (23.07.2020): <https://doi.org/10.1017/aap.2019.39>

Jakobsen 2016: L. S. Jakobsen, Flip-flopping museum objects from physical to digital – and back again. Engaging museum users through 3D scanning, 3D modelling, and 3D printing. In: Nordisk Museologi 2016/1, 121–137. Online (23.07.2020): <https://doi.org/10.5617/nm.3068>

Worum geht es in diesem Buch?

Das vorliegende Buch gibt einen Überblick über den 3D-Druck in deutschen Museen: Welche Sparten verwenden ihn, für welche Museumsaufgaben kommt er zum Einsatz, welche Projekte gibt es?

Inhaltlich ergänzt wird die Analyse um das Thema „3D-Druck als Mittel der Inklusion“ und den konservatorischen Erhalt 3D-gedruckter Kunststoffobjekte. Zahlreiche Beispiele aus Rheinland-Pfalz, Deutschland und London rücken dabei die Chancen und Herausforderungen dieser Technologie in den Blick.

Neben einer reinen Bestandserfassung soll das Buch aber vor allem mögliche Berührungspunkte gegenüber dem 3D-Druck im Museum abbauen und Museumsmitarbeiter*innen motivieren, sich mit der Technologie zu beschäftigen, eigene Projekte zu entwickeln und Kooperationspartner*innen für die Umsetzung zu gewinnen. Eine umfassende Projektliste und eine kommentierte Literaturliste werden zur Verfügung gestellt.

Es lohnt sich in jedem Fall, die eigene Institution zum Thema 3D-Druck und 3D-Daten zu befragen: Wie können digitale 3D-Daten, die bereits jetzt erstellt werden, für den 3D-Druck nachgenutzt werden? Welche Rolle kann der 3D-Druck bei der (digitalen) Kulturvermittlung, aber auch bei Forschung und Inklusion spielen?

Der 3D-Druck ist keine neue Technik, aber dennoch ein Zukunftsthema für Museen.

Neely/Rozner 2015: L. Neely/E. Rozner, Museum3D: Experiments in engaging audiences using 3D. Konferenz „Museums and the Web“, 2015. Online (22.07.2020): <https://mw2015.museumsandtheweb.com/paper/museum3d-experiments-in-engaging-audiences-using-3d/>

Späth u. a. 2019: K. Späth/T. Seidl/V. Heinzel, Verbreitung und Ausgestaltung von Makerspaces an Universitäten in Deutschland. In: O-Bib. Das Offene Bibliotheksjournal 3/2019, 40–55. Online (23.10.2020): <https://doi.org/10.5282/o-bib/2019H3S40-55>

Turner u. a. 2017: H. Turner/G. Rech/D. Southwick/R. McEwen/A. K. Dubé/I. Record, Using 3D Printing to Enhance Understanding and Engagement with Young Audiences: Lessons from Workshops in a Museum. In: Curator – The Museum Journal 60, Nr. 3 (2017) 311–333.

Williams 2017: T. Williams, More than just a novelty? Museum visitor interactions with 3D printed artifacts (Abschlussarbeit University of Washington 2017). Online (24.03.2020): <http://hdl.handle.net/1773/39772>

Wilson u. a. 2017: P. Wilson/J. Stott/J. Warnett/A. Attridge/M. Smith/M. Williams, Evaluation of Touchable 3D-Printed Replicas in Museums. Curator – The Museum Journal 60/4 (2017) 445–465.

Younan 2015: S. Younan, Poaching Museum Collections Using Digital 3D Technologies. In: CITAR Journal of Science and Technology of the Arts 7/2, 2015, 25–32. Online (22.07.2020): <https://doi.org/10.7559/citarj.v7i2.152>

Links zu Bildern:

Abb. 1: Zugeschnitten. Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wikipedia_mini_globe_handheld.jpg
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>
3D-Datei des Globus: https://foundation.wikimedia.org/wiki/File:Wikipedia_puzzle_globe_3D_render.zip

Abb. 2: Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Felix_3D_Printer_-_Printing_Set-up_With_Examples.JPG
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

Abb. 3: Quelle: <https://pixabay.com/photos/the-mechanism-of-differential-418198/>

Abb. 4: Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Filament_Driver_diagram.svg
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

- 1 Im Folgenden nach <https://www.nextrembrandt.com> (23.06.2021). In Deutschland berichteten beispielsweise am 16. April 2016 die Süddeutsche Zeitung (<https://www.sueddeutsche.de/kultur/kuenstliche-intelligenz-ein-echter-rembrandt-aus-dem-rechner-1.2949787>) und die Welt (<https://www.welt.de/kultur/kunst-und-architektur/article154421365/3-D-Drucker-erschafft-ein-neues-Rembrandt-Gemaelde.html>), am 11. April 2016 die Frankfurter Allgemeine Zeitung (<https://www.faz.net/aktuell/feuilleton/kunst-und-architektur/the-next-rembrandt-aus-dem-3d-drucker-14170970.html>).
- 2 <https://scholar.google.de> (23.06.2021)
- 3 https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=3D_printing&oldid=1012087750 (Version vom 14. März 2021)
- 4 <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=3D-Druck&oldid=208394441> (Version vom 4. Februar 2021)
- 5 Siehe den Beitrag in dieser Handreichung. Im Anhang findet sich eine Übersicht mit knappen Beschreibungen umgesetzter Projekte.
- 6 Für das Deutsche Museum München ist eine 3D-gedruckte Fassade im Gespräch: <https://www.deutsches-museum.de/presse/presse-2019/fassade/> (23.06.2021)
- 7 <http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/rapid-prototyping> (18.09.2020)
- 8 Vgl. Bandyopadhyay u. a. 2020, 2–4.
- 9 Siehe den Beitrag in dieser Handreichung.
- 10 www.bibliothekerverband.de/sites/default/files/2020-12/Bericht%20zur%20Lage_2016_2017.pdf (18.03.2021)
- 11 <https://www.ideenw3rk.de> (23.10.2020)
- 12 <https://www.stadt-koeln.de/artikel/08195/index.html> (23.10.2020)
- 13 Ein Makerspace oder Fablab (Englisch: fabrication laboratory) ist eine offene Werkstatt, in der digitale Fertigungsverfahren erlernt und ausprobiert werden können. Siehe: <https://www.fablabs.io> (29.01.2021). In Deutschland gibt es den Verbund Offener Werkstätten e. V., siehe: <https://www.offene-werkstaetten.org> (29.01.2021).
- 14 <https://www.slub-dresden.de/mitmachen/slub-makerspace> (23.10.2020)


- 15 Im Folgenden nach: Späth u. a. 2019, bes. 44; 47f.
- 16 https://www.schulentwicklung.nrw.de/cms/upload/Faecher_Seiten/faecheruebergreifend/3D-Druck_in_der_Schule.pdf (27.01.2021)
- 17 <https://fabmobil.org> (22.12.2020)
- 18 <https://kulturlichter-preis.de> (18.03.2021)
- 19 Im Folgenden nach Neely/Rozner 2015, ohne Seitenzahlen.
- 20 Vgl. Wilson u. a. 2017, 445.
- 21 Williams 2017, 46 und 50.
- 22 Vgl. Williams 2017, 51 und Wilson u. a. 2017, 457f.
- 23 Vgl. Cooper 2019 mit zwei konkreten Beispielen aus Cambridge, Großbritannien, in denen die Einbindung der 3D-Drucke in die Ausstellungen nicht optimal gelang.
- 24 Younan 2015, 27.
- 25 <https://www.myminifactory.com/scantheworld/> und https://cdn.myminifactory.com/static/STW_For_Galleries_Archives_and_Museum.pdf (22.12.2020)
- 26 Im Folgenden nach Wilson u. a. 2017, besonders 461.
- 27 Auch bei einer kleinen Studie in den USA empfand die Mehrheit der Befragten den Umgang mit tastbaren 3D-Objekten als positiv: Williams 2017, 39.
- 28 Im Folgenden nach Jakobsen 2016, 124 f. (Übersetzung: Miriam Anders).
- 29 Jakobsen 2016, 135.
- 30 Turner u. a. 2017.
- 31 Neely/Rozner 2015. Die Projektdokumentation findet sich auf der Webseite: <https://archive.artic.edu/museum3d/museum3d.artic.edu/resources/planning-documents-2/index.html> (18.09.2020)



3D-Druck: Was kann gedruckt werden und wie funktioniert Additive Fertigung?

Abb. 1: Automatisierte, auf Fotogrammetrie basierte Scanstraße für Kulturobjekte „CultLab3D“, entwickelt vom Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung (Foto: Fraunhofer IGD 2020).

Miriam Anders

 <https://orcid.org/0000-0001-5027-6310>

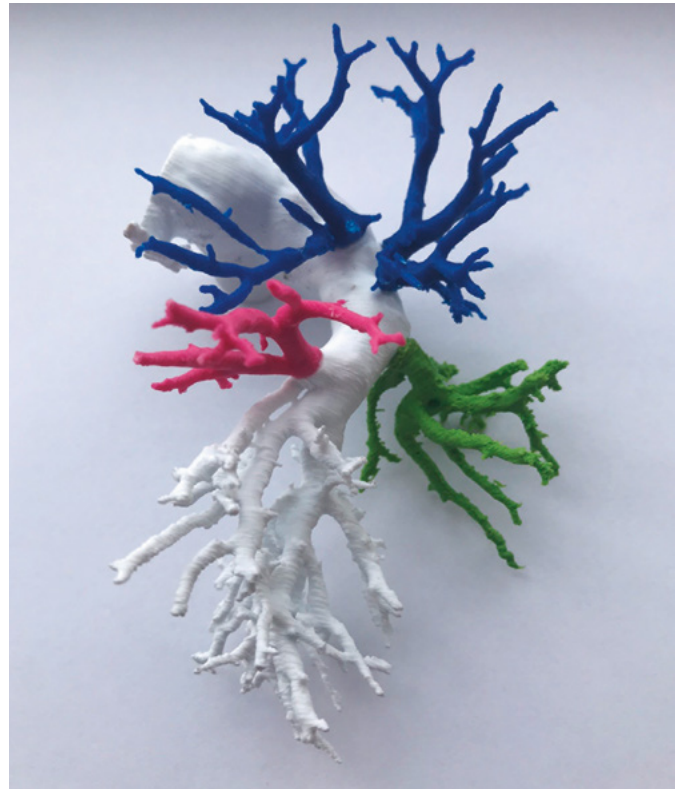
Museen und Industrie haben ein vergleichbares Problem: Für einzelne Projekte oder Prototypen benötigen sie nur kleine Stückzahlen. Was hergestellt werden soll, ist keine Massenware.

Genau hierin liegt die Stärke des 3D-Drucks: Objekte können unabhängig von klassischen Fertigungsmethoden hergestellt werden, die sich oftmals erst ab einer großen Stückzahl rechnen. Darüber hinaus bietet der 3D-Druck eine Alternative zur reinen Handarbeit: Druckmaterialien, Größen und Varianten können rasch getestet und variiert werden.



Abb. 2: Detail einer 3D-gedruckten Brücke über einen Kanal in Gemert, Niederlande (Foto: Marczoutendijk, CC BY-SA 4.0).

Abb. 3: Ein gedrucktes 3D-Modell von Lungenarterien (M. 1:2), das am Europäischen Gesundheitszentrum in Otwock (Polen) zur Planung von Eingriffen verwendet wurde. Einzelne Farben repräsentieren separate Gruppen von Gefäßen (Foto: Jan Witowski, CC BY-SA 4.0).



Damit ist die aktuelle Hauptanwendung bereits umrissen. Die Anzahl und Vielfalt 3D-gedruckter Objekte ist zwar mittlerweile unüberschaubar, doch der größte Anwendungsbereich liegt in der Produktion von Einzelstücken oder kleinen Stückzahlen sowie Produkten mit einer geringen Nachfrage für Nischenmärkte. Beispiele für die Anwendung des 3D-Drucks außerhalb der Museen sind:

- Entwicklung von Prototypen, Einzelstücken und Modellen aller Art
- Herstellung von Spezialwerkzeugen für die industrielle Produktion¹ (z. B. Schablonen, Montagehilfen, Gussformen etc.)
- Ersatzteile (z. B. Braille-Beschriftungen für Bahnhöfe bei der Deutschen Bahn²)
- Architekturmodelle (z. B. für Wettbewerbe³)
- Architekturteile⁴ (z. B. Module oder Teile von Wänden oder Fassaden für Gebäude und Bauwerke, **Abb. 2**)
- Medizinprodukte (z. B. Prothesen, Implantate oder 1:1-Modelle der Organe oder Körperteile von Patient*innen für die Planung von Operationen⁵, **Abb. 3**)
- Individuelles Spielzeug (z. B. Fan-Art zu Produkten bekannter Hersteller⁶)
- Kostüme und Requisiten für die Filmindustrie (z. B. der Iron Man-Anzug⁷)
- Zubehör für Haushaltsgeräte (z. B. seit Mai 2020 bei Miele⁸)
- Individuelle 3D-Porträtfiguren
- Gussformen für Schmuck
- Kreative Projekte aller Art (z. B. selbst designtes Kinderspielzeug, Federn für das Rollenspiel-Kostüm etc.)

Die Verwendung des 3D-Drucks für die Massenproduktion steckt gegenüber der Herstellung von Einzelstücken zwar noch in den Kinderschuhen, doch gibt es bereits jetzt einige Firmen, die die Technik für die Produktion großer Stückzahlen einsetzen. Beispielsweise produziert Adidas damit Schuhsohlen⁹ und auch Airbus verwendet zwecks Gewichtseinsparung mittlerweile 3D-gedruckte Teile im Flugzeugbau¹⁰.

Vorteil und Nachteil: Digitaler Fertigungsprozess

Der größte Vorteil des 3D-Drucks ist zugleich sein größter Nachteil für die Museen: Es handelt sich um einen komplett digitalen Fertigungsprozess. Was am Compu-

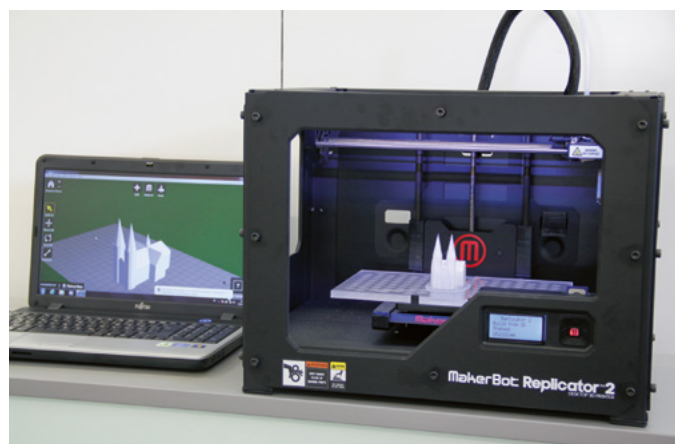


Abb. 4: Vereinfachtes Modell des Kölner Doms als digitale Darstellung in einem CAD-Programm und gedruckt durch einen 3D-Drucker im MINT-Bereich der Stadtbibliothek Köln (Foto: Stadtbibliothek Köln).



Abb. 5: Der Scan-Roboter CultArm3D (Foto: Fraunhofer IGD 2020).

ter als 3D-Modell entworfen wird, kann auch gedruckt werden (**Abb. 4**). Allerdings sind gute EDV-Kenntnisse und eine große Lernbereitschaft notwendig, um komplexere 3D-Modelle am Computer zu erstellen. Bisher gibt es keine Möglichkeit für Museumsmitarbeiter*innen ohne technisches Know-How, eigene Museumsobjekte exakt, schnell und einfach in 3D zu digitalisieren.

An automatisierten Lösungen wird bereits gearbeitet. Beispiele dafür sind die Projekte CultLab3D und Cult-Arm^{3D} der Abteilung „Digitalisierung von Kulturerbe“ am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD¹¹: Eine vollautomatisierte Scanstraße für Kulturgut und ein kompakter 3D-Scanroboter (**Abb. 1**, **Abb. 5**).

Einen guten Eindruck vom gesamten Fertigungsprozess, inklusive der Datenerstellung und dem 3D-Druck mit dem sogenannten **Binder Jetting** bzw. **Pulverdruck**-Verfahren, liefert das kurze Video „How was it made? 3D Scanning & Printing“ des Victoria and Albert Museum (London)¹².

Wie erhält man druckbare Daten?

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, druckfähige digitale 3D-Daten zu erhalten:

1. Verwenden bereits vorhandener 3D-Daten: Auf verschiedenen Online-Plattformen¹³ werden 3D-Modelle von Privatpersonen, professionellen Anbietern und auch Museen oder anderen Institutionen zur Nutzung bereitgestellt. Hier gilt es, Gebühren, Urheberrechte und Lizenzbedingungen zu prüfen. Wichtig: Nicht jedes 3D-Modell ist auch druckbar!
2. 3D-Modelle am Computer erstellen mittels **CAD**-Programm („computer-aided design“, Deutsch: computergestütztes Design): Ohne Fachkenntnisse im Umgang mit **CAD**-Programmen und 3D-Design ist diese Option für die meisten Museen nur mit externer Unterstützung realisierbar.
3. 3D-Scannen eines realen Objekts (**Abb. 6**): Ein Objekt wird unter Verwendung eines mobilen oder stationären 3D-Scanners gescannt, z. B. mit Computertomografie, mit einem Laserscanner oder mittlerweile auch mit einem Smartphone oder Tablet mit entsprechenden Sensoren¹⁴. Nicht alle Oberflächen lassen sich gut abscannen, eine Herausforderung stellen beispielsweise Glas oder generell glänzende Oberflächen dar. Die Messdaten liegen im Anschluss in Form von Punktwolken vor und müssen zu einem druckbaren 3D-Modell umgerechnet werden. Auch diese Option benötigt ohne entsprechende Hardware, Software und Fachkenntnisse in der Regel externe Unterstützung.
4. Fotogrammetrie: Aus zweidimensionalen Fotografien eines Objekts werden unter Verwendung besonderer Programme 3D-Modelle berechnet. Je größer das Können des Fotografen, desto besser werden Bilder und daraus berechnetes 3D-Modell. Das Verfahren eignet sich nicht für alle Arten von Objekten. Probleme verursachen transparente, glänzende Oberflächen oder komplexe Objekte, beispielsweise mit Höhen- und Tiefenstruktur (zum Beispiel Fell, Haare, tiefe Einbuchtungen). Auch hier sind entsprechende Hardware, Software und Fachkenntnisse notwendig.



Abb. 6: Jonathan Beck von Scan The World im Juni 2019 beim 3D-Scannen von Skulpturen am SMK – Statens Museum for Kunst, Kopenhagen. Nicht im Bild: Der an den 3D-Handscanner angeschlossene Laptop zum Monitoring des Fortschritts (Foto: SMK Open/Joakim Sass Züger, CC BY-SA).



Abb. 7: An diesem aus Computertomografie-Daten erstellten Schädel eines Menschen sind die für den 3D-Druck notwendigen Stützstrukturen gut zu erkennen (Foto: Nevit Dilmen, CC BY-SA 3.0).

Welches Druckverfahren ist das richtige?

Sind bereits digitale 3D-Daten vorhanden oder werden diese von einem Dienstleister oder Partner erstellt, so stehen verschiedene Druckverfahren zur Auswahl. Diese arbeiten beispielsweise mit:

- Pulver, das durch Bindemittel, Laser oder Elektro-
nenstrahl verklebt bzw. verschmolzen wird,
- geschmolzenen Materialien, die schichtweise auf-
getragen werden,
- flüssigen Materialien, die durch Laser oder Licht
aushärten.

Welches Verfahren und welches Druckmaterial geeignet ist, hängt vom Einzelfall ab. Die konkreten Anforderungen und das Einsatzgebiet des Exponats, aber auch das verfügbare Budget geben hier den Rahmen vor. Ein Ob-

jekt für die Vermittlung sollte etwa vom Material her haltbarer und stabiler sein als ein Objekt, das stets nur in einer Vitrine ausgestellt wird. Zahlreiche Materialien, die für den 3D-Druck verwendet werden, sind bisher außerdem nicht auf ihre Langzeit-Haltbarkeit untersucht, da die Entwicklung immer neuer Druckmaterialien sehr schnell fortschreitet.

Nicht jedes Verfahren eignet sich für jede Anwendung. Es kommt auf folgende Faktoren an, für welches Verfahren man sich entscheidet¹⁵:

- Gewünschte physikalische Eigenschaften des
Drucks (Haptik, Dauerhaftigkeit des Materials, Far-
bigkeit etc.)
- Geometrie des Drucks (komplexe Formen mit Über-
hängen, Durchbrüchen, filigranen Details)
- Budget (Kosten des Rohmaterials, Kosten durch die
Druckzeit)

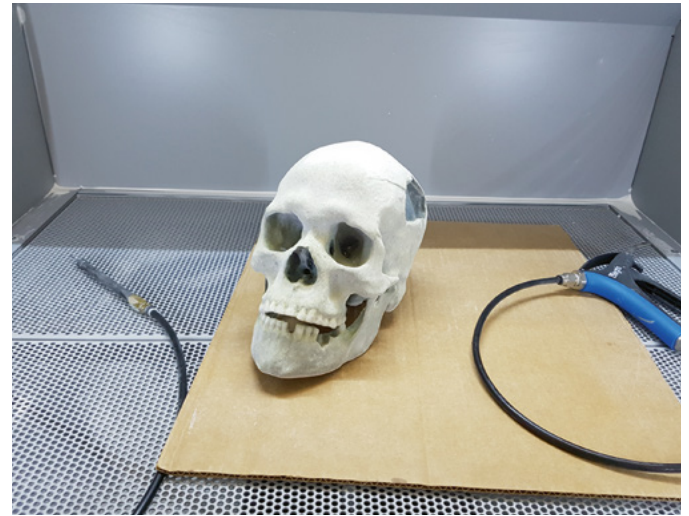
Abb. 8: Rollen mit verschieden-
farbigem Kunststoff-Filament
(Foto: Maurizio Pesce, CC BY 2.0).





Abb. 9: 3D-Druck der Kopie eines menschlichen Schädels (Foto: Curt-Engelhorn-Centrum für Archäometrie Mannheim, Jörg Orschiedt).

Abb. 10: Unter einer Abzugshaube wird der 3D-Druck mit Druckluft von Pulverresten befreit (Foto: Curt-Engelhorn-Centrum für Archäometrie Mannheim, Jörg Orschiedt).



- Größe (begrenzt durch den Bauraum des Druckers, aber auch durch die Faktoren Zeit und Personal, da für den Druck in Einzelteile zerlegte Objekte zusammengesetzt werden müssen)
- Präzision des Druckverfahrens und Druckers, Druckauflösung
- Verfügbares Druckermodell
- Einfachheit der Anwendung des Druckverfahrens für Nicht-Techniker (z. B. für Vermittlungsangebote)

Einen großen Einfluss auf Endpreis, Materialverbrauch und Druckzeit hat das Design: Wie groß ist das Objekt, ist es hohl oder massiv, hat es eine dicke oder dünne Wandstärke, sind zahlreiche Stützstrukturen zum Beispiel für Überhänge (= auskragende Teile) notwendig (Abb. 7)?

Welche Druckmaterialien gibt es?

So vielfältig wie die Druckverfahren sind auch die Materialien für den 3D-Druck. Am weitesten verbreitet sind Kunststoffe, Gips(pulver) und Metalle, üblich sind auch Verbundstoffe aus verschiedenen Materialien.

Das Rohmaterial wird je nach Druckverfahren unterschiedlich aufbereitet und liegt beispielsweise in Form von langen Strängen auf Rollen (sogenanntes **Filament**), als Pulver oder als Flüssigkeit vor (Abb. 8). Die Kosten für das Rohmaterial sind dabei unterschiedlich. Kunststoffe und Gipspulver für den 3D-Druck sind in der Anschaffung eher günstigere Rohmaterialien, Metalle dagegen sind höherpreisig.

Kunststoffe mit Zusätzen, etwa Holz- oder Metallpartikeln, verursachen höhere Kosten als Kunststoffe ohne

Zusätze. Für die Verarbeitung von pulverförmigem Druckmaterial sind zusätzliche Einrichtungen notwendig, wie beispielsweise eine Absaug- und Rückgewinnungsanlage für Pulverreste (Abb. 9, Abb. 10). Auch der Arbeitsschutz muss berücksichtigt werden.¹⁶

Mit hoher Qualität und auf serienmäßig verfügbaren 3D-Druckern können diese Materialien verwendet werden¹⁷:

- **Thermoplaste**, d. h. schmelzfähige Kunststoffe (z. B. **PLA**, **ABS**, **PET/PETG**, **Polyamide** wie z. B. Nylon)
- **Thermoplaste** mit Zusätzen für veränderte Optik, Farbe und Haptik (z. B. Zusätze von Metall, Holz¹⁸, Kork, Sand, Gips, Carbonfasern etc.)
- **Photopolymere**, d. h. flüssige Kunststoffe, die durch UV-Belichtung aushärten (z. B. Kunstharze wie Epoxidharz)
- **Thermoplastische Elastomere** bzw. **Polyurethane**, d. h. flexible, verformbare Kunststoffe, vergleichbar mit Gummi
- Lösliche Kunststoffe für Stützstrukturen (z. B. **HIPS** = High-Impact Polystyrene)
- Gips (in Form von Gipspulver, dem durch den 3D-Drucker ein Bindemittel beifügt wird)
- Metalle (z. B. Aluminium, Stahl, Edelstahl, Titan, Gold, Silber, Bronze, Kupfer, Platin, Messing, weitere Legierungen)
- Keramische Stoffe
- Wachs (z. B. für Gussformen für das **Wachsau-schmelz-Verfahren**)
- Druckmaterialien mit Kohlenstofffasern (Carbon)



Abb. 11: 3D-gedruckte Süßigkeit aus Zucker (Foto: Maurizio Pesce, CC BY 2.0).

Abb. 12: Digitales 3D-Modell einer altägyptischen Bronzefigur der Göttin Bastet im British Museum, London (Foto: Scan The World, CC BY-SA 4.0).



Diesen Druckmaterialien stehen weitere Materialien gegenüber, die im Vergleich einen höheren Preis haben bzw. aufwändig in der Herstellung oder aktuell noch im experimentellen Stadium sind. Ferner gibt es auch günstige und allgemein verfügbare Materialien, deren Verarbeitung jedoch bisher nicht serienmäßig verfügbar oder kostenintensiv ist:

- Lebensmittel: Schokolade, Gelatine (z. B. Gummibärchen), Kartoffelbrei, Teigwaren (Nudeln, Kuchen, Kekse, Muffins, Pfannkuchen etc.), Kaugummi, veganer Fleischersatz, Fleisch, Zuckerguss, Käse etc.¹⁹ (**Abb. 11**)
- Zellstoff (für Produkte aus Papier, z. B. Altpapier²⁰)
- Medikamente mit individuellen Dosierungen²¹
- Glas
- Beton (z. B. für Häuser oder andere Architekturteile)
- Make-up²²
- Organisches Material (z. B. patienteneigene Zellen)
- Druckmaterialien aus organischem Abfall (z. B. erdölfreie Kunststoffe aus Orangenschalen²³)
- Nach dem Druck modellierbares Material, z. B. für künstlerische Anwendungen²⁴

Insbesondere im Bereich der Kunststoffe steht mittlerweile eine sehr große Anzahl von Druckmaterialien zur Verfügung. Angaben zu ihren Druckeigenschaften, ihrer Haptik, Haltbarkeit und Stoßfestigkeit lassen sich auf den Seiten der Hersteller oder Druck-Dienstleister finden. Eine weitere Informationsquelle stellen Online-Portale dar, die sich auf das Thema 3D-Druck spezialisiert haben.

Zwei Beispiele für Druckmaterialien:

- **PLA** (Polylactide = Polymilchsäure) ist aufgrund seiner guten Handhabbarkeit ein beliebtes Druckmaterial. Es ist ein nachwachsender Rohstoff, der aus Maisstärke hergestellt wird. Er ist unter normalen Bedingungen (Raumtemperatur, trocken) sehr haltbar und zugleich biologisch abbaubar. Letzteres betrifft allerdings nur eine industrielle Kompostierung, nicht den heimischen Komposthaufen²⁵.
- **PET** (Polyethylenterephthalat) wird neben dem 3D-Druck häufig für Pfandflaschen aus Kunststoff verwendet und ist recyclebar. Seine Eignung für Anwendungen in der Restaurierung wurde bereits untersucht und positiv bewertet²⁶.

Wie werden druckfähige Modelle und Dateiformate erstellt?

Jeder 3D-Druck beginnt mit der Herstellung bzw. Aufbereitung von 3D-Daten am Computer. Zunächst wird ein sauber strukturiertes, geschlossenes, digitales 3D-Modell benötigt (**Abb. 12**). Rein digitale Modelle können so gestaltet werden, dass sie wie eine Zeichnung auf einem Blatt Papier nur aus Linien bestehen und keine Wandstärke haben. In der realen Welt sind alle Objekte hingegen dreidimensional, auch wenn sie, wie bei einem Blatt Papier, sehr dünn sind.



Abb. 13: Ein sogenannter „Stanford Bunny“ (engl. Stanford Hase) ist ein 3D-Testmodell und besteht ursprünglich aus sehr vielen kleinen Dreiecken. Je größer und gröber die Dreiecke, desto mehr Details des Modells gehen verloren (Foto: Trevorgoodchild, Public Domain).

Für den 3D-Druck muss deshalb ein Objekt eine Wandstärke besitzen – und auch das digitale Modell, das dem Drucker als Vorlage dient. Ein solches sogenanntes Volumenmodell muss außerdem „wasserdicht“ sein und aus vollständigen, dreidimensionalen Körpern ohne Lücken bestehen. Alle „Linien“ müssen geschlossen sein und damit ein Volumen umschließen. Zu diesem Zweck kommen CAD-Programme zum Einsatz²⁷.

Am Beispiel des 3D-Drucks mit kleinen Desktop-Druckern für Kunststoff-Filament auf Rollen sollen im Folgenden die weiteren Schritte erläutert werden: Das fertige digitale 3D-Modell wird als nächstes über eine Schnittstelle des verwendeten Programms in ein spezielles Dateiformat gespeichert, das eine Zwischenstufe zur Druckdatei ist. Gängig ist dafür das .stl-Format. Es gibt verschiedene Vorschläge für die Auflösung der Abkürzung aus dem Englischen: STereoLithography (Deutsch: **Stereolithografie**, eines der ältesten 3D-Druckverfahren), Standard Triangulation Language oder Standard Tessellation Language. Das 3D-Modell besteht im .stl-Format aus vielen einzelnen, zusammengesetzten Dreiecksfacetten (Abb. 13). Neben dem .stl-Format gibt es weitere infrage kommende Dateiformate.

Mit einer speziellen Software wird die soeben erstellte .stl-Datei geöffnet. Dieses sogenannte „Slicer“-Programm (Englisch „slice“, Deutsch: schneiden) „zerschneidet“ die .stl-Datei in einzelne Schichten²⁸. Die Koordinaten dieser Schichten werden als .gcode-Datei gespeichert.

Die **Slicer-Software** speichert weitere Vorgaben für den 3D-Druck in die **.gcode-Datei**, zum Beispiel:

- Temperatur von Druckkopf und Bodenplatte
- Wandstärke
- Angaben zur Stützkonstruktion
- Infill (d. h. Hohlräume werden mit Stützstrukturen gefüllt, z. B. ist bei 0 % Infill das Objekt hohl, bei 100 % Infill ist es massiv) und einiges mehr (Abb. 14).

Die meisten Objekte werden nicht massiv gedruckt, um Material und Zeit zu sparen, sondern haben im Inneren eine Stützkonstruktion (Abb. 15). Wie dicht diese Stützkonstruktion ist und wie sie aufgebaut sein soll, kann in der **Slicer-Software** eingestellt werden.

Die **Slicer-Software** vermittelt also zwischen dem 3D-Modell und dem 3D-Drucker: Die **.gcode-Datei** ist dementsprechend eine Anleitung, die dem Drucker Zeile um Zeile vorgibt, was er als nächstes tun soll. Die Datei kann dem Drucker über eine Speicherkarte, über eine Kabelverbindung zu einem PC oder auch über WLAN übermittelt werden. Bei der Speicherkarte wird diese am Drucker eingesteckt, auf dem Druckerdisplay wird die Datei ausgewählt und der Druck gestartet.

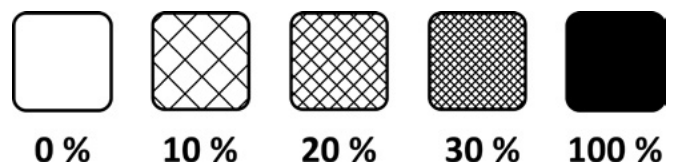


Abb. 14: Schema zu Innenfüllungen (Infill) unterschiedlicher Dichte (Grafik: Miriam Anders).

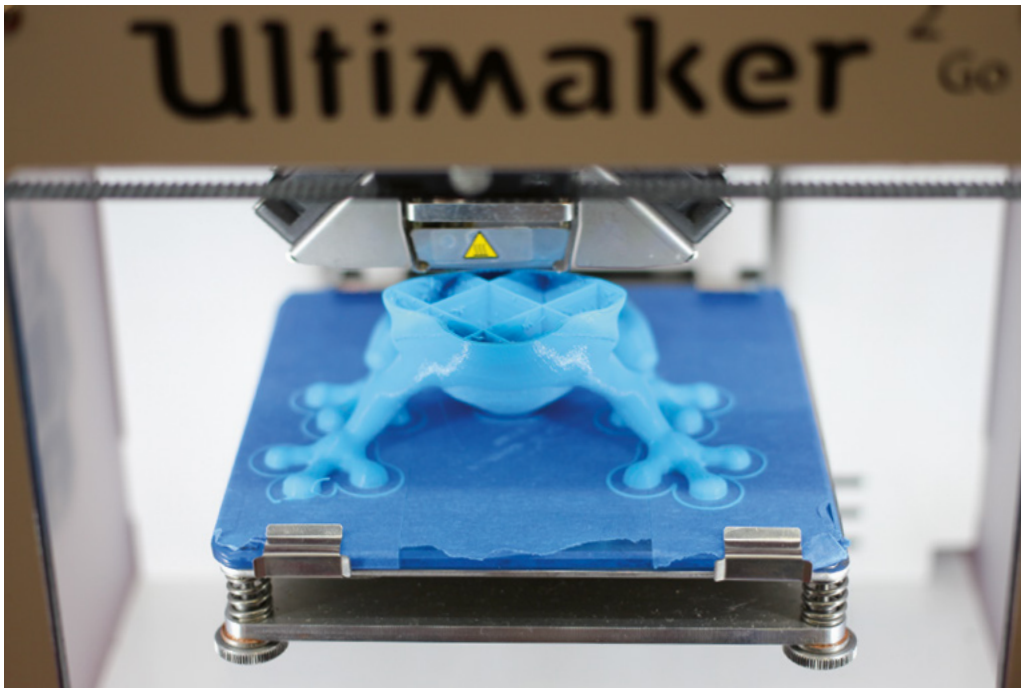


Abb. 15: Bei diesem Frosch ist die innere Stützkonstruktion gut zu erkennen (Foto: Maurizio Pesce, CC BY 2.0).

Zusammenfassung:

1. Wasserdichtes 3D-Modell eines Objekts mit **CAD-Software** erstellen/aus Scandaten oder Bildern berechnen und als **.stl-Datei** exportieren.
2. **.stl-Datei** mit **Slicer-Programm** öffnen, Druckparameter einstellen. Druckdatei als **.gcode-Datei** auf Speichermedium speichern.
3. **.gcode-Datei** am Drucker öffnen und Druck starten.

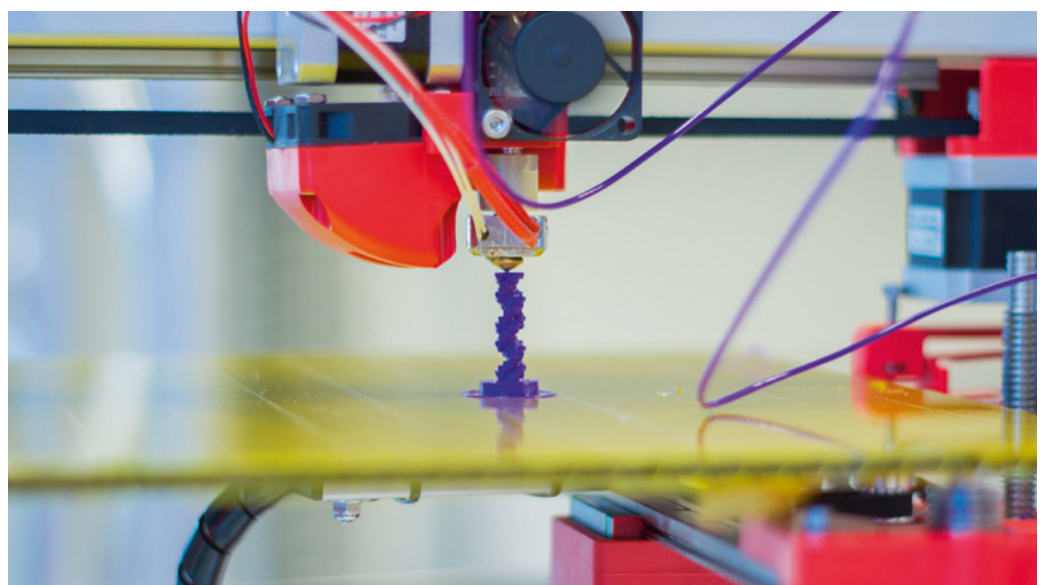
der Schicht wird das Material nur dort aufgebracht, wo es für den Bauprozess des Bauteils erforderlich ist (**Abb. 16**). 3D-Drucker „bemerken“ noch nicht standardmäßig, ob beim Druck etwas falsch läuft, ob also ein Druckfehler entsteht. Er druckt immer nach den Vorgaben der Druckdatei bis zum Ende, sodass bei fehlerhaften Druckvorgängen Abfall entstehen kann. Grundsätzlich ist es aber normal, dass Fehldrucke entstehen können. Bei einer langen Druckdauer ist es wichtig, das Gerät regelmäßig zu kontrollieren, um im Falle eines Druckfehlers den Druck abbrechen zu können.

Häufig verwenden Museen das **FFF**-Verfahren oder das **Binder Jetting**-Verfahren. Beide Verfahren werden, stellvertretend für die zahlreichen verfügbaren 3D-Druckverfahren, nun genauer erklärt.

Wie läuft der 3D-Druck ab?

Der Drucker baut auf Basis der **.gcode-Datei** Schicht für Schicht das reale, physische Modell auf. Das heißt, in je-

Abb. 16: Druckkopf eines 3D-Druckers in Aktion, das Objekt wird von unten nach oben gedruckt. Rechts ist das violette Kunststoff-Filament erkennbar (Foto: Jonathan Juursema, CC BY-SA 3.0).



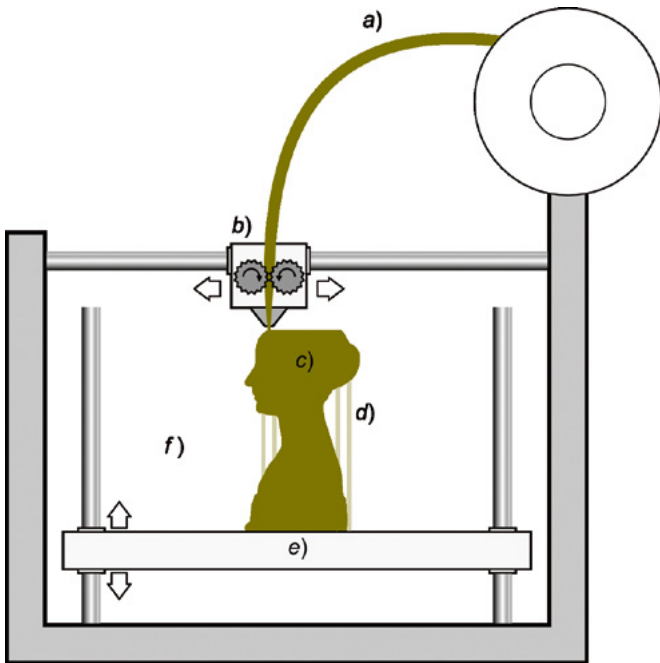


Abb. 17: Schema zum 3D-Druck mit dem FFF-Verfahren
(Grafik: Paolo Cignoni, CC BY-SA 4.0; siehe Scopigno u. a. 2017).

FFF/FDM

Beim **FFF** (Englisch: Fused Filament Fabrication) bzw. **FDM** (Englisch: Fused Deposition Modeling; geschützte Marke der Firma Stratasys) wird das Objekt Schicht um Schicht oder tröpfchenweise aus einem schmelzfähigen Kunststoff, einem sogenannten **Thermoplast**, aufgebaut (**Abb. 17**):

- a) Der Kunststoff wird dem beheizten, beweglichen Druckkopf in Form eines langen, fortlaufenden Strangs, dem **Filament**, zugeführt. Der Druckkopf bewegt sich nur nach rechts und links bzw. vorne und hinten, nicht jedoch nach oben und unten.
- b) Im Druckkopf schmilzt das **Filament** und wird an der richtigen Stelle aufgebracht.
- c) Das gewünschte Objekt entsteht Schicht um Schicht.
- d) Für Überhänge werden Stützstrukturen benötigt.
- e) Das Objekt entsteht auf einer beweglichen Bodenplatte, die sich nach jeder Schicht absenkt. Somit „wächst“ das Objekt in die Höhe.

Der Kunststoff härtet beim Abkühlen aus. Als Material kann zum Beispiel **ABS**, **PLA** oder **PET** verwendet werden.

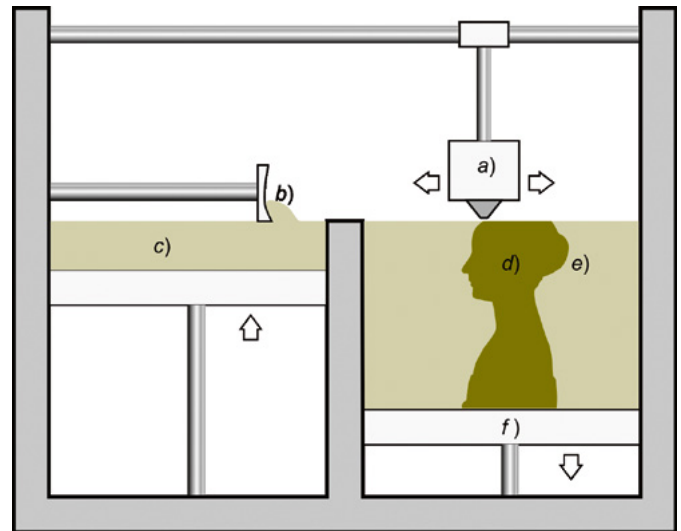


Abb. 18: Schema zum 3D-Druck mit dem Binder Jetting-Verfahren
(Grafik: Paolo Cignoni, CC BY-SA 4.0, siehe Scopigno u. a. 2017).

Binder Jetting bzw. Pulverdruck:

Beim **Binder Jetting** bzw. **Pulverdruck** liegt das Druckmaterial in Pulverform vor, beispielsweise als Gipspulver. Ein Bindemittel verbindet das Pulver und härtet anschließend aus (**Abb. 18**): Die Druckkammer wird mit einer Schicht Pulver gefüllt (b). An den Stellen, an denen das Objekt (d) entstehen soll, wird das Pulver (e) mit einem Bindemittel (Englisch: „binder“) aus dem beweglichen Druckkopf (a) verklebt und somit verhärtet. Die Bodenplatte (f) wird nach jeder Schicht abgesenkt, der Drucker trägt dann eine neue Schicht Pulver aus einem separaten Reservoir (c) auf.

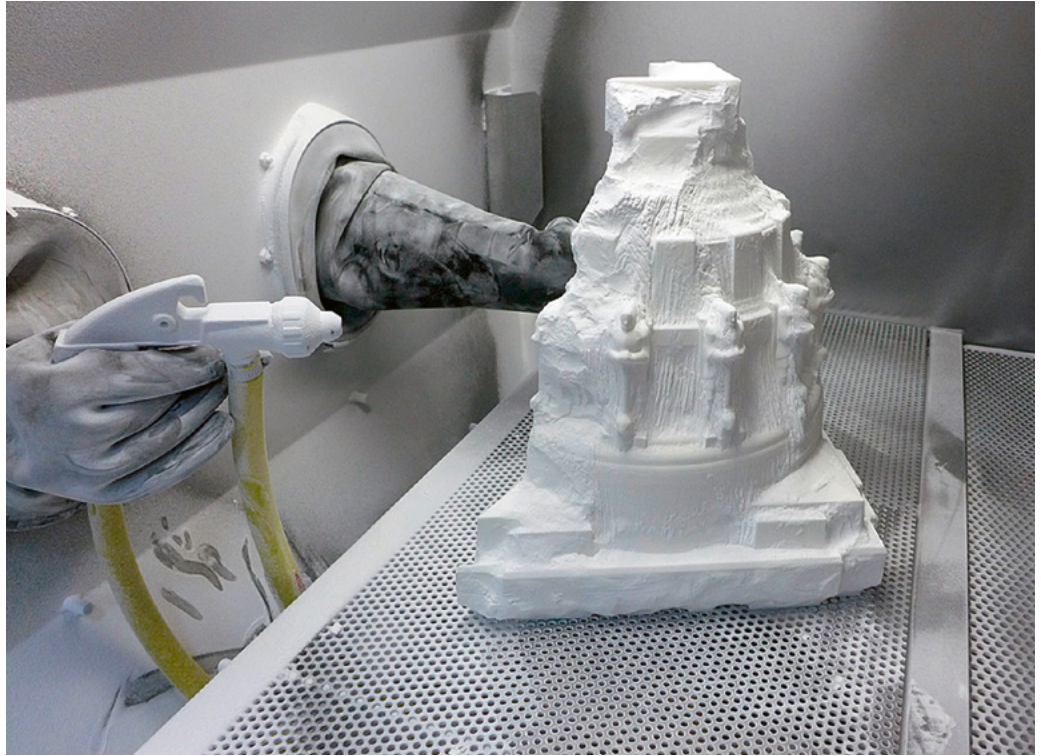
Am Ende des Drucks wird das überschüssige Pulver abgesaugt bzw. mit Druckluft entfernt (**Abb. 19**). Dem Bindemittel können Farben zugemischt werden, sodass mit diesem Verfahren auch Vollfarbmodelle realisierbar sind. Im Anschluss muss das fertige Objekt noch mit einer härtenden Substanz getränkt und getrocknet werden, um es zu festigen.

Welche weiteren Verfahren gibt es?

Daneben gibt es weitere Verfahren, die ebenfalls standardmäßig eingesetzt werden:

Selektives Lasersintern (SLS): Mit Hilfe eines Lasers wird pulverförmiges Kunststoffpulver schichtweise aufgeschmolzen. Der Ablauf ist ähnlich wie beim **Binder Jetting/Pulverdruck**, d. h. das Pulver wird in Schichten aufgetragen.

Abb. 19: Pulverreste werden von einem Tastmodell des Völkerschlachtdenkmals in Leipzig entfernt (Foto: Rapidobject GmbH).



Stereolithografie: Diese Technik ist eines der ältesten 3D-Druckverfahren, es wurde bereits 1984 in den USA zum Patent angemeldet²⁹. Das flüssige Druckmaterial wird durch das Licht eines UV-Lasers verfestigt. Andere, ähnliche Druckverfahren verwenden als Lichtquelle einen Videoprojektor (DLP = Digital Light Processing) oder LCD-Bildschirm. Für letzteres gibt es mittlerweile auch bereits erschwingliche, kompakte Desktopgeräte.

Wie muss der 3D-Druck nachbearbeitet werden?

Je näher der 3D-Druck dem Original kommen soll, desto mehr Aufwand ist bei der Nachbearbeitung notwendig. Bei der Nachbearbeitung sollte auf jeden Fall der Arbeitnehmerschutz beachtet werden, um z. B. das Einatmen von schädlichen Aerosolen oder Feinstäuben zu vermeiden. Mögliche Arbeitsschritte können sein:

- Stützmaterial und überschüssiges Druckmaterial entfernen
- Druckfehler ausbessern
- Glätten, schleifen, feilen, entgraten etc.
- Einzelteile zusammenkleben, Klebefugen abdichten
- Härten, beispielsweise mit Epoxidharz
- Grundieren
- Bemalen
- Lackieren
- Halterungen anbringen

Durch eine sorgfältige Materialauswahl und gezielte Nachbearbeitung wird eine ansprechende Optik und Haptik erreicht.

Wenn das 3D-gedruckte Objekt Aufnahme in die Museumssammlung findet, so sollte bei der Inventarisierung sorgfältig verzeichnet werden, welches Druckermodell, Druckverfahren und Druckmaterial zum Einsatz kam.

Grenzen des 3D-Drucks

Durch 3D-Druck lassen sich keine wirklich identischen Kopien herstellen. Das liegt an den technischen Beschränkungen der Druckverfahren. Die neuen Gegenstände können in verschiedenen Punkten vom Originalobjekt abweichen:

- Material
- Oberflächenstruktur und -textur (Haptik)
- Gewicht
- Temperatur
- Farbigkeit
- Geruch
- Größe

Eine 3D-gedruckte Kopie beispielsweise eines Stofftiers mit gleicher Haptik und Optik ist aktuell nicht machbar: Der 3D-Druck von Textilien ist nicht mit gewebten Textilien vergleichbar. Flauchiges Material lässt sich weder gut 3D-scannen noch -drucken.

Auch die Größe stellt eine Grenze dar: Sehr kleine, filigrane Gegenstände sind eine Herausforderung, ebenso wie sehr große Gegenstände, die sehr lange Druckzeiten benötigen und die man entweder manuell zusammenfügen muss oder für die spezielle, übergroße 3D-Drucker zum Einsatz kommen müssen.

Neben Material und Größe stellt die Farbigkeit der Objekte den 3D-Druck vor größere Herausforderungen. Beim Pulverdruckverfahren lässt sich zwar mehrfarbig drucken – Probleme kann es aber, wie bei einem normalen Papierdrucker, aufgrund der unterschiedlichen Darstellung von Farben am Bildschirm und am Drucker geben. Durch eine entsprechende Kalibrierung des Bildschirms lässt sich dieses Problem verringern. Kunststoffdrucker benötigen außerdem pro Farbe einen

eigenen Druckkopf. Sie sind also in der Farbauswahl eingeschränkt.

Deshalb gilt: Gegenstände, bei denen verschiedene Materialien zum Einsatz kommen oder die aufwendig bemalt und verziert sind, bringen die Technik an ihre Grenzen. Ein gutes Beispiel ist ein 3D-Druck der Reichskrone, der nach einem detailgenauen 3D-Modell für die Kaiserburg in Nürnberg entstand³⁰. Die daran angebrachten Perlen, Edelsteine und Email-Platten lassen sich nicht einfach und realitätsnah 3D-drucken. Allein durch 3D-Druck ohne aufwändige Nachbearbeitung erreicht man bei diesem komplexen Objekt nicht die Optik des Originals. Für klassische Handarbeit gibt es in diesem Fall keinen schnellen und günstigen Ersatz.

Literatur

Boboc 2018: R. G. Boboc/F. Gîrbacia/C. C. Postelnicu/T. Gîrbacia, Evaluation of Using Mobile Devices for 3D Reconstruction of Cultural Heritage Artifacts. In: Duguleană, M./Carrozzino, M./Gams, M./Tanea, I. (Hrsg.) VR Technologies in Cultural Heritage. VRTCH 2018. Communications in Computer and Information Science 904 (2018). Online (14.02.2020): https://doi.org/10.1007/978-3-030-05819-7_5

Hsiao u. a. 2018: W. Wen-Kai Hsiao/B. Lorber/H. Reitsamer/J. Khinast, 3D printing of oral drugs: A new reality or hype? In: Expert Opinion on Drug Delivery 15/1, 2018, 1–4. Online (13.02.2020): <https://doi.org/10.1080/17425247.2017.1371698>

Kohl u. a. 2018: J. Kohl/J. Kaufhold/H. Burkhardt, Additive Fertigung mit holzbasierten Materialien. Materialien – Prozesse – Anwendungsfelder (Dresden 2018). Online (11.02.2020): https://www.ihd-dresden.de/fileadmin/user_upload/pdf/IHD/wissensportal/Broschueren/3D-Druck/Kurzstudie_3D.pdf

Pamer 2015: I. Pamer, Anwendungsmöglichkeiten des Fused Deposition Modeling (FDM) 3D-Druckverfahrens in der Restaurierung. Materialanalyse und Adaption (Berlin 2015, Masterarbeit). Online (20.08.2020): https://www.academia.edu/38947765/Anwendungsmoeglichkeiten_des_Fused_Deposition_Modeling_FDM_3D_Druckverfahrens_in_der_Restaurierung_Materialanalyse_und_Adaption

Scopigno u. a. 2017: R. Scopigno/P. Cignoni/M. Callieri/M. Dellepiane, Digital Fabrication Techniques for Cultural Heritage: A Survey. In: Computer Graphics forum 36/1 (2017) 6–21. Online (13.02.2020): <https://doi.org/10.1111/cgf.12781>

Transferinitiative 2018: S. Wolters, 3D-Druck in der Medizin: Von der Vision unterwegs zur Realität. Pressemeldung der Transferinitiative Rheinland-Pfalz vom 07. Mai 2018. Online (13.02.2020) <http://www.transferinitiative-rlp.de/en/news-und-veranstaltungen/news/detail/3d-druck-in-der-medizin-von-der-vision-unterwegs-zur-realitaet.html>

Umweltbundesamt 2018: Umweltbundesamt (Hrsg.), Die Zukunft im Blick: 3D-Druck. Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen (Dessau-Roßlau 2018). Online (23.09.2019): https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fachbroschuere_3d_barrierefrei_180619.pdf

Unfallversicherung 2019: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (Hrsg.) 3D-Tischdrucker in Schulen. DGUV Information 202-103, Juni 2019.

Witowski u. a. 2019: J. Witowski/S. Darocha/Ł. Kownacki/A. Pietrasik/R. Pietura/M. Banaszkiwicz/J. Kamiński/A. Biederman/A. Torbicki/M. Kurzyńska, Augmented reality and three-dimensional printing in percutaneous interventions on pulmonary arteries. In: Quantitative Imaging in Medicine and Surgery 9/1, 2019, 23–29. Online (21.08.2020): <https://doi.org/10.21037/qims.2018.09.08>

Links zu Bildern:

Abb. 2: Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Detail_of_3D_printed_concrete_bicycle_bridge_in_Gemert_\(NL\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Detail_of_3D_printed_concrete_bicycle_bridge_in_Gemert_(NL).jpg)
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>

Abb. 3: Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_printed_pulmonary_arteries.jpg
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

Abb. 7: Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3DPrinted_skull_20151124090741.jpg
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>

Abb. 8: Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_Printing_Materials_\(16863368275\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_Printing_Materials_(16863368275).jpg)
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>

Abb. 11: Zugeschnitten. Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ChefJet_Candy_3D_Printer_\(16862208982\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ChefJet_Candy_3D_Printer_(16862208982).jpg)
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>

Abb. 12: Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Scan_the_World_-_Gayer_Anderson_Cat,_British_Museum.stl
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

Datei des 3D-Modells: <https://www.myminifactory.com/object/3d-print-gayer-anderson-cat-at-the-british-museum-london-4010>

Objekt in Online-Sammlung: https://www.britishmuseum.org/collection/object/Y_EA64391

Abb. 13: Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stanford_bunny_qem.png
Public Domain.

Abb. 15: Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ultimaker_3D_Printer_\(16656068207\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ultimaker_3D_Printer_(16656068207).jpg)
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>

Abb. 16: Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Felix_3D_Printer_-_Printing_Head.JPG
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>

Abb. 17: Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_representation_of_Fused_Filament_Fabrication_01.png
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>


Abb. 18: Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_representation_of_granular_binding_fabrication.png
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>

- 1 Vgl. <https://www.3dnatives.com/de/additive-fertigung-bei-der-lufthansa-ein-interview-020120201> (19.08.2020)
- 2 <https://inside.bahn.de/3d-druck/> (29.11.2019)
- 3 3D-gedrucktes Architekturmodell für den Wettbewerb des Museums der Bayerischen Geschichte in Regensburg: <https://www.formfab.de/architektur/wettbewerbsmodell/> (13.02.2020)
- 4 In Deutschland wurde 2021 das erste Haus mit 3D-Druck fertiggestellt: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/haus-aus-dem-drucker-101.html> (25.08.2022)
- 5 Transferinitiative 2018, Witowski u. a. 2019.
- 6 <https://www.shapeways.com/blog/archives/16759-hasbro-shapeways-enable-3d-printing-fan-art-with-superfanart.html> (29.11.2019)
- 7 <https://www.3dnatives.com/de/3d-druck-filmwelt-300720201/> (06.08.2020)
- 8 <https://www.miele.de/de/m/3d4u-miele-bietet-3d-druck-vorlagen-fuer-exklusives-zubehoer-zum-kostenlosen-download-5268.htm> (04.08.2020)
- 9 Pressemeldung vom 07.04.2017: <https://www.adidas-group.com/de/medien/newsarchiv/pressemittelungen/2017/adidas-stellt-mit-futurecraft-4d-den-ersten-durch-digital-light/> (29.11.2019)
- 10 <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2018-04-bridging-the-gap-with-3d-printing> (13.02.2020)
- 11 <https://www.cultlab3d.de> (19.08.2020)
- 12 Deutsch: Wie wurde es hergestellt? 3D-Scanning und 3D-Drucken. Dauer: 2:45 min. Siehe: <https://www.youtube.com/watch?v=ztrxeat5s8> (04.08.2020).
- 13 Zum Beispiel: Thingiverse (www.thingiverse.com), MyMiniFactory (www.myminifactory.com), Sketchfab (www.sketchfab.com). Meta-Suchmaschinen sind beispielsweise yeggi (<https://www.yeggi.com>, 04.08.2020) und STLfinder (<https://www.stlfinder.com>, 04.08.2020).
- 14 Boboc 2018
- 15 Eine Übersicht zu Vor- und Nachteilen von Verfahren findet sich hier: Scopigno u. a. 2017, 10 Tab. 1.
- 16 Für Schulen gibt es Empfehlungen für Desktop-Geräte, die mit Kunststoff-Filament drucken: Unfallversicherung 2019.
- 17 Aktuelle Übersichten über Druckmaterialien finden sich in Online-Magazinen, die sich auf das Thema 3D-Druck spezialisiert haben. Sie verfolgen oftmals über den Verkauf von Druckern, Druckmaterial oder Software zusätzlich kommerzielle Interessen.
- 18 Kohl u. a. 2018
- 19 Vgl. <https://www.3dnatives.com/de/3d-lebensmitteldruck-040220191/> (13.02.2020)
- 20 <https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/3d-drucker/zellstoff-3d-drucker-papierpulpprinter-27452453/> (13.02.2020)
- 21 Hsiao u. a. 2018
- 22 Etwa der Mink Printer: <https://www.minkbeauty.com/products/mink-makeup-printer> (13.02.2020)
- 23 Forschungsprojekt am Freiburger Materialforschungszentrum (ab 03:12 min): <https://www.youtube.com/watch?v=NHEaLi7Tr7o> (19.08.2020)
- 24 Über Crowdfunding finanziert, aber aktuell nicht erhältlich, ist Cx5: <https://www.kickstarter.com/projects/adambeaneindustries/cx5-sculptable-filament-for-3d-printers/> (13.02.2020)
- 25 Umweltbundesamt 2018
- 26 Pamer 2015.
- 27 Z. B. TinkerCAD, Blender, Fusion 360, AutoCAD und viele weitere mehr. Manche Programme sind kostenlos, andere eher hochpreisig und nur im Monatsabonnement verfügbar.
- 28 Z. B. Slic3r, Cura, PrusaSlicer, Simplify3D. Slicer-Programme sind häufig kostenlos verfügbar. Manche Druckermodelle benötigen eine vom Hersteller angebotene Slicer-Software.
- 29 <https://3druck.com/featured/charles-chuck-hull-wie-alles-begann-3621576/> (16.09.2020)
- 30 Vgl. den Beitrag über die 3D-gedruckte Krone in der Br24-Abendschau vom 27.09.2016: <https://de-de.facebook.com/BR24/videos/10154402939870336/> (17.02.2021)

Museen in Deutschland und der 3D-Druck: Eine Bestandsaufnahme



Miriam Anders

 <https://orcid.org/0000-0001-5027-6310>

Zahlreiche Museen in Deutschland haben sich bereits mit dem 3D-Druck beschäftigt. Doch in welchen Bereichen haben sie ihre Projekte umgesetzt? Was wurde gedruckt? Und welche generellen Aussagen lassen sich zur Nutzung dieser Technik durch Museen treffen?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden zwischen Januar 2019 und März 2020 insgesamt 203 3D-Druckprojekte von 140 Museen recherchiert¹ (Abb. 2). Um berücksichtigt zu werden, musste ein Projekt zwei wesentliche Bedingungen erfüllen: Zum einen der Einsatz von 3D-Druck, zum anderen die Beteiligung eines deutschen Museums, sei es als Auftraggeber, Datenlieferant, Kooperationspartner oder als Veranstalter.

Die so entstandene Projektübersicht ist nicht vollständig. Sie stellt vielmehr die Spitze eines Eisbergs dar. Manche Bereiche sind in der Übersicht sicherlich unterrepräsentiert. Dies betrifft beispielsweise Projekte aus der Anfangszeit des 3D-Drucks, nicht oder nur analog publizierte Projekte und solche mit ausschließlich analoger oder regionaler Berichterstattung. Dennoch zeigt dieser erste deutschlandweite Überblick, wie der 3D-Druck durch deutsche Museen in der Breite eingesetzt wird und welche Rolle er in der Museumsarbeit spielt.

Abb. 1: Foyerausstellung „supported experiments“ (14.12.2018 bis 27.01.2019) im Staatlichen Museum für Archäologie Chemnitz (smac): Studenten verwendeten archäologische Funde sowie deren Dokumentation als Inspiration für eigene, experimentelle Formstudien, die 3D-gedruckt wurden (Foto: Ines Bruhn).

Welche Museumssparten drucken?

Die Projekte zeigen deutlich, dass der 3D-Druck je nach Museumskategorie² unterschiedlich oft zur Anwendung kommt. Spitzenreiter sind Kunst- sowie naturwissenschaftliche und technische Museen (Abb. 3). Ihnen folgen historische und archäologische Museen sowie Museen mit orts- und regionalgeschichtlichem, volkskundlichem oder heimatkundlichem Sammlungsschwerpunkt. Das Schlusslicht bilden aktuell naturkundliche Museen, kulturgeschichtliche Spezialmuseen sowie Schloss- und Burgmuseen.

Kunstmuseen sind aufgrund ihres thematischen Schwerpunkts bereits mit modernen Fertigungsverfahren konfrontiert, werden diese doch häufig von Künstler*innen, Designer*innen und Kunsthandwerker*innen eingesetzt. Diese Museen setzen den 3D-Druck außerdem im Rahmen künstlerisch-kreativer Workshops und museumspädagogischer Begleitprogramme ein.

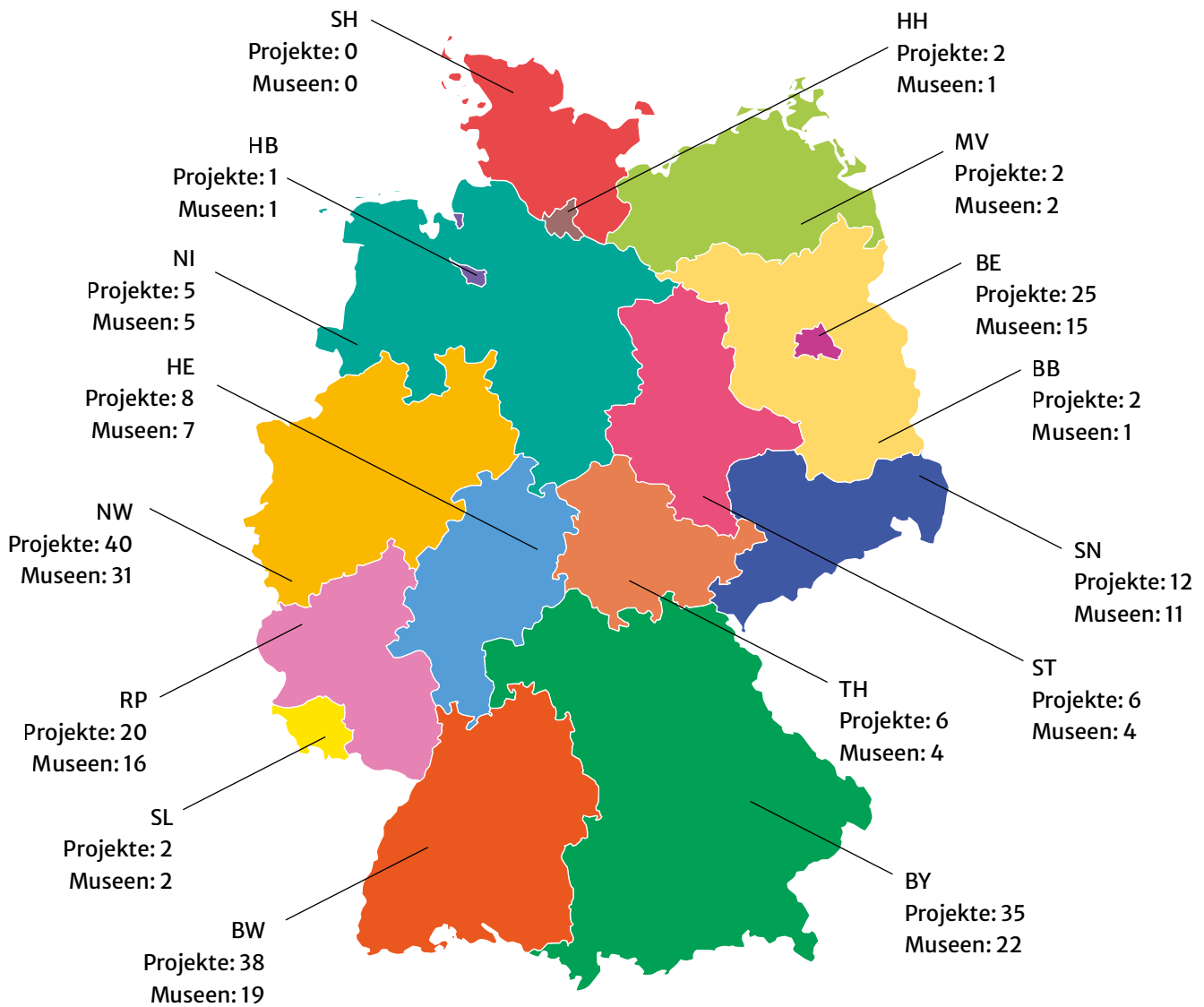


Abb. 2: 3D-Druckprojekte und Anzahl der beteiligten Museen in Deutschland nach Bundesländern (Grundlage: David Liuzzo, BY-SA 2.0. Bearbeitung: Miriam Anders).

Dass naturwissenschaftliche und technische Museen den 3D-Druck für sich entdeckt haben, ist angesichts ihrer inhaltlichen Schwerpunkte nicht überraschend. Auch Museen, die sich auf technische Spezialthemen konzentrieren, beschäftigen sich überdurchschnittlich oft mit dem 3D-Druck. Konkrete Beispiele hierfür sind das Deutsche Uhrenmuseum in Furtwangen oder das Hallesche Halloren- und Salinenmuseum in Halle.

Beim Blick auf die historischen und archäologischen Museen zeigt sich, dass die letzteren Museen mit 29 von 37 ausgewerteten Projekten eindeutig in der Mehrheit sind. Denkmalpflege und Archäologie nutzen typischerweise naturwissenschaftlich-technische Methoden und haben sich in der Vergangenheit mit 3D-Techniken bereits intensiv auseinandergesetzt³. Christof Flügel von der Landesstelle für die nichtstaatlichen Museen in Bayern stellt außerdem fest⁴: „In Bayern ist der 3D-Druck eine Standard-Vermittlungstechnik in archäologischen Museen geworden.“

Unter den Museen mit orts- und regionalgeschichtlichem, volkskundlichem oder heimatkundlichem Sammlungsschwerpunkt sind Stadtmuseen und ortsgeschichtliche Museen beim 3D-Druck stark vertreten, kleine heimatkundliche Museen dagegen weniger häufig.

Neben einer möglichen Affinität bestimmter Museumstypen für den 3D-Druck lässt sich die festgestellte Ungleichverteilung auch mit einer unterschiedlich ausgeprägten Öffentlichkeitsarbeit erklären: Nicht immer wird in Berichten und Pressemeldungen explizit erwähnt, dass der 3D-Druck zum Einsatz kam. Solche Projekte hatten dann eine geringere Chance, bei der Recherche für diesen Beitrag gefunden zu werden.

Grundsätzlich gilt aber: Alle Museumssparten verwenden den 3D-Druck, nur tun oder kommunizieren sie dies in unterschiedlicher Intensität.

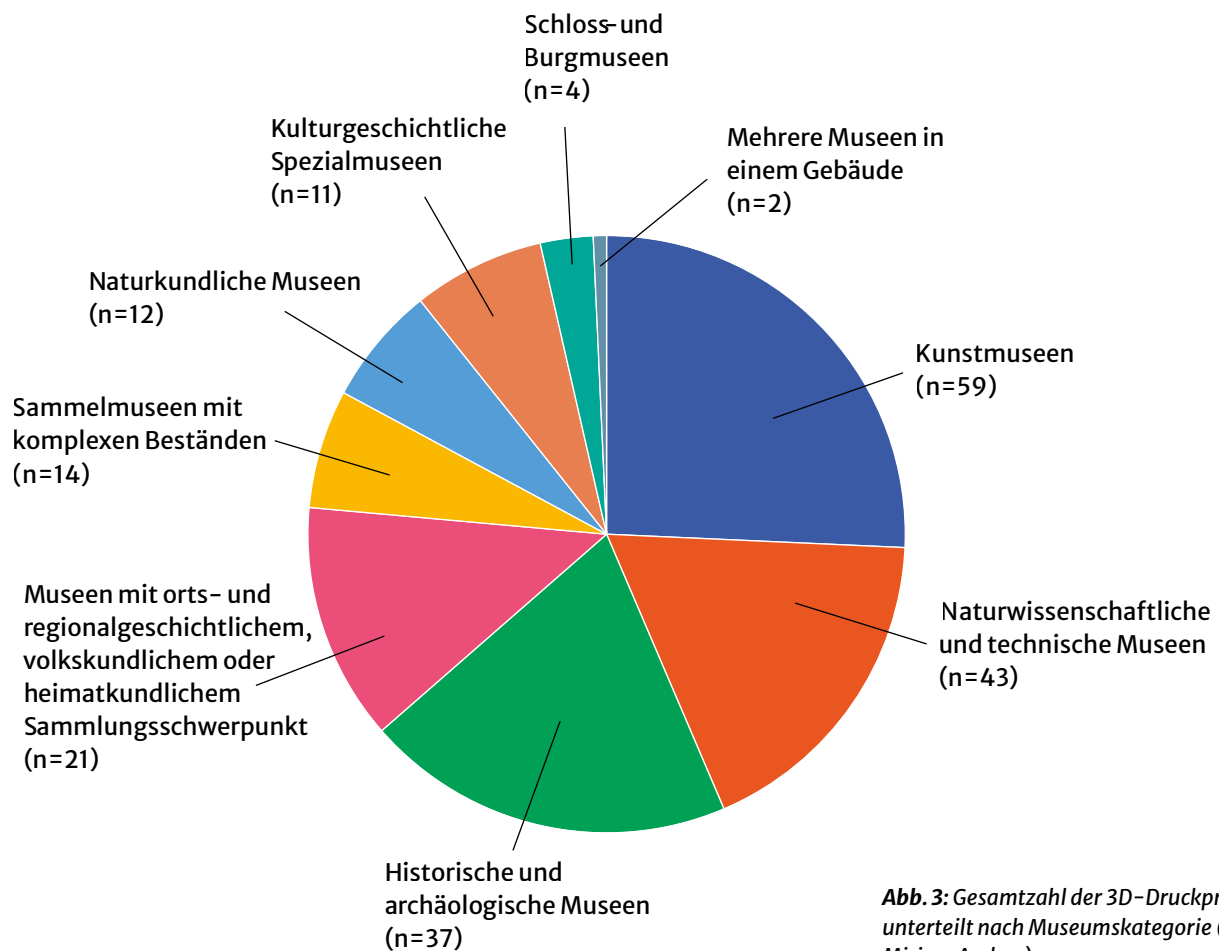


Abb. 3: Gesamtzahl der 3D-Druckprojekte, unterteilt nach Museumskategorie (Grafik: Miriam Anders).

Drucken haupt- oder ehrenamtlich betriebene Museen?

Über die durchschnittliche Größe eines Museums, das 3D-Druck einsetzt, kann keine verlässliche Aussage getroffen werden, da Kennzahlen zur Anzahl der Mitarbeiter*innen oder Besucher*innen nicht erhoben oder untersucht wurden.

Dem Augenschein nach handelt es sich aber meist um größere Museen mit hauptamtlichen Mitarbeiter*innen. Kleine, rein ehrenamtlich geführte Museen wirken eher unterrepräsentiert. Möglicherweise sind sie aufgrund der Altersstruktur ihrer Mitarbeiter*innen, einer kleinen Zahl „aktiver“ Ehrenamtlicher und/oder der begrenzten finanziellen Kapazitäten und Mittel (etwa für eine Beauftragung von Dienstleistern) im Nachteil, wenn es darum geht, digitale Methoden einzusetzen.

Wie wird der 3D-Druck genutzt?

Museen verwenden alle ihnen zur Verfügung stehenden Optionen, um den 3D-Druck einzusetzen oder Wissen darüber zu vermitteln: 3D-gedruckte Exponate „hinter Glas“, Tastobjekte, interaktive Medienstationen, offene oder buchbare Workshops für verschiedene Altersstufen, Ausstellungsbereiche mit Texten und Exponaten direkt zum 3D-Druck, Vorträge, partizipative Angebote sowie Dauer- und Sonderausstellungen. Auch im Be-

reich des Museumsshops oder der Innen- und Außenarchitektur gibt es erste Ansätze.

Folgende drei Hauptanwendungsgebiete in der praktischen Museumsarbeit lassen sich umreißen:

1. Informative Ausstellungen über 3D-Druck (inklusive **Maker Faires** und **FabLabs**).
2. Scannen und Kopieren von Originalen für praktische Forschungen und Bildungsarbeit; die Originale können fragil sein und müssen nicht berührt werden.
3. Restaurierung beschädigter Artefakte und Exponate.

Für Deutschland zeigt sich außerdem, dass ein starker Fokus auf den Bereichen Ausstellungsbetrieb und Museumspädagogik liegt. Weitere Anwendungsbereiche sind deshalb:

4. 3D-gedruckte Objekte als Exponate oder Teile einer Medienstation; sie vermitteln in diesem Zusammenhang Inhalte zu einem Museumsthema und nicht nur speziell zum 3D-Druck.
5. Einsatz von 3D-Druckern im Rahmen von museumspädagogischen Angeboten, deren Ziel aber in der Regel ebenfalls die inhaltliche Vermittlung von Museumsthemen ist.

Gemeinsam ist es leichter: Kooperationspartner

Museen arbeiten zumeist mit unterschiedlichen Projektpartnern, um 3D-Projekte zu realisieren. Neben Druckdienstleistern und Firmen, die sich auf die Herstellung interaktiver Ausstellungsmedien spezialisiert haben, sind dies beispielsweise:

- Andere Museen, die über Expertise oder Originalobjekte (oder Teile davon) verfügen
- Öffentliche oder öffentlich geförderte Institutionen, beispielsweise Einrichtungen der Denkmalpflege, Kulturämter oder Forschungszentren
- Universitäten und Hochschulen mit inhaltlich zum Museumsschwerpunkt passenden Fachbereichen und Instituten. Daneben aber auch häufig Institute für: Architektur, Gestaltung, Design, Kunst, angewandte Kunst, Informations- und Messtechnik, Datenverarbeitung, Computerwissenschaften und Technik (Abb. 1)
- Künstler*innen

Beispiel: Das verschwundene Medaillon

Das Grassi Museum für Völkerkunde in Leipzig beherbergt eine Grabplatte von Christian Fürchtegott Gellert, bei der das in die Platte eingelassene Medaillon mit dem Bildnis Gellerts verschwunden war. Das Gellert-Museum in Hainichen wiederum verfügt über einen erhaltenen Gipsabguss dieses Medaillons. Durch die Zusammenarbeit und Verwendung eines 3D-gedruckten Kunststoffmodells konnte 2015 ein Nachguss in Bronze für das Grassi Museum für Völkerkunde hergestellt werden⁶ (Abb. 4).

Recht selten ist die Zusammenarbeit mit **FabLabs** bzw. **MakerSpaces**⁷ vor Ort, obwohl in Deutschland mittlerweile rund 60 davon existieren, allerdings sind diese geografisch nicht gleichmäßig über die Bundesrepublik verteilt⁸. Auch einige Bibliotheken bieten 3D-Drucker zur Nutzung für Bürger*innen an, beispielsweise die Stadtbibliothek in Ludwigshafen am Rhein im sogenannten „Ideenw3rk“⁹ oder die Stadtbibliothek Köln, die bereits mit musealen Partnern arbeitete¹⁰ (Abb. 5). Auch sie sind potenzielle Kooperationspartner für Museen, da sie entsprechende Geräte besitzen und Erfahrung im Umgang mit Kund*innen und Geräten sowie mit der Durchführung von Workshops haben.

Der eigene 3D-Drucker im Museum

Wenn Veranstaltungen oder Workshops nur einmalig stattfinden, stellen Kooperationspartner oder Dienstleister den Museen die 3D-Drucker (und gelegentlich auch das qualifizierte Personal für die Durchführung)



Abb. 4: Grabplatte des Christian Fürchtegott Gellert im Grassi Museum für Völkerkunde (Leipzig) mit einem bronzenen Nachguss des verlorenen Porträtmedaillons. Als Basis für den Nachguss diente ein Kunststoff-3D-Druck eines Gipsabdrucks des Medaillons im Gellert-Museum in Hainichen (Foto: King.leon.sons, CC BY-SA).



Abb. 5: Neben dem Eingang zur Zentralbibliothek in Köln findet sich im „MINTspace“ ein 3D-Drucker. Diese Aktionsfläche bietet auch einen Miniroboter, einen Plotter, eine VR-Brille und wechselnde Experimentierstationen (Foto: Jörg Neumann).

oftmals zeitlich befristet zur Verfügung. Einige Museen besitzen aber inzwischen auch eigene 3D-Drucker, da insbesondere 3D-Drucker für Kunststoffe für Museen und Einzelpersonen erschwinglich geworden sind.

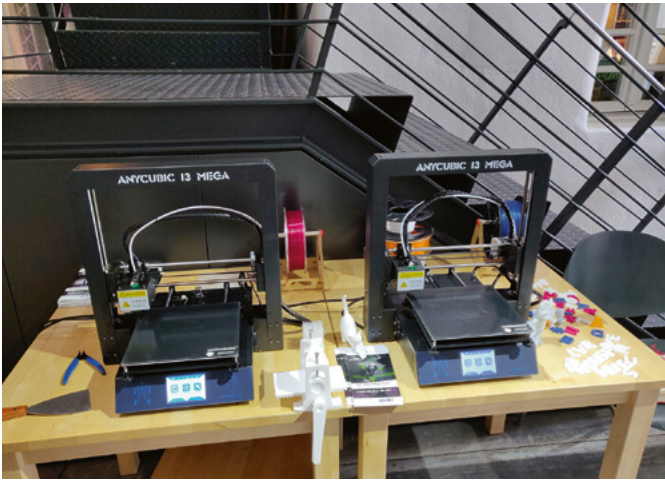


Abb. 6: Die beiden museumseigenen 3D-Drucker der Papiermühle Alte Dombach werden im Rahmen von Workshops für Schüler*innen eingesetzt, gedruckt werden kleinere Projekte wie etwa einzelne Buchstaben oder Zahlen (Foto: LVR-Industriemuseum).

Entsprechende Geräte mit kleinem Bauraum werden etwa von der Papiermühle Alte Dombach (LVR-Industriemuseum Schauplatz Bergisch Gladbach) verwendet. Die Papiermühle kaufte im Frühjahr 2019 handelsübliche 3D-Desktop-Drucker und setzte diese seither beim Museumsfest sowie auch bei Schülerworkshops rund um das Thema Papierschöpfen und Papierdruck ein¹¹ (Abb. 6).

Zum Teil kommen auch teurere Spezialgeräte zum Einsatz: Das Porzellanikon in Selb erwarb beispielsweise 2020 für rund 3.000 € einen speziellen Keramikdrucker, der zunächst Teil einer Sonderausstellung war¹². Auf dem museumseigenen YouTube-Kanal stellt das Porzellanikon in dem Video „Porzellan aus dem 3D-Drucker“ das Gerät selbst vor¹³.

Nicht immer bleibt der 3D-Drucker allerdings nur hinter den Kulissen. Er kann auch selbst Teil einer Sonder- oder Dauerausstellung sein. In der Dauerausstellung „AutomobilBAU“ des Technoseums in Mannheim etwa druckt seit März 2017 fortlaufend ein Gerät Teile eines Spielzeugautos. Besucher*innen können diese Teile mit einem Roboter zu festen Zeiten vor Ort zusammenbauen. Die Mini-Autos werden außerdem im Museumsshop verkauft¹⁴.

Insgesamt investieren bisher nur wenige Museen in eigene Geräte. Hürden für eine Anschaffung könnten sein:

- Benötigte technische Fähigkeiten
- Anschaffungs- und Betriebskosten
- Platzbedarf zur Aufstellung des Geräts
- Fehlende wahrgenommene Bedarfe bzw. fehlende Einsatzmöglichkeiten

Beim Einsatz eigener Geräte muss in jedem Fall immer der Arbeitsschutz und der Gesundheitsschutz von Teilnehmer*innen berücksichtigt werden. Für Schulen gibt es bereits eine Handreichung der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, die Museen insbesondere bei der Anwendung von Kunststoffdruckern in der Museumspädagogik zurate ziehen können¹⁵. Weitere Publikationen zu Emissionen und Empfehlungen zur Gefährdungsermittlung sind in Arbeit¹⁶.

Abb. 7: Szene aus der Sonderausstellung „Archäologie und Playmobil: Römisch Way of Life“ (26.11.2017 bis 15.09.2019), in der Bildmitte ein römischer Tempel mit Säulenumgang. Die Gussform für das Dach sowie die Säulen wurden 3D-gedruckt (Foto: Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg, Manuela Schreiner. Tempelmodell: Fabian Maier).





Abb. 8: Teil eines Gesichtsschutzvisiers (Foto: ZKM – Zentrum für Kunst und Medien, Christian Lölkes).

Beispiele für Museen mit eigenen 3D-Druckern

Das **Deutsche Museum** in München hat eine ganze Flotte an 3D-Druckern im Einsatz. Neben Geräten für die Vermittlung werden in der Modellbauwerkstatt und im Elektroniklabor Halterungen, Modellteile und vieles mehr für die Dauerausstellung hergestellt¹⁷.

An den **Reiss-Engelhorn-Museen** in Mannheim können Objekte auf einem Vollfarb-3D-Drucker (ZPrinter® 850) im **Pulverdruck**-Verfahren gedruckt werden. So wurde beispielsweise eine peruanische Frauenmumie mit geschlossenen Händen im Computertomografen gescannt; dabei fand man heraus, dass sie zwei Milchzähne zwischen den Fingern hielt. Diese Milchzähne konnten nach den digitalen Daten des Computertomografen 3D-gedruckt und so sichtbar gemacht werden, ohne die Mumie zu beschädigen¹⁸.

Beim **Archäologischen Landesmuseum Baden-Württemberg** in Konstanz bleibt der 3D-Drucker für Kunststoff hinter den Kulissen: Das Museum produziert damit Teile für die regelmäßig stattfindenden Familien-Sonderausstellungen zum Thema „Archäologie und Playmobil“¹⁹ (**Abb. 7**).

Das **ZKM Karlsruhe** (Zentrum für Kunst und Medien) druckte 2020 im Zuge der Corona-Pandemie im hauseigenen Rapid Prototyping Lab (Teil des sogenannten Hertz-Labors) sogar Schutzvisiere für das Städtische Klinikum Karlsruhe²⁰ (**Abb. 8**).



Abb. 9: Visualisierung der geplanten Fassade, die auch dämmende und belichtende bzw. verschattende Wirkung haben soll (Abbildung: Architekten Schmidt-Schickentanz und Partner GmbH/3F Studio, Visualisierung: nuur.nu).

3D-Druck als Werbeträger

Für die Öffentlichkeit kann die Tatsache, dass ein Objekt für das Museum 3D-gedruckt wurde, ein interessanter und spannender Hinweis sein. Wenn Museen diese Zusatzinformation im Rahmen ihrer Öffentlichkeitsarbeit erwähnen, können sie damit etwa demonstrieren, dass sie innovative Techniken verwenden oder sich zunutze machen.

Es gilt sicherlich abzuwägen, welche Informationen für potenzielle Besucher*innen angesichts beschränkter Textmengen in der Öffentlichkeitsarbeit wirklich wichtig sind. Dabei sollte aber das Interesse für den 3D-Druck keineswegs unterschätzt werden. Für Gäste kann es ein eigenständiger Besuchsanzieher sein, etwas über den 3D-Druck zu erfahren. Für Museen bietet sich die Chance, neben fachlichen Inhalten auch Wissen über moderne Museumsarbeit zu vermitteln.

Beispiele für den Bereich Öffentlichkeitsarbeit

Für die Dauerausstellung der **Kaiserburg in Nürnberg** entstand eine 3D-gedruckte Kopie der Reichskrone auf Basis eines aufwändigen 3D-Modells des 3D-Künstlers Henning Kleist. Sie wurde von Markus Söder, damals Bayerischer Staatsminister der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat, im Sommer 2016 präsentiert und kostete rund 20.000 €²¹. Berichte erschienen etwa auf mittelbayerische.de (Online-Angebot der Mittelbayerischen Zeitung), nordbayern.de (Nürnberger Nachrichten/Nürnberger Zeitung) sowie in der Abendschau bei BR24 (Bayerischer Rundfunk)²².

Überregional berichtet wurde auch über die geplante 3D-gedruckte Fassade für das **Deutsche Museum in München** aus recycelbarem **PETG**²³ (Abb. 9).

Museumsaufgabe: Sammeln

Insbesondere im Bereich der zeitgenössischen Kunst, des Kunsthandwerks und des Designs besteht bereits seit den Anfängen des 3D-Drucks für Museen die Aufgabe, damit hergestellte Werke zu sammeln und zu bewahren. Eine besondere Herausforderung sind 3D-gedruckte Kunststoffobjekte, zu deren Langzeiterhaltung es bisher wenig Forschungen gibt²⁴.

Künstler*innen, die mit 3D-Druck arbeiten und bereits in deutschen Museen ausgestellt haben, sind etwa Karin Sander²⁵ (verkleinerte Figuren von Besuchern), Adrian Schoormans (Installation „body incoming“ mit 1:1-Modell des eigenen Skeletts nach MRT-Daten²⁶), Andreas Greiner („monument for the 308“, ein mehr als sieben Meter hohes Skelett eines Masthahns²⁷) oder Künstler*innen, die mit Porzellan arbeiten²⁸.

Das Vitra Design Museum (Weil am Rhein) sammelte beispielsweise 3D-gedruckte Stühle verschiedener Designer aus unterschiedlichen Materialien. Der „Sinterchair“ (2002) von Vogt + Weizenegger²⁹ oder der „Solid C2“ (2004) von Patrick Jouin³⁰ sind in der Online-Sammlung des Museums digital zugänglich.

Das Deutsche Buch- und Schriftmuseum der Deutschen Nationalbibliothek in Leipzig erwarb sogar einen 3D-Drucker als Sammlungsobjekt³¹.

Während bei den genannten Beispielen naheliegt, dass es sich um für das Museum erhaltenswerte Objekte handelt, ist es für Besucher*innen mitunter schwierig zu erkennen, ob ausgestellte Objekte Teil der Sammlung sind: So waren bereits wenige Wochen nach Eröffnung des Zukunftsmuseums „Futurium“ in Berlin in einem Ausstellungsbereich zum 3D-Druck verschiedene Objekte von Besuchern abgebrochen und entwendet worden³². Die Objekte waren an einer Wand auf kleinen

Tablaren zum Teil angeklebt, zum Teil mit kleinen Hauben abgedeckt ausgestellt. Es handelte sich also um Exponate, aber eben nicht um Unikate oder wertvolle Sammlungsobjekte, sondern um ersetzbare Massware. Die Art der Montage war dem Interesse nicht gewachsen. Die Besucher*innen des Futuriums hatten offenkundig Probleme zu erkennen, welche Objekte angefasst werden dürfen und welche nicht: Während ihres Aufenthalts vor Ort unterhielten sich ein Vater und sein Sohn explizit über diese Schwierigkeit. Der Sohn fragte, ob man die angeklebten 3D-gedruckten Objekte ohne Haube denn anfassen dürfe, und der Vater antwortete, er nehme es an, da die Exponate nicht unter Glas seien.

Generell sollte beim Inventarisieren von 3D-gedruckten Sammlungsobjekten grundsätzlich darauf geachtet werden, Informationen zur Herstellungsweise und zu den verwendeten Materialien so genau wie möglich zu erfassen.

Museumsaufgaben: Bewahren, Forschen

Im Bereich der Konservierung und Restaurierung lässt sich der 3D-Druck für Ergänzungen und Rekonstruktionen, aber auch für exakte Kopien einsetzen. Wenn die gedruckten Teile in Kontakt mit dem Original kommen, sollte insbesondere auf die Wahl eines geeigneten langzeitstabilen Druckmaterials geachtet werden, da die Anwendung für Restaurierung und Konservierung nicht der Hauptfokus der Hersteller ist³³. Alternativ lässt sich der 3D-Druck als Zwischenschritt zur Herstellung von Gussformen verwenden. Für den Guss kann dann ein erprobtes und sicheres Material verwendet werden. Auf diese Weise verschränken sich 3D-Druck und handwerkliche Techniken³⁴.

Für Restaurierung und Wissenschaft ist die Exaktheit der 3D-Drucke besonders wichtig. Ob diese in ihren Ausmaßen dem Original bzw. dem digitalen 3D-Modell entsprechen oder ob es Abweichungen durch das Druckverfahren gibt, wurde bereits untersucht – mit dem Ergebnis, dass „physische Kopien kleiner als die Originaldaten“³⁵ sein können, jedoch „das finale Ergebnis exzellente Qualität [hat]. Mit beiden Druckern erreicht man eine Genauigkeit von einigen Zehntel Millimetern. (...) Nicht vergleichbar ist jedoch die Qualität der Details (...): Der **Photopolymer**harzdrucker kann mit Sicherheit einen höheren Detaillierungsgrad als der **FDM**[-Drucker] erreichen.“³⁶

Es ist sinnvoll, bei diesem Thema einen kurzen Abstecher zu Projekten außerhalb Deutschlands zu machen: So wurde der 3D-Druck beispielsweise in Slowenien für die Ergänzung einer Porzellanschale mit feinen Netzstrukturen eingesetzt und als „ideal zum Ersetzen komplexer Formen oder großer fehlender Teile von Keramikobjekten“ beschrieben³⁷. Für eine fragmentierte

Madonna aus Pietranico (Italien) wurden „innovative Stützstrukturen“ mit „minimaler visueller Beeinträchtigung, Beständigkeit gegenüber Vibrationen und den Gefahren des Transports“ designt³⁸. Für eine stark fragmentierte merotische Doppelstatue im Besitz des Sudan entstand unter deutscher Beteiligung eine Stützstruktur³⁹.

Beispiele für den Bereich Restaurierung

Der Einsatz des 3D-Drucks für wissenschaftliche Kopien im Rahmen von Forschungsprojekten ist attraktiv – hier überschneiden sich Restaurierung und Forschung. Ein frühes Beispiel aus dem Jahr 2009 ist die 3D-gedruckte Rekonstruktion eines ägyptischen Porträtkopfes der Königin Teje nach CT-Daten am **Ägyptischen Museum in Berlin** in Kooperation mit der TU Berlin⁴⁰. Dieser Porträtkopf war teilweise mit einer fragilen, zeitgenössischen Leinwandhaube bedeckt. Um herauszufinden, was sich darunter verbarg, ohne die Haube abzunehmen, wurde der Porträtkopf im Computertomografen gescannt. Nach diesen Daten entstand dann ein 3D-Druck, der zeigte, was sich unter der Haube verbarg.

Das **Ägyptische Museum der Universität Bonn**, das **LVR-LandesMuseum Bonn** und die Stadtbibliothek Köln erstellten in einem gemeinsamen Projekt mittels 3D-Druck Positive von ägyptischen Gussformen für Figuren, die wiederum als Modell für Silikonformen dienten⁴¹. Mit den Silikonformen wurden Wachfiguren für das **Wachsausschmelzverfahren** und den anschließenden Bronzeguss hergestellt. Die finale Bronzefigur zeigte allerdings das typische Rillenmuster des Kunststoffdrucks, was sich durch eine entsprechende Nachbearbeitung des 3D-Kunststoffdrucks oder durch die Wahl eines anderen Druckverfahrens vermeiden ließe.

In der **Städtischen Galerie im Lenbachhaus** in München entstanden zwei verkleinerte 3D-Drucke eines spätgotischen Kruzifixes aus Lenbachs Schatzkammer, auf denen verschiedene Farbfassungen des Originals rekonstruiert wurden⁴² (Abb. 10, 11).

Museumsaufgabe: Vermitteln

Bei der musealen Vermittlung lassen sich zwei Bereiche unterscheiden:

1. Tastmodelle und andere interaktive Ausstellungselemente; sie wurden mit 3D-Druck hergestellt, dieser steht aber nicht im Fokus der Vermittlung.
2. 3D-Drucker und Technik des 3D-Drucks als grundlegende Teile des Vermittlungsangebots.



Abb. 10, 11: Rekonstruktion eines Kruzifixes im Lenbachhaus, München. Oben der 3D-Druck vor dem Bemalen, unten der 3D-Druck mit der originalen, spätmittelalterlichen Farbfassung (Fotos: Städtische Galerie im Lenbachhaus und Kunstbau, München).





Abb. 12: Tastmodell des Völkerschlachtdenkmals in Leipzig. Das Original ist 91 Meter hoch. (Foto: Rapidobject GmbH).

Tastmodelle und andere interaktive Ausstellungselemente

Umfassend lässt sich die Technik im Bereich der Inklusion einsetzen⁴³. Anwendungsszenarien sind beispielsweise:

- Im Maßstab verkleinerte Tastobjekte von Kunstwerken (z. B. Replik einer Büste im Focke-Museum – Bremer Landesmuseum für Kunst und Kulturgeschichte⁴⁴) und anderen Objekten (z. B. Tastobjekt der Tiefseeassal Atlantoserolis vemaie im LWL-Museum für Naturkunde, Münster⁴⁵)
- Vergrößerte Objekte (z. B. Münze im Römerkastell Saalburg, Bad Homburg⁴⁶)
- Gebäudemodelle (z. B. großes Modell des Völkerschlachtdenkmals am gleichnamigen Standort des Stadtgeschichtlichen Museums Leipzig⁴⁷) (Abb. 12)
- Tastpläne (z. B. taktile Pläne des Geländes, der Schaufassade und des Innenraums der historischen Büttnererei aus Sulzthal im Freilandmuseum Fladungen⁴⁸)

Am Landesmuseum Württemberg (Stuttgart) entstanden etwa für eine Station für Blinde verkleinerte Tastmodelle keltischer Holzfiguren (Abb. 13)⁴⁹. Die Station war im Rahmen der Sonderausstellung „Kelten digital – Archäologie und Hochtechnologie“ (22.03. bis 26.06.2005) zu sehen, die Originalfunde befinden sich heute in der Dauerausstellung⁵⁰. Zum Einsatz kam das Verfahren der **Stereolithografie**, gedruckt wurde mit Epoxydharz.

3D-Drucker und Technik des 3D-Drucks als Teil des Vermittlungsangebots

Im Bereich der Museumspädagogik gibt es mittlerweile zahlreiche Anwendungsbeispiele für den 3D-Druck. Im Fokus steht dabei häufig die Drucktechnik selbst, die jedoch bei nicht-technischen Museen meist in das Museumsthema integriert wird. Zielgruppe sind zum Teil explizit Kinder und Schüler*innen, zum Teil aber auch Erwachsene und Familien. Neben 3D-Desktop-Druckern kommen im Rahmen kreativer Workshops auch 3D-Stifte zum Einsatz, beispielsweise im Deutschen Technikmuseum (Berlin), dem Museum für sächsische Fahrzeuge (Chemnitz) und dem Museum der Arbeit (Hamburg). 3D-Stifte funktionieren nach dem Prinzip einer Heißklebepistole, nur mit Kunststoff. Schüler und Erwachsene führen die Stifte frei Hand und „malen“ so eigene Kreationen in 3D (Abb. 14)⁵¹.

Typische Szenarien sind:

1. Offene Werkstattformate, in denen Besucher experimentieren, ausprobieren und gestalten können. Das Museum funktioniert hier also ähnlich wie ein **FabLab** bzw. **Maker Space**.
2. Aktionen im Rahmen von Veranstaltungen, beispielsweise Stände bei Museumsfesten oder kleinen Hausmessen, Aktionstage.
3. Offene Vorführungen zum 3D-Druck in Dauer- und Sonderausstellungen an festen Terminen, vor allem, wenn der 3D-Druck regulär Teil der Ausstellung ist.
4. Ferienworkshops unterschiedlicher Länge: Von wenigen Stunden bis hin zu mehrtägigen Angeboten.



Abb. 13: Station mit Tastmodellen im Landesmuseum Württemberg (Stuttgart) im Jahr 2005. Der Ausstellungstext im Hintergrund erklärt die Herstellungsmethode (Foto: Landesmuseum Württemberg, Stuttgart).



Abb. 14: 3D-Stift, Kunststoff-Filament und damit gezeichnete Figuren aus der Veranstaltung „Fabelwesen werden real!“ für Kinder an der Stadtbibliothek Pforzheim (Foto: Stadtbibliothek Pforzheim, Nina Bauer).

Bisher gibt es in Deutschland anscheinend noch keine publizierten Studien dazu, wie 3D-Drucke von Besucher*innen aufgenommen werden oder darüber, ob die inhaltliche Vermittlung der Technik in Workshops gut funktioniert. Für den englischsprachigen Raum sind bereits einige Arbeiten dazu erschienen, die insgesamt ein positives Feedback nahelegen⁵².

Beispiele für Vermittlungsangebote

Am **Technoseum** in Mannheim wurde 2017 von Schüler*innen ein 3D-Druckworkshop für Schulklassen selbst entwickelt. In ihrem Projektbericht beschreiben die Schüler*innen ihre Vorgehensweise und berichten selbst über die Hürden, die es für ein Vermittlungsprogramm zum 3D-Druck gibt, wie beispielsweise die (zu lange) Druckdauer, die Auswahl eines geeigneten **CAD**-Programms oder der begrenzte Zeitumfang des Workshops⁵³.

Die **Kunsthalle Emden** experimentierte 2013 damit, fantastische Wesen nach eingereichten Beschreibungen von Besuchern als digitale 3D-Modelle und anschließend als 3D-Drucke umzusetzen. Die entstandenen Wesen wurden dann in eine laufende Sonderausstellung zu Emil Nolde integriert (**Abb. 15–18**)⁵⁴. Die Erfinder*innen der Geschöpfe konnten nach Abschluss des Projekts ihr Fantasiewesen mitnehmen.

Die **Papiermühle Alte Dombach** in Bergisch-Gladbach entwickelte verschiedene Formate zum 3D-Druck: Neben Vorführungen mit dem museumseigenen Drucker (etwa beim Museumsfest im Jahr 2019) gibt es beispielsweise ein buchbares Schulprogramm für die Jahrgangsstufen 5 bis 10 zum 3D- und Tiefdruck (Dauer: 3–4 Stunden)⁵⁵. Außerdem gab es regelmäßig eine personell betreute Station innerhalb der Sonderausstellung „Ist das möglich?“ (02.03.2018 bis 14.07.2019) sowie im August 2019 zwei einwöchige Workshops für Kinder mit dem Grafiker Martin Schneider⁵⁶. Bei letzteren wurden Papierschöpfrahmen 3D-gedruckt und die Teilnehmer*innen konnten künstlerisch mit der 3D-gedruckten Miniatur-Druckpresse „Open Press“ arbeiten (**Abb. 19**).

5. Offene oder buchbare Workshops für Gruppen (keine festen Werkstätten).
6. Projekte mit Partnerschulen oder anderen Einrichtungen.
7. Fachvorträge.

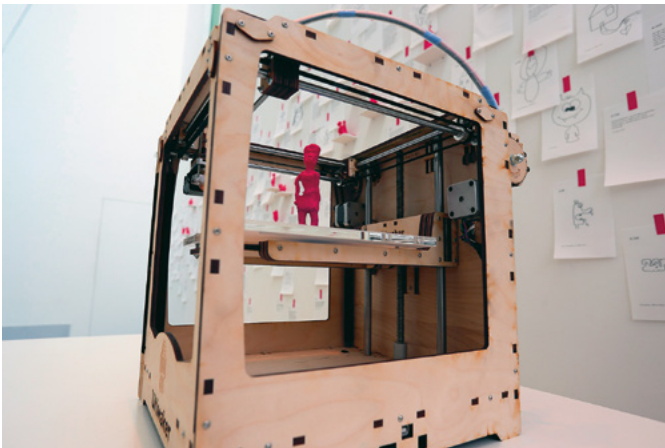


Abb. 15–18: Impressionen des Besucherprojekts „Zauberer, Feen und Ungetüme“ im Atrium der Kunsthalle Emden zur Sonderausstellung „Emil Nolde, Maler–Grafik und Ungemalte Bilder“ im Jahr 2013 (Foto: Karlheinz Krämer).

Abb. 19: An der kleinen Tiefdruckpresse (aus dem 3D-Drucker) können Besucher*innen erste künstlerische Erfahrungen mit dem Tiefdruck machen (Foto: Open Press Project).



Museumsaufgabe: Ausstellen

3D-Drucke übernehmen vielfältige Funktionen in den Ausstellungen. Anlass für die Anschaffung können Sonderausstellungen, Neueinrichtungen und Ergänzungen vorhandener Dauerausstellungen oder Interventionen sein. Da 3D-gedruckte Kunstwerke und Tastobjekte bereits thematisiert wurden, geht es im Folgenden um weitere Funktionen 3D-gedruckter Objekte innerhalb von Ausstellungen. Diese sind:

1. „Klassisches“ Exponat hinter Glas
2. Modelle oder Nachbauten: Nicht hinter Glas, aber auch nicht zum Anfassen
3. Integration in Medienstationen
4. Einsatz bei der Herstellung eines Exponats, 3D-Druck ist aber für Besucher*innen nicht mehr sichtbar
5. Eigener Dauerausstellungsteil oder -bereich, der sich dem 3D-Druck widmet
6. Sonderausstellungen zum 3D-Druck

Im Folgenden soll ausführlicher auf Modelle sowie den Einsatz in Sonder- und Dauerausstellungen eingegangen werden.

Stadt-, Gelände- und Gebäudemodelle als Exponat

Der 3D-Druck kann den aufwändigen Modellbau teilweise ersetzen. Er hat bei interaktiven Modellen den Vorteil, dass Ersatzteile leicht hergestellt werden können. Typische Einsatzgebiete sind:

1. Gebäudemodelle
2. Geländemodelle
3. Stadt- und Ortsmodelle
4. Modelle heute zerstörter baulicher oder geologischer Situationen, z. B. archäologische Fundsituationen.

Die 3D-Drucke bilden verkleinert die Realität oder wissenschaftliche Rekonstruktionen über frühere Bauzustände ab. Anschnitte oder Darstellungen von Bauphasen lassen sich besonders gut umsetzen.

Bei den Stadt- und Ortsmodellen scheint sich aufgrund der Vorteile des Herstellungsverfahrens im Vergleich zum klassischen Modellbau ein kleiner Trend zu zeigen. Besonders prominente und von Beschädigung bedrohte Teile können leicht nachgedruckt werden, wenn die entsprechenden Druckdaten und Druckparameter (z. B. das verwendete Material) vorgehalten werden. 3D-gedruckte Stadtmodelle werden zum Teil auch in interaktive Medienstationen integriert, sodass Besucher*innen über Projektionen verschiedene Bauphasen oder vertiefende Informationen zu einzelnen Gebäuden oder Stadtteilen abrufen können.

Beispiele für Modelle

Beispiel für ein Gebäudemodell: Für die Dauerausstellung „Dagegen! Dafür?“ (seit 23.10.2018) des Jungen Museums Frankfurt⁵⁷ entstand ein verkleinertes Modell der Paulskirche.

Beispiel für ein Geländemodell: Im Bronzezeit Bayern Museum in Kranzberg wird ein Geländere relief des Bernstorfer Berges als Teil einer Medienstation mit Projektion geografischer und archäologischer Informationen⁵⁸ gezeigt (Abb. 20).

Beispiel für ein Gebäude-/Geländemodell: Eine Mischung aus Gebäude- und Geländemodell ist das Modell der rekonstruierten „Grotta di Tiberio“ im Maßstab 1:33. Dabei handelte es sich um eine Höhle mit monumentalen Skulpturen und Wasserspielen des 1. Jahrhunderts nach Christus in Sperlonga, Italien⁵⁹. Das Modell entstand im Rahmen eines Forschungsprojekts und wurde im Archäologischen Museum der Universität Münster in der Sonderausstellung „Plastik³ – Skulpturen aus der Maschine – 3D-Druck in der Archäologie. Die Rekonstruktion der Skulpturen der Grotte von Sperlonga“ (04.12.2015 bis 13.02.2016) gezeigt.

Beispiele für Stadt- und Ortsmodelle: Zum Einsatz kam die Technik etwa bei Modellen im Siegerlandmuseum (Siegen), im Stadtpalais – Museum für Stuttgart, im 's kleine Museum Laubenheim (Mainz) und im Römermuseum Göglingen.

Beispiel für ein Modell einer baulichen oder geologischen Situation: Ein Modell einer archäologischen Fundsituation findet sich in der Dauerausstellung „Zurück! Steinzeit. Bronzezeit. Eisenzeit“ (seit 29.06.2014) im Museum für Vor- und Frühgeschichte in Berlin⁶⁰. Es ist das 1:1-Modell des Grabungsbefunds eines bronzezeitlichen Massengrabs am Ufer der Tollense (Mecklenburg-Vorpommern) um 1250 vor Christus. Grabungssituationen werden bei der Ausgrabung üblicherweise zerstört, sie müssen also durch Fotografien oder 3D-Scans dokumentiert werden. Diese Dokumentation kann dann wiederum Basis für spätere 3D-Modelle und 3D-Drucke sein.



Abb. 20: Auf das in neutralem Weiß gehaltene Geländemodell werden die gewünschten Informationen in Farbe projiziert (Foto: Landesstelle für die nichtstaatlichen Museen in Bayern, Felix Löchner).

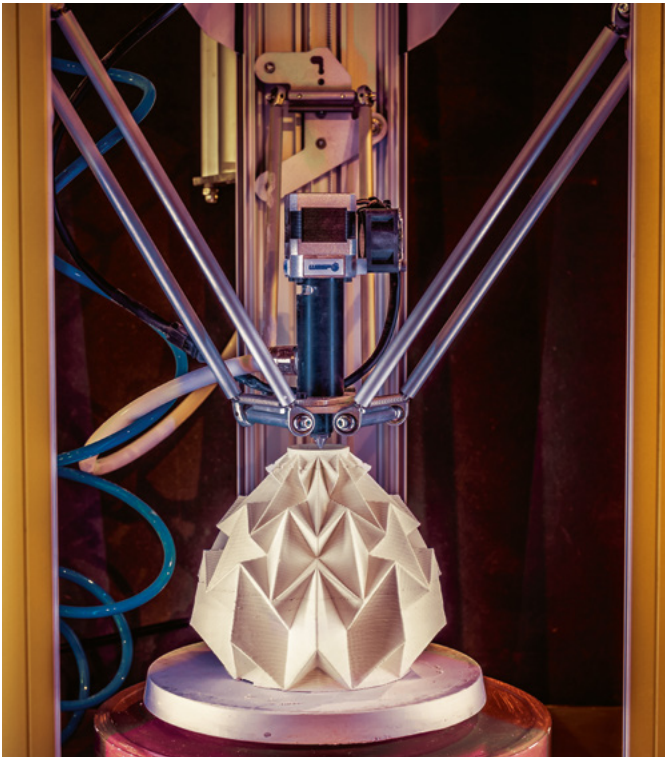


Abb. 21: Museumseigener 3D-Drucker für Keramik im Porzellanikon in Selb, der als Exponat für die Sonderausstellung „Kunst trifft Technik. Keramik aus dem 3D-Drucker“ (2020–2021) und für Workshops verwendet wird (Foto: Porzellanikon, Andreas Gießler).

Sonderausstellungen

Sonderausstellungen sind ein guter Anlass für Museen, mit neuartigen Techniken zu experimentieren. Die Verwendung des 3D-Drucks kann dabei helfen, Transportkosten zu vermeiden oder Exponate zu zeigen, die das Museum im Original als Leihgabe nicht erhalten hat. In solchen Fällen ist der 3D-Druck „Mittel zum Zweck“, wie etwas in der Großen Landesausstellung „Azteken“ (12.10.2019 bis 03.05.2020) im Lindenmuseum Stuttgart. Dort befand sich eine 1:1-Kopie des sogenannten Sonnensteins als Teil einer Medieninszenierung. Der Sonnenstein ist ein kunstvoll mit figürlichen Reliefs verzierter, runder Stein mit einem Durchmesser von ca. 4 Metern aus dem Bereich des Templo Mayor von Tenochtitlán (Mexiko-Stadt). Auf die Kopie des Steins wurde eine Animation mit Erläuterungen zu den Verzierungen projiziert. Ein Leihvorgang dieses exzeptionellen, großen und schweren Objekts wäre sicherlich sehr aufwändig gewesen, die Transportkosten hoch. Die zugehörigen Objekttexte wiesen explizit auf die Verwendung des 3D-Drucks hin. In der gleichen Ausstellung befanden sich außerdem rund 25 verkleinerte, 3D-gedruckte Gebäude als Teil eines Modells des Templo Mayor, dort wurde allerdings nicht auf den 3D-Druck hingewiesen.⁶¹

Vereinzelt gab es auch bereits Sonderausstellungen, die sich explizit des Themas „3D-Druck“ annahmen. Die Wanderausstellungen „Kunst trifft Technik – Keramik aus dem 3D-Drucker“ (2020/2021 im Keramion in Frechen und im Porzellanikon in Selb)⁶² und „Shaping the



Abb. 22: 3D-gedruckte Ofenkachel (gelb, rechts), Wandbrunnen (grün, links), Vogelpfeife (unten rechts) und Schreibset (unten links) in einer Vitrine bei der Eröffnung der Wanderausstellung „#Herelstand“ im Lichthof des Auswärtigen Amtes (Foto: Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt, Robert Noack).

Future“ (2017/2018 im Bröhan-Museum in Berlin und Porzellanikon in Selb)⁶³ beleuchteten beispielsweise 3D-Druck und Keramikproduktion (Abb. 21).

Recht umfassend widmete sich die Sonderausstellung „Making a Difference / A Difference in Making“⁶⁴ dem Thema 3D-Druck, mit mehr als 80 3D-gedruckten Objekten aus den Bereichen Kunst, Design, Technik und Wissenschaft. Sie lief vom 27.09. bis 30.10.2016 im Red Dot Design Museum in Essen und wurde zum 25jährigen Firmenjubiläum von Materialise produziert, einem Unternehmen, das im Bereich 3D-Druck arbeitet.

Einen anderen Ansatz hatte die Wanderausstellung „Apokalypse Münsterland“. Vom 23. August bis 19. Oktober 2019 gingen im Münsterland 28 digitalisierte, mit VR-Brille erlebbare Kulturgüter wie Bilder, Maschinen oder Skulpturen aus Museen und anderen Kultureinrichtungen in Nordrhein-Westfalen in einem Container auf Tour⁶⁵. Sie konnten so von den Besucher*innen gedreht, bewegt, angefasst und ausprobiert werden. 3D-gedrukt wurde dafür eine Arbeiterfigur des Zementmuseums Beckum⁶⁶. Standorte der Ausstellung waren vor allem öffentliche Plätze sowie das Lepmuseum (Münster) und das Museum Kloster Bentlage (Rheine).

Konsequent lotete die digitale und herunterladbare Poster-Ausstellung „#Herelstand“ zum 500. Jahrestag (2017) von Martin Luthers Thesenanschlag die Möglichkeiten des 3D-Drucks aus⁶⁷. Sie entstand als Kooperationsprojekt des Landesmuseums für Vorgeschichte

Halle, des Deutschen Historischen Museums und weiterer Partner als Begleitprojekt zu mehreren „klassischen“ Sonderausstellungen zum gleichen Thema in den USA im Jahr 2016. Poster mit Ausstellungstexten und Grafiken sowie 3D-Modelle einiger Ausstellungsobjekte konnten von kleineren Ausstellungsorten selbst heruntergeladen und ausgedruckt werden (Abb. 22). Sie standen in sieben Sprachen zur Verfügung und wurden laut Bericht der Bundesregierung „über 19.000 Mal heruntergeladen und auf der ganzen Welt ausgestellt“⁶⁸. Aktuell sind auf der Plattform Sketchfab weiterhin 25 3D-Modelle dieses Projekts verfügbar, inklusive Objektinformationen⁶⁹.

Dauerausstellungen

Nach und nach findet der 3D-Druck auch Einzug in Dauerausstellungen, oft im Rahmen von Neueinrichtungen oder Interventionen bzw. Ergänzungen. Auch hier geht es mitunter konkret um die Herstellungstechnik, in anderen Fällen war der 3D-Druck wiederum einfach „Mit-

tel zum Zweck“ zur Produktion eines neuen Exponats. Auch übergroße Exponate, wie beispielsweise Rekonstruktionen oder Modelle von Dinosauriern, können mit dem 3D-Druck umgesetzt werden. Dabei sind aber in der Regel Nacharbeiten notwendig, da aufgrund von Bauraumbeschränkung nur in Teilen gedruckt werden kann: Zusammensetzen, modellieren, schleifen, lackieren und gegebenenfalls weitere Arbeitsschritte.

Nicht immer ist oder muss es das Ziel sein, dem Besucher die Entstehungsgeschichte eines 3D-gedruckten Objekts zu vermitteln. Wenn Beschriftungen aber regelmäßig das verwendete Material oder die Herstellungsmethode nennen, so sollte dies auch bei den 3D-Drucken so praktiziert werden. Für Museen ist der Hinweis auf den 3D-Druck in der Dauer- oder Sonderausstellung in jedem Fall eine gute Gelegenheit zu zeigen, dass innovative Fertigungsmethoden heutzutage Teil der Museumsarbeit sind. Bekanntermaßen haben viele Besucher*innen Interesse am „Blick hinter die Kulissen“.

Beispiele für Dauerausstellungen

Im **Kunstgewerbemuseum in Berlin** präsentiert die Dauerausstellung „Rokokowelten“ (seit 21.03.2019) die Porzellan- und Fayencesammlung des Hauses – auf der Webseite wird auf einen eigenen Ausstellungs- teil zu „Porzellan und 3D Druck“ hingewiesen⁷⁰. Zu sehen ist in diesem Ausstellungsbereich das Porzellanensemble „Bestiarium (2015)“ von Maria Volokhova und dem Berliner Designbüro Shapes in Play. Die Modelle dafür wurden mit 3D-Druck aus **Polyamid** hergestellt⁷¹.

Das **Vitra Design Museum in Weil am Rhein** beherbergt im Schaudapot Lab (Eröffnung: 03. Juni 2016) im Untergeschoß eine Materialschublade zum Thema 3D-Druck. Laut zugehörigem Ausstellungsführer finden sich im Lab „Anschauungsbeispiele und weitere Informationen zu den unterschiedlichen 3D-Druckverfahren“⁷².

Im Bereich der Archäologie liegt ein kleiner Schwerpunkt des 3D-Drucks in der Herstellung von Skelett-, Schädel- und Gesichtsmodellen, so etwa geschehen für das **Archäologische Museum in Greding**⁷³, das **Museum der Stadt Bensheim**⁷⁴ oder das **Museum Quintana in Künzing**⁷⁵ (Abb. 23–25).

Ein ca. 13 m langes, rekonstruiertes Skelett eines Langhalsdinosauriers (*Spinophorosaurus nigerensis*) entstand für das **Staatliche Naturhistorische Museum in Braunschweig**⁷⁶. Für das **LWL-Museum für Naturkunde in Münster** wurde das lebensgroße, farbige Modell des „Monsters von Minden“ (Wiehenvenator albatii) produziert, eines 165 Millionen Jahre alten Raubsauriers (L. 8 m, H. 2 m)⁷⁷ (Abb. 26).

3D-gedruckt wurde das Grundgerüst, die realistische Optik entstand im Modellbau. Das Museum verfügt auch über zwei eigene Desktop-3D-Drucker, die es unter anderem für die Herstellung von Tastobjekten verwendet⁷⁸.

Das **Dommuseum Ottonianum in Magdeburg** ließ 2018 Kopien der Sargdeckel von Erzbischof Wichmann, Königin Editha und Erzbischof Ernst von Sachsen aus dem Magdeburger Dom herstellen, die dort für Besucher*innen unzugänglich sind⁷⁹. Im Dezember 2019 wurde in der dortigen Dauerausstellung außerdem eine farbige Rekonstruktion einer Statue des heiligen Mauritius aus dem Magdeburger Dom ergänzt⁸⁰.

Am **Ozeanum (Deutsches Meeresmuseum) in Stralsund** entstand im 3D-Druck das Vormodell eines 1909 gesunkenen Frachtschiffs für das im Jahr 2018 erneuerte Großaquarium „Offener Atlantik“. Für den finalen 11 m langen Nachbau wurde jedoch ein anderes Herstellungsverfahren gewählt⁸¹.

Das **Historische Museum in Wallerfangen** im Saarland ließ 2017 Reproduktionen des goldenen Ringschmucks aus dem Grab einer Keltenfürstin der Zeit um 500 v. Chr. herstellen und zeigt diese heute in der Dauerausstellung⁸². Die Originale befinden sich im LVR-LandesMuseum Bonn. Die Kunststoff-Rohlinge wurden nach dem 3D-Druck in weiteren Arbeitsschritten vergoldet und patiniert. Auch auf der Wikipedia-Seite des Museums findet das Projekt Erwähnung⁸³.



Abb. 23: Schädelmodell einer jungsteinzeitlichen, wohl weiblichen Bestattung für das Museum Quintana, Künzing (Foto: Museum Quintana).



Abb. 24, 25: Zwischenschritte bei der Herstellung des Schädelmodells (Foto: Museum Quintana / Atelier Wild Life Art).



Ausblick

Der 3D-Druck findet nach und nach seinen Platz in der Museumsarbeit. Manche Museen besitzen eigene 3D-Drucker und setzen damit selbstständig Projekte um. Die Integration eines eigenen 3D-Druckers in die Arbeit vor und hinter den Kulissen ist allerdings nur in wenigen Museen selbstverständlich. Wo der 3D-Druck bereits eingesetzt wird, sollte verstärkt auch über fehlgeschlagene Projekte oder Hürden bei der Realisierung publiziert werden – frei nach dem Motto „Vorwärts scheitern“. Auch systematische Evaluationen von Kosten oder Arbeitsaufwand wären für andere Museen von Interesse.

3D-Drucker für Kunststoffe sind inzwischen auch für kleine Museen erschwinglich. Die Datenerstellung und der Umgang mit dem 3D-Drucker benötigt jedoch weiterhin technisches Fachwissen. Auch die Zusammenarbeit mit Partnern und Dienstleistern profitiert davon, wenn beide Seiten sich gegenseitig besser verstehen⁸⁴. Wenn der 3D-Druck an Museen auf Projekte beschränkt bleibt, beispielsweise Sonderausstellungen oder Forschungsprojekte, droht mit dem Weggang der Projektmitarbeiter*innen der Verlust von Wissen und Erfahrung – dieser reicht von den verwendeten Druckmaterialien bis hin zum Speicherort der druckbaren 3D-Modelle. An dieser Schnittstelle könnte ein neues museales Berufsbild entstehen: Der oder die 3D-Manager*in, 3D-Kura-



Abb. 26: Das Modell des *Wiehenvator albati* im Museum (Foto: LWL-Museum für Naturkunde, C. Steinweg).

tor*in oder 3D-Referent*in, der oder die 3D-Prozesse im Museum durchführt, begleitet und vermittelt. Denn: „... die neuesten 3D-Modellierungs- und Druckerfahrenungen haben die Notwendigkeit der Einführung einer neuen Professionalität gezeigt, zur Unterstützung von Archäologen, Architekten, Ingenieuren, Restauratoren und Konservatoren, die den Einsatz digitaler Technologien benötigen.“⁸⁵ Kuratoren und andere Museumsberufe lassen sich hier anschließen. Ein positives Signal in diese Richtung sind neue Studiengänge, wie etwa der „Masterstudiengang Digitale Methodik in den Geistes- und Kulturwissenschaften“, der gemeinsam von Johannes Gutenberg-Universität Mainz und Hochschule Mainz angeboten wird⁸⁶.

Neben einer zukünftigen Professionalisierung der 3D-Arbeit an Museen gibt es weitere Zukunftsszenarien, in denen der 3D-Druck eine größere Rolle spielt als bisher. Die Produktion individualisierter Artikel für den Museumshop wird dabei zwar häufiger genannt, aber zumindest in Deutschland kaum umgesetzt⁸⁷. Naheliegender als die kommerzielle Nutzung scheint der Einsatz des 3D-Drucks in Bezug auf die Kernaufgaben eines Museums. So könnten mit dem Verfahren extravagante und ungewöhnliche Designelemente im Rahmen der Ausstellungsgestaltung entstehen. Eine Muster-Datenbank für 3D-Modelle von Objekthalterungen wäre für zahlreiche Museen von Nutzen. Auch

spezielle angepasste Verpackungen und Polsterungen für Fundtransporte könnten in Zukunft 3D-gedruckt werden, um Zeit und Material zu sparen⁸⁸. Die Vor-Ort-Produktion (oder Bestellung) einfacher Kopien von Exponaten und Tastobjekten für Vermittlungsprogramme könnte in Zukunft noch stärker Teil des Museumsalltags werden.

Das Verfügbarmachen von 3D-Modellen im Open Access würde eine Öffnung der Museumsdaten für die Öffentlichkeit bedeuten. Gemeint sind hier nicht nur 3D-Modelle von Sammlungsobjekten, die unsichtbar im Depot schlummern, sondern auch rein „digital geborene“ Rekonstruktionen, wie sie oft im Rahmen von (öffentlich geförderter) Forschung und Projektarbeit entstehen. Sie sollten breiter verfügbar und auch nutzbar sein. Wenn Museen bei Dienstleistern 3D-drucken lassen, so könnten sie die dafür erstellten Druckdaten über ihre eigenen Webseiten oder Portale für 3D-Modelle verfügbar machen. Online-Besucher*innen könnten diese 3D-Objekte dann bearbeiten (remixen) und zu Hause 3D-drucken. Einige Museen machen dies mit großzügigen Nutzungslizenzen bereits jetzt möglich. Museen könnten 3D-Modelle anderer Museen für Sonderausstellungen oder kostengünstige Interventionen in Dauerausstellungen verwenden. Es gibt noch viel Spielraum für Experimente mit dieser spannenden Technologie.

Literatur

Antley u. a. 2011: K. Antley/M. Erič/M. Šavnik/B. Županek/J. Slabe/B. Battestin Combining 3D technologies in the field of cultural heritage: Three case studies. The 12th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (Tagung 2011) 1–4. Online (10.01.2019): https://www.researchgate.net/publication/258343729_Combining_3D_technologies_in_the_field_of_cultural_heritage_three_case_studies

Auenmüller u. a. 2015: J. Auenmüller/K. Ehrig/D. Meinel/G. Schneider/F. Willer, Werkstattfunde eines ägyptischen Bronze gießers der Spätzeit – Ein einzigartiges Konvolut im Kontext aktueller Forschung. In: Restaurierung und Archäologie 7, 2014, 1–25.

Balletti u. a. 2017: C. Balletti/M. Ballarin/F. Guerra, 3D printing: State of the art and future perspectives. In: Journal of cultural heritage – a multidisciplinary journal of science and technology for conservation and awareness 26 (2017) 172–182.

Bräunig u. a. 2018: Th. Bräunig/J. Maxzin/I. Winkelmeier, Rekonstruktion der Gestaltung eines spätgotischen Kreuzifixes aus Lenbachs Schatzkammer mittels 3D-Technik. In: Verband der Restauratoren (Hrsg.) 3D – Durchblick oder Datenmüll? Dreidimensionale Scan-Verfahren in der Konservierung / Restaurierung (Bonn 2018) 27.

Döppes u. a. 2016: D. Döppes/A. Alterauge/S. Zesch/W. Rosendahl, Götter, Gräber und Pápste: Praxisbeispiele aus dem 3D-Labor an den Reiss-Engelhorn-Museen, Mannheim. In: Museum Aktuell 227, 2016, 24–27.

Emden 2013: Zauberer, Feen und Ungetüme – 3D-Drucker-Projekt zu Emil Nolde. In: F. Schmidt/C. Ohmert, Labor im Museum 2. Sechs museums-pädagogische Projekte der Kunsthalle Emden (Emden 2013) 54–61.

Florez Jurado/Freyth-Weber 2016: A. Florez Jurado/K. Freyth-Weber, Inklusion in einer Sonderausstellung. Evaluation der Ausstellung „Leben in der Dunkelheit“ im LWL-Museum für Naturkunde (Münster 2016). Online (11.03.2020): http://www.lwl.org/wmfn-download/pdf/RZ_Evaluationsbericht_Dunkelheit_Blinde.pdf

Frank/Vinken 2017: B. Franz/G. Vinken (Hrsg.): Das Digitale und die Denkmalpflege: Bestandserfassung – Denkmalvermittlung – Datenarchivierung – Rekonstruktion verlorener Objekte, Heidelberg: arthistoricum.net, 2017 (Veröffentlichungen des Arbeitskreises Theorie und Lehre der Denkmalpflege e.V., Band 26). <https://doi.org/10.11588/arthistoricum.263.348>

Friedel u. a. 2012: B. Friedel/W. Steeger/H. P. Volpert, Fünf Leichen und ein Museum. Das ArchäologieMuseum Greting. In: museum heute 42, 2012, 5–7.

Gatzsche 2015: A. Gatzsche, Eine meroitische Doppelstatue des Götterpaares Amun und Mut – eine Restaurierung in 3D im Computer und am Objekt. In: Restaurierung und Archäologie 7, 2014, 93–112. Online (09.04.2020): <https://doi.org/10.11588/ra.2014.0.29551>

Heinz 2010: G. Heinz, Kopien berührungslos erstellen – virtuell und zum Anfassen. In: Restaurierung und Archäologie 2, 2010, 137–150. Online (13.03.2020): <https://doi.org/10.11588/ra.2010.0.36915>

Jansen u. a. 2017: C. Jansen/J. Gerlach/T. Gund, 3D-Druck – Entwicklung eines Workshops im Technoseum Mannheim. Online (12.03.2020): https://hector-seminar.de/fileadmin/user_upload/Aktuelles/Aktuelles_SJ_2017-18/Abschlusskolloquien_H11/HDMA/Berichte/Bericht_3DDruck.pdf

Kanowski 2016: C. Kanowski, Digi.anALOG. Der Dialog von digitalen und analogen Techniken in der aktuellen Porzellangestaltung. In: Haak, C./Helfrich, M. (Hrsg.) Casting. Ein analoger Weg ins Zeitalter der Digitalisierung? Ein Symposium zur Gipsformerei der Staatlichen Museen zu Berlin (Heidelberg: arthistoricum.net, 2016), 291–299. Online (22.07.2020): <https://doi.org/10.11588/arthistoricum.95.114>

Pak/Vianden 2014: L. Pak/M. Vianden, Die 3-D-Rekonstruktion der Verzierungselemente einer römischen Kline aus Haltern. Archäologie in Westfalen-Lippe 2014 (2015) 283–286. Online (20.03.2019): <https://doi.org/10.11588/aiv.2015.0.33961>

Pamer 2015: I. Pamer, Anwendungsmöglichkeiten des Fused Deposition Modeling (FDM) 3D-Druckverfahrens in der Restaurierung. Materialanalyse und Adaption (Berlin 2015, Masterarbeit). Online (20.08.2020): https://www.academia.edu/download/59049968/MA_Pamer20190427-64682-1mkocl.pdf

Precht/Weindl 2020: J. Precht/R. Weindl, Die neolithische Bestattung von Niederpörling. Storytelling im Museum Quintana – Archäologie in Künzing. In: Museum Heute 57, 2020, 40–44, bes. 42–43. Online (23.07.2020): https://www.museen-in-bayern.de/fileadmin/Daten/Ab_2018_Material_Landesstelle/Ver%C3%B6ffentlichungen/Museum_heute/mh_57_web.pdf

Ritter/Kosma 2009: A. Ritter/R. Kosma, 3D-Scannen, Rapid Prototyping und Rekonstruktion des Dinosaurierskeletts. In: U. Joger/R. Kosma/F. J. Krüger: Projekt Dino: Die Entdeckungsgeschichte neuer Dinosaurier in Niger, Afrika / Staatliches Naturhistorisches Museum Braunschweig (Schwülper 2009) 82–86.

Sá u. a. 2012: A. M. Sá/K. Rodriguez Echavarria/M. Griffin/D. Covill/J. Kaminski/D. David Arnold, Parametric 3D-Fitted Frames for Packaging Heritage Artefacts. In: 13th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST, 2012, 105–12. Online: <http://dx.doi.org/10.2312/VAST/VAST12/105-112> (05.08.2020).

Schwandt u. a. 2016: H. Schwandt/S. Jerichow/J. Weinhold, Themse – 3D Technologies for Museums in Berlin. In: Bienert, A./Santos, P. (Hrsg.) Konferenzband EVA (Electronic Media and Visual Arts) Berlin, 2014. Elektronische Medien & Kunst, Kultur und Historie 21 (Heidelberg 2016). Online (22.07.2020): <https://doi.org/10.11588/arthistoricum.152.192>

Short 2015: D. B. Short, Use of 3D Printing by Museums: Educational Exhibits, Artifact Education, and Artifact Restoration. In: 3D Printing and Additive Manufacturing 2, Nr. 4 (2015) 209–2015.

Unfallversicherung 2019: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (Hrsg.) 3D-Tischdrucker in Schulen. DGUV Information 202–103 (Berlin 2019). Online (17.04.2020): <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3571>

Weinold 2016: J. Weinold, Treffpunkte. Die Kooperation des 3D-Labors am Institut für Mathematik der TU Berlin mit der Gipsformerei der Staatlichen Museen zu Berlin. In: Haak, C./Helfrich, M. (Hrsg.) Casting. Ein analoger Weg ins Zeitalter der Digitalisierung? Ein Symposium zur Gipsformerei der Staatlichen Museen zu Berlin (Heidelberg: arthistoricum.net, 2016) 281–289. Online (22.07.2020): <https://doi.org/10.11588/arthistoricum.95.114>

Links zu Bildern

Abb. 2: Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karte_Deutschland.svg
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/de/deed.en>

Abb. 4: Quelle: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Grabplatte-von-Gellert-im-Grassimumuseum-mit-Replikat-des-Medaillons-auf-Basis-von-3D-Scannen-und-3D-Druck.jpg>
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>

- 1 Zusätzlich zur Literaturrecherche wurde unter Verwendung der Suchbegriffe „3D Druck“ und „Museum“ in Kombination mit den jeweils 10 größten Städten der einzelnen Bundesländer nach 3D-Druckprojekten gesucht; als Suchmaschine wurde Google verwendet. Darüber hinaus wurden Anfragen an die Fachgruppe „Digitale Bildung und Vermittlung in Museen“ beim Bundesverband Museumspädagogik e. V., die „Konferenz der Museumsberater in den Ländern“ (<https://kmbi.de>, 30.07.2020) sowie den „Arbeitskreis Konservierung/Restaurierung“ des Deutschen Museumsbunds e. V. gerichtet. Wertvoll war außerdem der informelle Austausch mit Kolleg*innen im Rahmen der MAI-Tagungen sowie bei den Treffen der „Fachgruppe Dokumentation“ am Deutschen Museumsbund e. V.
- 2 Es handelt sich um die Museumskategorien des Instituts für Museumsforschung in Berlin. Freundliche Unterstützung durch Andrea Prehn, Institut für Museumsforschung, Berlin.
- 3 Beispielsweise: Frank/Vinken 2017, Heinz 2010, Pak/Vianden 2014.
- 4 Freundliche Mitteilung Christof Flügel.
- 5 Im Folgenden nach: Short 2015, 209 (Übersetzung: Miriam Anders).
- 6 <https://3d-magazin.eu/branchen/architektur-und-bauwesen/rekonstruktion-des-gellert-medailleurs-ein-innovativer-entstehungsprozess> (03.08.2020)
- 7 Die Wikipedia definiert es so: „Ein FabLab (von englisch fabrication laboratory – Fabrikationslabor), manchmal auch MakerSpace genannt, ist eine offene Werkstatt mit dem Ziel, Privatpersonen und einzelnen Gewerbetreibenden den Zugang zu modernen Fertigungsverfahren für Einzelstücke zu ermöglichen.“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/FabLab>, 03.08.2020)
- 8 Weltweites Verzeichnis von zahlreichen FabLabs: <https://www.fablabs.io> (01.04.2020)
- 9 <https://www.ideenw3rk.de> (30.05.2020)
- 10 Auenmüller u. a. 2015.
- 11 Freundliche Auskunft Beatrix Commandeur, LVR-Industriemuseum.
- 12 <https://www.br.de/nachrichten/bayern/3d-drucker-fuer-porzellanikon-in-selb,RsG5pUO> und <https://www.porzellanikon.org/museum/presse/aktuelle-presse-meldungen/detailansicht/1095-porzellan-aus-dem-3d-drucker/> (15.05.2020)
- 13 Dauer: 4:35 min. Siehe: https://www.youtube.com/watch?v=nO_g1up_Og8 (20.08.2020)
- 14 Ortsbesuch durch Verfasserin im Dezember 2019.
- 15 Unfallversicherung 2019.
- 16 <https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/arbeiten-4.0/neue-technologien-stoffe/3d-drucker/index.jsp> (24.08.2020)
- 17 Freundliche Auskunft der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit des Deutschen Museums, München.
- 18 Döppes u. a. 2016.
- 19 Freundliche Auskunft Ralph Röber, Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg.
- 20 <https://twitter.com/zkmkarlsruhe/status/1245005449369464834?s=20> (31.03.2020) und <https://zkm.de/de/ueber-das-zkm/organisation/hertz-labor/infrastruktur> (15.05.2020)
- 21 <https://www.mittelbayerische.de/region/nuernberg-nachrichten/eine-krone-aus-dem-3d-drucker-21503-art1400689.html> (15.05.2020)
- 22 Siehe Fußnote darüber. Außerdem: <https://www.nordbayern.de/region/nuernberg/soder-und-die-krone-heimatminister-prasentier-te-3d-druck-1.5313088> (17.02.2021); <https://www.facebook.com/BR24/videos/abendschau-27092016/10154402939870336/> (17.02.2021)
- 23 <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/deutsches-museum-fassade-3-d-drucker-1.4290425> (15.05.2020), <https://www.fr.de/zukunft/stories/wohnen/bauen-druckreife-architektur-haeuser-aus-dem-3d-drucker-90149444.html> (17.02.2021), siehe auch <https://www.deutsches-museum.de/presse/presse-2019/fassade/#c136716> (19.06.2020)
- 24 Siehe Beitrag in diesem Band.
- 25 Ein Bild ihrer Arbeit in Düsseldorf schmückt auch die Handreichung „Hauptsache Publikum! Besucherforschung für die Museumspraxis“ des Deutschen Museumsbunds (2019).
- 26 <https://www.artlog.net/de/kunstbulletin-11-2000/adrianschoormans-im-skulpturenmuseum-glaskasten> und <https://www.adrianschoormans.de/works/> (15.05.2020).
- 27 <https://www.maz-online.de/Lokales/Dahme-Spreewald/Haehchen-aus-dem-3D-Drucker> und <http://www.andreasgreiner.com/works/monument-for-the-308/> (15.15.2020)
- 28 Kanowski 2016 mit zahlreichen Beispielen.
- 29 http://collectiononline.design-museum.de/#/de/object/41268?_k=4x0kj5 (30.05.2020)
- 30 http://collectiononline.design-museum.de/#/de/object/36545?_k=37in2q (30.05.2020)
- 31 <https://www.dnb.de/DE/Sammlungen/DBSM/KulturhistorischeSammlung/kulturhistorischeSammlung.html> (15.05.2020)
- 32 Eröffnung am 05.09.2019. Die folgende Beschreibung beruht auf den Erfahrungen der Verfasserin bei einem Ortsbesuch am 21.10.2019.
- 33 Pamer 2015, 104 (FDM-Verfahren). Gutes Fallbeispiel, auf Deutsch: Gatzsche 2015.
- 34 Siehe auch Weinold 2016, bes. 289.
- 35 Balletti u. a. 2017, 179 (Übersetzung Miriam Anders).
- 36 Balletti u. a. 2017, 181 (Eckige Klammern und Übersetzung Miriam Anders).
- 37 Antley u. a. 2011, 4 (Übersetzung Miriam Anders).
- 38 Balletti u. a. 2017, 176 (Übersetzung Miriam Anders).
- 39 Gatzsche 2015 (auf Deutsch).


- 40 Schwandt u. a. 2016, 20–21, außerdem weitere Beispiele aus Berlin.
- 41 Im Folgenden nach Auenmüller u. a. 2015.
- 42 Bräunig u. a. 2018.
- 43 Siehe den Beitrag in diesem Band.
- 44 <https://www.noz.de/deutschland-welt/bremen/artikel/767096/huenefeld-repliken-aus-dem-3d-drucker-im-focke-museum> (03.08.2020)
- 45 Florez Jurado/Freyth-Weber 2016, 18; 19 Abb. 6d.
- 46 <https://www.fnp.de/lokales/hochtaunus/bad-homburg-ort47554/stueck-regenbogen-1-10675387.html> (03.08.2020)
- 47 <https://www.lvz.de/Thema/Specials/Leipziger-Museen/News/Das-Voelkerschlachtdenkmal-Leipzig-als-3D-Tastmodell-erleben> (03.08.2020)
- 48 Freundliche Auskunft Fränkisches Freilandmuseum Fladungen. Zur inklusiven Gestaltung der Büttnerie siehe auch: <https://freilandmuseum-fladungen.de/de/besuch/barrierefreiheit> (29.03.2021)
- 49 <http://www.redaktionzukunft.de/geschichte-neu-erleben-3d-druck-macht-s-moeglich-0> (03.08.2020)
- 50 Siehe Online-Sammlung: <https://bawue.museum-digital.de/index.php?t=objekt&oges=99> und <https://bawue.museum-digital.de/index.php?t=objekt&oges=575&cacheLoaded=true> (03.08.2020)
- 51 Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung rät aufgrund des Verbrennungsrisikos von deren Verwendung ab: Unfallversicherung 2019, 4 (ohne Seitenzahlen).
- 52 Siehe den Beitrag „Museum und 3D-Druck?“ in diesem Band.
- 53 Jansen u. a. 2017.
- 54 Emden 2013. Siehe auch: <https://vimeo.com/62602847> (18.06.2020)
- 55 <https://kulturscouts-bl.de/programm/lvr-industriemuseum-papiermuehle-alte-dombach/> (30.05.2020)
- 56 Freundliche Auskunft Beatrix Commandeur, LVR-Industriemuseum Papiermühle Alte Dombach, Bergisch Gladbach.
- 57 <https://www.beate-voigt.de/3d-projekte/paulskirche/> (15.05.2020)
- 58 Freundliche Auskunft Christof Flügel, Landesstelle für die nichtstaatlichen Museen in Bayern.
- 59 https://www.uni-muenster.de/studium/orga/foerderung_forschungsprojekte/3D-Druck_Archaeologie.html (15.05.2020).
- 60 Freundliche Auskunft Matthias Wemhoff, Museum für Vor- und Frühgeschichte.
- 61 Ortsbesuch der Verfasserin am 13.10.2019.
- 62 <https://www.porzellanikon.org/ausstellungen/sonderausstellungen/archiv/kunst-trifft-technik/> (03.08.2020)
- 63 <https://kh-berlin.de/projekt-detail/Project/detail/ceramics-and-its-dimensions-shaping-the-future-2289.html> (03.08.2020)
- 64 <http://a-difference-in-making.com> (11.05.2020).
- 65 <https://apokalypse-muensterland.de/container-tour/> (11.05.2020)
- 66 <https://apokalypse-muensterland.de/3dfigur-2/> (11.05.2020)
- 67 Im Folgenden nach: <https://www.dhm.de/ausstellungen/archiv/2016/here-i-stand.html> (30.05.2020). Siehe auch: <https://sketchfab.com/blogs/community/reformation-diy-movement/> (30.05.2020)
- 68 <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/773272/3fcb2be50731e71fd9c38698a92faf8a/2017-11-10-reju-bilanz-breg-data.pdf?download=1> (S. 3, 30.05.2020)
- 69 <https://sketchfab.com/herelstand> (30.05.2020)
- 70 <https://www.smb.museum/ausstellungen/detail/rokokowelten.html> (11.05.2020)
- 71 <https://www.museumsportal-berlin.de/de/magazin/blickfange/bestiarium/> (31.07.2020)
- 72 https://www.design-museum.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Presseseite/Presstexte/VDM-Vitra-Schaudepot-Handout-DE.pdf, S. 8 (ohne Seitenzahlen, 31.07.2020). Die Schubladen sind auf den Pressebildern erkennbar: https://www.design-museum.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Presseseite/VDM_Schaudepot-Bilduebersicht_DE.pdf (31.07.2020)
- 73 Friedel u. a. 2012,
- 74 <https://www.cultlab3d.de/index.php/arbeitsbeispiele/> (03.08.2020)
- 75 Precht/Weindl 2020.
- 76 Ritter/Kosma 2009.
- 77 https://www.lwl.org/pressemitteilungen/nr_mitteilung.php?urlID=50099 (11.05.2020)
- 78 Freundliche Auskunft Bianca Fialla, LWL-Museum für Naturkunde, Münster.
- 79 <https://audiodienst.de/mediathek/radio-saw/2018/11/02/gedruckte-dreidimensionale-grabplatten-im-neuen-dommuseum-ottonianum/9083> (03.08.2020)
- 80 <https://www.mdr.de/sachsen-anhalt/magdeburg/magdeburg/heiliger-mauritius-nachbildung-dom-museum-100.html> (03.08.2020)
- 81 https://www.deutsches-meeresmuseum.de/fileadmin/01_Stiftung_DMM/01_Stiftung/Publikationen/190920_jahrbuch_dmm_2017-18_web.pdf (11.05.2020)
- 82 <https://www.saarbruecker-zeitung.de/saarland/saarlouis/wallerfangen/die-fuerstin-hat-ihren-schmuck-zurueck-aid-5702545> (11.05.2020)
- 83 https://de.wikipedia.org/wiki/Historisches_Museum_Wallerfangen (15.05.2020)
- 84 Vgl. Antley u. a. 2011, 4 mit Vorschlägen zur besseren Zusammenarbeit von Kulturschaffenden und Ingenieuren im Bereich der 3D-Technologien.
- 85 Balletti u. a. 2017, 181.
- 86 <https://www.digitale-methodik.uni-mainz.de> (03.6.2020)
- 87 Ein Beispiel aus Großbritannien ist das British Museum, hier wurden die Gussformen für Shopartikel 3D-gedruckt: <https://blog.britishmuseum.org/a-new-dimension-in-home-shopping/> (16.09.2020).
- 88 Sá u. a. 2012.

3D-Druck an Londoner Museen – Ein Blick nach Großbritannien



Abb. 1: Haupteingang des Victoria and Albert Museum an der Cromwell Road in London im Juni 2011 (Foto: Andreas Praefcke, Public Domain).

Miriam Anders

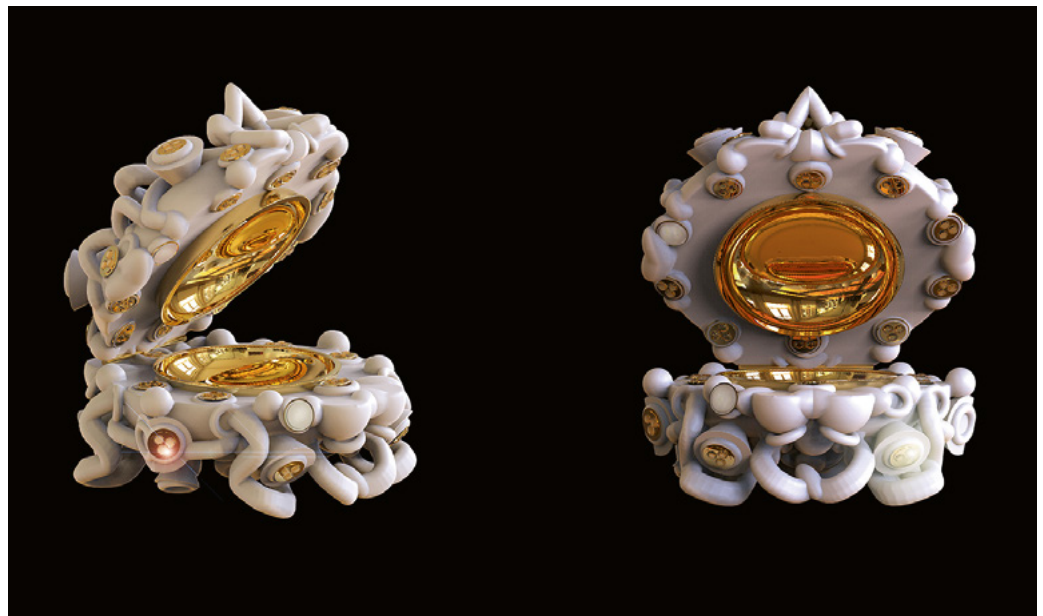
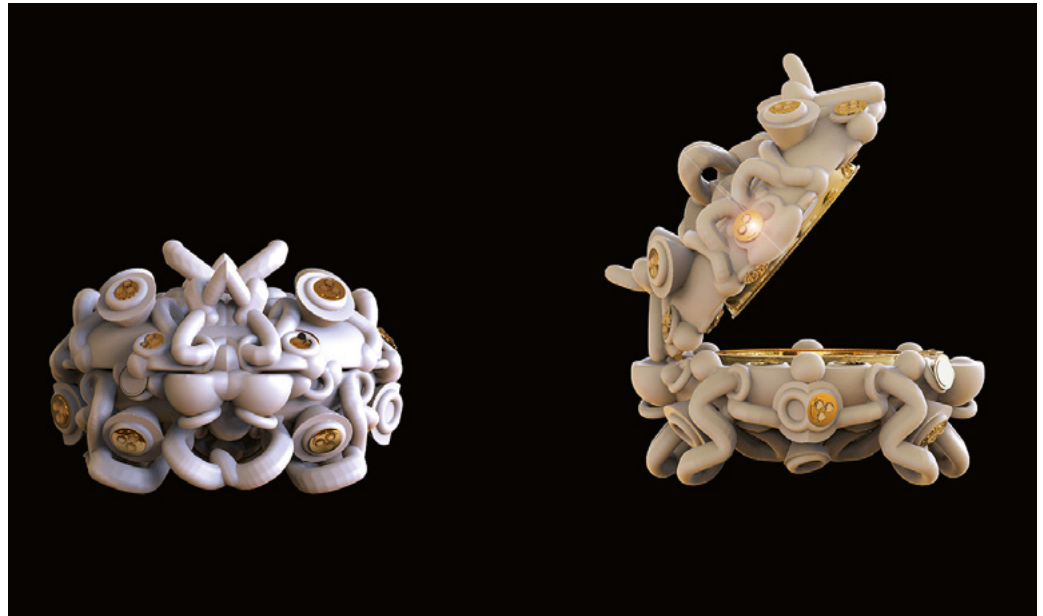
 <https://orcid.org/0000-0001-5027-6310>

Britische Museen sind im Bereich 3D-Druck sehr aktiv. Hier erfolgt ein schlaglichtartiger Überblick über einige markante Projekte von Londoner Museen aus deutscher Perspektive. Der Fokus liegt dabei nicht ausschließlich, aber in der Hauptsache, auf einigen Ausstellungen, die Besucher*innen dieser Großstadt im Januar 2019 an verschiedenen Museen erleben konnten¹.

Frühe Sonderausstellung zum 3D-Druck: Das Science Museum

In London beschäftigen sich Museen bereits seit 2007 mit dem 3D-Druck². Ein frühes Beispiel ist die Sonderausstellung „3D: Printing the Future“ (Deutsch: 3D: Die Zukunft drucken) im Science Museum von Herbst 2013 bis Frühjahr 2015. Sie ist auch heute noch als sogenannter „Blueprint“ für Museen käuflich, also als Vorlage für eine eigene Wanderausstellung zu diesem Thema³. Thematisiert wird dort der 3D-Druck in vier übergeord-

Abb. 2: Digitale Visualisierung von „Visual Feast ‚Box‘, 2018“. Die Schatulle wurde mit dem Material „Moondust“ 3D-gedruckt und zusätzlich von der Künstlerin mit Gold, Diamanten und Perlmutter verziert (Foto und Design: Silvia Weidenbach, Copyright: VG Bild-Kunst, Bonn 2022).



neten Bereichen: „Print it“ (Deutsch: Drucke es), „Perfect it“ (Deutsch: Perfektioniere es), „Heal it“ (Deutsch: Heile es) und „Try it“ (Deutsch: Probiere es aus)⁴. Inhaltlich geht es dabei um 3D-Druckverfahren und druckbare Objekte, um Design, um Anwendungen in der Medizin und um kreative Möglichkeiten des Einsatzes. Die Ausstellung schaffte es bis nach Mexiko: Das „Materia“, ein im Januar 2020 neu eröffnetes⁵ Museum des Centro de Ciencias de Sinaloa in Culiacán, zeigte die Ausstellung im Frühjahr 2020 bis zum Ausbruch der Corona-Pandemie unter dem Titel „Imprimiendo el Futuro“⁶ und präsentiert sie auch bei Google Arts & Culture⁷.

Das Science Museum besitzt außerdem mehrere 3D-gedruckte Objekte als Teil seiner Sammlung, beispielsweise eine Lampe (Inv.nr. 2015–275) oder Figuren auf Basis von Kinderzeichnungen (Inv.nr. 2015–214)⁸.

3D-gedruckte Schusswaffen und weitere Objekte am Victoria & Albert Museum

Das Victoria & Albert Museum (V&A) ist eines der größten und besucherstärksten Museen in London und bezeichnet sich selbst als das „beste Kunst- und Designmuseum der Welt“⁹ (Abb. 1). In den Sammlungsrichtlinien des Jahres 2019 für das „Design, Architecture and Digital Department“ (Deutsch: Abteilung für Design, Architektur und Digitales) thematisiert es explizit den 3D-Druck. Das Museum setzt sich dort zum Ziel, die „Werke von Innovatoren und Veränderern (wie etwa Apple und die Werke der 3D-Druck-Maker-Bewegung)“ zu sammeln¹⁰.



Abb. 3: Originale Marmorskulptur der Pauline Bonaparte, Schwester von Napoleon Bonaparte, in der Galleria Borghese in Rom, Italien (Kunstwerk: Antonio Canova, gemeinfrei, Foto: Architas, CC BY-SA 4.0).



Abb. 4: Glasabguss der Skulptur von Antonio Canova, ein Gemeinschaftsprojekt zwischen dem Designer Giberto Arrivabene und Factum Arte im Jahr 2013. Ein 3D-Druck diente als Modell für die Gussform (Foto: Factum Arte).

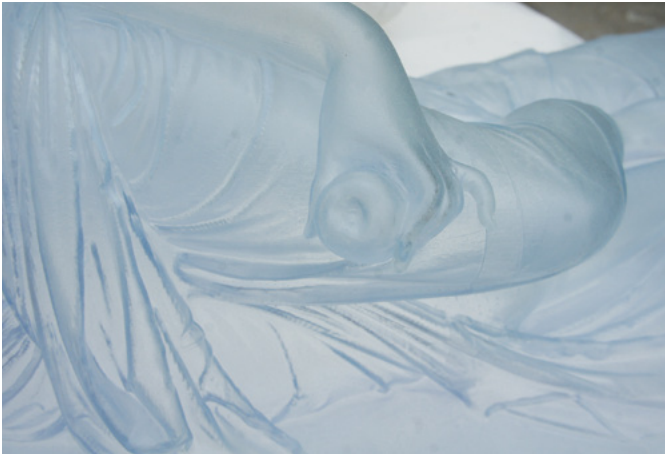


Abb. 5: Detail der Figur (Foto: Factum Arte).

Das V&A erwarb seit 2013 drei Versionen der ersten funktionsfähigen, 3D-druckbaren Schusswaffe mit Namen „Liberator“ der Firma Defense Distributed: Ein vollständiges und unbenutztes, ein in Einzelteile zerlegtes sowie ein abgeschossenes Exemplar¹¹. Das vollständige Exemplar wurde im Ausstellungsbereich „Rapid Response Collecting“, gemeint ist das reaktionsschnelle Sammeln zeitgenössischer Objekte, gezeigt. Nach einer Beschriftung an der Vitrine vor Ort wurde die Schusswaffe aus konservatorischen Gründen am 14. November 2017 entnommen und wurde seither mindestens bis zum Januar 2019 nicht mehr gezeigt¹². Die Aufnahme dieser Schusswaffe in die Sammlung bescherte dem Museum zum einen eine Diskussion über seine kuratorische Praxis, zum anderen war es mit rechtlichen Problemen aufgrund der britischen und der US-Waffengesetzgebung konfrontiert¹³.

In der Sammlung des Museums finden sich zahlreiche weitere 3D-gedruckte Objekte, die im Hinblick auf die Museumsethik weniger problematisch sind: Die Schuhe „Invisible Naked Version“ von Andreia Chaves (2011)¹⁴, zwei Keramikvasen aus Südkorea von Seong Man Ahn (2015)¹⁵, die zwei Porträts der Whistleblowerin Chelsea Manning von Heather Dewey Hagborg („Radical Love“, 2015)¹⁶, der Stuhl „Materialized Sketch“ von Front Design (2005)¹⁷ und ein 3D-Drucker „Thing-O-Matic“ der Firma Makerbot¹⁸.

Der 3D-Druck im Museum wurde in weiteren Ausstellungsbereichen thematisiert: Schmuckstücke der Künstlerin Silvia Weidenbach¹⁹ ergänzten vom 09.07.2018 bis 07.01.2019 im Rahmen der Intervention „Visual Feast – Silvia Weidenbach in the Gilbert Galleries“ (Deutsch: Visuelles Fest – Silvia Weidenbach in den

Gilbert Galleries) eine der Ausstellungsgalerien des V&A²⁰. Silvia Weidenbach war vorher von April 2017 bis April 2018 als Artist in Residence am Museum. Bei den gezeigten Schmuckstücken wurden klassische Techniken zur Schmuckherstellung und der 3D-Druck in Kombination eingesetzt. Eines der Werke war eine Schatulle, die durch Sammlungsobjekte inspiriert wurde. Sie fand den Weg in die Sammlung (Visual Feast ‚Box‘, 2018)²¹ (Abb. 2).

Auch im Ausstellungsbereich „Cast Courts“ (Deutsch: Abguss-Höfe; freier: Abgusshallen), der sich Kopien und Reproduktionen widmet, finden sich mehrere 3D-Drucke. Die beschreibenden Texte erwähnen immer wenigstens die Herstellungstechnik, liefern jedoch in der Regel noch weitere Details, zum Beispiel zum Entstehungsanlass und zu den verwendeten Druckverfahren. Es waren dort zu sehen: Ein blauer 3D-Druck einer Flasche von 1851 aus Silber und Glas²², ein Tastobjekt einer Zinnplatte²³ und drei Kopien der Skulptur „Pauline Bonaparte als Venus Victrix“ von Antonio Canova (1805–1808), bei deren Herstellung der 3D-Druck eine Rolle spielte²⁴ (Abb. 3–5).

Im bereits erwähnten Ausstellungsbereich „Rapid Response Collecting“ war außerdem ein 3D-gedruckter Fahrradlenker²⁵ zu sehen.

3D-Druck und Architektur im Sir John Soane's Museum

Das Sir John Soane's Museum widmet sich dem gleichnamigen Londoner Architekten. Es präsentiert dessen Sammlung im zu Lebzeiten bewohnten, nahezu unveränderten Wohn- und Geschäftshaus (Abb. 6). Im Rahmen der Sonderausstellung „Code Builder. A Robotic Choreography by Mamou-Mani“²⁶ (Deutsch: Code-Bauer. Eine Roboter-Choreografie von Mamou-Mani) von 05.12.2018 bis 03.02.2019 wurde das durch das Architektenbüro Mamou-Mani entworfene und gebaute



Abb. 6: Gebäude-Ensemble des Sir John Soane's Museum in London (Foto: Miriam Anders)

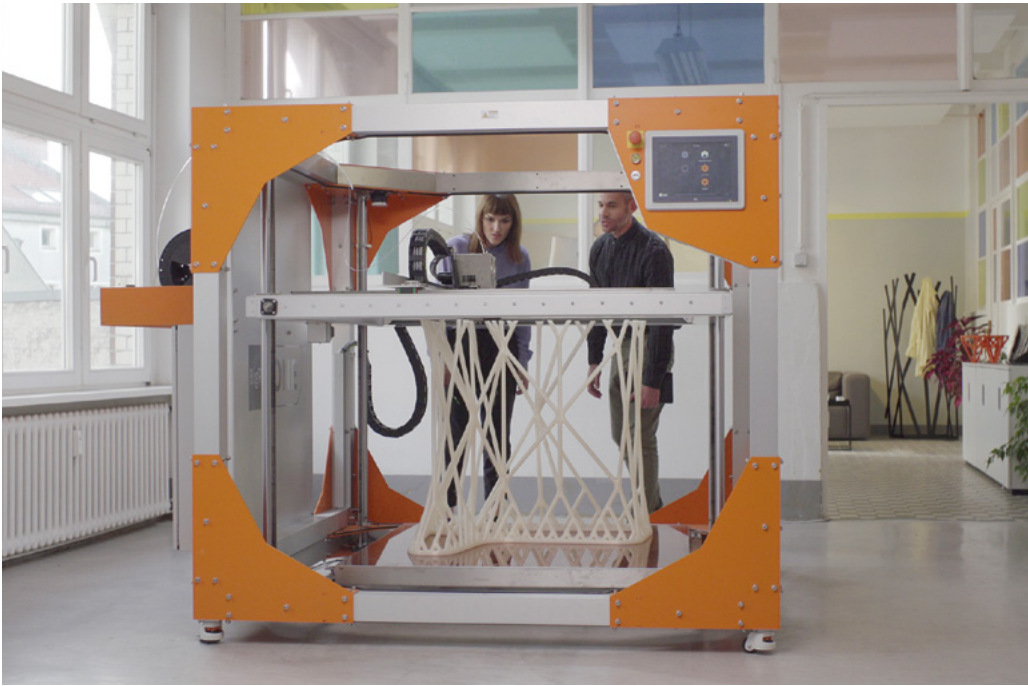


Abb. 7: Der BigRep One ist ein großformatiger 3D-Drucker mit einem Bauvolumen von 1 m³ (Foto: BigRep GmbH, bigrep.com).

Kunstwerk „Galaxia“²⁷ vorgestellt. Es handelte sich dabei um ein spiralförmig geschwungenes, hölzernes Bauwerk, den sogenannten Tempel, für das „Burning Man“-Festival (Deutsch: Brennender Mann) im US-Bundesstaat Nevada im Jahr 2018. Im Zentrum von „Galaxia“ befand sich ein 3D-gedrucktes Mandala: Eine Installation aus einzelnen tropfenförmigen Objekten, die wie Tränen vom höchsten Punkt des Bauwerks in den Innenraum herabfielen²⁸. Im Museum stand ein 3D-Drucker des Modells, mit dem die Tropfen produziert wurden. Thematisiert wurde in der Ausstellung auch das verwendete biologisch abbaubare **Filament**.

Design Museum

Das 1989 gegründete Design Museum bezog im Jahr 2016 ein neues, modernes Museumsgebäude und erhielt 2018 die Auszeichnung „European Museum of the Year“²⁹. In der Dauerausstellung „Designer Maker User“ beschäftigt es sich mit der Geschichte des 3D-Drucks und der **Maker-Szene**. Es stellt einen kleinen 3D-Desktop-Drucker (Form 2 von Formlabs, 2015) und einen Großformat-Drucker für Kunststoffe aus (BigRep One, **Abb. 7**). Der große 3D-Drucker wird regelmäßig im Rahmen von Vorführungen in Betrieb genommen.

Es beherbergt zahlreiche Designbeispiele für digitale Fertigung mit 3D-Druck, auch die Nutzung des 3D-Drucks für Prothesen ist dort Thema. Das Design der Ausstellung selbst greift mit zahlreichen Möglichkeiten zur Interaktion und seinem modularen Aufbau Ideen der **Maker-Szene** auf und setzt sie in den Museumsraum um.

Das Museum bietet darüber hinaus Workshops für Gruppen und Schulklassen sowie freie Workshops für Jugendliche zum 3D-Druck an, in denen mal die Herstellungstechnik, mal der Inhalt im Vordergrund steht, zum Beispiel „Eine Mars-Kolonie 3D-drucken“³⁰.

Zusammenfassung

Im Januar 2019 konnten Museumsbesucher*innen in London nicht nur in einem, sondern in mehreren Museen gleichzeitig verschiedene Facetten des 3D-Drucks entdecken. Ein Spezialmuseum wie das Sir John Soane’s Museum schaffte es ebenso wie die großen Häuser, den 3D-Druck in das Museum und in seine Ausstellung einzubinden. 3D-gedruckte Objekte haben schon seit vielen Jahren Einzug in die Sammlungen gehalten, am V&A werden sie zudem im Rahmen des Sammlungskonzepts aktiv gesammelt. Eine Sonderausstellung reist wortwörtlich um die Welt. Dauerausstellungen wurden durch Ergänzungen und Interventionen mit Bezug zu dieser (relativ) neuartigen Fertigungstechnik aktualisiert und aufgefrischt.

Britische Museen waren beim Thema 3D-Druck Vorreiter. Die Zugänglichkeit ihrer Online-Sammlungen und der gute Publikationsstand erlaubt es Museen in anderen Ländern, sich von ihnen inspirieren und anregen zu lassen.

Literatur:

Kanowski 2016: C. Kanowski, Digi.anALOG. Der Dialog von digitalen und analogen Techniken in der aktuellen Porzellangestaltung. In: Haak, C./Helfrich, M. (Hrsg.) Casting. Ein analoger Weg ins Zeitalter der Digitalisierung? Ein Symposium zur Gipsformerei der Staatlichen Museen zu Berlin (Heidelberg: arthistoricum.net, 2016), 291–299. Online (22.07.2020): <https://doi.org/10.11588/arthistoricum.95.114>

Scholze 2016: Scholze, J., Ghosts and Dancers: Immaterials and the Museum. In: Farrelly, L./Weddell, J. (Hrsg.) Design objects and the museum (London 2016) 61–70.

Short 2015: Short, D. B., Use of 3D Printing by Museums: Educational Exhibits, Artifact Education, and Artifact Restoration. In: 3D Printing and Additive Manufacturing 2, Nr. 4 (2015) 209–2015.

- 1 Beispiele, die nicht bebildert werden konnten, können über die Bildersuche einer Suchmaschine im Internet leicht gefunden werden.
- 2 Short 2015. Hier findet sich eine Beschreibung mehrerer früher englischsprachiger Ausstellungsprojekte zum 3D-Druck.
- 3 <https://www.sciencemuseumgroup.org.uk/our-services/partner-with-us/touring-exhibitions/3d-printing-the-future/> (10.06.2020)
- 4 <http://www.sciencemuseumgroup.org.uk/wp-content/uploads/2017/05/3D-printing-exhibition-brochure.pdf> (10.06.2020).
- 5 https://sic.cultura.gob.mx/ficha.php?table=museo&table_id=2171 (10.06.2020)
- 6 <https://www.ccs.edu.mx/somosmateria/imprimiendo.html> (10.06.2020).
- 7 <https://artsandculture.google.com/exhibit/3d-printing-the-future/zQlihl37WfYmIA> (10.06.2020)
- 8 <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8363899/> und <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8362546/> (23.09.2020)
- 9 <http://www.vam.ac.uk/content/articles/other/uber-das-victoria-and-albert-museum/> (14.06.2020)
- 10 Victoria and Albert Museum 2019, 13. Hier sind auch die folgenden Beispiele der 3D-gedruckten Schusswaffe sowie der Objekte in den „Cast Courts“ erwähnt: Victoria and Albert Museum 2019, 14; 29.
- 11 <https://www.vam.ac.uk/articles/the-liberator-the-worlds-first-3d-printed-handgun> (10.06.2020). Im Online-Katalog des Museums: 1) <http://collections.vam.ac.uk/item/O1278316>, 2) <http://collections.vam.ac.uk/item/O1300645>, 3) <http://collections.vam.ac.uk/item/O1300646> (10.06.2020).
- 12 Originaltext des an der Vitrine angebrachten Labels beim Ortsbesuch der Verfasserin am 02.01.2019: „This object has been temporarily removed for conservation reasons“. Auf dem Label waren zudem die Inventarnummer (CD.41-2014), der Name des Kurators sowie das Datum der Entnahme (14.11.2017) erwähnt.

Victoria and Albert Museum 2019: Victoria and Albert Museum, Collections Development Policy 2019 (London 2019). Online (14.06.2020): <https://vanda-production-assets.s3.amazonaws.com/2019/08/05/10/18/38/9432e948-aede-479a-bdee-3cb18be965c2/2019%20Collections%20Development%20Policy.pdf>

Weidenbach 2020: S. Weidenbach, Visual Feast (London 2018).

Links zu Bildern:

Abb. 1: Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Entrance_Victoria_and_Albert_Museum_2011.jpg
Lizenz: Public Domain

Abb. 3: Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paolina_Borghese_\(Canova\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paolina_Borghese_(Canova).jpg)

CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>


- 13 Scholze 2016: 65–66.
- 14 <http://collections.vam.ac.uk/item/O1315182> (10.06.2020)
- 15 <http://collections.vam.ac.uk/item/O1385692> und <http://collections.vam.ac.uk/item/O1385692> (10.06.2020)
- 16 <http://collections.vam.ac.uk/item/O1348516/> (10.06.2020)
- 17 <http://collections.vam.ac.uk/item/O1299501> (10.06.2020)
- 18 <http://collections.vam.ac.uk/item/O1439620> (10.06.2020)
- 19 Weidenbach 2020. Mehr zur Künstlerin und ihrer Arbeit mit 3D-Druck: Kanowski 2016, 294–295.
- 20 <https://www.vam.ac.uk/exhibitions/visual-feast> (10.06.2020), Ortsbesuch der Verfasserin am 02.01.2019. Bilder der Ausstellung: <https://www.charlottejoyjohnson.com/visual-feast> (26.11.2020)
- 21 <http://collections.vam.ac.uk/item/O1457401> (10.06.2020)
- 22 <http://collections.vam.ac.uk/item/O1457256> (10.06.2020)
- 23 Nicht in der Online-Sammlung verzeichnet (10.06.2020).
- 24 <http://collections.vam.ac.uk/item/O1389155>, <http://collections.vam.ac.uk/item/O1454796>, <http://collections.vam.ac.uk/item/O1454797> (alle 10.06.2020). Mehr Informationen zur Herstellung: <https://www.factum-arte.com/pag/572/canovas-paolina-borghese> (16.10.2020)
- 25 <http://collections.vam.ac.uk/item/O1318248> (10.06.2020)
- 26 <https://www.soane.org/whats-on/exhibitions/code-builder> (14.06.2020)
- 27 <https://mamou-mani.com/project/galaxia/> (14.06.2020)
- 28 Bilder: <https://www.3dwasp.com/en/delta-wasp-3mt-at-burning-man-in-the-nevada-desert/> (14.06.2020)
- 29 <https://designmuseum.org/about-the-museum/> (15.06.2020)
- 30 <https://designmuseum.org/digital-workshops> und <https://designmuseum.org/whats-on/families/get-into-design-past/3d-printing-a-mars-colony> (15.06.2020)



Abb. 1: Architekturmodell des Ausstellungsraums, im Zentrum der 3D-gedruckte Schmelzriegel. Das Modell wurde auf einem unterfahrbaren Sockel im Eingangsbereich der Ausstellung aufgestellt (Foto: VRVis, Andreas Reichinger).

3D-Drucke in der inklusiven musealen Vermittlungsarbeit

Linda C. Reiter
Moritz Neumüller
Andreas Reichinger

 <https://orcid.org/0000-0002-2835-5634>

Tastmodelle, 3D-Repliken, Reliefbilder und taktile Tafeln im Ausstellungsraum verändern die Wahrnehmung und das Erleben von Kunstwerken und Ausstellungen wesentlich. Oft zunächst als Maßnahme für mehr Inklusion und Barrierefreiheit angeschafft, entwickeln sich taktile Angebote im Museum zu Publikumsmagneten mit großem Attraktionspotenzial für alle Besucher. Um den Mehrwert für die zielgruppenspezifische Ansprache der Blinden und sehbeeinträchtigten Menschen zu schaffen, müssen für die Erstellung dieser Hilfsmittel allerdings gewisse Regeln bezüglich Design und technischer Umsetzung beachtet werden.

Was verstehen wir unter 3D-Drucken? Welche Herstellungsweisen werden in Museen wofür eingesetzt? Gibt es Best-Practice und Fallstudien von Museen im deutschsprachigen Raum? Dieser Beitrag beleuchtet die Möglichkeiten und Grenzen von 3D-Druck im Bereich Inklusion und Barrierefreiheit im Museum und spiegelt konkrete Erfahrungen der Autor*innen wider.

3D im Museum – nur für blinde Besucher*innen?

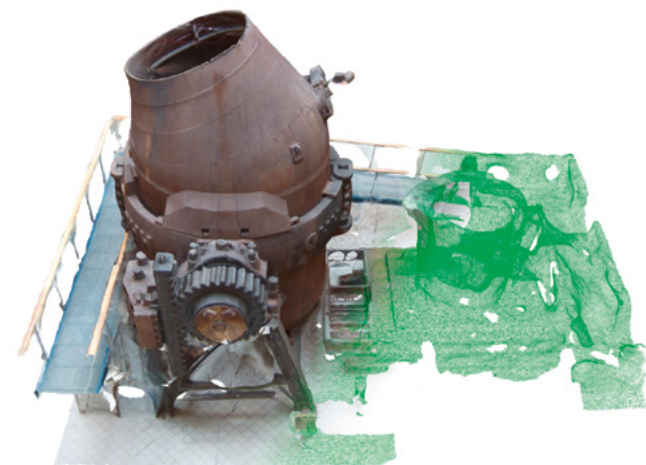
Blickt man auf die regionale wie internationale Museumslandschaft, so lässt sich in den letzten Jahren eine starke Entwicklung in Richtung barrierefreier Vermittlung und die Erweiterung des Angebots für alle Publikumsschichten feststellen.¹ Die Einbeziehung der Sinne soll einen tieferen Zugang zu Verständnis und Erleben ermöglichen, unabhängig von einer sensorischen Beeinträchtigung der Museumsbesucher*innen. Unterstützt werden diese Überlegungen von der Forschung: Studien der Neurowissenschaften und der Erziehungswissenschaften weisen auf die Bedeutung von taktilem Berührung hin.² „Anfassen können“ steigert das Interesse, das Vergnügen und den Anreiz, Neues zu lernen: Die haptische Erforschung ist eine grundlegende Erfahrung, die den Menschen hilft, die physische Welt um sie herum wahrzunehmen und zu verstehen. Die sensorischen Informationen der Museumsausstellungen, insbesondere die Oberflächenstruktur und das Material, sind für Museumsbesucher*innen besonders wichtig, da die Artefakte selbst im Zentrum der sozialen, lehrreichen und unterhaltsamen Erfahrung eines Museumsbesuchs stehen.



Abb. 2: Der originale Schmelztiegel wurde aus zahlreichen verschiedenen Perspektiven fotografiert (Foto: VRVis, Andreas Reichinger).

Abb. 3: Rekonstruktion der Form mittels Fotogrammetrie (Grafik: VRVis, Andreas Reichinger).

Abb. 4: 3D-Druck des Schmelztiegels (Foto, Design: VRVis, Andreas Reichinger).



Übertragen auf die Konzeption von inklusiven Ausstellungen können daher taktile Materialien für alle Menschen, auch für sehbeeinträchtigte und blinde, das Ausstellungserlebnis steigern. Die haptischen Angebote, sei es in 3D-Druck oder in anderen Techniken, können nicht nur im Rahmen von Sonderführungen genutzt werden. Auch die Integration von permanent installierten Tastobjekten in eine Sammlungspräsentation wird zunehmend häufiger.

Geht es um eine digital-technologische Herstellung von taktilen Hilfsmitteln für eine Ausstellung, wie ein taktiler Lageplan, ein Architekturmodell zum Ertasten oder ein Bild im Relief, werden spezialisierte 3D-Designer, Modellbauer und Wissenschaftler mit eingehender Expertise in diesem Bereich beauftragt³. Diese wenden vorhandene Forschungsergebnisse an und befolgen Vorschriften und Normen, wenn es um taktile Schriften geht. Weiter gilt es, Kanten, Höhenunterschiede oder Unterschiede in der Oberflächentextur gezielt einzusetzen, um den Lesevorgang zu erleichtern. Es müssen Prozesse der Reduktion oder der Vergrößerung erfolgen,

um Abstände für den tastenden Finger zu gestalten. Vor allem aber ist wichtig, in die Entwicklung und Umsetzung von Beginn an Menschen mit Behinderungen einzubinden, vor allem jene mit Sehschwächen. Eine übergeordnete Designstrategie soll sicherstellen, dass Design für alle (Englisch: Design for all⁴), nicht nur für Standardbesucher*innen und nicht nur für „besondere“ Besucher*innen mit Beeinträchtigungen entsteht.

Kategorien und Herstellungsweisen von 3D-Drucken

Der Begriff „3D-Modell“ teilt sich de facto auf in taktile Bilder (2D), reliefartige (2,5D) und dreidimensionale (3D) Materialien⁵. Als Herstellungsmethode vereint der Begriff 3D-Druck verschiedene Verfahren zum Ausdrucken von 3D-Modellen. Dem Druck voraus geht ein rechnergestütztes Konstruieren in der dritten Dimension. 3D-Druckverfahren arbeiten additiv. Das Material wird schichtweise zu einem 3D-Modell aufgebaut. Besonders widerstandsfähige Materialien für den 3D-

Druck sind Polymethylmethacrylate, verschiedene Kunstharze oder Verbundmaterialien mit Holz- und Metallanteil.

Während dreidimensionale Modelle besonders gut geeignet sind, in der Hand gehalten und mit den Fingern umfasst zu werden, zielen Reliefbilder darauf ab, zweidimensionale Abbildungen haptisch zu vermitteln. Dabei werden grundsätzlich zwei Arten von Tastbildern unterschieden: Einerseits die erhabene Liniengrafik auf flachem Grund, und andererseits das Hochrelief. Diese Unterscheidung bezieht sich primär auf die erstellten Objekte, nicht auf die Originale. Reliefs können beispielsweise auf Gemälden basieren (2D wird zu 2,5D). Sie können auch Objekte oder Gebäudefassaden mit filigranen Details vereinfachend darstellen und so für den Besucher „begreifbar“ machen (3D wird zu 2,5D).

Erhabene Liniengrafiken werden heute meist mit digitalen Herstellungsmethoden wie dem UV-Reliefdruck⁶ erzeugt, aber auch mittels Schwellpapier⁷, Thermoformen⁸ und mittels Stanzdruckern. Hochreliefs (halbes 3D oder dreiviertel 3D) andererseits werden zumeist mittels CNC-Fräsen von Holz, Kunststoffen oder aus Kunststein (z. B. DuPont Corian®) hergestellt. Als Unterscheidungsmerkmal in Bezug auf Reliefbilder kann gesagt werden, dass der Einsatz von taktilen Linien- und Strukturbildern eher auf das Lesen und damit auf eine kognitive Lernerfahrung abzielt, während das Hochrelief das sensorische Erleben ermöglicht.

Digitale 3D-Modelle sind weltweit verfügbar

Der spezifische Vorteil von 3D-Modellen gegenüber händisch gefertigten ist sicher, dass diese am Computer betrachtet werden können, und zwar weltweit und mit jedem Internetbrowser. Auch einige Museen pflegen eigene 3D-Objektdatenbanken oder beteiligen sich an Plattformen. So können Menschen weltweit auch eigene kleine 3D-Tastmodelle produzieren. Im Folgenden werden drei Beispiele von 3D-Drucken mit inklusivem Ansatz an Wiener Museen vorgestellt sowie ein weiteres Beispiel aus Deutschland.

Technisches Museum, Wien

Für die Dauerausstellung „IN ARBEIT. Die Ausstellung zur Dynamik des Arbeitslebens“ (seit 21.10.2011) entstanden 2011 tastbare Materialien⁹. Die Inhalte der Schau sollen für alle Besuchergruppen greifbar sein. Im Eingangsbereich der Ausstellung steht ein handgefertigtes Architekturmodell des Ausstellungsraums (Abb. 1). Das Modell wurde so angebracht, dass es auch von Rollstuhlfahrern und Schulkindern gut angefasst werden kann. Im Zentrum dieses Architekturmodells steht das Modell eines Schmelzriegels. Das 3D-Modell

wurde aus mehr als 400 Fotos erstellt, die vom originalen Schmelzriegel aufgenommen worden waren (Abb. 2). Diese Bilder wurden durch Fotogrammetrie in ein 3D-Modell konvertiert (Abb. 3) und dieses dann auf einem 3D-Drucker produziert (Abb. 4). Im Verhältnis zum Architekturmodell befindet es sich in der exakt selben Position und auch im entsprechenden Maßstab zum Original. Seither wurde das Modell von vielen Besuchern verwendet, um sich einen Überblick über die Ausstellung zu verschaffen. Um den Bedürfnissen von Besuchern mit Sehbehinderungen zu entsprechen, sind Umhängemappen mit taktilen Diagrammen auf Papier, Braillebeschriftungen und Audioguides am Eingang des Museums hinterlegt, welche nützliche Informationen (einschließlich der Wegbeschreibungen durch das Museum) enthalten.

Kunsthistorisches Museum, Wien

Ein zweites Beispiel aus Wien ist eine Taststation mit taktilen Bildern und 3D-Drucken im Kunsthistorischen Museum in Wien. Das Museum ist seit vielen Jahren in der barrierefreien Kunstvermittlung tätig: Durchführung von Tastführungen, Einsatz von taktilen Hochreliefs oder der inklusive Kunstband „Gemeinsam anders sehen“¹⁰.

Es beauftragte im Sommer 2018 eine weitere Taststation, die als Mischung von 2D- und 3D-Druck entstand¹¹ (Abb. 5). Es handelt sich um das Gemälde „Kampf zwischen Fasching und Fasten“ (1559) von Pieter Bruegel dem Älteren¹². Zu ertasten sollten Kompositionslinien und Umrisslinien einzelner Figuren und Architekturen sein. Die erste taktile Liniengrafik arbeitet die Struktur der Komposition heraus. Die zweite Liniengrafik zeigt zusätzlich die beiden Hauptfiguren, die das Thema des Gemäldes bestimmen, und zwei weitere kleine Figuren in der Volksmenge. Im dritten Teil der Station sind diese beiden kleinen Figuren haptisch erfassbar ausgearbeitet (Abb. 6). Daneben befinden sich große, 3D-gedruckte Tastobjekte für „begreifende“ Hände. Es handelt sich um 3D-Drucke von Alltagsgegenständen, die sich auch im Bild wiederfinden und die sonst nur für Augen sichtbar sind: Ein Lederschuh, eine Sparbüchse und eine Münze. Die Größe der Tastobjekte entspricht nicht dem Original, sondern wurde so gewählt, dass die wichtigen Details gut erfasst werden können. Bei der Auswahl des Materials kam es auf die Robustheit an: Digitaler Reliefdruck, lackiertes Polyurethan und Corian® wurden verwendet.

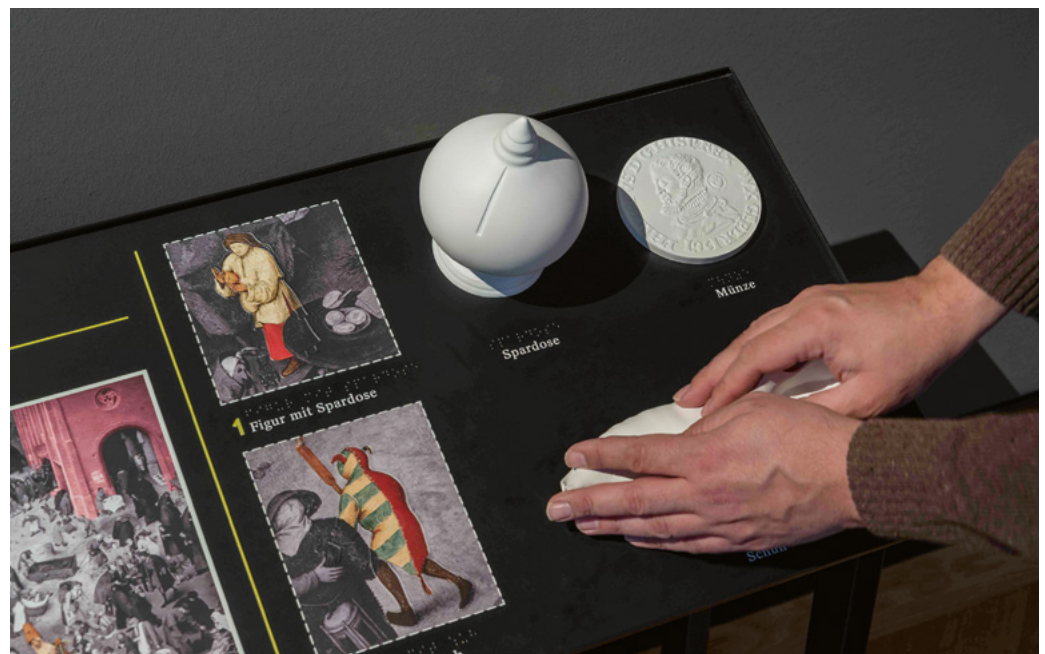
Wien Museum MUSA

Ein weiteres Beispiel für multimediale, multisensorische Nutzung von 3D-Drucken bot die Sonderausstellung „raum_körper einsatz, Positionen der Skulptur“ (19.05. bis 09.10.2010) im damaligen „MUSA Museum



Abb. 5: Gesamtansicht der Taststation (Foto: Tactile Studio).

Abb. 6: Haptische Figuren (links) sowie Spardose, Münze und Schuh (verdeckt durch die Hand) als 3D-Drucke an der Taststation (rechts) (Foto: Tactile Studio).



auf Abruf“, heute Wien Museum MUSA. Das Projekt bestand aus vier Tastführungen für visuell beeinträchtigte Menschen für die Skulpturenausstellung und einem Set mit eigens für die Ausstellung konzipierten Materialien: Umhängetasche, Baumwoll-Handschuhe, Brailletext, tastbarer Plan, 3D-Druck, Tastdiagramme und MP3-Player mit dem Audioguide.

Ein besonderer Fall für die taktile Vermittlung in dieser Ausstellung war Lotte Hendrich-Hassmanns unbetiteltete Fotografie von einer Aktion von Rita Furrer. Es wurde der Versuch unternommen, die Fotografie im Format 40 × 30 cm tastbar zu machen, indem die Pose der auf der Fotografie sichtbaren Figur von einem Modell nachgestellt, und diese dann ganzheitlich eingescannt wurde (Abb. 7). Das daraus entstandene, digitale 3D-Modell (Abb. 8) wurde als Gipsfigur ausgedruckt (Abb. 9) und

mit Modellbau-Methoden dem Original angepasst (Abb. 10). Die etwa 30 cm hohe Figur wurde neben der Fotografie im Museumsraum ausgestellt, und dem Publikum ausdrücklich als Tastobjekt beschrieben (Abb. 12, Abb. 13).

Bundeskunsthalle, Bonn

Für die Sonderausstellung „Wetterbericht. Über Wetterkultur und Klimawissenschaft“ (07.10.2017 bis 04.03.2018) entstand ein 3D-Modell einer Schneeflocke, das ergänzt wurde um Beschriftungen für sehende Besucher und um Brailleschrift für blinde Besucher¹³ (Abb. 13). Mit der Ausstellung schloss ein deutsches Verbundprojekt mit Namen „Pilot Inklusion“ zum Thema kulturelle Teilhabe in Museen ab, das zwischen 2015

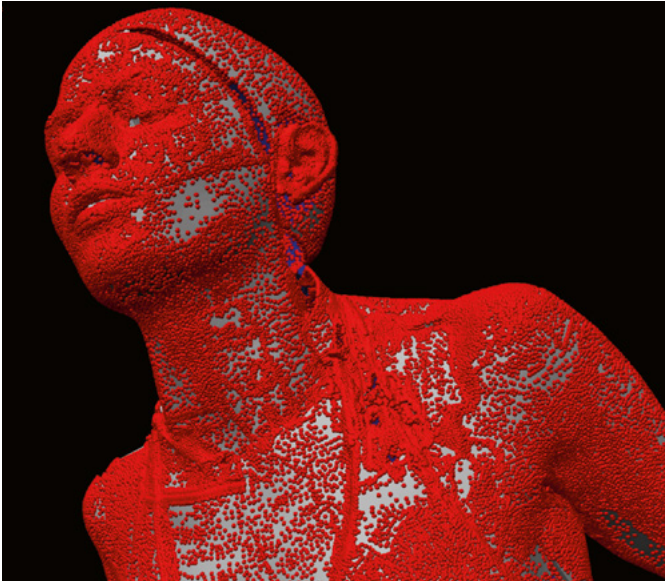


Abb. 7: Resultat des Körperscans eines Modells als Punktwolke (Design: Florian Rist).

Abb. 8: 3D-Modell des Körpermodells (Design: Florian Rist).

und 2017 gefördert wurde. Zusammen mit weiteren Partnern¹⁴ wurden in dem Projekt innovative Konzepte zu inklusiven Ausstellungspräsentationen entwickelt, ausgehend von den Bedürfnissen von Menschen mit Beeinträchtigungen¹⁵. Mit herkömmlichen Fertigungsverfahren wäre das Schneeflocken-Modell nur mit großem Aufwand herstellbar gewesen.

Jenseits des 3D-Drucks: Weitere 3D-Techniken für mehr Inklusion

Seit rund 10 Jahren beschäftigt sich ein Teil der Forschungsgruppe „Multiple Senses“ (Deutsch: Mehrere Sinne) am Zentrum für Virtual Reality und Visualisierung Forschungs-GmbH in Wien (VRVis) damit, Kunst mittels Technologie auch für Menschen mit Beeinträchtigungen zugänglich zu machen und Museen barrierefreier zu gestalten. Diese Arbeit wurde im Rahmen des EU-geförderten Projektes ARCHES¹⁶ fortgeführt. ARCHES steht für „Accessible Ressources for Cultural Heritage EcoSystems“, was sinngemäß auf Deutsch bedeutet, dass barrierefreie Informationsträger zur Vermittlung des kulturellen Erbes erstellt werden sollen.

Im Rahmen von ARCHES wurde ein weiteres Bild von Pieter Bruegel dem Älteren im Kunsthistorischen Museum Wien multisensorisch erfassbar gemacht, in diesem Fall „Bauer und Vogeldieb“ (1568)¹⁷ (Abb. 14). Dazu wurde ein gestengesteuerter, taktiles Multimediaguide entwickelt, der beispielsweise auf einen Fingerzeig auf dem Tastrelief reagiert. Dieser erweitert die Interaktionsmöglichkeiten mit dem Kunstwerk, indem er Informationen zum Ausstellungsstück bietet – als Audiodatei, als Text zum Lesen oder in Gebärdensprachevideos.

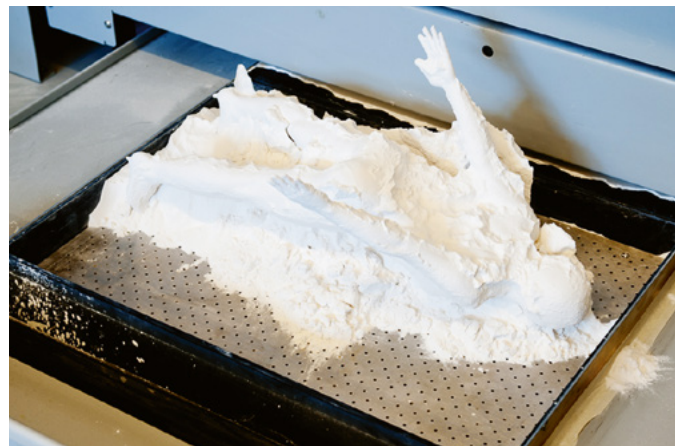
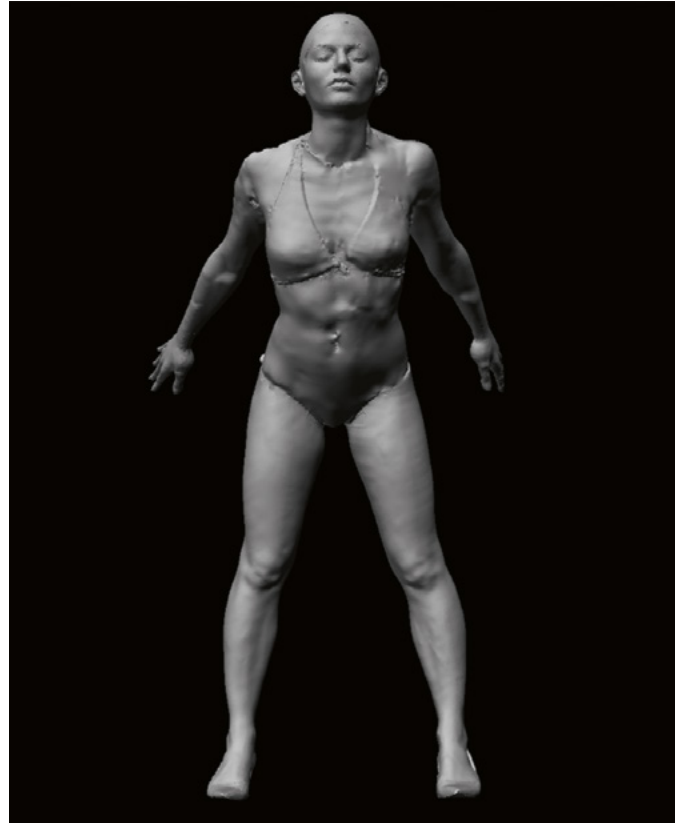


Abb. 9: 3D-Druckverfahren (Foto: Florian Rist).

Animationen, Projektionen auf dem Relief und interaktive Soundscapes runden das Angebot ab und wecken zusätzlich auch das Interesse von Kindern. Die auf dem Computer erzeugten und in verschiedene Materialien gefrästen Reliefs wurden für fünf weitere europäische Museen hergestellt, unter anderem das Victoria & Albert Museum in London und das Museo Nacional Thyssen-Bornemisza in Madrid.

Vor- und Nachteile des 3D-Drucks für 3D-Modelle im Museum

Die Entwicklungen der letzten Jahre haben 3D-Druck zu einem interessanten neuen Medium in der musealen Vermittlung gemacht. Zu den bedeutendsten Vorteilen des 3D-Drucks zählen:



Abb. 10: Fertiges Tastmodell (Foto: ArteConTacto, Nelson Arrellano).

Abb. 11: Aufstellung des 3D Drucks im Ausstellungsraum, zusammen mit dem Original, Lotte Hendrich-Hassmanns Fotografie Ohne Titel, 1982 (Foto: ArteConTacto).



Abb. 12: Eine blinde Person verwendet das 3D-gedruckte Tastobjekt, um das Original besser zu verstehen (Foto: ArteConTacto).

Alle Bilder dieser Seite: Rita Furrer, Lotte Hendrich-Hassmann, Copyright: VG Bild-Kunst, Bonn 2022.





Abb. 13: Taststation „Schneeflocke“, daneben Braille-Beschriftung und Text für Sehende (Foto: Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland GmbH, David Ertl).

1. Die wissenschaftliche Korrektheit der Darstellung aufgrund von Datensätzen für das Körpermodell. Selbst komplizierteste Formen lassen sich drucken, die mit herkömmlichen Methoden nicht oder nur schwer erstellbar sind.
2. Skalierbarkeit der Reproduktion. Hat man die digitalen Daten aufbereitet, lassen sich diese in der gewünschten Anzahl, Größe und in einer beständig wachsenden Auswahl an Materialien quasi auf Knopfdruck erzeugen.
3. Grundsätzlich multiple Ansichten und Darstellungen in unterschiedlichen Modi möglich (2D; 2,5D; 3D).
4. Integration von taktilen Schriften (Braille, taktiler Schwarzschrift).
5. Unterschiedliche Oberflächenbehandlung durch Einsatz von Kunstharzen, Lackierungen etc.

Bei all den Vorteilen sollten aber neben 3D-Druck nicht andere Herstellungsmöglichkeiten vergessen werden. Obwohl es durch die rasanten Neuentwicklungen schwierig ist, auf Dauer konkrete Empfehlungen abzugeben, ist es in jedem Fall sinnvoll, verschiedenen Herstellungsmethoden zu prüfen. Beispielsweise sind Stabilität, Langlebigkeit, und Oberflächenqualität bei vielen 3D-Druck-Methoden nicht ausreichend gegeben. Was die für taktiler Objekte oft wünschenswerte Größe angeht, stößt man häufig an die Grenzen des Möglichen, da die Größe der Bauräume der meisten 3D-



Abb. 14: Gestengesteuerte Medienstation: Auswechselbare taktile Reliefs werden mit Projektionen, interaktiven Soundscapes, Videos, Animationen und positionsspezifischen Texten via Audio, Gebärdensprache, vereinfachter Sprache, Untertitel und Volltext erfahrbar gemacht (Foto: VRVis, Andreas Reichinger).

Drucker begrenzt ist. Übergroße 3D-Drucke können enorme Kosten verursachen, da der Preis auch vom Volumen des Teils abhängt. Diese Herstellungskosten sind ein Argument, preisgünstigere **CNC**-Fräsmaschinen zu verwenden, um gute Oberflächenqualität auf soliden, desinfizierbaren Materialien zu erzeugen.

Ausblick

Der Einsatz von 3D-Druck für Barrierefreiheit und Vermittlung im musealen Bereich steht im Einklang mit partizipativen Ansätzen und dem Konzept des Museums als Kontaktzone. Das multisensorische Erleben und „Be-Greifen“ von Kunst ist für viele Gruppen der Gesellschaft von Vorteil und interessiert sowohl die älteren Museumsbesucher, als auch die technikinteressierte Jugend, zum Beispiel durch Kombination mit Virtual Reality und Augmented Reality. 3D-Drucke können durch sparsamen Materialverbrauch umweltschonend sein, digitale 3D-Anwendungen können durch die Verwendung von Open Source-Software und das Zugänglichmachen der Modelle im Internet nachhaltig sein.

Insgesamt steht also einem breiten Einsatz von 3D-Techniken nichts im Wege, wenn es unser Ziel ist, Museen für alle Menschen zugänglicher zu machen.

Literatur

Brewster 2005: S. A. Brewster, Impact of haptic ‚touching‘ technology on cultural applications. In: J. Hemsley/V. Cappellini/G. Stanke (Hrsg.) Digital Applications for Cultural Heritage Institutions (Aldershot 2005), 273–284.

Deutscher Museumsbund 2013: Deutscher Museumsbund/Bundesverband Museumspädagogik/Bundeskompetenzzentrum Barrierefreiheit (Hrsg.) Das inklusive Museum. Ein Leitfaden zu Barrierefreiheit und Inklusion (Berlin 2013). Online (28.02.2020): <https://www.museumsbund.de/wp-content/uploads/2017/03/dmb-barrierefreiheit-digital-160728.pdf>

Haag 2014: S. Haag (Hrsg.) Gemeinsam anders sehen! Das etwas andere Museumsbuch für Sehende und Menschen mit Sehbeeinträchtigung (Wien 2014).

John/Dauschek 2007: H. John/A. Dauschek (Hrsg.) Museen neu denken. Perspektiven der Kulturvermittlung und Zielgruppenarbeit (Bielefeld 2007).

Miesen 2018: L. Miesen, Inclusive Design Expertise for an Accessible Museography. In: J. Berding/B. Gather (Hrsg.) The inclusive museum – Challenges and Solutions, State of the Art and Perspectives. Berichte des Instituts Verkehr und Raum, 24, 2018, 26–35.

Neumüller u. a. 2014: M. Neumüller/A. Reichinger/F. Rist/Ch. Kern, 3D Printing for Cultural Heritage: Preservation, Accessibility, Research and Education. In: M. Ioannides/E. Quak (Hrsg.) 3D Research Challenges in Cultural Heritage. A Roadmap in Digital Heritage Preservation (Berlin, Heidelberg 2014) 119–134.

Parraman/Ortiz Segovia 2018: C. Parraman/M. Ortiz Segovia, 2.5D Printing: Bridging the Gap Between 2D and 3D Applications (Hoboken 2018).

Reichinger u. a. 2012: A. Reichinger/M. Neumüller/F. Rist/S. Maierhofer/W. Purgathofer, Computer-Aided Design of Tactile Models. In: K. Miesenberger/A. Karshmer/P. Penaz/W. Zagler (Hrsg.) Computers Helping People with Special Needs. 13th International Conference, ICCHP 2012, Linz, Austria, 11–13 Juli 2012, Proceedings, Part II. Lecture Notes in Computer Science 7383 (Heidelberg 2012), 497–504.

Simon 2012: N. Simon, Das partizipative Museum. In: S. Gesser/M. Handschin/A. Jannelli/S. Lichtensteiger (Hrsg.) Das partizipative Museum. Zwischen Teilhabe und User Generated Content. Neue Anforderungen an kulturhistorische Ausstellungen (Bielefeld 2012) 95–108.

- 1 Deutscher Museumsbund 2013, John/Dauschek 2007, Simon 2012. Speziell zum Einsatz von 3D-Druck für das Kulturelle Erbe: Neumüller u. a. 2014.
- 2 Vgl. Brewster 2005, 273–284.
- 3 Siehe Miesen 2018.
- 4 Mehr darüber: EDAD, Design für Alle – Deutschland e. V., siehe: <https://www.design-fuer-alle.de> (28.07.2020). Auf europäischer Ebene EIDD, Design for All Europe, siehe: <http://dfaeurope.eu> (28.07.2020).
- 5 Für genaue Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen: Reichinger u. a. 2012. Zum 2,5D-Modell: Parraman/Ortiz Segovia 2018.
- 6 Digitales Bedrucken eines Untergrunds mit einem dreidimensionalen, fühlbaren Farbauftrag.
- 7 Schwellpapier lässt sich in Schwarz mit handelsüblichen Druckern bedrucken und wird danach mit einem besonderen Gerät erhitzt. Die bedruckten Stellen schwellen an und sind dann tastbar.
- 8 Eine erwärmte Kunststoff-Folie wird in eine Form gepresst (meist mithilfe von Unterdruck) und hat nach dem Abkühlen deren Gestalt angenommen.

- 9 In Kooperation mit ArteConTacto, der Technischen Universität Wien und dem VRVis – Zentrum für Virtual Reality und Visualisierung Forschungs-GmbH, Wien.
- 10 Haag 2014.
- 11 Konzeption und Herstellung durch die Firma Tactile Studio, Berlin.
- 12 In der Online-Sammlung des Museums: <https://www.khm.at/objektdb/detail/320/> (28.02.2020)
- 13 Hergestellt durch Tactile Studio, Berlin.
- 14 Klassik Stiftung Weimar, Museum für Kunst und Gewerbe Hamburg, Städtische Museen Freiburg sowie der Bundesverband Museumspädagogik und der Kölner Verein Blinde und Kunst.
- 15 Es liegt eine Abschlussdokumentation des Projekts vor: <https://www.museumspaedagogik.org/fileadmin/Data/Dokumente/2017.12.03-flyer-inklusive-gesellschaft-abschlussdokumentation.pdf> (28.02.2020)
- 16 Gefördert durch das Forschungs- und Innovationsprogramm HORIZON 2020 der EU, Projektnummer 693229. Siehe auch: <https://www.arches-project.eu> (28.02.2020)
- 17 In der Online-Sammlung des Museums: <https://www.khm.at/objektdb/detail/329/> (28.02.2020)

Infobox: 3D-Druck am Futurium in Berlin

Miriam Anders


 <https://orcid.org/0000-0001-5027-6310>



Abb. 1: Ein umgebauter Roboterarm druckt Architektur aus Keramik in der Installation „Printed Tower“ von Caroline Høgsbro und Sven Pfeiffer im Futurium (Foto: Stefanie Holzheu).

Das Zukunftsmuseum Futurium eröffnete am 05. September 2019 in Berlin. Es beschäftigt sich in seinen interaktiv angelegten Ausstellungen mit der Frage, wie wir in Zukunft leben werden und welche Rolle dabei Wissenschaft und Forschung spielen – darunter auch der 3D-Druck. Das Museum stellt den 3D-Druck mit seinen zahlreichen Facetten aus, vermittelt ihn in Workshops und setzt ihn für die eigene Museumsarbeit hinter den Kulissen ein.

Besucher*innen der Dauerausstellung kommen jedenfalls am 3D-Druck nicht vorbei: In der Abteilung „Gemeinsame Sache Mensch“ wird er explizit thematisiert und in einem eigenen „Ausstellungshaus“ ausführlich erklärt. Zu sehen sind zahlreiche gedruckte Objekte, zum Beispiel ein Spielzeug-Dino oder eine Zange sowie technische Keramik. Auch über die restliche Ausstellungsfläche verteilt finden sich immer wieder 3D-gedruckte Objekte. Mitunter wird bei diesen die Technik und deren Potenzial auch explizit genannt, so bei den ausgestellten Prothesen, also Ersatz-Körperteilen etwa für Daumen oder Unterschenkel. An anderen Stellen geht es vorrangig um Ausstellungsinhalte und nicht um den 3D-Druck, etwa bei dem Modell eines Kugelspeichers zur Speicherung von Windenergie. Auch bei der Herstellung der Tastpläne auf allen Stockwerken für Besucher*innen mit Sehbehinderung kam der 3D-Druck zum Einsatz.

Im Futurium Lab, der Experimentierfläche im Untergeschoss, zeigt ein Roboterarm, wie möglicherweise in Zukunft Häuser gedruckt werden. Bei verschiedenen interaktiven Kunstinstallationen wurden 3D-gedruckte Teile verwendet. Im Futurium Lab steht außerdem ein Arbeitsraum mit drei 3D-Druckern für Workshops zur Verfügung. Hier finden Einführungen in den 3D-Druck und Open-Lab-Termine für Besucher*innen statt. Zusätzlich produziert das Museum auf diesen 3D-Druckern kleinere Exponate und Ersatzteile selbst, etwa Modelle oder Abdeckungen für Medienstationen. Strom begrenzt dabei das Museum in der Größe der Teile, die es herstellen kann: Er muss nachts aus Sicherheitsgründen abgeschaltet werden. Dann stehen auch die 3D-Drucker still.

Infobox: Restaurierung eines Schädelmodells

Lisa Burkart

Abb. 1: Medizinisches Schädelmodell aus dem Jahr 1998, im Stereolithografie-Verfahren (SLA) hergestellt. Deutsches Kunststoff-Museum, Inv.-Nr. K-1998-00381 (Foto: Lisa Burkart).



Objekt: Medizinisches Schädelmodell aus der Sammlung des Deutschen Kunststoff-Museums. Hergestellt auf der Basis von CT-Daten eines menschlichen Schädels.

Maße: (HxBxT) 14 × 15 × 19 cm

Herstellungsjahr: 1998

Herstellungsverfahren: Schädel: **Stereolithografie**
Implantat: gegossen

Material: Schädel: Speziell für die **Stereolithografie** entwickeltes Acrylat der Fa. Huntsman.
Implantat: Autopolymerisierender Kunststoff auf der Basis von Methylmethacrylat der Fa. Heraeus & Kulzer.

Schadensbild: Beim Transport abgebrochene Objektteile und ein Sprung ausgehend von einer Bruchstelle.

Maßnahmen: Reinigung, Verklebung der Brüche sowie Verfüllung des Sprungs mit Paraloid®. Durch den ähnlichen Brechungsindex des Klebstoffes zum Acrylat des Objektes sind die Bruchkanten und die Verklebungen erst auf den zweiten Blick ersichtlich.

Restauratorin: Maja Diekneite M.A.

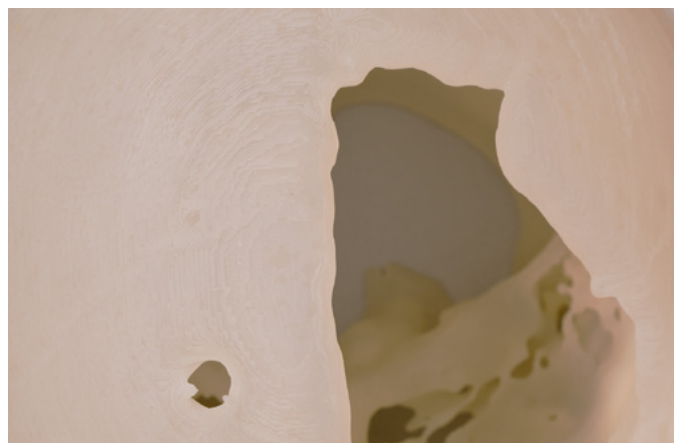


Abb. 2: Detail des Schädelmodells (Foto: Lisa Burkart).

Herausforderungen und Strategien für den Erhalt von 3D-gedruckten Objekten in Sammlungen



Abb. 1: 3D-gedruckter Terra Stool (Foto: BigRep GmbH, Design: Marco Mattia Cristofori).

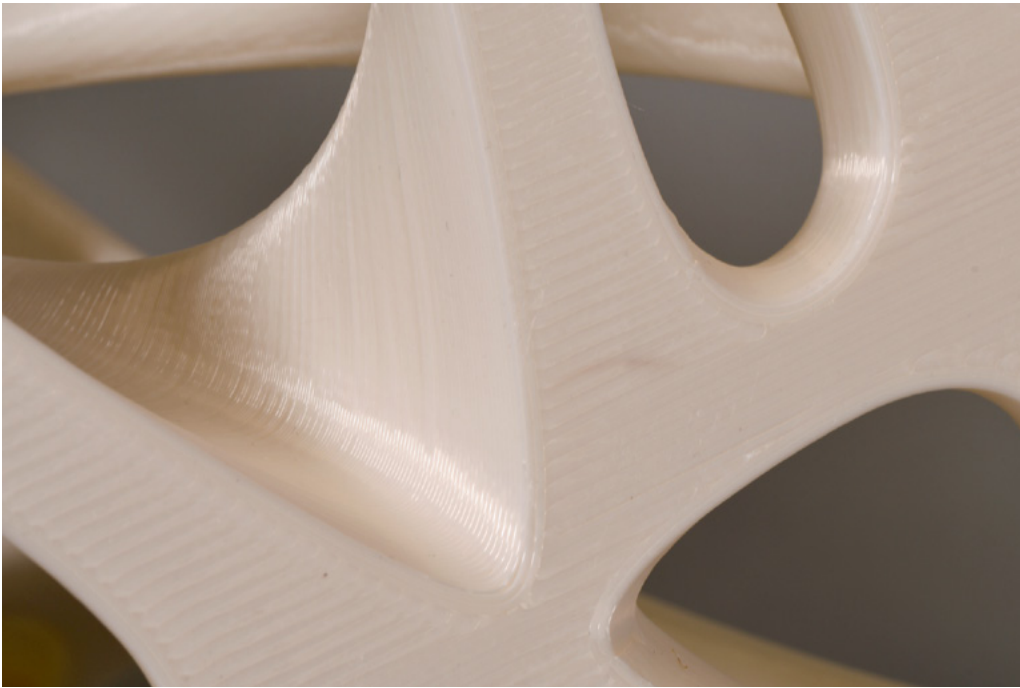


Abb. 2: Detail des Terra Stool, erkennbar sind die durch den 3D-Druck entstandenen Schichten. Deutsches Kunststoff-Museum, Inv.-Nr. K-1998-00381 (Foto: Lisa Burkart, Design: Marco Mattia Cristofori).

Lisa Burkart

Die Technik des 3D-Druckens¹ kann nicht mehr als revolutionäre Technik bezeichnet werden. Das in den späten 1980er Jahren entstandene 3D-Drucken ist mittlerweile weit über den industriellen Einsatz hinaus verbreitet: Längst haben Architekt*innen, Designer*innen, Künstler*innen private Haushalte und auch die Restaurierung die Technik und ihre Anwendungsmöglichkeiten für sich entdeckt.

Parallel dazu entstehen beständig neue oder verfeinerte Druckverfahren. Die Materialien, mit denen gedruckt werden kann, wie auch die Methoden zur Nachbehandlung der 3D-Drucke entwickeln sich ebenso weiter. Im Hinblick auf diesen rapiden Wandel ist es daher für Kurator*innen, Sammlungsverwalter*innen und auch Restaurator*innen umso wichtiger, Schritt zu halten und die Entwicklungen auf dem Gebiet zu verfolgen.

In vielen Sammlungen, ob privat oder museal, haben 3D-gedruckte Objekte bereits Einzug gehalten (**Abb. 1**, **Abb. 2**). Sie werden bewahrt, ausgestellt und zeigen leider oftmals bereits nach kurzer Zeit Alterungserscheinungen und Restaurierungsbedarf.

Kunststoff im 3D-Druck

Die ersten 3D-Drucke wurden aus Kunststoffmaterialien hergestellt, und noch heute ist dies die am häufigsten verwendete Materialgruppe.² Bisher gibt es zur Erhaltung und Alterung 3D-gedruckter Objekte nur wenig Literatur. Fest steht jedoch: 3D-gedruckte Objekte aus Kunststoff oder Verbundwerkstoffen gehören, im Gegensatz zu 3D-Drucken aus Keramik und Metall, zu den unter konservatorischen Gesichtspunkten problema-

tischsten Objekten. Bereits heute, 40 Jahre später, finden sich Beispiele für eine rapide fortschreitende Alterung. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Sensibilisierung für digital entstandenes Kulturerbe aus Kunststoff (**Abb. 3**).

Herausforderungen

Eine der Herausforderungen für die Erhaltung von 3D-gedruckten Objekten liegt bereits in der Absicht ihrer Produktion begründet. Zwar gibt es zahlreiche Designer*innen, Künstler*innen und Restaurator*innen, die die Möglichkeiten des 3D-Drucks nutzen, um langlebige Erzeugnisse aus hochwertigen Materialien herzustellen. Zu einem nicht geringfügigen Teil wurden und werden 3D-Drucke jedoch in der Absicht hergestellt, preiswerte, schnell produzierbare Prototypen für eine potentielle serielle Fertigung zu schaffen. Dadurch sind sie keineswegs weniger erhaltenswert, gerade die Entwicklungsstufen verschiedener Prototypen können zu einem tieferen Verständnis von Objekten beitragen und sind somit als Forschungsgrundlage von großem Interesse. In solchen Fällen steht bzw. stand die Langlebigkeit der ausgewählten Materialien jedoch meist im Hintergrund. Ganz besonders gilt dies für Objekte aus der Anfangszeit, den 1990er Jahren, in denen noch klebrige, unangenehm riechende und vor allem sehr spröde Materialien eingesetzt wurden.³ Zusätzlich wird die Stabilität und Dauerhaftigkeit der Objekte nicht allein durch das Material und dessen Qualität, sondern ebenso durch die Konstruktion und das jeweilige Fertigungsverfahren beeinflusst. Druckmaterial, konstruktive Belastungen und Druckverfahren stehen in einem Gesamtzusammenhang, der bis heute noch unzureichend erforscht ist. Doch auch bei dem Versuch, den Fokus auf die Materialzusammensetzung



Abb. 3: Das Kunstwerk „Out of the cauldron“ von Tom Lomax (CC BY 4.0, Foto: Screenshot FreeCAD). Es wurde als Testobjekt für wissenschaftliche Forschungen zu Alterungserscheinungen 3D-gedruckter Objekte entwickelt (Coon u. a. 2016).

zu legen, stößt die Restaurierungswissenschaft an ihre Grenzen: Für die Analyse ist eine umfassende technische Ausstattung notwendig. Die verwendeten Kunststoffe haben häufig eine komplexe Zusammensetzung und bestehen neben dem Basis-Polymer aus zahlreichen Zusätzen (sog. Additiven), die im Materialdatenblatt oder in der Literatur nicht aufgeführt werden.⁴ Dabei können Additive großen Einfluss auf die Degradation von Kunststoffen haben. Daher ist es dringend zu empfehlen, bereits bei der Inventarisierung von 3D-gedruckten Objekten möglichst genaue Angaben zu den verwendeten Materialien zu machen und nach Möglichkeit zu benennen, welcher Kunststoff und welche Additive zur Herstellung verwendet wurden.

Neben der Ungewissheit bezüglich der verwendeten Materialien ist auch die jeweilige Herstellungstechnik nicht immer mit dem bloßen Auge zu erkennen.⁵ Nachbehandlungen, wie beispielsweise das Sandstrahlen, Polieren, Beflocken und Lackieren, erschweren die Zuordnung zu einem bestimmten Fertigungsprozess. Mittlerweile ist die Technik soweit fortgeschritten, dass es für Laien in einigen Fällen schwierig sein kann, ein 3D-gedrucktes Teil von einem spritzgegossenen Teil zu unterscheiden.

Ein Desiderat ist und bleibt die Erforschung von Alterungsphänomenen und UV-Beständigkeit von 3D-gedruckten Objekten sowie der Einfluss von ungewollten Poren oder Einschlüssen auf das Material.⁶ Mit der zunehmenden Entwicklung vom „Rapid-Prototyping“ hin zum „Rapid-Manufacturing“ wird das Thema der Langlebigkeit von Produkten auch von der Industrie als immer wichtiger wahrgenommen. Weitere Forschungstätigkeit auf dem Gebiet ist daher unausweichlich. Bis es soweit ist, können präventive Maßnahmen getroffen werden, um möglichen Schäden an Museumsobjekten vorzubeugen. Einmal entstandene Schäden an Kunststoffobjekten sind häufig irreversibel bzw. nur unter hohem Aufwand zu restaurieren. Auf dem Gebiet der Konservierung und Restaurierung moderner Materialien gibt es noch viel Forschungsbedarf, daher gilt, wie bei anderen Materialien auch: Maßnahmen an beschädigten Objekten sollten nur durch Restaurator*innen mit entsprechenden Fachkenntnissen ausgeführt werden.

Voraussetzung zur Feststellung eines Schadens ist es, eine Veränderung als Schaden zu definieren. Bei traditionellen Materialien und Objekten werden Veränderungen häufig als Patina akzeptiert, beispielsweise die witterungsbedingte Grünfärbung an Kupferbauteilen oder Statuen. Wie steht es aber um die Beurteilung von Veränderungen an Kunststoffen? Müssen Kunststoffe, auf Grund ihres vergleichsweise geringen Alters und ihrer maschinellen Herstellung, makellos sein oder sollte man auch ihnen gewisse Veränderungen im Laufe der Zeit zugestehen? Unabhängig von der Interpretation sollten Restaurator*innen und Sammlungsverwalter*innen Veränderungen am Objekt ernst nehmen und

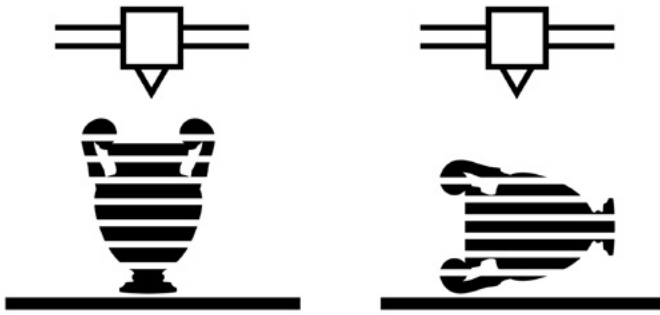


Abb. 4: Je nach Ausrichtung des Objekts im Bauraum des Druckers verlaufen die Schichten im Objekt horizontal oder vertikal (Grafik: Miriam Anders).

ein regelmäßiges Monitoring durchführen, um Veränderungen frühzeitig festzustellen und reagieren zu können. Typische Veränderungen bzw. Schäden an 3D-Drucken sind etwa:

- Farbveränderungen (z. B. Ausbleichen, Vergilben)
- Verspröden des Materials
- Innere Spannungen, die Deformationen und Risse verursachen

Vermeidung von potentiellen Schäden

Die Ursachen der Schäden eindeutig auf bestimmte Parameter zurückzuführen ist, wie bereits erwähnt, eine große Herausforderung. Im Wesentlichen sind es fünf Kriterien, die Einfluss auf die Haltbarkeit haben und erste Hinweise auf potentielle Schäden liefern können⁷:

1. Unzureichendes Design

Die mechanische Stabilität ist stark abhängig von dem Design bzw. der Konstruktion der zunächst digitalen Datei. Scheinen die Möglichkeiten im Design unbegrenzt, so spielen Faktoren wie Form, Schichtdicke und Materialität eine entscheidende Rolle für das fertige Produkt. Die Zusammenarbeit mit erfahrenen Ingenieuren kann helfen, bereits im Entwurfsprozess Schäden oder Schwachstellen vorzubeugen.

2. Materialauswahl

Die Materialauswahl ist abhängig von der Fertigungstechnik und hängt eng mit dem gewünschten Resultat zusammen. Gegenwärtig sind nur wenige Hochleistungskunststoffe für das 3D-Drucken verfügbar, aber auch hier ist die Entwicklung noch nicht abgeschlossen. Besonders bei dem Verfahren der **Stereolithografie**, bei dem photosensitive Monomere unter Lichteinwirkung zu Polymeren aushärten, besteht die Gefahr, dass Reste von Katalysatoren oder Monomeren auch nach der Aushärtung reagieren, vergilben und letztendlich ein Verspröden herbeiführen.⁸ Auch die Verwendung von recyceltem Material, wie es beim **selektiven Lasersintern** von **Polyamid**pulver üblich ist, hat enorme Auswirkungen auf die Stabilität und das Langzeitverhalten des

Materials. So ist es beispielsweise möglich, dass 30–50 % Altpulver wiederverwendet wird.⁹ Sofern man die Möglichkeit der Kontrolle hat, sollte versucht werden, den Gebrauch von recyceltem Material zu vermeiden oder zumindest zu minimieren. Ein beliebtes Material für diesen Zweck ist das aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte Polylactid (**PLA**). Leider ist dieser Kunststoff besonders anfällig für hydrolytischen Abbau und wird Restaurator*innen zukünftig vor Herausforderungen stellen.¹⁰

3. Fehler während der Herstellung

Auch während der Herstellung können verschiedene Faktoren die Haltbarkeit der Endprodukte beeinflussen. So sollten Temperaturschwankungen vermieden werden. Das Vorwärmen des Bauraums sowie das langsame Abkühlen des Bauteils, bevor es aus dem Bauraum entnommen wird, können dazu beitragen, Deformationen und inneren Spannungen entgegenzuwirken. Die Orientierung des Bauteils im Bauraum spielt ebenso eine entscheidende Rolle. Es gibt produktionsbedingte Unterschiede innerhalb von 3D-Drucken, die in der Ebene parallel zur Bauplattform und senkrecht zur Bauplattform entstehen (**Abb. 4**).¹¹ Je nach Verwendung und Belastungsrichtung des Bauteils kann dies Einfluss auf die Stabilität haben. Ein weiterer Faktor ist der Einfluss von Fremdpartikeln wie Schmutz. Bereits kleine Partikel können die Stabilität beeinträchtigen.

4. Behandlung der Oberfläche

Häufig ist eine Nachbehandlung der 3D-gedruckten Teile notwendig, um das Material zusätzlich zu stabilisieren und vor Feuchtigkeit zu schützen. Denkbar ist hier beispielsweise die Behandlung mit Lacken oder das Infiltrieren mit Harzen. Hier ist vor allem vor einer häufig stattfindenden Behandlung mit Wasser und Lösungsmitteln zu warnen. Sowohl Wasser, aber im Besonderen Lösungsmittel, können starken Einfluss auf die Polymerstruktur haben und diese unwiederbringlich schädigen. Besonders gefährdet sind bereits gealterte Objekte, die etwa durch den Polymerabbau besonders sensibel reagieren können.

5. Transport und Handling

Jeder Transport birgt Risiken. Das häufig zur Versprödung neigende Material und die oftmals komplexen Formen tragen allerdings in besonderem Maße zur Fragilität dieser Objektgruppe bei. Die Anfertigung von angepassten Transport- und Aufbewahrungskisten, die die Notwendigkeit eines direkten Handlings reduzieren, können Schäden minimieren (**Abb. 5**).



Abb. 5: Individuell angepasste Verpackung des Schädelmodells bestehend aus Archivkarton, Ethafoam® und Tyvek®. Deutsches Kunststoff-Museum, Inv.-Nr. K-1998-00381 (Verpackung: Maja Diekneite, Foto: Lisa Burkart).

Präventive Konservierung

Präventive Maßnahmen, die vor allem optimale Lagerungsbedingungen und sachgemäße Handhabung der Objekte bedeuten, spielen eine große Rolle bei der Vermeidung von Schäden und der Verlangsamung von Alterungsprozessen. Allerdings gilt es auch bei der Ausstellung von Exponaten, Richtlinien einzuhalten und empfindliche Objekte gegebenenfalls regelmäßig auszutauschen.

Derzeit gibt es noch keine Richtlinien zur Präventiven Konservierung, die sich explizit auf 3D-Drucke beziehen, weshalb zunächst den Empfehlungen zur Bewahrung von Kunststoffen gefolgt werden sollte.¹² Das bedeutet:

- Reduzierung von Belichtung und gegebenenfalls der Gebrauch von UV-Schutzfiltern
- Einhaltung einer konstanten Umgebungstemperatur (im Depot 18 ± 2 °C)¹³
- Einhaltung einer konstanten relativen Luftfeuchte (55 ± 3 %)¹⁴
- Reduzierung von Schadstoffen (regelmäßiger Luftwechsel, Verwendung von Ab- und Adsorbentien)

Generell sollten starke Schwankungen der Umgebungstemperatur und relativen Luftfeuchte vermieden werden, da dies im wahrsten Sinne des Wortes Stress für die Objekte bedeutet. Noch offen ist, ob neben der Lagerung in Dunkelheit eine sauerstofffreie Lagerung langfristig notwendig ist, um Oxidationsprozesse zu verlangsamen und die Objekte zu erhalten. Eine Untersuchung zur photo-oxidativen Alterung von 3D-Drucken zeigte, dass es trotz einer Lagerung in Dunkelheit zu Farbveränderungen an den Objekten kam.¹⁵

Darüber hinaus gibt es bei der Bewahrung von 3D-Drucken weitere Erhaltungsmaßnahmen, die sich von traditionell hergestellten Objekten unterscheiden¹⁶:

- Archivierung der digitalen Daten des Objektes sowie regelmäßige Updates
- Anfertigung von Scans des Objektes
- Analyse des Polymers, Bindemittels und der Pigmente beziehungsweise Farbstoffe
- Farbmessungen
- Regelmäßiges Monitoring

Schlusswort

Auf dem Gebiet der aktiven Restaurierung von Kunststoffen gibt es, im Vergleich zur Restaurierung traditioneller Werkstoffe, noch wenig Erfahrungen. Allerdings ist hier in den vergangenen Jahren eine immer größer werdende Notwendigkeit zu verzeichnen. Ein Beispiel zur Restaurierung zeigt die Verklebung von Bruchstücken eines 3D-gedruckten Schädelmodells, aus der Sammlung des Deutschen Kunststoff-Museums, an der Technischen Hochschule Köln (Infobox S. 61).

Man könnte annehmen, durch die Möglichkeit des 3D-Druckes und der vorhandenen digitalen Datei seien Ob-

jekte unendlich reproduzierbar und der Erhalt des physikalischen Objektes zu vernachlässigen. Doch ob diese Dateien in 50 oder 100 Jahren technisch noch lesbar sind und mit gleichen Materialien und gleichen Verfahren 3D-gedruckt werden können, ist angesichts des schnellen Fortschritts zu bezweifeln.

In Interviews mit Künstler*innen und Designer*innen zeigt sich, dass ihnen das physikalische Kunstwerk und dessen natürliche Alterung wichtig sind, und sie sich sehr wohl im Klaren darüber sind, dass der schnelle Wandel auf dem Gebiet auch zur Folge hat, dass manche Techniken in Kürze überholt sind und die Reproduzierbarkeit somit in Frage steht.

Literatur

Bechthold 2011: T. Bechthold, Rapid Prototyping in Museum Collections. Technology – Applications – Durability. In: T. Bechthold (Hrsg.) Postprints of Future Talks 011, Technology and Conservation of Modern Materials in Design (München 2011), 47–54.

Coon u. a. 2016: C. Coon/B. Pretzel/T. Lomax/M. Strlič, Preserving Rapid Prototypes. A Review. Heritage Science 2016 (4) 40. Online (25.02.2020): <https://doi.org/10.1186/s40494-016-0097-y>

Eng 2014: C. Eng, Layer by Layer. 3D Printed Art Objects in LACMA's Collections. In: WAAC Newsletter, Vol. 36, Nr. 3, 10–13, September 2014. Online (25.02.2020): https://170517c7-5797-4867-b76e-a5e55f7532ec.filesusr.com/ugd/d3b1ca_a623845388c5448593c2bc118fa1b836.pdf

Gebhardt 2013: A. Gebhardt, Generative Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion (München 2013, 4. Auflage).

Gebhardt 2014: A. Gebhardt, 3D-Drucken. Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM) (München 2014).

Madsack 2014: D. Madsack, Tea. Earl Grey. Hot. – About Materials in 3D Printing. In: WAAC Newsletter, Vol. 36, Nr. 3, S. 14–18, September 2014. Online (25.02.2020): https://170517c7-5797-4867-b76e-a5e55f7532ec.filesusr.com/ugd/d3b1ca_a623845388c5448593c2bc118fa1b836.pdf

Shashoua 2008: Y. Shashoua, Conservation of Plastics: Materials science, degradation and preservation (London 2008).

Links zu Bildern:

Abb. 3: Quelle: <https://doi.org/10.1186/s40494-016-0097-y>
CC-Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

1 „Sich allgemein durchsetzende generische Bezeichnung für alle Schichtbauverfahren. Ersetzt zunehmend im täglichen Sprachgebrauch die genormten Bezeichnungen »Additive Manufacturing« und »Generative Fertigungsverfahren«“ (Gebhardt 2014, 167).

2 Gebhardt 2014, 146.

3 Gebhardt 2014, 147.

4 Madsack 2014, 17.

5 Eng 2014, 12.

6 Gebhardt 2014, 146.

7 Im Folgenden nach Bechthold 2011, 52–53.

8 Madsack 2014, 16.

9 Gebhardt 2013, 65.

10 Coon u. a. 2016, 13.

11 Gebhardt 2014, 143.

12 Ausgenommen Kunststoffe mit besonderen Anforderungen: Celluloseacetat, Cellulosenitrat, Gummi, Polyvinylchlorid, und Polyurethan.

13 Shashoua 2008, 195.

14 Shashoua 2008, 195.

15 Madsack 2014, 14.

16 Bechthold 2011, 53.



*Abb. 1: 3D-Gutenberg im Mini-Format
(Foto: Gutenberg-Museum, Mainz).*

Von Gutenberg zum 3D-Druck: Buchdruck und Medizintechnik – Eine Kabinett-Ausstellung im Gutenberg-Museum

Annette Ludwig

Welches Museum war beteiligt?

Das Gutenberg-Museum (Mainz) kooperierte mit der Universitätsmedizin in Mainz (Prof. Dr. Dr. Bilal Al-Nawas).

Was wurde gedruckt?

Gedruckt wurden farbige Mini-„Abgüsse“ einer Gutenberg-Statuette und verschiedene medizinische Modelle, zum Beispiel das Modell einer Aorta, der größten Schlagader des menschlichen Körpers, sowie Modelle verschiedener Teile des menschlichen Skeletts.

Johannes Gutenberg entwickelte um 1450 den europäischen Buchdruck mit beweglichen Metalllettern, das Handgießinstrument und die Druckerpresse. Seine Erfindung veränderte die Welt.

Warum 3D-Druck?

So, wie die Menschen damals staunend vor den identischen Ausgaben der ersten gedruckten Bücher standen und es kaum begreifen konnten, wie diese hergestellt wurden, begeistern wir uns heute für die Produkte eines 3D-Druckers und wollen verstehen, wie er funktioniert. Das Potenzial, das in den vielen Anwendungsmöglichkeiten des 3D-Drucks steckt, erinnert an die disruptive Technologie des Buchdrucks vor 550 Jahren.

Was war der Anlass? Gab es Kooperationspartner?

Anlass war die 1. Internationale Konferenz zum Thema 3D-Druck, die am 15. und 16. April 2016 von der Universitätsmedizin Mainz (Landesschwerpunkt BiomaTiCS: Biomaterials, Tissues and Cells in Science) veranstaltet wurde. Für das Gutenberg-Museum war dies willkommener Anlass, im Rahmen einer kleinen Kabinettausstellung (5. April bis 31. Mai 2016) verschiedene medizinische Objekte zu präsentieren, die mittels 3D-Druck hergestellt wurden. Ein wesentliches Exponat war ein 3D-Drucker, der die faszinierende Technik für die Besucher*innen veranschaulichte. Damit sollte nicht nur auf Parallelen zwischen dem Buchdruck seit seiner Erfindung durch Gutenberg und dem modernen 3D-Druck hingewiesen werden, sondern auch auf Anwendungsmöglichkeiten im Rahmen der Museumsarbeit, wie z. B. dem 3D-Druck von Buchschließen und ähnlichem. 2016 begleitete der 3D-Drucker das Museumsteam auch auf die Frankfurter Buchmesse. Der 3D-Gutenberg in Mini-Format avancierte dort zum Publikumsmagnet.

Mit welchem Druckermodell wurde gedruckt?

Eingesetzt wurde der Ultimaker 2+ der Firma Ultimaker B.V. (Geldermalsen, Niederlande).

Aus welchem Material bestehen die 3D-Drucke?

Zum Einsatz kam **PLA** mit 2,85 mm Durchmesser in verschiedenen Farben der Firma Filamentworld (Neu-Ulm).

Größe und Maße der Drucke

Die Gutenberg-Miniaturen haben die Maße: 9 × 2,5 × 2,5 cm (H/B/T)

Was haben die 3D-Drucke gekostet?

Der Drucker sowie das **Filament** wurden dem Gutenberg-Museum dankenswerterweise von der Universitätsmedizin Mainz kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Wen kann ich bei Fragen kontaktieren?

Dr. Annette Ludwig
(annette.ludwig@klassik-stiftung.de)



Abb. 2: 3D-Drucker, Mini-Gutenberg-Statuetten und medizinische Modelle in der Ausstellung (Foto: Gutenberg-Museum, Mainz).



Inklusion und Architektur: Tastmodell der Porta Nigra

Abb. 1: Die interaktive Hör- und Taststation mit dem 3D-gedruckten Modell der Porta Nigra (Foto: Stadtmuseum Simeonstift Trier).

Dorothee Henschel

Welches Museum war beteiligt?

Stadtmuseum Simeonstift Trier

Was wurde gedruckt?

Die Porta Nigra ist ein sehr gut erhaltenes, römisches Stadttor in Trier. Gedruckt wurde ein nach Bauphasen zerlegbares Modell der Porta Nigra und Simeonskirche.

**Was war der Anlass?
Gab es Kooperationspartner?**

Das Stadtmuseum Simeonstift Trier ist ein Ort, der seinen Besuchern die Stadtgeschichte Triers anschaulich erzählt. Zumindest fast allen Besuchern: Für Sehbehinderte und Blinde ist es besonders schwierig, die Geschichte der Stadt im Museum zu erfassen. Daher wurde ein Konzept entwickelt, das die wichtigsten Exponate aus der Stadtgeschichte mittels des Einsatzes verschiedener Medien so erweitert, dass sie auch für Blinde erlebbar werden. Unter anderem wurden Audiostationen, Replikate oder Reliefs genutzt, um den Besuchern mit oder ohne eingeschränkter Sehfähigkeit ausgewählte Exponate begreifbar zu machen.

Abb. 2: Das Modell kann entsprechend der verschiedenen Bauphasen der Porta Nigra in seine Einzelteile zerlegt werden (Foto: Stadtmuseum Simeonstift Trier).



Das Projekt ist eine Kooperation der Hochschule Trier (Fachbereich Gestaltung, Studiengang Intermedia Design) mit dem Stadtmuseum Trier. Die Konzeption erfolgte innerhalb des Seminars Crossmedia unter der Leitung von Christopher Ledwig. Seminarteilnehmer waren Leila Abdalla, Vadim Bauer, Ricarda Dennen, Janine Heinz, Nadja Herrmann, Jacek Kucló, Lisa Nemesheimer, Alexander Pütz, Simone Rduch, Valery Reck und Isabella Ruf. Das hier vorgestellte Tastmodell der Porta Nigra als Bestandteil der oben genannten Konzeption wurde im Labor für Digitale Produktentwicklung (LDPF) im Fachbereich Technik der Hochschule Trier unter der Leitung von Michael Hoffmann entwickelt und gefertigt. Die 3D-Rekonstruktion erfolgte dabei in enger Abstimmung mit Prof. Dr. Gottfried Kerscher vom Fach Kunstgeschichte an der Universität Trier.

Mit welchem Druckermodell wurde gedruckt?

Das Tastmodell wurde im **FDM**-Verfahren mit dem Fortus 250 mc der Firma Stratasys Ltd. (Eden Prairie, Minnesota, USA) gedruckt.

Aus welchem Material bestehen die 3D-Drucke?

ABS

Größe und Maße des Drucks

22 × 27 cm (L/B)

Was haben die 3D-Drucke gekostet?

3D-Rekonstruktion, Datenaufbereitung und 3D-Druck: 2.300 € (zzgl. MwSt.)
Darin enthaltene anteilige Kosten für den 3D-Druck: 800 € (zzgl. MwSt.)
Gesamte Station inkl. Grundplatte mit Drehteller, Beschriftung in Brailleschrift sowie Audiodateien: 4.605,30 € (inkl. MwSt.)

Wer hilft bei weiteren Fragen zu diesem Projekt?

Dr. Dorothee Henschel
(museumspaedagogik@trier.de, Tel. 0651 7181452)

Militärschiffe auf dem Rhein

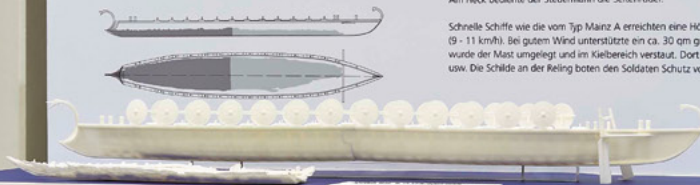
Eine schnelle Eingreiftruppe

Die Mainzer Schiffe sicherten in spätrömischer Zeit die Rheingrenze und versorgten die rechtsrheinischen Militärposten mit Proviant und Waffen. Vermutlich wurden mit ihnen auch offizielle Nachrichten überbracht und hochrangige Persönlichkeiten transportiert. Die Patrouillenboote (naves lusoriae) unterstanden direkt der in Mainz stationierten Legion. Nach dem Fall des Limes 260/270 n. Chr. bekämpften römische Schiffseinheiten an der "nassen Grenze" Germanen, die von Osten beutehungrig in römisches Reichsgebiet eindringen und massive Zerstörungen hinterließen. An Land sicherten Fuß- und Reitertruppen die Grenze.



Wrack 5

Das spätantike Wrack 5 ist als 8,6 m langes Segment erhalten (dunkelgrau, das Heck (hellgrau) fehlt). Die Flachbodige Rumpfschale besteht aus langen Eichenholzplanken, die durch große Eisennägel mit den innen liegenden Querrippen (Spanten) verbunden sind. In den bekleimten ausgehöhlten Mastspant konnte bei Bedarf der Mast aufgestellt werden. Von den Innenbauten wie Trittbrettern und Wegerung sind umfangreiche Reste erhalten.



Das Militärschiff Typ Mainz A

Grundlage für das schlanke, schnelle Mannschaftsboot sind die Wracks 1, 2, 4 und 5. Die Blume für das Baumaterial von Schiff 1 und 5 fällten römische Einheiten um 385 bzw. 390 n. Chr. Schiffe dieser Art stellte man in Serienbauweise her.

Die Mainzer Militärschiffe waren knapp 18 m lang, in der Mitte 2,70 m breit und 0,90 m hoch. Bewaffnete Soldaten bildeten ihre Besatzung. Sie bestanden aus zwei Riementreiben mit jeweils mindestens 12 Rudern, sowie 2-3 Besatzungsmitgliedern, die für den Schiffsbetrieb zuständig waren. Am Heck bediente der Steuermann die Seileruder.

Schnelle Schiffe wie die vom Typ Mainz A erreichten eine Höchstgeschwindigkeit von 5 bis 6 Knoten (9 - 11 km/h). Bei gutem Wind unterstützte ein ca. 30 qm großes Segel die Fahrt. Vor Kampfeinsätzen wurde der Mast umgelegt und im Kielbereich verstaut. Dort lagerten auch Waffen, Anker, Bootshaken usw. Die Schilde an der Reiling boten den Soldaten Schutz vor feindlichen Angriffen.




**Inklusion und Archäologie:
Die Mainzer Römerschiffe als Tastmodelle**

Abb. 1: Die inklusive Station zum Thema „Militärschiffe auf dem Rhein“ in der Dauerausstellung, mit den 3D-Modellen nach Wrack 5 aus Mainz (Foto: Römisch-Germanisches Zentralmuseum, R. Müller).

Abb. 2: Eine Besucherin erkundet die inklusive Station mit den beiden 3D-Drucken (Foto: Römisch-Germanisches Zentralmuseum, R. Müller).



Ingrid Schmidts-Jütting

 <https://orcid.org/0000-0003-4745-3632>

Welches Museum war beteiligt?

Museum für Antike Schifffahrt (Außenstelle des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Mainz)

Was wurde gedruckt?

Anfang der 1980er wurden in Mainz die Überreste mehrerer römischer Schiffswracks gefunden. Eines davon, Wrack 5, wurde im Maßstab 1:20 in 3D gedruckt. Außerdem entstand die verkleinerte Rekonstruktion eines spätrömischen Militärboots inklusive Mast und Riemen (sogenannter Nachbau A, Maßstab 1:20).

Warum 3D-Druck?

Eine blindengerechte Ausstellungsgestaltung erleichtert nicht nur blinden und sehbehinderten Menschen den Museumsbesuch, sondern bietet allen Gästen, im Besonderen auch Kindern und Schulklassen, einen informativen Mehrwert. In der Ausstellung können die 3D-Modelle von Wrack 5 im Fundzustand und des rekonstruierten spätrömischen Militärboots als filigrane, detailgetreue Hands-On-Objekte haptisch erkundet werden. Sie bieten den Museumsgästen eine realistische, wissenschaftlichen Erfordernissen entsprechende Dokumentation des archäologischen Fundmaterials.

Was war der Anlass? Gab es Kooperationspartner?

Im Museum für Antike Schifffahrt entwickelte und erprobte das Römisch-Germanische Zentralmuseum (RGZM) von 2016–2018 im Rahmen des inklusiven Programms „Tasten – Wahrnehmen – Verstehen“ barrierefreie Vermittlungsformate für blinde und sehbehinderte Menschen. Im Kontext der spätantiken Mainzer Römerschiffe entstanden zwei inklusive Stationen mit kontrastreichen Texttafeln, Schublade mit Brailleschrift-Texten, Tastplänen und 3D-Modellen. Beide Stationen sind mit dem Rollstuhl bequem zu unterfahren. Die 3D-Drucke von Wrack 5 und dem rekonstruierten Militärboot Nachbau A dienen hier seit Juni 2016 als Tastobjekte für alle Besucher*innen. Sie vermitteln in verkleinertem Maßstab Aussehen, Form, Größe, Funktion und Herstellungstechnik römischer Militärboote auf dem Rhein in Verbindung mit dem Originalwrack und der 1:1-Rekonstruktion dieses Schiffstyps.

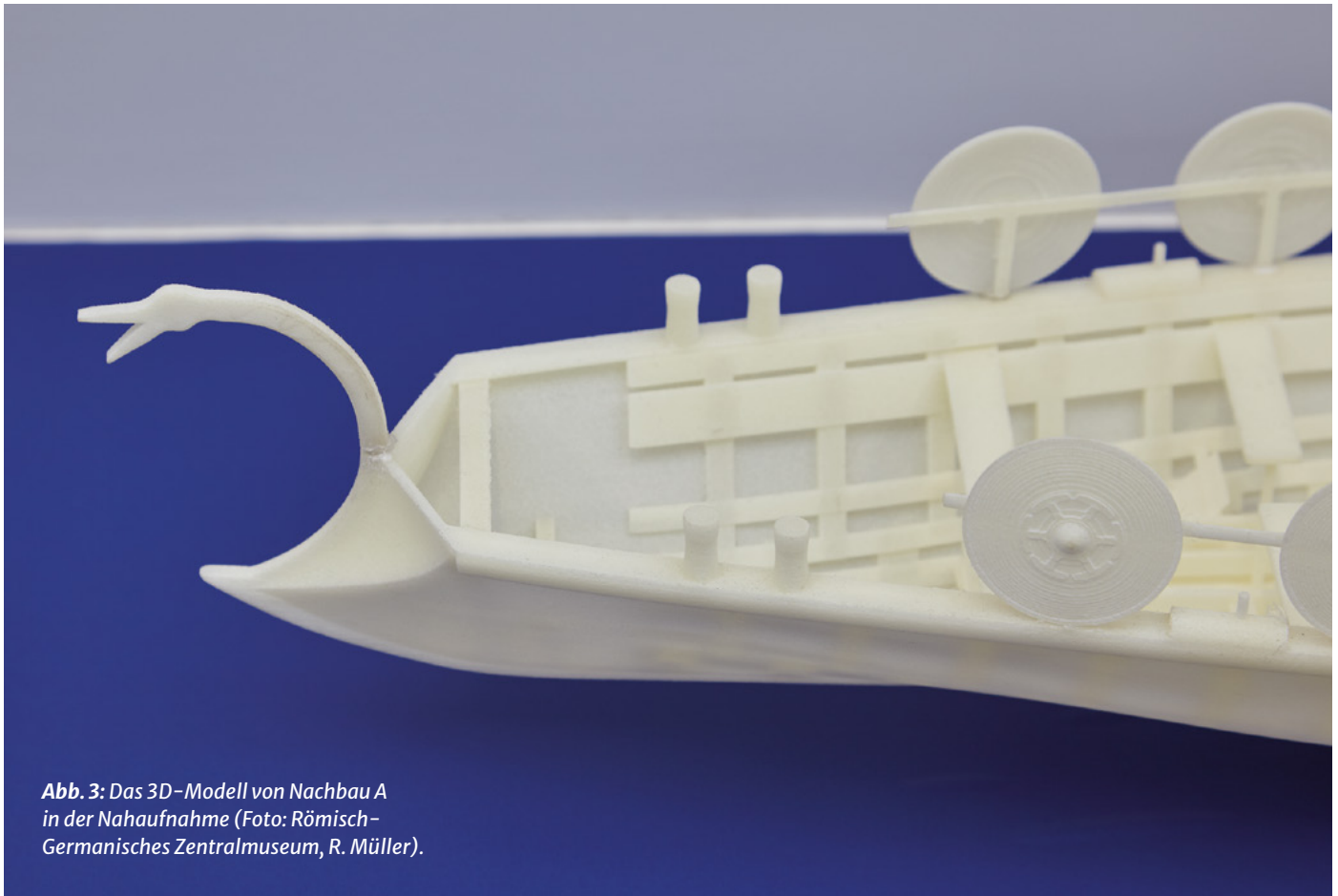


Abb. 3: Das 3D-Modell von Nachbau A in der Nahaufnahme (Foto: Römisch-Germanisches Zentralmuseum, R. Müller).

Die Modelle entstanden in Zusammenarbeit des Kompetenzbereichs Wissenschaftliche IT am RGZM mit i3mainz – Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik und der Lehrereinheit Geoinformatik und Vermessung der Hochschule Mainz (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Hartmut Müller). Dort erstellte Timo Schorb in seiner Bachelorarbeit „3D-Modellierung eines Römerschiffes“ aus Laserscandaten 2013 das virtuelle CAD-Modell des rekonstruierten Bootes.

Wie genau entstanden die Modelle?

Wrack 5 wurde im Museum für Antike Schifffahrt von zwei Studenten der Lehrereinheit Geoinformatik und Vermessung fotobasiert aufgenommen und mittels Structure for Motion (SfM) zu einem digitalen Modell ausgewertet. Die digitalen Modelle von Wrack und Rekonstruktion bearbeitete Anja Cramer (RGZM) für den 3D-Druck, wobei sie die Daten skalierte und die vom Druckverfahren vorgegebenen Parameter wie Druckraum und minimale Druckdichte berücksichtigte. Sehr feinteilige Bestandteile wurden digital verstärkt, damit sie im Tastmodell überhaupt erfahrbar sind. Um die Kosten, die sich an der Druckhöhe des Objekts orientieren, zu minimieren, erfolgte der Druck des Schiffsmodells aufgrund seiner Größe in mehreren Abschnitten. Der Druckraum wurde mit dem Wrack und Einzelteilen wie Mast, Riemen, Steuerruder und Schilde aufgefüllt. Alle Teile wurden bei 170 °C mit einem Infrarotlaser in 0,1 mm starken Schichten aufgebaut. Die Druckdauer betrug rund 8 Stunden.

Die Nachbearbeitung erfolgte durch den Restaurator Markus Wittköpper in den Restaurierungswerkstätten des RGZM. Das Modell wurde an vorher definierten Schnittkanten verklebt und Steven, Steuerruder und Schilde angebracht. Als Klebstoff diente ein weiß eingefärbtes, lichtechtes Epoxidharz (z. B. Ebalta AH 100), das nicht vergilbt.

| | |
|--|---|
| Mit welchem Druckverfahren wurde gedruckt? Welche Firma hat gedruckt? | Die Objekte wurden im 3D-Druck nach dem Verfahren Selektives Lasersintern (SLS) von der 4d Concepts GmbH (Groß-Gerau) hergestellt. |
| Aus welchem Material bestehen die 3D-Drucke? | Verarbeitet wurde das äußerst stabile Material Duraform PA 12 (Polyamid) mit einer Schichtstärke von 0,1 mm. Als Druckfarbe wurde Weiß gewählt, das 3D-Exponat kann nachträglich in einem Tauchbad gefärbt oder koloriert werden. Die leicht aufgeraute Oberfläche des Materials ließ die Beraterinnen einer Besuchergruppe blinder und sehbehinderter Menschen an Holz denken. |
| Größe und Maße der Drucke | Wrack 5: ca. 42,5 × 10 × 2,5 cm (L/B/H) Rekonstruktion: ca. 94 × 14,5 × 11 cm (L/B/H) |
| Was haben die 3D-Drucke gekostet? | Insgesamt kosteten beide Modelle 1.373,26 € (inkl. 19 % MwSt.). Berechnungsgrundlage war die Bauraumgröße von 480 × 480 × 63 mm. |
| Sind weitere 3D-Drucke in Planung? | Ein weiteres 3D-Modell des Wracks eines römischen Handelsschiffs, das Weinamphoren von Süditalien nach Südfrankreich transportierte, wurde im Rahmen des Aktionsplanes 2018 von Bund und Land (Förderung von Forschungsmuseen der Leibniz Gemeinschaft) für das inklusive Museumsprojekt „Für alle Sinne – Das Wrack von La Madrague de Giens“ produziert. Das Museum für Antike Schifffahrt wird zwischen Juli 2022 und Mitte 2023 erneuert. Die inklusiven Stationen mit ihren 3D-Tastmodellen werden in modifizierter Form in die neue Dauerausstellung integriert. |
| Wen kann ich bei Fragen kontaktieren? | Dipl.-Ing. (FH) Anja Cramer (cramer@rgzm.de , Tel. 06131 6281485) |

Abb. 1: Karl Marx im Druck
(Foto: Anne Wiedau).

Museumspädagogik zum Anfassen: FabLab mit Karl Marx & Co.

Anne Wiedau

Welches Museum war beteiligt? Museum am Dom (Trier)

Was wurde gedruckt? Der in Trier geborene Karl Marx (1818–1883) ist eine bedeutende historische Persönlichkeit. Gedruckt wurden Figuren von Karl Marx in verkleinertem Maßstab sowie zahlreiche weitere Gegenstände, die gemeinsam mit den Besucher*innen entwickelt wurden.

Warum 3D-Druck? 3D-Druck ist flexibel und vielseitig, vor allem aber macht diese Technik Besucher*innen neugierig.

**Was war der Anlass?
Gab es Kooperationspartner?** Im Jahr 2018 fand in Trier das Karl Marx-Jahr statt, in dem der 200jährige Geburtstag des wichtigen Kapitalismuskritikers gefeiert wurde. In diesem Rahmen veranstaltete das Museum am Dom gemeinsam mit dem Campus Gestaltung der Hochschule Trier vom 2. bis 29. Juli 2018 ein offenes 3D-Druck-Labor, ein sogenanntes „FabLab“ (Fabrication Laboratory). Es handelte sich dabei um einen Beitrag zur Sonderausstellung „LebensWert Arbeit“ im Museum am Dom (5. Mai bis 21. Oktober 2018). Die 3D-gedruckten Objekte wurden außerdem vom 12. bis 14. Oktober 2018 bei den Design- und Kulturtagen 2018 am Campus Gestaltung der Hochschule Trier gezeigt.

Abb. 2: Design- und Kulturtage
(Foto: Marco Piecuch).



Das **FabLab**-Konzept basiert auf der Grundidee von MIT-Professor Neil Gershenfeld, der das **FabLab** als eine offene und demokratische Werkstatt beschreibt. Diese habe das Ziel, Privatpersonen den Zugang zu Produktionsmitteln und zu modernen industriellen Produktionsverfahren für Einzelstücke zu ermöglichen¹.

Bürgerinnen und Bürger waren deshalb aufgerufen, eigene Ideen ins Labor einzubringen. Das Labor fungierte als „Think Tank“, in dem im Rahmen von Micro-Workshops Ideen vor Ort entwickelt werden konnten. Als Im-

pulsgeber waren an verschiedenen Tagen Künstler und Experten im Labor zu Gast. Anne Wiedau leitete das **FabLab**, ursprünglich waren jedoch zwei Personen für diese zeit- und personalintensive Aufgabe vorgesehen. Es ist empfehlenswert, eine Person zur Entwicklung der Modelle und eine zweite Person zur Betreuung der Maschinen einzuplanen. Da es sich um ein offenes Konzept handelt, wurden die Besucher*innen in das Fab-Lab eingebunden. Es war nicht Ziel, möglichst viel zu produzieren, sondern mit den Besucher*innen ins Gespräch zu kommen und gemeinsam Ideen zu entwickeln.

Das **FabLab** wurde außerdem von der Firma Horbach Technik in Idar-Oberstein sowie von der Bischof Stein-Stiftung unterstützt.

Mit welchem Druckermodell wurde gedruckt?

Es kamen fünf Druckermodelle zum Einsatz: Der Form 2 von Formlabs, der Ender 2 von Creality3D, der Creatr HS von Leapfrog, der Kossel von Anycubic und der K8200 von Velleman.

Aus welchem Material bestehen die 3D-Drucke?

Aus **PLA**. Die Verwendung von biologisch abbaubarem **PLA** war besonders wichtig, um Nachhaltigkeit innerhalb des Projekts umzusetzen.

Größe und Maße der Drucke (B/H/T)

Die meisten Drucke hatten eine Länge von maximal 10 cm, prinzipiell stand jedoch eine Bauraumgröße von 28 × 30 × 27 cm zur Verfügung. Da die Projekte allerdings aufgrund der Schließzeiten des Museums innerhalb eines Tages beendet werden mussten, gab es zeitliche Einschränkungen für die Druckdauer und damit auch für die Druckgröße.

Was haben die 3D-Drucke gekostet?

Von der Hochschule Trier kamen Anne Wiedau als Workshop-Leiterin sowie die 3D-Drucker, dafür entstanden keine zusätzlichen Kosten. Die Firma Horbach Technik lieh dem Museum am Dom einen der 3D-Drucker als Vorführmodell für das **FabLab** kostenlos aus. Das Museum selbst investierte einen Betrag von rund 2.500 € für Material und Marketing (inkl. MwSt.).

Wer hilft bei weiteren Fragen zu diesem Projekt?

Dipl. Des. Anne Wiedau M. A.
(wiedau@hochschule-trier.de)



Abb. 3: FabLab mit Besucherinnen und Besuchern, hinten links einer der eingesetzten 3D-Drucker (Foto: Anne Wiedau).

Literatur: Gershenfeld 2005: N. Gershenfeld, FAB: The Coming Revolution on Your Desktop – from personal computers to personal fabrication (New York 2005).



Abb. 1: Präsentation des „Magnetic-Marx“ im Epilog der Großen Landesausstellung „KARL MARX 1818 – 1883. LEBEN. WERK. ZEIT.“ am Ausstellungsstandort Rheinisches Landesmuseum Trier (Foto: Generaldirektion Kulturelles Erbe – Rheinisches Landesmuseum Trier, Th. Zühmer).

Landesausstellung mit Marx in 3D: KARL MARX 1818 – 1883. LEBEN. WERK. ZEIT.

Rainer Autz

Welches Museum war beteiligt?

Rheinisches Landesmuseum Trier

Was wurde gedruckt?

Für Trier ist Karl Marx (1818–1883), der dort geboren wurde, eine bedeutende historische Persönlichkeit. Gedruckt wurde eine 1:1-Rekonstruktion des Kopfes von Karl Marx, die durch Magnetkraft zum Schweben gebracht wurde.

Warum 3D-Druck?

Der 3D-Druck wurde aus Gründen der Ausstellungskonzeption als Herstellungsverfahren gewählt. Die Methode des 3D-Drucks steht in der öffentlichen Wahrnehmung als Symbol für die digitale Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft, die sogenannte 4. Industrielle Revolution. Durch die Wahl des Materials konnte so eine thematische Brücke zur 1. Industriellen Revolution im 19. Jahrhundert geschlagen werden, die von Marx als Zeitzeuge beschrieben und analysiert wurde. Das Spannungsverhältnis zwischen Karl Marx als Person des 19. Jahrhunderts und moderner Technik wirft Fragen nach seiner Relevanz für das 21. Jahrhundert auf.

Was war der Anlass? Gab es Kooperationspartner?

Zum 200. Geburtstag von Karl Marx fand in seiner Geburtsstadt Trier die große Landesausstellung „KARL MARX 1818 – 1883. LEBEN. WERK. ZEIT.“ an zwei Standorten statt (05.05. bis 21.10.2018). Am Standort Rheinisches Landesmuseum wurde der 3D-Druck im Epilog der Ausstellung als eines der letzten Exponate gezeigt. Als Vorlage diente eine lebensgroße 3D-Figurine, welche die Karl Marx – 2018 Ausstellungsgesellschaft nach historischen Fotografien und zeitgenössischen Personenbeschreibungen anfertigen ließ. Der Marx-Kopf wurde durch Magnetkraft zum Schweben gebracht. Im Sockel befand

sich hierfür ein digital gesteuertes Magnetfeld, das eine Magnetscheibe (Durchmesser etwa 15 cm) in einigen Zentimetern Höhe zum Schweben brachte. Der Kopf wurde manuell auf diese Magnetscheibe aufgesetzt.

Das Projekt entstand in Kooperation mit dem Campus Gestaltung und dem Fachgebiet Digitale Produktentwicklung und Fertigung am Fachbereich Technik der Hochschule Trier. Die Idee und Entwicklung von „Magnetic-Marx 2018“ stammen von Valentin Henning und Jens Biehl.

**Mit welchem Druckermodell wurde gedruckt?
Welche Firma hat gedruckt?**

Stratasys Fortus 250mc. Der Druck erfolgte durch die Hochschule Trier.

Aus welchem Material bestehen die 3D-Drucke?

Verwendet wurde ein **ABS** von Stratasys.

Größe und Maße der Drucke

25 cm × 25 cm × 30 cm (B/H/T)

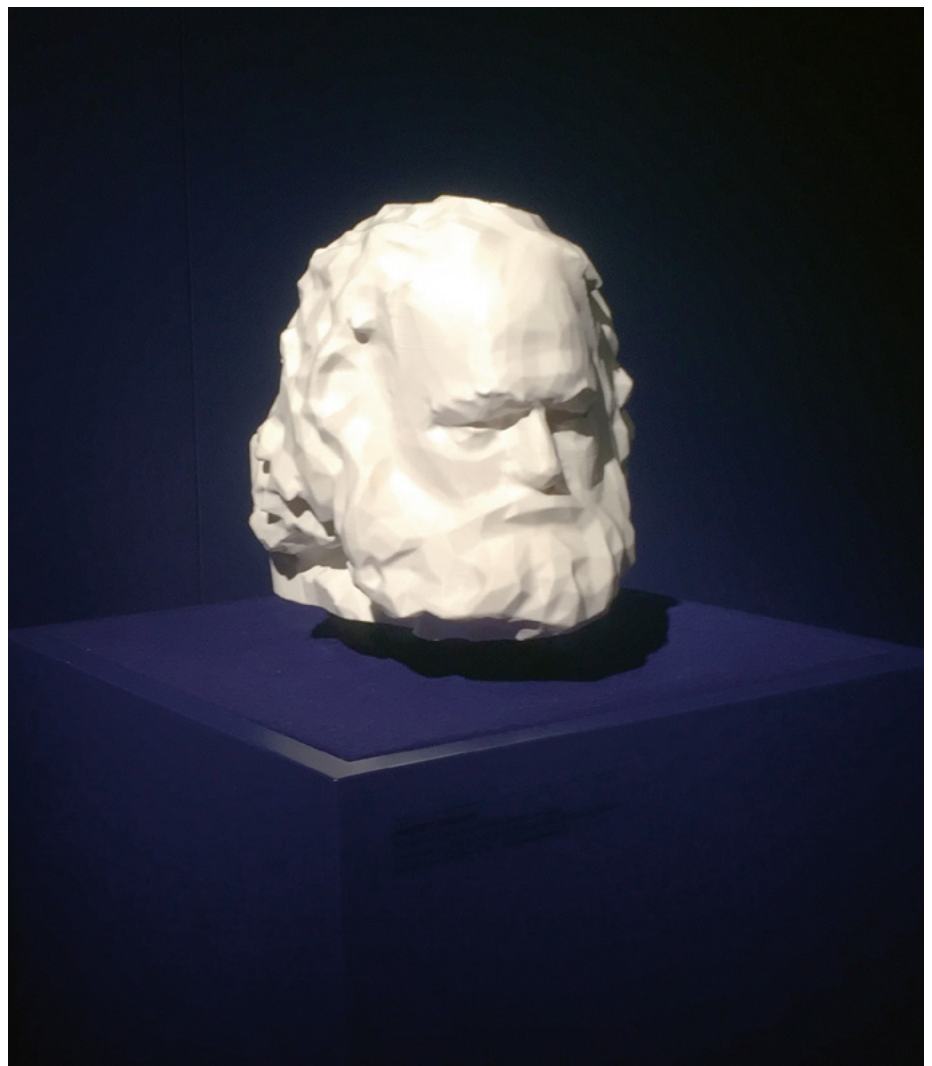
Was hat der 3D-Druck gekostet?

5.973,80 € (inkl. MwSt.) für das 3D-Objekt sowie Steuerungselektronik für das Magnetfeld.

Wer hilft bei Fragen zu diesem Projekt?

Hochschule Trier: Prof. Anna Bulanda-Pantalacci (A.Bulanda-Pantalacci@hochschule-trier.de) und AkadR Michael Hoffmann (m.hoffmann@hochschule-trier.de)

Abb. 2: Kopf des Karl Marx als 3D-Druck über einem Sockel schwebend (Foto: Valentin Henning).




3D-Druck und rheinland-pfälzische Museen: Ein Überblick über weitere Projekte



Abb. 1: „Lost shape 2“ (2018) von Benno Brucksch und Ezra Dilger (Foto: Fotostudio Baumann GmbH, Höhr-Grenzhausen).

Miriam Anders

 <https://orcid.org/0000-0001-5027-6310>

Museen in Rheinland-Pfalz drucken 3D. Das älteste 3D-Druckprojekt wurde bereits 1999 realisiert, das bisher jüngste im Jahr 2019. Insgesamt fanden im Land 20 3D-Druckprojekte von 16 Museen in neun Städten statt.

Ihre Verteilung ist sehr ungleich: An der Spitze liegt Mainz mit sieben Projekten, gefolgt von Trier mit vier. Jeweils zwei Drucke wurden in Koblenz und Kaiserslautern durchgeführt, jeweils ein Projekt in Flonheim, Höhr-Grenzhausen, Speyer, Zweibrücken und Idar-Oberstein.

Fünf eigene Steckbriefe in diesem Band stellen die Projekte aus Mainz und Trier im Detail vor:

- Die Mini-Gutenbergfiguren des Gutenberg-Museums in Mainz,
- die Tastmodelle römischer Schiffe im Römisch-Germanischen Zentralmuseum in Mainz,
- das Besucherlabor zum 3D-Druck im Museum am Dom in Trier,
- der schwebende Karl Marx im Rheinischen Landesmuseum in Trier und
- das Tastmodell der Porta Nigra im Stadtmuseum Simeonstift Trier.

Doch auch die übrigen Projekte sollen an dieser Stelle vorgestellt werden, um zu zeigen, welches Spektrum vorhanden ist und in welchen Bereichen der Museumsarbeit im Land der 3D-Druck zum Einsatz kommt.

3D-gedruckte Kunstwerke

Der 3D-Druck als Herstellungstechnik für zeitgenössische Künstler*innen, Kunsthandwerker*innen und Designer*innen ist kaum noch wegzudenken. In Höhr-Grenzhausen beispielsweise waren im Keramikmuseum Westerwald anlässlich der Sonderausstellung „14. Westerwaldpreis 2019. Keramik Europas“ (2019/2020) zwei Kunstwerke von Benno Brucksch und Ezra Dilger zu sehen¹. Beide entstanden durch 3D-Porzellan-Druck und erhielten einen Förderpreis des Wettbewerbs (Abb. 1). 3D-gedruckte Werke der beiden jungen Künstler waren 2019 auch im Porzellanikon in Selb (Bayern) zu Gast². Dies zeigt, dass das Thema 3D-Druck im Bereich Keramik überregional für ausstellende Museen von Interesse ist.

2011 war die Schmuckkünstlerin Silvia Weidenbach, die den 3D-Druck zur Herstellung von Schmuckstücken einsetzt, als Artist in Residence am Jakob Bengel Industriedenkmal in Idar-Oberstein. Vom 15.10. bis 24.11.2017 wurden ihre Werke dort in einer Einzelausstellung präsentiert³.

Bereits 1999 zeigte das mpk – Museum Pfalzgalerie Kaiserslautern eine Einzelausstellung von Karin Sander⁴ mit farbigen, 3D-gedruckten Kunststoff-Figuren aus dem Kunststoff ABS. 50 reale Personen wurden 3D-gescannt und anschließend als Skulptur im Maßstab 1:10 ausgedruckt. Darunter war auch der damalige Hausmeister des Museums⁵ (Abb. 2). 2017 kam seine Figur, die heute zur Sammlung des Museums gehört, erneut zum Einsatz, diesmal als Teil einer Sonderausstellung zum Thema Big Data⁶. Karin Sander, die überregional bekannt ist, zeigte Variationen dieser Arbeit auch an weiteren Orten in Deutschland, beispielsweise in Stuttgart (2002), Düsseldorf (2010/2011) und Duisburg (2013).

Die kleine Hausmeister-Figur zeigt deutlich, dass 3D-gedruckte Objekte trotz ihrer theoretischen Replizierbarkeit in der Praxis erhaltenswerte Sammlungsobjekte sein können. Immer dann, wenn ein Museum keinen Zugriff auf die originalen 3D-Daten und Druckparameter, keinen Kontakt zu dem oder der Künstler*in und keine Erlaubnis oder kein Budget für die Anfertigung einer zweiten Kopie des Kunstwerks hat, hat es ein Interesse, sein Objekt möglichst lange für die museale Nutzung zu erhalten. 3D-gedruckte Kunstwerke sollten also genauso sorgfältig behandelt werden wie Kunstobjekte, die mit anderen Verfahren hergestellt wurden.



Abb. 2: Karin Sander, „Figur Rudolf Bernert (1998, Fused Deposition Modelling, Acryl, 16 × 6,5 × 3,5 cm)“ in der Skulpturensammlung des mpk – Museum Pfalzgalerie Kaiserslautern (Foto: mpk, Copyright: VG Bild-Kunst, Bonn 2022).

Klein zeigen, was in Wirklichkeit groß ist: Gebäude- und Geländemodelle

Die kulturhistorisch wertvollen Gebäude in Rheinland-Pfalz können nicht versetzt oder verkleinert werden, um sie im Museum zu zeigen. Eine Lösung dafür stellt seit jeher der klassische Modellbau dar, der jedoch arbeitsintensiv und langwierig ist. Auch die Herstellung eines digitalen Gebäude- oder Geländemodells kann viel Arbeitszeit in Anspruch nehmen – je nachdem, wie exakt und wirklichkeitsgetreu es sein soll. Im Anschluss können die digitalen Daten jedoch für den 3D-Druck genutzt werden. Bei Beauftragung eines Dienstleisters sollte deshalb darauf geachtet werden, dass die Übertragung umfangreicher Nutzungs- und Verwertungsrechte an das Museum bereits im Auftrag enthalten ist. Auch sollte die Übergabe der 3D-Daten in einem kompatiblen, für die Langzeitarchivierung tauglichen Format an das Museum erfolgen.

Abb. 3: Modelle der Kaiserdomen von Mainz, Worms und Speyer in der Dauerausstellung (Foto: Historisches Museum der Pfalz Speyer, Peter Haag-Kirchner).



Das Historische Museum der Pfalz in Speyer ließ für die Sonderausstellung „Die Salier. Macht im Wandel“ (2011) Modelle der drei romanischen Kaiserdomen Mainz, Worms und Speyer erstellen⁷. Mittlerweile sind sie in der Dauerausstellung zum „Domschatz“ zu sehen und Besucher*innen können die drei Gebäude direkt miteinander vergleichen. Durch den Längsschnitt werden die Gliederung und Aufteilung des Innenraums der Kirchen deutlich (**Abb. 3**).

Vollständig „digital geboren“ (Englisch: born-digital), also ohne dreidimensionales Vorbild in der realen Welt,

ist ein Ortsmodell von Mainz-Laubenheim im Jahr 1810. Es entstand zunächst auf Basis historischer Karten am Computer und wurde dann, aufgrund der Bauraumgröße des 3D-Druckers, in 12 × 12 cm großen Einzelteilen gedruckt. Diese Einzelteile wurden anschließend zu einem großen Ortsmodell zusammengefügt⁸. Heute steht es vor dem Eingang des kleinen Laubenheimer Ortsmuseums. Daneben befindet sich ein Bildschirm, auf dem die Animation eines Flugs über Mainz-Laubenheim im Jahr 1810 sowie Informationen über die Entstehung des Modells zu sehen sind.



Abb. 4: Handkoloriertes Modell der Porta Nigra (Foto: Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz, U. Pfeuffer).



durchgeführt durch das Landesmuseum Mainz, in Kigali (Ruanda) und Xi'An (China) gezeigt (Abb. 4, Abb. 5).

2019 und 2020 tourte die gleiche Ausstellung, organisiert von der Direktion „Burgen, Schlösser, Altertümer“ der GDKE unter dem Titel „Unsere Heimat: Schätze aus Rheinland-Pfalz“ durch das Land. Die Wanderausstellung war jeweils vier bis sechs Wochen in verschiedenen regionalen Museen zu Gast⁹. Stets dabei waren die Modelle von Schloss Stolzenfels und der Porta Nigra, zum Teil ergänzt durch weitere 3D-gedruckte Gebäudemodelle. Auch bei den anderen Exponaten der Ausstellung handelte es sich um Repliken, zusätzlich wurden in der Regel je Standort einige weitere Gegenstände (auch Originale) von örtlicher Bedeutung gezeigt¹⁰.

Durch den überwiegenden Verzicht auf hochwertige Originale konnte die Wanderausstellung in der Breite wirken und an vielen Standorten gezeigt werden. Der zugehörige Ausstellungsflyer, der die gezeigten Objekte auflistet und als Informationsmaterial für mögliche weitere Ausstellungsorte wirbt, benennt jedoch nicht den 3D-Druck als Herstellungstechnik der genannten Modelle¹¹. Da der Flyer sich vor allem an potenzielle Ausstellungsorte richtet, wurde der 3D-Druck offenbar nicht als „Verkaufsargument“ für die Ausstellung gesehen.

Verkleinerte und zum Teil kolorierte Modelle von Schloss Stolzenfels, dem Hambacher Schloss und der Porta Nigra waren im Rahmen der Wanderausstellung „Our Cultural Heritage: Treasures of Rhineland-Palatinate“ (Deutsch: „Unser Kulturerbe: Schätze aus Rheinland-Pfalz“) zu sehen. Es handelte sich dabei um ein Projekt der Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz (GDKE). Ab September 2018 wurde die Ausstellung,

Abb. 5: Die Ausstellung in Xi'An, China (Foto: Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz, B. Hünerfauth).





Abb. 6: Tastmodell eines Schiffwracks im Museum für Antike Schifffahrt, Mainz (Foto: Dominik Kimmel).

Abb. 7: Detail des Tastmodells (Foto: Dominik Kimmel).



Abb. 8: Detailansicht des 3D-gedruckten Kopfes. Der schichtweise Aufbau ist gut erkennbar (Foto: Römisch-Germanisches Zentralmuseum, Mainz, V. Iserhardt).



Anwendung für Inklusion und Barrierefreiheit

Neben einem Tastmodell der Porta Nigra, das in einem eigenen Steckbrief vorgestellt wird, beschäftigte sich das Stadtmuseum Simeonstift Trier auch im Rahmen einer großen Nero-Ausstellung im Jahr 2016 mit dem 3D-Druck. Es entstand eine tastbare Kopie der Statue „Nero als Frau verkleidet“ (Emilio Gallori, 1873, heute ausgestellt in der Galleria d’Arte Moderna di Palazzo Pitti, Florenz) für blinde und sehingeschränkte Menschen. Der Landes-Behindertenbeauftragte Matthias Rösch besuchte auf seiner Museumstour im Jahr 2016 die Ausstellung, die auch weitere inklusive Angebote machte. Er erwähnte auf seinem Blog explizit den Einsatz des 3D-Drucks und lobte das Museum für seine „hoch innovative[n] Angebote zu[r] barrierefreien Museumsgestaltung“¹².

2018 wurde am Römisch-Germanischen Zentralmuseum im Rahmen des Projekts „Tasten-Wahrnehmen-Verstehen“ zur Verbesserung der Barrierefreiheit im Museum für Antike Schifffahrt ein verkleinertes Tastmodell eines römischen Grabsteinfragments, auf dem ein Schiff abgebildet ist, hergestellt¹³. Für ein Projekt zur Erforschung digitaler Vermittlungsformate entstand ein tastbarer 3D-Druck des Ausgrabungsbefundes eines römischen Frachtschiffs (Wrack von La Madraque de Giens)¹⁴. Es ist heute ebenfalls im Museum für Antike Schifffahrt zu sehen (Abb. 6, Abb. 7). Insgesamt ist das Museum im Bereich 3D-Techniken sehr ak-

tiv, dies liegt an seinem Fokus auf Forschungen zur Herstellung und Bedeutung von Kopien für Wissenschaft und museale Vermittlung. Im Rahmen seiner Restaurierungs- und Forschungsaktivitäten und Kooperationen entstanden beispielsweise 3D-gedruckte Kopien eines altsteinzeitlichen Elfenbeinobjekts oder eines byzantinischen Lamellenhelms. Bemerkenswert ist auch die Rekonstruktion eines verlorenen Skulpturenkopfes der Tang-Dynastie aus China nach analogen Fotografien. Das Original war von Unbekannten vom Rest der Skulptur abgebrochen und gestohlen worden (Abb. 8)¹⁵.

Repliken und Rekonstruktionen

Für das kleine Ortsmuseum mit Infothek in Flonheim, Rheinhessen entstanden Kopien historischer Waffen, darunter eine Lanzenspitze, die sich heute im Besitz des Römisch-Germanischen Zentralmuseums in Mainz befinden¹⁶.

Bereits 2011 zeigte das Landesmuseum Koblenz eine funktionsfähige Metallkopie eines römischen Schlüssels, mit dem Besucher den Nachbau eines römischen Schlosses aufschließen konnten. Die Kopie war stabil und dauerhaft genug, um 2019 erneut in der Wanderausstellung „High Tech Römer“ zum Einsatz zu kommen¹⁷.



Abb. 9: 3D-gedruckter Trilobit (*Chotecops ferdinandi*) in der Dauerausstellung des Naturhistorischen Museums, Mainz. Im Hintergrund rechts das Original-Fossil. (Foto: Museumsverband Rheinland-Pfalz, Miriam Anders)

Das 2019 neu eingerichtete Naturhistorische Museum in Mainz zeigt in seiner Dauerausstellung das Fossil eines ausgestorbenen Meeresbewohners, eines sogenannten Trilobiten. Die filigranen Details des Tierkörpers mit seinen fragilen Beinen sind für Besucher am Originalfossil schlecht zu erkennen. Auf Basis computertomografischer Daten wurde deshalb ein virtuelles 3D-Modell erstellt¹⁸. Dieses diente wiederum als Grundlage für den vergrößerten 3D-Druck (ca. 20 × 20 cm), der direkt neben dem Originalfossil zu sehen ist (Abb. 9).

In Zusammenarbeit mit den Reiss-Engelhorn-Museen kam für die Sonderausstellung „Im Dienst des Kaisers. Mainz – Stadt der römischen Legionen“ (2013–2014) am Landesmuseum Mainz ebenfalls der 3D-Druck zum Einsatz: Bei einer in Andernach gefundenen Schädeltröphäe eines vermutlich römischen Legionärs aus einer keltisch-germanischen Siedlung (um 10 v. Chr.) wurde der fehlende Unterkiefer 3D-gedruckt. Außerdem entstand ein farbiger 3D-Druck einer digital erstellten Gesichtskonstruktion des Mannes¹⁹.

3D-Druck für Werbemaßnahmen

Ausgewählte Stücke Zweibrücker Porzellans im Besitz des Stadtmuseums Zweibrücken wurden 2017 3D-gescannt. Es entstanden in der Folge Probedrucke von der Figur einer Gärtnerin im Maßstab 1:1. Ursprünglich sollten vergrößerte 3D-Drucke des Porzellans als Werbeträger in der Stadt aufgestellt werden. Die Idee konnte allerdings nicht verwirklicht werden²⁰.

Dieses Beispiel führt ein grundsätzliches Problem des 3D-Drucks vor Augen: Übergroße Drucke benötigen aufgrund der beschränkten Bauraum-Größen vieler Geräte entweder besondere Drucker oder sie müssen auf-

wändig aus mehreren Einzelteilen zusammengesetzt werden²¹. Der Druck dauert dann entsprechend lang – was einen besonderen Kostenfaktor darstellt. Darüber hinaus stellt sich außerdem die Frage nach der Auswahl eines geeigneten, langlebigen Druckmaterials.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Beispiele aus Rheinland-Pfalz reihen sich gut ein in das Spektrum von 3D-Druck-Projekten anderer deutscher Museen. Sie zeigen, dass im Land vor allem mittlere und große Einrichtungen mit jeweils mehreren hauptamtlichen Mitarbeiter*innen diese Technik nutzen. 3D-Drucke finden ihren Weg in rheinland-pfälzische Museen als Kunstwerke, als Gebäude- oder Geländemodelle, als Tastmodelle und als Repliken und Rekonstruktionen. Oft entstanden diese in Zusammenarbeit mit Hochschulen oder anderen Museen, die die technische Expertise und die 3D-Drucker einbrachten. Die meisten Projekte standen im Bezug zur Ausstellungstätigkeit der Museen – einen eigenen 3D-Drucker hat keines der Museen.

Auffällig ist, dass es in Rheinland-Pfalz bisher keine regulär buchbaren Workshops zum 3D-Druck für Schulen oder Gruppen gibt. Im Vordergrund steht bisher der 3D-Druck als „Mittel zum Zweck“, also mit Fokus auf das Endprodukt, nicht auf das Herstellungsverfahren oder den Herstellungsprozess als solchen. Auch das Format des **FabLab** oder **Makerspace** hat sich in Rheinland-Pfalz noch nicht an Museen etabliert. Eine Ausnahme ist hier das Besucherlabor im Museum am Dom in Trier im Jahr 2018, das in einem eigenen Steckbrief in diesem Band vorgestellt wird, bei dem die Interaktion mit Besucher*innen zum Thema 3D-Druck und die kreative Umsetzung einer Idee im Vordergrund stand.

Im Bereich der Ausstellungen sind 3D-Drucke vor allem Exponate. Eigene Ausstellungsbereiche in den Dauer- ausstellungen oder Sonderausstellungen speziell zum 3D-Druck gibt es bisher nicht – anbieten würde sich dies vor allem im Bereich der Kunst und des Kunsthandwerks oder an Museen mit technischer Ausrichtung.

3D-Druck ist in Rheinland-Pfalz angekommen. Nicht nur beim zukünftigen musealen Experimentieren mit diesem Herstellungsverfahren und auch eigenen 3D- Druckern gibt es noch viele Entfaltungsmöglichkeiten.

Literatur

Heinz 2010: G. Heinz, Kopien berührungslos erstellen – virtuell und zum Anfassen. In: Restaurierung und Archäologie 2, 2010, 137–150. Online (13.03.2020): <https://doi.org/10.11588/ra.2010.0.36915>

Keramik 2019: Westerwaldkreis/Keramikmuseum Westerwald (Hrsg.) 14. Westerwaldpreis 2019 Keramik Europas/Ceramics of Europe (Stuttgart 2019).

Kimmel/Orthwein 2019: D. Kimmel/M. Orthwein, Unsichtbares sichtbar machen. Das Mixed Reality Open Lab im Museum für Antike Schifffahrt des RGMZ. In: Online-Erweiterung zur Museumskunde Band 84/2019. Online (02.12.2020): <https://www.museumbund.de/wp-content/uploads/2020/04/final-kimmel-orthwein.pdf>

Unsere Heimat 2019: Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz (Hrsg.) Unsere Heimat: Schätze des Landes Rheinland-Pfalz (Koblenz, ohne Jahr, wohl 2019). Online (13.03.2020): http://www.kaiser2020.de/fileadmin/vorZeiten/Kaiser2020/Flyer/201904_exposee_schaetze-des-landes_web.pdf

Urcia u. a. 2018: A. Urcia/S. Zambruno/A. Vazzana/M. Anderson/C. Darnell, Prototyping an Egyptian Revival. Laser scanning, 3D prints and sculpture to support the Echoes of Egypt exhibition. Archeologia e Calcolatori 29 (2018) 317–332.

- 1 Keramik 2019, 116–118.
- 2 https://www.selbamburg.de/wp-content/uploads/2018/10/PM_ReineFormsache.pdf (07.05.2020)
- 3 Zur Künstlerin: <https://www.dw.com/de/schmuck-aus-dem-3d-drucker/av-38717287> (26.11.2020). Zur Ausstellung: <http://www.jakob-bengel.de/2017/10/silvia-weidenbach/> (26.11.2020)
- 4 Interview zu ihrer Arbeit mit 3D-Scan und -Druck vom 22.03.2013: <https://www.monopol-magazin.de/3-d-technik-verändert-die-kunst> (22.04.2020). Siehe auch: <http://www.karinsander.de/en/work/3d-bodyscan> (07.05.2020).
- 5 <https://www.spiegel.de/spiegel/print/d-14839681.html> (13.03.2020)
- 6 Inventarnummer P 00/86: <https://www.mpk.de/pressematerial-leser/items/118.html> (13.03.2020).
- 7 Freundliche Auskunft Sabine Kaufmann, Sammlungsleiterin Domschatz und Mittelalter.
- 8 <https://architekturinstitut.hs-mainz.de/projekte/laubenheim-am-rhein-1810/> und <https://architekturinstitut.hs-mainz.de/projekte/laubenheim-3d-druck/> (13.03.2020)
- 9 Zum Beispiel: Blüchermuseum Kaub (07.08. – 06.10.2019), Eifelmuseum Mayen in der Genovevaburg (29.10. – 24.11.2019), Deutsches Edelsteinmuseum in Idar-Oberstein (31.01. – 29.03.2020), Museum Boppard (09.02. – 29.02.2020), weitere Termine siehe <https://landesmuseum-mainz.de/de/ausstellungen/ausstellungsarchiv/2021/kaiser2020/wanderausstellung/> (26.11.2020)
- 10 <https://gdke.rlp.de/de/veranstaltungen/detail/news/News/detail/unser-kulturerbe-schaetze-des-landes-rheinland-pfalz/> (22.04.2020)
- 11 Unsere Heimat 2019.
- 12 <https://inklusion-blog.rlp.de/nero-ausstellung-in-trier-barrierefrei-und-innovativ/> (13.03.2020). Siehe auch: <https://simeonstift.hypotheses.org/32> (07.05.2020)
- 13 Freundliche Auskunft Römisch-Germanisches Zentralmuseum, Mainz.
- 14 Kimmel/Orthwein 2019.
- 15 Alle Beispiele: Heinz 2010.
- 16 <https://i3mainz.hs-mainz.de/de/projekte/3d-dokumentation-historischer-objekte-auf-basis-digitaler-und-physischer-repliken> (22.04.2020)
- 17 Freundliche Auskunft Alexander Woßeng, Landesmuseum Koblenz.
- 18 Siehe auch (2:31 min): <https://www.youtube.com/watch?v=g0sHtH1d-TQ> (17.09.2020)
- 19 http://www.landesmuseum-mainz.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Presse/Pressemeldungen/PE_Gesichtsrekonstruktion_0511.pdf (22.04.2020)
- 20 https://www.rheinpfalz.de/lokal/zweibruecken_artikel,-zweibrücker-porzellan-aus-dem-3d-drucker-_arid,798648.html und https://www.rheinpfalz.de/lokal/zweibruecken_artikel,-gedruckte-gärtnerin-lässt-auf-sich-warten-_arid,1354085.html (22.04.2020)
- 21 Beispiel für das Zusammensetzen eines größeren Objekts aus Einzelteilen: Urcia u. a. 2018.

Checkliste zur Umsetzung eines 3D-Druckprojekts

Miriam Anders

Vorbereitung



- 1. Suche nach geeigneten Partnern mit Erfahrung im 3D-Druck, zum Beispiel:**
 - Museum
 - Denkmalpflege, Kulturstiftung
 - Fachbereiche oder Institute an Universitäten und Hochschulen, vor allem für Architektur, Gestaltung, Design, Kunst, angewandte Kunst, Informations- und Messtechnik, Datenverarbeitung, Computerwissenschaften, Technik
 - FabLab/MakerSpace in der Nähe
 - Bibliothek mit eigenem 3D-Drucker
 - Künstler*innen
 - Kommerzielle Dienstleister
- 2. Auswahl eines geeigneten Objekts, das 3D-gedruckt werden soll:**
 - Kann das Originalobjekt ohne Schaden zu nehmen digitalisiert werden?
 - Kann es gefahrlos mit einem Mattspray oder Mattpulver behandelt werden?
 - Kann es von allen Seiten fotografiert/gescannt werden?
 - Hat es besonders filigrane, dreidimensionale Details, hat es tiefe Strukturen oder Überhänge, ist es sehr groß oder sehr klein? Das kann die Digitalisierung teuer bzw. aufwändig machen.
 - Besteht es aus einem Material, das nur schlecht 3D-gescannt werden kann, z. B. Glas, Edelsteine, glänzende Oberflächen, Fell/Federn/Haar, etc.?
 - Gibt es rechtliche Vorbehalte?
- 3. Rechte klären:**
 - Besteht ein Urheberschutz oder andere rechtliche Hürden für das Objekt, das 3D-gedruckt werden soll? Wenn ja: Kontakt zu Künstler*in, dessen/deren Agentur und/oder Verwertungsgesellschaft, vertragliche Regelung treffen.
 - Bei Beauftragung von Dienstleistern, Zusammenarbeit mit Künstler*innen: Möglichst umfangreiche oder ausschließliche Nutzungsrechte an den erstellten 3D-Daten und Bildern vertraglich festhalten bzw. Open Access-taugliche Lizenz vereinbaren. 3D-Daten und Projektdokumentation übergeben lassen.
 - Öffentlich geförderte Einrichtungen und Projekte: Erstellung unter einer Lizenz vereinbaren, die Open Access-tauglich ist, also CC0, CC-BY, CC-BY-SA.
 - Gemeinfreie Originalobjekte, deren Urheberschutz abgelaufen ist: Auch für 3D-Daten Gemeinfreiheit angeben (Public Domain).

4. Erstellung der 3D-Daten:

- Verwendung bereits vorhandener Daten, z. B. aus Forschungsprojekten
- Datenerfassung am Original (3D-Scan, CT-Scan, Fotografie etc.) und Berechnung des 3D-Modells aus den gewonnenen Daten am PC
- Suche nach kostenlosen/kostenpflichtigen, verfügbaren, druckbaren 3D-Modellen
- Druckdatenerstellung in druckermodellkompatiblem Format

3D-Drucken



5. Auswahl des Druckmaterials:

- Widerstandsfähigkeit (Ausstellungsobjekt oder Tastobjekt?)
- Alterungsbeständigkeit
- Budget

6. Auswahl des Druckverfahrens:

- Verfügbarer Drucker
- Budget

7. Auswahl des Druckermodells:

- Druckauflösung
- Gewünschtes Material
- Bauraumgröße
- Anschaffung eines eigenen Druckers prüfen: Zeitaufwand für Fehlerbehebung/Wartung und Platzbedarf einkalkulieren.

8. Druckparameter:

- Größe des Objekts
- Wandstärke
- Anordnung im Bauraum des Druckers
- Infill-Dichte (d. h. Hohlräume werden mit Stützstrukturen gefüllt) und Infill-Muster
- Druckdauer
- Etc.

9. 3D-Drucken des Objekts:

- Auf Arbeitsschutz achten! Zum Beispiel: Ausreichend belüfteter Raum bzw. Abluftanlage? Verbrennungsgefahr?
- Druckdauer kompatibel z. B. mit nächtlicher Stromabschaltung?
- Regelmäßig kontrollieren, 3D-Druck bei Fehlern unterbrechen oder abbrechen.

Nachbearbeitung



10. Objekt bearbeiten, zum Beispiel:

- Stützmaterial entfernen
- Druckfehler ausbessern
- Glätten, schleifen, feilen, entgraten etc.
- Einzelteile zusammenkleben, Klebefugen abdichten
- Härten
- Epoxidharz
- Grundieren
- Bemalen
- Lackieren
- Halterungen anbringen
- Auf Arbeitsschutz achten! Zum Beispiel: Atemschutzmaske, Schutzbrille, etc.

11. Objekt verwenden und freuen.

Inventarisieren, publizieren, nachnutzen



12. 3D-gedrucktes Objekt und 3D-Daten inventarisieren und dokumentieren:

- Langzeitspeicherung der digitalen 3D-Modelle, z. B. Ablage in Bild-datenbank, Inventarisierungsprogramm. Nach Möglichkeit ein offenes, nicht-proprietäres Dateiformat wählen.
- Dokumentation des Druckverfahrens, ggf. weiterer Druckparameter, z. B. Wandstärke, Infill-Dichte
- Dokumentation des verwendeten Druckmaterials
- Dokumentation des verwendeten Druckermodells
- Konservierungsvorgaben: Temperatur, Licht, Luftfeuchtigkeit.

13. Über das Projekt sprechen und publizieren:

- Öffentlichkeitsarbeit: Regionale und überregionale Printmedien, Social Media etc.
- Vorträge auf Tagungen
- Mitschnitt des Vortrags oder Screencast per Youtube/Vimeo veröffentlichen
- Fachzeitschriften
- Ausstellungskatalog
- Objektbeschriftung in der Ausstellung
- Open Access (z. B. über Universitätsbibliotheken bei gemeinsamen Forschungsprojekten)
- Projektdokumentation auf eigener Webseite

14. 3D-Daten im Internet frei verfügbar und nutzbar machen, z. B. auf spezialisierten Portalen, bevorzugt mit Open Access-tauglicher Creative-Commons-Lizenz oder gemeinfrei (Public Domain).

15. (Internet-)Besucher*innen zum Remixen, Teilen, 3D-Drucken auffordern und deren Ergebnisse über die eigenen Kanäle streuen, um die Aufmerksamkeit an dem Projekt wachzuhalten.

Liste von 3D-Druckprojekten an Museen in Deutschland

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|--------------------------|---|---|--|------|---|
| Aalen | Limesmuseum Aalen (Zweigstelle Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg) | | Tastbarer, detailgenauer Grundriss einer römischen Principia (Stabsgebäude eines Kastells) | 2017 | Dauerausstellung (Neueröffnung 25.05.2019) |
| Bad Homburg | Römerkastell Saalburg – Archäologischer Park | | Taststation mit vergrößerter Kopie einer Münze | 2016 | Dauerausstellung zur Urgeschichte (seit 2016) |
| Bad Sassen-dorf | Westfälische Salzwelten | | Interaktive Station zum Auftrieb von Körpern in Salz- und Süßwasser mit zwei 3D-gedruckten Figuren von Tauchern | 2015 | Dauerausstellung |
| Bad Schussenried | Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg (Konstanz) | Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart, Esslingen | Rekonstruktion einer jungsteinzeitlichen Tonmaske aus der Moorsiedlung „Riedschachen“ am Federsee | 2016 | Sonderausstellung „4.000 Jahre Pfahlbauten“ (16.04. bis 09.10.2016) |
| Bad Schussenried | Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg (Konstanz) | Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart, Esslingen | Rekonstruktion jungsteinzeitlicher, plastischer Tonbrüste einer Lehmwand eines Kulturhauses um 3860 v. Chr. in Ludwigshafen am Bodensee zur Verwendung als Positiv für Silikonabformungen | 2016 | Sonderausstellung „4.000 Jahre Pfahlbauten“ (16.04. bis 09.10.2016) |
| Beckum | Zement-Museum | Münster School of Architecture | Arbeiterfigur als eines von 28 Objekten von 28 Museen. Die Figur wurde 3D-gescannt und stand den Besuchern neben dem 3D-Druck auch über eine VR-Brille zur Verfügung. | 2019 | Wanderausstellung „Apokalypse Münsterland“ (23.08. bis 19.10.2019, Containerausstellung) |
| Bensheim | Museum der Stadt Bensheim | Fraunhofer IGD | Gesichtsrekonstruktion auf Basis eines frühmittelalterlichen, menschlichen Schädels und Unterkiefers (ca. 550 n. Chr.) | 2015 | Sonderausstellung „1250 Jahre Bensheim – Die Franken an der Bergstraße“ (13.09.2015 bis 15.11.2015) |
| Bergisch Gladbach | Papiermühle Alte Dom-bach (LVR-Industriemuseum Schauplatz Bergisch Gladbach) | | Schülerprogramm zur Funktion von 3D-Druckern sowie Druck an der Miniatur-Tiefdruckpresse mit Hilfe von Vorlagen aus Tetrapack (Jahrgangsstufe 5 bis 10, 3–4 Std.) | 2019 | KulturScouts-Programm „Analog trifft digital – 3D-Druck und Tiefdruck“ (ab September 2019) |
| Bergisch Gladbach | Papiermühle Alte Dom-bach (LVR-Industriemuseum Schauplatz Bergisch Gladbach) | | Vorführungen mit dem im Frühjahr 2019 angeschafften 3D-Drucker beim Museumsfest. | 2019 | PapierFest (12.05.2019) |
| Bergisch Gladbach | Papiermühle Alte Dom-bach (LVR-Industriemuseum Schauplatz Bergisch Gladbach) | | Zusätzliche, von einem Ausstellungsscout betreute Station an festgelegten Terminen, an der Besucher die Funktionsweise eines 3D-Druckers kennenlernen und Fragen stellen können. Außerdem können sie sich wahlweise einen Buchstaben oder eine Zahl ausdrucken lassen (H. ca. 3 cm). Außerdem Workshops für Schulklassen mit Ausdruck eines Buchstabens (H. ca. 9 cm). | 2019 | Sonderausstellung „Ist das möglich?“ (02.03.2018 bis 14.07.2019) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|--------------------------|--|--|---|------|---|
| Bergisch Gladbach | Papiermühle Alte Dom- bach (LVR-Industriemu- seum Schauplatz Ber- gisch Gladbach) | | Zwei Workshops mit dem Grafiker Martin Schneider mit 3D-Druck eines Papierschöpfrahmens, Papier schöpfen, und künst- lerischem Arbeiten mit der 3D- gedruckten Miniatur-Druck- presse „Open Press“ im Rahmen des Projekts Kulturrucksack NRW (halbtägig, jeweils eine Woche Dauer, max. 12 Kinder, 10–14 J.) | 2019 | Workshop „Druck ma- chen – 3D-Druck und Tiefdruck – Analog trifft digital“ (19.08. bis 23.08.2019) |
| Berlin | DDR Museum | | Lenin-Büste für einen Multi- touchtisch zum Thema Struktur und Arbeit der SED | 2016 | Dauerausstellung |
| Berlin | Kunstforum Berliner Volksbank Stiftung | Ägyptisches Mu- seum und Papyrus- sammlung | Modell der Hathorkapelle (M. 1:10, 481 × 825 × 584 mm) | 2011 | Sonderausstellung „Königsstadt Naga – Grabungen in der Wüste des Sudan“ (31.08. bis 18.12.2011) |
| Berlin | Berlinische Galerie | | Skulptur „Monument für die 308“ von Andreas Greiner: Ein 7,5 m hohes, stark vergrößertes Skelett eines Masthuhns, das an ein Saurierskelett erinnert, ge- druckt auf einem BigRep des TH- Kreativlabors „ViNN:Lab“ | 2016 | Sonderausstellung „Andreas Greiner“ (15.09.2016 bis 06.02.2017) |
| Berlin | Märkisches Museum | | 3D-Modelle für ein bestehendes Stadtmodell von Berlin um 1400 | / | Dauerausstellung |
| Berlin | Medizinhistorisches Museum der Charité | | Originalgetreues Schädelmodell mit Hammerverletzungen der sterblichen Überreste eines Men- schen aus einem geschlossenen Koffer | 2016 | Sonderausstellung „Hieb & Stich“ (14.10.2016 bis 14.01.2018) |
| Berlin | Medizinhistorisches Museum der Charité | | 3D-Druck „Das Gehirn des Künst- lers“ von Adib Fricke auf Basis seines eigenen MRI-Scans. Teil des Werks sind Plakate mit Foto- motiven, auf denen der Künstler das gedruckte Gehirn in Händen hält. | 2015 | Sonderausstellung „Mirror Images – Spiegelbilder in Medi- zin und Kunst“ (13.11.2015 bis 03.04.2016) |
| Berlin | Deutsches Technik- museum | | Vorführung zur Fertigungs- technik des 3D-Drucks | 2016 | Dauerausstellung „Das Netz“ – Bereich Information, Beitrag zur Langen Nacht der Museen (27.08.2016) |
| Berlin | Deutsches Technik- museum | | Sommerferienworkshop „Fan- tastic plastic? 3D-Zeichnen mit recyclebarem Plastik“ zum Thema 3D-Druck und Zeichnen mit 3D-Stift (für Kinder ab 8 J.) | 2019 | Bildungsraum in der Ladenstraße (27.06., 04.07., 11.07., 04.08.2019) |
| Berlin | Zitadelle Spandau | | Tastmodelle von verschiedenen Berliner Denkmälern, Skulpturen und Bauwerken, zum Beispiel die nie realisierte „Große Halle“ aus der Zeit des Nationalsozialismus | 2016 | Dauerausstellung „Enthüllt. Berlin und seine Denkmäler“ (seit 29.04.2016) |
| Berlin | Futurium | | Arbeitsraum im UG mit drei 3D- Druckern, Lastercuttern und wei- terer Ausstattung, in dem Work- shops für Schulen, Kinder und Erwachsene stattfinden z. B. Ein- führungen in den 3D-Druck, Open Lab-Termine | 2019 | Dauerausstellung „Futurium Lab – Werkstatt“ (ab 05.09.2019) und museums- pädagogische Pro- gramme |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|--------|--------------------|---|--|------|---|
| Berlin | Futurium | | Dauerausstellung OG: Eigener Bereich zum 3D-Druck in der Abteilung „Gemeinsame Sache Mensch“, außerdem 3D-gedruckte Exponate in der ganzen Ausstellung verteilt. Futurium Lab (UG): 3D-Druck von Gebäuden, verschiedene Kunstwerke mit 3D-gedruckten Teilen | 2019 | Dauerausstellung (Eröffnung: 05.09.2019) |
| Berlin | Futurium | | Produktion von Ersatzteilen und Exponaten auf eigenen 3D-Druckern | 2019 | Museumseigene Werkstatt |
| Berlin | Pergamonmuseum | Exzellenzcluster 264 Topoi | Mehrere Modelle von Gebäuden aus Rom: Palast auf dem Palatin in severischer Zeit (um 200 n. Chr.), Apollontempel, Palast auf dem Palatin in flavischer Zeit (letztes Viertel 1. Jh. n. Chr.), Palast auf dem Palatin in maxentianischer Zeit (frühes 4. Jh. n. Chr.) | 2012 | Sonderausstellung „Jenseits des Horizonts – Raum und Wissen in den Kulturen der Alten Welt“ (22.06. bis 30.09.2012) |
| Berlin | Pergamonmuseum | Exzellenzcluster 264 Topoi | Zwei Kopien von Fragmenten der Forma Urbis Romae, einem monumentalen Plan der Stadt Rom (203 und 211 n. Chr.), der nur in Form von über 1.000 Marmorfragmenten überliefert ist | 2012 | Sonderausstellung „Jenseits des Horizonts – Raum und Wissen in den Kulturen der Alten Welt“ (22.06. bis 30.09.2012) |
| Berlin | Kunstgewerbemuseum | | Porzellangeschirr der Künstlerin Maria Volokhova und des Berliner Designbüros Shapes in Play (Johanna Spath und Johannes Tsopanides), dessen Mutterformen am PC designt und dann gedruckt wurden, z. B. Fischplatte mit Hechkopf, auf Hühnerfüßen stehende Tortenplatte mit Haube, eine Teekanne in Schildkrötenform | 2015 | Sammlung |
| Berlin | Kunstgewerbemuseum | | In der Neupräsentation der Porzellan- und Fayencesammlung wird auch „Porzellan und 3D-Druck“ thematisiert | 2019 | Dauerausstellung „Rokokowelten“ (seit 21.03.2019 bis auf Weiteres) |
| Berlin | Kunstgewerbemuseum | designtransfer, Universität der Künste Berlin | Einblicke in Experimente, Prototypen und Produktionsprozesse des 3D-Drucks von Studierenden und Alumni der letzten Jahre, z. B. individualisierte Schuhe, Brillen und Sport-BHs, Netzstrukturen und Keramikdrucker für Bildungszwecke | 2019 | Pop-Up-Ausstellung „Design Lab #1 Rapid – 3D-Druck von Algorithmen zur Zitronenpresse“ (18.01. bis 24.02.2019) |
| Berlin | Kunstgewerbemuseum | designtransfer, Universität der Künste Berlin | Die Ausstellung widmete sich den Fragen: Wie und was werden wir zukünftig essen, im Angesicht des Klimawandels und von Umweltschäden? Gezeigt wurde ein Objekt der Künstlerin Carolin Schulze: Ein „falscher Hase“ aus Mehlwurmpaste, der 3D-gedruckt wurde | 2018 | Sonderausstellung „Food Revolution 5.0“ (18.05. bis 30.09.2018) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|-----------|--|---|---|------|--|
| Berlin | Museum für Kommunikation | | Workshop mit Künstlerin zum Thema 3D-Keramik-Druck (max. 10 Personen, 15 € p. P. inkl. inkl. Material) | 2019 | Workshop zum Thema „3D-Keramik-Druck. Traditionelle Handarbeit oder programmiertes Töpfern“ (13.04.2019) |
| Berlin | Museum Neukölln | Technische Universität Berlin | Kopien von Exponaten als Tastobjekte und für die Vermittlung mit Schulklassen und Sehingeschränkten, z. B. der Unterkiefer eines Wollhaarmammuts, Puzzle aus Fragmenten eines Urnendeckels, vergrößerter 3D-Druck eines Amuletts aus einem Pfirsichkern | 2015 | Dauerausstellung „99 x Neukölln“ (seit November 2015) |
| Berlin | Ägyptisches Museum und Papyrussammlung | | 1:1-Kopie der Büste der Nofretete aus Kunststoff als Vorlage für eine Gussform für Repliken | 2008 | Gegenstand der Dauerausstellung als Vorlage für Merchandising |
| Berlin | Ägyptisches Museum und Papyrussammlung | | 1:1-Kopie einer stark zerstörten Echnaton-Büste als Testobjekt für eine Rekonstruktion der zerstörten Gesichtsteile | 2012 | Sonderausstellung „Im Licht von Amarna – 100 Jahre Fund der Nofretete“ (07.12.2012 bis 04.08.2013) |
| Berlin | Ägyptisches Museum und Papyrussammlung | Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin | Mehrere Kopien des Porträtkopfes der Königin Teje (um 1355 v. Chr.) nach CT-Daten. Der Kopf trägt ein silbernes Königinnenkopftuch, das kurz nach Herstellung mit einer verzierten Leinwandhaube und einer Federkrone umgearbeitet wurde. Die Kopien zeigen zerstörungsfreien Zustand unter der Haube. Die fragile Federkrone wurde ebenfalls gescannt und 3D-gedruckt. | 2009 | Dauerausstellung „Raum 2.09 – Die Amarna-Zeit“ (Original), die Kopien heute nicht mehr ausgestellt. |
| Berlin | Museum für Vor- und Frühgeschichte | | 1:1 Modell des Grabungsbefunds eines bronzezeitlichen Massengrabs von Tollense um 1250 v. Chr. | 2014 | Dauerausstellung „Zurück! Steinzeit. Bronzezeit. Eisenzeit“ (seit 29.06.2014) |
| Berlin | Naturkundemuseum | | Kopie des Schädels eines Tyrannosaurus Rex, gedruckt mit dem Verfahren SLS | 2015 | Dauerausstellung „Tristan – Berlin zeigt Zähne“ (17.12.2015 bis voraussichtlich 2019) |
| Bielefeld | Historisches Museum | | Ausstellungsbereich mit Arbeiten von Studierenden der Studierrichtung Mode zu den Themen Handwerk und Herkunft, Geschlechteridentität und Nachhaltigkeit, dort 3D-gedruckte Ohringe und ein Kopfschmuck | 2019 | Sonderausstellung „BART – Mode, Rebellion, Männlichkeit?“ (02.06. bis 27.10.2019) |
| Bonn | Haus der Geschichte der Bundesrepublik Deutschland | | Tastmodell in verkleinertem Maßstab der Hauptfigur des Treptower Ehrenmals in Berlin im Rahmen eines Pilotprojekts für Inklusion | 2018 | Sonderausstellung „Deutsche Mythen seit 1945“ (16.03.2018 bis 14.10.2018) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|--------------|---|---|---|------|--|
| Bonn | Kunstmuseum Bonn | | Veranstaltung mit Fachleuten und Laien (Teilnahme kostenlos): Im Foyer wird mit dem museums-eigenen 3D-Drucker ein Objekt ausgedruckt, parallel dazu findet eine an die Sammlung oder aktuelle Wechsausstellung angebundene Veranstaltung statt, z. B. Familien-Workshop, Gespräche mit Fachleuten oder Führungen mit dem Schwerpunkt Originalität, Vervielfältigung, Mechanisierung. | 2019 | Veranstaltung zum Thema „Schöpfung handmade: Eine Skulptur unserer Sammlung: 3D-Scan und 3D-Druck“ (01.09.2019), Teil der Reihe „Schöpfung handmade“ (1x pro Quartal, seit 2017) |
| Bonn | Kunstmuseum Bonn | | Workshop rund um plastische Kunstwerke für Kinder, Jugendliche und Erwachsene (2 St., 3,50 € Kinder, 6 € Erwachsene). Teil der Reihe „Schöpfung handmade“. | 2019 | Veranstaltung der Reihe „Familienatelier am Sonntag“ zum Thema „Schöpfung handmade 3-dimensional! Während wir Plastiken bauen, druckt der 3D-Drucker eine Plastik unserer Sammlung“ (01.09.2019, 11:15-13:15 Uhr) |
| Bonn | Ägyptisches Museum der Universität Bonn | LVR-Landesmuseum Bonn, Stadtbibliothek Bonn | 3D-gedruckte Positive von ägyptischen Gussformen für Figuren, die wiederum als Basis für Silikonformen dienten | 2014 | Forschungsprojekt „Gegossene Götter in Bonn. Antiker Bronzeguss und moderne Hochtechnologie“, gefördert durch die Fritz Thyssen Stiftung, dann Sonderausstellung „Gegossene Götter – Metallhandwerk und Massenproduktion im Alten Ägypten“ (23.10.2014 bis 08.03.2015) |
| Bonn | LVR-LandesMuseum Bonn | Museum Zitadelle Jülich und Forschungszentrum Jülich, ZEA-1 | Rekonstruktion von zwei Varianten eines Hinterkopffragments aus Stein eines römischen Herrschers des 1. Jahrhunderts aus Stolberg bei Aachen zu einem vollständigen Kopf | 2016 | Fund des Monats im Museumsfoyer (November 2016) |
| Braunschweig | Landesmuseum Braunschweig | | Replik der steinzeitlichen Gletschermumie „Ötzi“ (zwischen 3359 und 3105 v. Chr.), basierend auf Computertomografie-Aufnahmen | 2016 | Wanderausstellung „Ötzi. Der Mann aus dem Eis... und zwei von hier“ (23.03.2016 bis 29.01.2017) |
| Braunschweig | Staatliches Naturhistorisches Museum | | ca. 13 m langes, rekonstruiertes Skelett eines Langhalsdinosauriers, Spinophorosaurus nigerensis | 2009 | Dauerausstellung, Dino-Saal (seit 26.11.2010) |
| Bremen | Focke-Museum – Bremer Landesmuseum für Kunst und Kulturgeschichte | | Replik einer Büste aus Bronze von Ehrenfried Günther Freiherr von Hünefeld in verkleinertem Maßstab für die Vermittlungsarbeit im Museum, eine 1:1-Kopie wurde außerdem in der Bremenhalle des Flughafens Bremen aufgestellt | 2016 | Dauerausstellung (seit 2016) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|------------|--|--|--|------|---|
| Chemnitz | Museum für sächsische Fahrzeuge | | Ferienprogramm für Kinder zum 3D-Stift (3 Std., ab 8 Jahren, 3 € p. P.) | 2019 | Dauerausstellung (25.07.2019, 01.08.2019, 08.08.2019, 15.08.2019) |
| Chemnitz | Staatliches Museum für Archäologie Chemnitz | Fakultät Angewandte Kunst Schneeberg an der Westsächsischen Hochschule Zwickau | Studenten verwendeten archäologische Funde sowie deren zugehörige Dokumentation als Inspiration für eigene, experimentelle Formstudien, die dann im 3D-Druck umgesetzt werden | 2018 | Sonderausstellung „supported experiments“ (14.12.2018 bis 27.01.2019, Foyer) |
| Darmstadt | Hessisches Landesmuseum | Senckenberg-Museum, Frankfurt und Reiss-Engelhorn-Museen, Mannheim | Modell eines Moa-Schädels als Ersatz für einen gestohlenen Moa-Schädel | 2014 | Dauerausstellung (Eröffnung am 13.09.2014) |
| Deggendorf | Handwerksmuseum | | Schmuckobjekte der Künstlerinnen Beate Eismann aus Halle und Svenja John aus Berlin | 2016 | Sonderausstellung „Eins – Zwei – 3D“ (13.03. bis 12.06.2016) |
| Detmold | Lippisches Landesmuseum Detmold | | Zwei Rekonstruktionen einer römischen Kline (Liege) aus Haltern am See (SLS) | 2017 | Sonderausstellungen „REVOLUTION jung-STEINZEIT“ (02.07.2016 bis 26.02.2017) und „Triumph ohne Sieg?“ (LWL Römermuseum in Haltern, Ende Mai bis November 2017) |
| Detmold | Lippisches Landesmuseum Detmold | Reiss-Engelhorn-Museen, Mannheim | Anhänger oder Amulett, versteckt unter Textilien im Nacken einer südamerikanischen Kindermumie, gedruckt nach CT-Scan-Daten | 2010 | German Mummy Project |
| Dortmund | Museum für Kunst und Kulturgeschichte | | Die Ausstellung zeigt Objekte aus der textilen Sammlung des Museums sowie kunsthandwerkliche Arbeiten, u. a. ein Kunstwerk von Matthias Grosche, in dem Goldschmiedetechniken, CAD sowie ein 3D-Drucker zu Einsatz kamen | 2019 | Sonderausstellung „Transparenz – Kunst trifft Handwerk“ (01. bis 10.11.2019) |
| Dortmund | DASA Arbeitswelt Ausstellung | | Maker-Festival mit verschiedenen Ständen zum Thema 3D-Druck und weiteren Bastler-Themen | 2017 | Kreativ-Festival „Maker Faire Ruhr“ (25./26.03.2017) |
| Dortmund | LWL-Industriemuseum Zeche Zollern (Westfälisches Landesmuseum für Industriekultur) | | Aktionstage für Kinder und Familien im Bereich „Wissenswerkstatt“ mit Duplikaten aus dem 3D-Drucker (8 Termine, 11-17 Uhr, 3 €/p. P., ohne Anmeldung) | 2019 | Sonderausstellung „Alles nur geklaut? Die abenteuerlichen Wege des Wissens“ (23.03. bis 13.10.2019) |
| Dresden | Deutsches Hygiene-Museum | | Gesicht des Künstlers Leonardo Selvaggio aus Chicago als Maske; ein künstlerischer Beitrag zum Thema des Überwachungsstaats | 2014 | Sonderausstellung „Das Gesicht – Eine Spurensuche“ (19.08.2017 bis 25.02.2018) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|------------|---|--------------------------------|---|------|---|
| Dresden | Staatliche Kunstsammlungen Dresden | National Gallery Singapore | Im Bereich „Traumwerkstatt“ fanden an zwei Tagen in der Woche regelmäßige Workshops mit The Constitute zum Thema 3D-Druck, Lasercutting, Digital Sculpting etc. statt (2stündig, ab 12J., 12 Teilnehmer) | 2018 | Sonderausstellung „Kinderbiennale – Träume & Geschichten“ (22.09.2018 bis 24.02.2019) |
| Dresden | Technische Sammlungen | fablab Dresden | Zweitägiger Workshop zur Erstellung von 3D-Daten und zum 3D-Druck (für Kinder, 12–16 Jahre) | 2014 | Workshop „3D – Druck und Konstruktion“ (21. bis 22.10.2014, 10 bis 15:00 Uhr) |
| Duisburg | Lehmbruck-Museum | | 3D-Drucke von nahezu 1.000 Besucher*innen im Maßstab 1:8 in unterschiedlichen Farben als Teil einer Kunstinstallation von Karin Sander | 2013 | Sonderausstellung „Karin Sander. Visitors on Display“ (21.03.2013 bis 03.06.2013) |
| Düsseldorf | K20 Grabbeplatz – Kunstsammlung Nordrhein-Westfalen | | 3D-Drucke von Personen im Maßstab 1:8, die vor Ort gescannt und gedruckt wurden, als Teil eines Projekts mit der Künstlerin Karin Sander | 2010 | Sonderausstellung „Museumsbesucher 1:8 – 3D Bodyscans der lebenden Personen“ (10.07.2010 bis 16.01.2011, Labor) |
| Eisenach | Automobile Welt Eisenach | Duale Hochschule Gera-Eisenach | Teile für die Rekonstruktion eines Oldtimers aus dem Jahr 1899, einer der ersten Wagen des Automobilwerks Eisenach | 2019 | Projekt (Beginn Anfang September 2019) |
| Emden | Kunsthalle Emden | | Im Atrium des Museums stand ein 3D-Drucker, dort konnten Besucher*innen auch eigene, durch den Künstler Emil Nolde inspirierte Fabelwesen zeichnen oder beschreiben. 204 Personen nahmen teil, 35 der Fabelwesen wurden im Laufe der Ausstellung 3D-gedruckt und an einer Schautafel zusammen mit den Beschreibungen ausgestellt. | 2013 | Besucherprojekt „Zauberer, Feen und Ungetüme“ im Atrium des Museums zur Sonderausstellung „Emil Nolde, Maler-Grafik und Ungemalte Bilder“ (26.01. bis 26.05.2013) |
| Erding | Museum Erding | | 1:1-Modell des letzten Freilegungszustands einer Blockbergung von 140 frühbronzezeitlichen Spangenbarren (gedruckt mit PLA) und Sediment (gedruckt mit Vollfarbpolymergips); das Modell zeigt einen temporären Zustand während der Freilegung | 2017 | Dauerausstellung (seit 22.07.2017) |
| Essen | Red Dot Design Museum | Materialise NV, Belgien | Sonderausstellung rund um das Thema 3D-Druck mit mehr als 80 Objekten aus den Bereichen Kunst, Design, Technik und Wissenschaft | 2016 | Sonderausstellung „Making a Difference / A Difference in Making“ (27.09. bis 30.10.2016) |
| Feldafing | Casino auf der Roseninsel im Starnberger See | Archäologische Staatssammlung | Farbgetreue Repliken verschiedener archäologischer Objekte, da die Originale aus konservatorischen Gründen nicht vor Ort gezeigt werden können (u. a. Bronzepanther, Glasflasche, Öllampe) | 2016 | Dauerausstellung (seit 2016) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|------------|--|--|---|------------|---|
| Fladungen | Freilandmuseum | | Drei Tastpläne: 1) Gelände und Umriss des Gebäudes, 2) Ansicht der Schaufassade, 3) Grundriss Innenraum, integriert sind im Gebäudeinneren außerdem Führungslinien und Taststationen | 2017 | Vor bzw. im Gebäude der historischen Büttnerwerkstatt aus Sulzthal, Lkr. Bad Kissingen (seit Juli 2017) |
| Flonheim | Ortsmuseum und Infothek | Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik Hochschule Mainz, Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz | Kopien historischer Waffen im Besitz des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, u. a. einer Lanze | 2013 | Dauerausstellung |
| Frankfurt | Liebighaus | | 1:1-Repliken ägyptischer Reliefs aus der Zeit des Pharaos Sahure | 2010 | Sonderausstellung „Sahure – Tod und Leben eines großen Pharaos“ (24.06. bis 28.11.2010) |
| Frankfurt | Junges Museum | | Modell der Paulskirche (L/B/H 50 × 45 × 59 cm) aus PLA, transparent | 2018 | Dauerausstellung „Dagegen! Dafür?“ (seit 23.10.2018) |
| Frankfurt | Senckenberg Naturmuseum | | Begehbare Gehirn des Fußballers „Charly“ Körbel | In Planung | Dauerausstellung |
| Frankfurt | Senckenberg Naturmuseum | | 2.500 Polypen für das Modell einer biolumineszierenden Bambuskoralle | 2020 | Dauerausstellung, Raum „Tiefsee“ (03.09.2020) |
| Frechen | Keramion | | Ausstellung zum gleichnamigen Wettbewerb mit Werken von zwölf Künstler*innen unter Verwendung des 3D-Drucks mit Keramik | 2019 | Sonderausstellung „Kunst trifft Technik – Keramik aus dem 3D-Drucker“ (08.09.2019 bis 23.02.2020) |
| Freiburg | Augustinermuseum – Haus der Graphischen Sammlung | | Mehrere 3D-Drucke als Tastmodelle. Dabei wurde von dem üblichen Relief abgewichen und ein Raum geschaffen, wie ihn der Künstler auch suggerierte | 2016 | Sonderausstellung „Hans Baldung Grien. Holzschnitte“ (17.09.2016 bis 15.01.2017) |
| Furtwangen | Deutsches Uhrenmuseum | | Prototyp einer Plätzchenform in Form eines Uhrenschildes | 2016 | Museumspädagogik-Aktion zu Weihnachten (Dezember 2016) |
| Greding | Archäologisches Museum | | Der 3D-Scan der fragmentierten Schädel aus einer bajuwarischen Fünffachbestattung des Fürstengrabs von Großhöbing wurde ausgedruckt und diente als Grundlage für eine Gesichtsrekonstruktion; in der Ausstellung ist das Grab mit den fünf Toten in Lebensgröße rekonstruiert | 2012 | Dauerausstellung „Fürstengrab von Großhöbing“ |
| Güglingen | Römermuseum | | Museumsmodell der römischen Villa Urbana von Güglingen-Frauenzimmern | 2020 | Dauerausstellung |
| Halle | Hallesches Halloren- und Salinemuseum | | Erstmalig stattfindende Messe mit 20 Ausstellern, von denen zwei auch das Thema 3D-Druck zeigten | 2018 | Messe „Halle Mini Maker Faire“ (30.6.2018 bis 01.07.2018) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|------------------|---|---|---|------|--|
| Halle | Landesmuseum für Vorgeschichte Halle | Stiftung Luthergedenkstätten in Sachsen-Anhalt, Deutsches Historisches Museum, Stiftung Schloss Friedenstein Gotha, Auswärtiges Amt | Mehrsprachige Posterausstellung zum Download und Selbstdruck durch die Ausstellungsorte, inklusive druckfähiger 3D-Daten von Museumsobjekten, z. B. Bartmannskrug, Abwasstruhe mit Geldzählhilfe, ein froschgrüner Wandbrunnen und eine Lutherbüste | 2017 | Posterausstellung „#HereIStand. Martin Luther, die Reformation und die Folgen“ im Lichthof des Auswärtigen Amtes, Berlin (30.09. bis 19.10.2016) |
| Hamburg | Museum der Arbeit | Faszination Technik Klub und Helmut-Schmidt-Universität | Dreistündige Workshops mit Anmeldung für Jugendliche im Alter von 13 Jahren zur Herstellung von individuellen Schlüsselanhängern, bei denen die Gussformen 3D-gedruckt werden | 2019 | „Vom Sandguss zum 3D-Druck“ (27.04.2019 und 22.06.2019, 11–14:00 Uhr) |
| Hamburg | Museum der Arbeit | | Offener Workshop mit 3D-Drucker und 3D-Stiften, bei denen eigene Objekte hergestellt werden können (ab 8 J., max. 5 Pers., ohne Anmeldung) | 2019 | „3D-Drucker in Aktion“ (19.01.2019) |
| Hamm | Gustav-Lübcke-Museum | | Replik eines Kopfes einer ägyptischen Mumie aus Luxor, die 1945 zerstört wurde, nach einer erhaltenen Schwarz-Weiß-Fotografie | 2017 | Sonderausstellung „Mumien. Der Traum vom ewigen Leben“ (03.12.2017 bis 17.06.2018) |
| Hannover | August Kestner Museum | | Kopf des Pharaos Echnaton als Prototyp einer verkleinerten Reproduktion als mögliches Angebot im Museumsshop (Schlüsselanhänger oder USB-Stick) | 2019 | Gegenstand der Dauerausstellung als Vorlage für Merchandising |
| Heidelberg | Museum des Instituts für Geowissenschaften | IWR Interdisciplinary Center for Scientific Computing der Universität Heidelberg | 3D-Druck in Farbe des Unterkiefers des Homo heidelbergensis aus Mauer (Baden) als experimentelle Kopie | 2018 | Aktuell nicht ausgestellt |
| Herford | Marta Herford – Museum für Kunst, Architektur, Design | | 3D-gedruckte Deckenleuchte aus biologisch basierendem Kunststoff und Avocadokernen, mit der die Künstlerin Kathrin Breitenbach den Deutschen Recycling-Preis gewann | 2019 | Sonderausstellung „9. RecyclingDesignpreis“ (22.09.2019 bis 05.01.2020) |
| Herne | LWL-Museum für Archäologie | | 1:1 Kopien von 3 vietnamesischen Kulturobjekten: Hölzerne Buddha-Statue (H. 1,90 m), Schädel mit Ohrring, phallusförmige Steinstele mit Gesicht (H. 1,26 m) | 2016 | Wanderausstellung „Schätze der Archäologie Vietnams“ (07.10.2016 bis 26.02.2017), auch gezeigt im Reiss-Engelhorn-Museum, Mannheim (16.09.2017 bis 07.01.2018) |
| Hildesheim | Roemer- und Pelizaeus-Museum | Reiss-Engelhorn-Museen | 1:1-Kopie der Mumie des „Mädchens von Yde“ aus den Niederlanden | 2014 | Wanderausstellung „Mumien der Welt“ (13.02. bis 28.08.2018) |
| Höhr-Grenzhausen | Keramikmuseum Westerwald | | Zwei Kunstwerke der Künstler Benno Brucksch und Ezra Dilger in der Kategorie Förderpreis, die unter Verwendung von 3D-Porzellan-Druck entstanden | 2019 | Sonderausstellung „14. Westerwaldpreis 2019. Keramik Europas“ (01.10.2019 bis 15.03.2020) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|----------------|---|---|---|------|--|
| Hückelhoven | Museum der Mineralien- und Bergbaufreunde | | Modelle aus PLA von Förderwagen, Wandlampen, Figuren etc. als Souvenirs für den Museumsshop, die Herstellung basiert auf dem ehrenamtlichen Engagement eines Mitarbeiters | 2019 | Gegenstände der Dauerausstellung als Vorlage für Merchandising |
| Idar-Oberstein | Industriedenkmal Jakob Bengel | | Einzelausstellung der Künstlerin Silvia Weidenbach, die Schmuckstücke unter Verwendung des 3D-Drucks herstellt | 2017 | Sonderausstellung „Silvia Weidenbach“ (15.10. bis 24.11.2017) |
| Jülich | Museum Zitadelle | LVR-LandesMuseum Bonn und Forschungszentrum Jülich, ZEA-1 | Rekonstruktion von zwei Varianten eines Hinterkopffragments aus Stein eines römischen Herrschers des 1. Jahrhunderts aus Stolberg bei Aachen zu einem vollständigen Kopf | 2016 | Sonderausstellung „Fahndung nach Augustus“ im Schlosskeller (2016) |
| Kaiserslautern | mpk – Museum Pfalz-galerie Kaiserslautern | | Kunststoffmodelle im Maßstab 1:10 von 50 deutschen Bürgern, darunter auch der ehemalige Fußballspieler Ratinho, Bernhard Deubig (ehemaliger Bürgermeister von Kaiserslautern) und der Hausmeister des Museums, Rudolf Bernert | 1999 | Einzelausstellung (? bis 31.10.1999) |
| Kaiserslautern | mpk – Museum Pfalz-galerie Kaiserslautern | | Figur des ehemaligen Museums-hausmeisters, abgescannt mit Bodyscanner der Firma Human Solutions, umgesetzt durch die Künstlerin Karin Sander; Teil einer Inszenierung mit 3D-Body-scanner daneben | 2017 | Sonderausstellung „Ohne Schlüssel und Schloss? Chancen und Risiken von Big Data“ (17.09.2017 bis 18.02.2018) |
| Karlsruhe | ZKM – Zentrum für Kunst und Medien | | 3D-Lab mit aktivem 3D-Drucker sowie verschiedenen, 3D-gedruckten Objekten, z. B. eine fragile Nofretete-Büste aus einer netzartigen, schwarzen Kunststoffstruktur oder als detailgenaue, weiße Kopie | 2016 | Sonderausstellung „Dataspheres – Eine Ausstellung im Rahmen CODEN_N new. New Festivals“ (20. bis 22.09.2016) |
| Karlsruhe | ZKM – Zentrum für Kunst und Medien | | Arbeit des Künstlers Morehshin Allahyari mit ausgedruckten Rekonstruktionen von Kunst-Artefakten aus der antiken Stadt Hatra, die der IS 2015 zerstört hatte | 2017 | Sonderausstellung „Open Codes – Die Welt als Datenfeld“ (20.10.2017 bis 02.06.2019) |
| Karlsruhe | ZKM – Zentrum für Kunst und Medien | | Druck von zusammengesetzten Buchstabenkreationen nach einer Kunstinstallation mit rotierenden Buchstaben von Adam Słowik mittels einer am ZKM von Christian Lölkes entwickelten Software | 2017 | Sonderausstellung „Architektur des Alphabets“ (13.04.2017 bis 18.06.2017) |
| Karlsruhe | ZKM – Zentrum für Kunst und Medien | | Druck von Ersatzteilen oder Aufhängungen für Kunstwerke | / | Museumseigene Werkstatt (3D-Labor) |
| Karlsruhe | ZKM – Zentrum für Kunst und Medien | Forschungszentrum Informatik, Karlsruhe | Druck von Gesichtsschildern auf mehreren eigenen 3D-Druckern im Zuge der Coronavirus-Pandemie für das Klinikum Karlsruhe. | 2020 | Museumseigene Werkstatt (3D-Labor) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|----------------|---|---|---|------|--|
| Kempten | Archäologischer Park Cambodunum | Kulturamt Kempten | 3D-Vermessung und Reproduktion von 3 Pferdehufen einer römischen Kaiserstatue. Original aus Bronze, Kopie aus dem 3D-Drucker mit farblicher Nachgestaltung als Exponat in einem nicht klimatisierten Ausstellungsbereich | 2013 | Dauerausstellung in der Umgangshalle des gallorömischen Tempelbezirks (Eröffnung: 2014) |
| Koblenz | Landesmuseum Koblenz | | Verkleinerte Modelle rheinland-pfälzischer Bauwerke, die gemeinsam mit anderen Repliken typischer Objekte in einer Wanderausstellung gezeigt wurden: Schloss Stolzenfels, Hambacher Schloss, Porta Nigra | 2018 | Wanderausstellung „Unsere Heimat: Schätze aus Rheinland-Pfalz“ (2019/2020) an wechselnden Standorten in Rheinland-Pfalz bzw. „Our Cultural Heritage: Treasures of Rhineland-Palatinate“ (2018 in Kigali, Ruanda und 2018/2019 in Xi’an, China) |
| Koblenz | Landesmuseum Koblenz | LVR Landesmuseum Bonn, Museon Den Haag, Museum Het Valkhof Nijmegen, Technopolis Mechen | Funktionsfähige Kopie aus Metall eines römischen Schlüssels, mit der Besucher den Nachbau eines römischen Schlosses aufschließen können | 2011 | Sonderausstellung 2011, Wanderausstellung „High Tech Römer“ (14.04. bis 03.11.2019) |
| Köln | Deutsches Kunststoffmuseum | | Sammlungsobjekte, z. B. medizinisches Schädelmodell und ein Hocker, der Terra Stool (Design von Marco Mattia Cristofori für BigRep GmbH) | 1998 | Sammlungsobjekt |
| Köln | MAKK – Museum für Angewandte Kunst Köln | | Workshop zu Design und Herstellung von Stühlen für Sekundarstufe I und II, thematisiert wird auch der 3D-Druck als Herstellungsverfahren (max. 30 Personen, 120 min) | / | Workshop „10-Minuten-Stühle“ |
| Köln | MAKK – Museum für Angewandte Kunst Köln | | Stuhl „Generico Chair“ (2014) von Marco Hemmerling und Ulrich Nether | 2014 | Sonderausstellung „34 x Design“ (27.10.2018 bis 27.01.2019 und 02.02.2019 bis 14.04.2019) |
| Köln | MAKK – Museum für Angewandte Kunst Köln | | Stuhl „Generico Chair“ (2014) von Marco Hemmerling und Ulrich Nether (Dauerleihgabe) | 2015 | Ausstellung „Kunst + Design im Dialog“ (2015 bis ca. 2017) |
| Köln | Museum Schnütgen | | Kopien von acht Holzskulpturen (ca. 1430–1440, ca. 120 cm Höhe) für das Rathaus, dem ursprünglichen Standort; die Kopien wurden von Hand koloriert | 2018 | Kopien im Rathaus (Aufstellung für 2019 geplant) |
| Köln | Schokoladenmuseum | Abteilung für Alt-amerikanistik der Universität Bonn | 3D-Scans von mehreren alt-amerikanischen Objekten der Sammlung, aus denen bei besonderen Anlässen 3D-Drucke erstellt werden, beispielsweise für den MINTkölner-Tag, an dem live gescannt und VR-Brillen sowie der 3D-Druck vorgestellt wurden | 2018 | MINTkölner-Festival der Zentralbibliothek Köln (11. bis 27.10.2018, Aktionstag am 27.10.2018, 10–15:00 Uhr) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|-----------|---|--------------------|--|------------|---|
| Konstanz | Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg | | Römische Gebrauchsgegenstände für Playmobil-Figuren (z. B. Teller, Schalen, Säulen eines Tempels) | 2017 | Sonderausstellung „Archäologie und Playmobil: Römisch Way of Life“ (26.11.2017 bis 15.09.2019) |
| Konstanz | Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg | | Kopien der Bronzebeschläge eines Prunkportals eines großen römischen Gebäudes, vermutlich eines Tempels aus dem Hortfund von Ladenburg um 125–150 n. Chr. | 2018 | Sonderausstellung „Archäologie Kinderleicht – Leben in der römischen Villa“ (08.09.2018 bis 27.07.2019) |
| Konstanz | Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg | | Säulen für ein römerzeitliches Modell von Basilika und Forum der Stadt Ladenburg am Neckar | In Planung | Dauerausstellung „Die römische Stadt aus dem Untergrund“ |
| Kranzberg | Bronzezeit Bayern Museum | | Geländerelief des Bernstorfer Berges als Teil einer Medienstation mit Projektion geografischer und archäologischer Informationen | 2014 | Dauerausstellung „Was der Berg erzählt“ (seit Mai 2014) |
| Künzing | Museum Quintana | | 1:1-Kopie des Schädels einer jungsteinzeitlichen Frau aus der Zeit zwischen 5.500 und 5.000 v. Chr. mit aufwendigem Kopfschmuck. Der 3D-Druck wurde als Basis für eine plastische Gesichtsrekonstruktion verwendet. Dabei wurde am Schädel mithilfe von Gips das ursprüngliche Gesicht modelliert und danach eine Gussform erstellt. Mithilfe dieser Gussform wurde dann die eigentliche Büste aus hautähnlichem Material angefertigt. Der eigentliche 3D-Druck (also die Schädelkopie) ist nicht ausgestellt. | 2019 | Dauerausstellung, Abteilung Jungsteinzeit, Vitrine „Befund 561 – Die Tote von Niederpörling“ (ab 24.05.2019) |
| Ladenburg | Lobdengau-Museum der Stadt Ladenburg | | Schokoladen-Gussformen einer römischen Jupitergigantensäule aus der Zeit um 200 n. Chr. zur Herstellung von Miniatur-Schokoladen als exklusives Präsent der Stadt Ladenburg | 2018 | Gegenstand der Dauerausstellung als Vorlage für Merchandising |
| Leipzig | Stadtgeschichtliches Museum – Völkerschlachtdenkmal | | 3D-Tastmodell des Völkerschlachtdenkmal (H. 91 cm, M. 1:100); das Modell ist angeschnitten, sodass auch der Innenraum ertastet werden kann | 2015 | Dauerausstellung des Völkerschlachtdenkmal (seit 08.12.2015) |
| Leipzig | Deutsches Buch- und Schriftmuseum (Deutsche Nationalbibliothek) | | Ein funktionsfähiger 3D-Drucker (Creatr HS, Firma Leapfrog 3D-Printers, 2016) für das FDM-Verfahren als Sammlungsobjekt, schwerpunktmäßig gesammelt werden Objekte zu digitalen Aufzeichnungs-, Speicher- und Wiedergabetechniken | / | Sammlungsobjekt |
| Leipzig | Grassi Museum für Völkerkunde | TinkerToys | Workshop für Kinder und Familien mit Ausstellungsbesuch und anschließendem Designen und Drucken von eigenem Spielzeug mit TinkerToys (3stündig) | 2019 | Workshop „3D-Druck – Spielzeug selbst gemacht“ zur Sonderausstellung „Megapolis – Stimmen aus Kinshasa“ (01.12.2018 bis 14.04.2019) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|-----------|------------------------------------|--|---|------|--|
| Leipzig | Grassi Museum für Völkerkunde | Gellert-Museum, Hainichen | Kunststoffrekonstruktion eines erhaltenen Gipsabdrucks des verschwundenen Medaillons der Grabplatte von Christian Fürchtegott Gellert im Gellert-Museum in Hainichen als Grundlage für den Nachguss in Bronze | 2015 | Ausgestellt im Ehrenhof |
| Leipzig | Grassi Museum für angewandte Kunst | TinkerToys | Ganztägiger Stand von TinkerToys zum Thema 3D-Druck für Kinder (ab Grundschulalter) | 2019 | GRASSI-Fest (08.09.2019) |
| Magdeburg | Dommuseum Ottonianum | | Kopien der Sargdeckel von Erzbischof Wichmann, Königin Editha, und Erzbischof Ernst von Sachsen aus dem Magdeburger Dom, die dort für Besucher*innen unzugänglich sind | 2018 | Dauerausstellung (seit November 2018) |
| Magdeburg | Dommuseum Ottonianum | | Farbige Rekonstruktion einer Statue des heiligen Mauritius aus dem Magdeburger Dom (13. Jh. n. Chr.) | 2019 | Dauerausstellung (seit Dezember 2019) |
| Magdeburg | Technikmuseum | | Verschiedene Drucktechniken und Mitmach-Angebote, z. B. Kartoffel-, Stempel-, Buch-, und Siebdruck, 3D-Druck (4 Std., nur Eintritt) | 2015 | Familientag zum Thema „Drucken leicht gemacht“ (14.06.2015) |
| Magdeburg | Technikmuseum | | Fachvortrag zum Thema 3D-Druck | 2015 | Thementag „Vom Buddha zum 3D-Druck“ (08.11.2015) |
| Mainz | Naturhistorisches Museum Mainz | | Vergrößerter 3D-Druck eines Chotecops ferdinandi (Trilobit) auf Basis computertomografischer Daten (ca. 20 × 20 cm) direkt neben dem Original-Fossil, außerdem Bildschirm mit virtuellem 3D-Modell | 2019 | Dauerausstellung (seit 27.09.2019) |
| Mainz | 's kleine Museum Laubenheim | Architekturinstitut der Hochschule Mainz, Heimat- und Verkehrsverein Mainz-Laubenheim, Arbeitsgemeinschaft „Historisches Laubenheim“ | Ortsmodell des Jahres 1810 (60 × 36 cm), daneben ein Bildschirm mit einem virtuellen Rundflug über das Laubenheim des Jahres 1810 und einem Film zur Entstehung des 3D-Modells | 2019 | Dauerausstellung im Flur vor dem Museumseingang in der Ortsverwaltung Laubenheim |
| Mainz | Gutenberg-Museum | | Modell von Mini-Gutenbergfiguren sowie verschiedener menschlicher Körperteile, z. B. einer Aorta; ausgestellt war auch ein 3D-Drucker | 2016 | Kabinettausstellung zum Thema „Von Gutenberg zum 3D-Druck“ im Rahmen der Konferenz „1st International Conference on 3D Printing in Medicine“ (15. bis 16.04.2016) in Mainz |
| Mainz | Landesmuseum Mainz | Reiss-Engelhorn-Museen, Mannheim und Universität Freiburg | Ergänzter Unterkiefer für eine Schädelknochen eines römischen Legionärs aus einer keltisch-germanischen Siedlung in Andernach sowie farbiger 3D-Druck einer Gesichtsrekonstruktion (um 10 v. Chr.) | 2013 | Sonderausstellung „Im Dienst des Kaisers. Mainz – Stadt der römischen Legionen“ (25.05.2013 bis 05.01.2014) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|----------|--|--|--|----------|--|
| Mainz | Museum für Antike Schifffahrt (Römisch-Germanisches Zentralmuseum) | | Zwei Tastmodelle von römischen Schiffen, die nach Wrackfunden rekonstruiert wurden | 2016 | Inklusive Station in der Dauerausstellung |
| Mainz | Museum für Antike Schifffahrt (Römisch-Germanisches Zentralmuseum) | Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik Hochschule Mainz | Verkleinertes Tastmodell eines römischen Grabsteinfragments mit Abbildung eines Schiffs. Im Vergleich zum Original wurde das Relief verstärkt, um besser tastbar zu sein, der 3D-Druck wurde von Hand koloriert | 2018 | Bereich „Das Wrack von La Madrague – Archäologie virtuell und für alle Sinne“, aktuell in der Dauerausstellung (seit 2018) |
| Mainz | Römisch-Germanisches Zentralmuseum | | Kopien im Zusammenhang mit Restaurierungswerkstatt und Forschung, z. B. eines altsteinzeitlichen Elfenbeinobjekts, eines byzantinischen Lamellenhelms und eines Skulpturenkopfes der Tang-Dynastie aus China | Vor 2010 | Kompetenzzentrum für Prospektion und Dokumentation in der Archäologie |
| Mannheim | Technoseum | | Fortlaufender Druck von Teilen eines Spielzeug-Autos durch einen 3D-Drucker in der Ausstellung, die Besucher dann in Zusammenarbeit mit dem Roboter Yu Mi von ABB zu dem Modellauto zusammenbauen können | 2017 | Dauerausstellung „AutomobilBAU“ (eröffnet am 17.03.2017) |
| Mannheim | Technoseum | | Schulprogramm zu CAD-Design und 3D-Druck für Klassen 9–10 bzw. 10–13 (2 oder 4 Std., max. 30 Personen) | / | Workshop „Spacige Formen aus dem 3D-Drucker“ |
| Mannheim | Reiss-Engelhorn-Museen | | Zwei menschliche Milchzähne aus den geschlossenen Händen einer peruanischen Frauenmumie, gedruckt nach CT-Scandaten | 2009 | German Mummy Project |
| Mannheim | Reiss-Engelhorn-Museen | | Kopien von Schädel und Krone (Kurahut) von Anna Luisa Maria de' Medici | 2013 | Sonderausstellung „Die Medici – Menschen, Macht und Leidenschaft“ (17.02. bis 28.07.2013) |
| Mannheim | Reiss-Engelhorn-Museen | | 1:1-Rekonstruktion des Marmor-Grabmals von Papst Clemens II. aus dem Bamberger Dom, um 1230 (Druckmaterial: Styrodor) | 2017 | Sonderausstellung „Die Päpste – und die Einheit der lateinischen Welt“ (21.05. bis 26.11.2017) |
| Meißen | Albrechtsburg | | Sechs dreidimensionale Tastmodelle von historischen Wandgemälden für blinde und sehbeeinträchtigte Besucher | 2015 | Rundgang in der Dauerausstellung (ab Januar 2016) |
| Mettmann | Neanderthal Museum | Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH und Universität zu Köln | Kopien von zwei steinzeitlichen Schädeln (gedruckt mit Gipspulver), elf Steinartefakten verschiedener Typen (Gipspulver) und drei steinernen Pfeilspitzen (gedruckt mit Feindetailharz, Polygrafie/PolyJet Inkjet-Verfahren) | 2017 | Sonderausstellung „2 Millionen Jahre Migration“ (13.05. bis 05.11.2017) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|---------|--|--|---|------|---|
| Moers | Grafschafter Museum im Moerser Schloss | FabLab von Hochschule Rhein-Waal und zdi-Zentrum Kamp-Lintford | Mehrtägiger, kostenloser Workshop zu 3D-Bilderfassung und 3D-Druck im Rahmen des Kulturrucksackprojektes NRW 2018 (max. 10 Kinder und Jugendliche, 10-15 J.) | 2018 | Einsteigerworkshop „Das Museum aus dem 3D-Drucker“ (16. bis 18.10.2018, jeweils 12-17:00 Uhr) |
| München | Deutsches Museum | | Herstellung maßgefertigter Bauteile für Demonstrationen in den Dauerausstellungen, vor allem Halterungen, Führungen, Abdeckungen etc. auf drei Druckern (angeschafft 2010, 2017, 2017) | 2010 | Museumseigene Werkstatt (Elektroniklabor) |
| München | Deutsches Museum | | Zwei Drucker als Anschauungsobjekte in der Experimentierwerkstatt (Anschaffung zweier professioneller 3D-Drucker für Mitmachprogramme in Planung) | 2016 | Museumspädagogische Programme und Aktionen |
| München | Deutsches Museum | | Herstellung von Halterungen, Mustern, Modellteilen oder technische Aufbauten für Dioramen und Demonstrationen in Ausstellungen | 2017 | Museumseigene Werkstatt (Modellbauwerkstatt) |
| München | Deutsches Museum | Technische Universität München und 3F Studio GbR | Pilotstudie mit Prototypentest (seit April 2018 für 1 Jahr) zu einer 3D-gedruckten Fassadenfläche von 750 qm aus recyclingfähigem PETG -Kunststoff für einen Interimseingang während der Sanierung des Gebäudes. Jedes Element ist ca. 1x1 m groß und soll auf Dämmwirkung, Lichteinfall und Akustik optimiert sein. | 2018 | Fassade eines Eingangs (vorr. 2020-2025) |
| München | Deutsches Museum | TU München | TUmlab Forum/Abteilung Bildung: Drei Drucker zur Unterstützung der Projekte von Lehramtsstudenten und von Vermittlungsformaten, z. B. Linsenhalterungen für den Kurs „Teleskope bauen“ oder Herstellung kleiner Lego-Ampeln für den Girls Day, die mit LEDs verbunden und über den Mikrocontroller Arduino gesteuert werden konnten | 2018 | Lehrveranstaltung |
| München | Städtische Galerie im Lenbachhaus und Kunstbau | Technische Hochschule Deggendorf | Zwei verkleinerte 3D-Drucke eines spätgotischen Kreuzifixes aus Lenbachs Schatzkammer, auf denen zwei von drei Farbfassungen des Originals rekonstruiert wurden | 2015 | Dauerausstellung in den historischen Räumen der Lenbach-Villa |
| München | Die Neue Sammlung – The Design Museum | | Während der Ausstellung entwickelte der Münchner Designer Steffen Kehle den Stuhl „DNS“ sowie einen schmalen Hocker, beim Entwicklungsprozess kam ein 3D-Drucker zum Einsatz, die gedruckten Prototypen wurden in der Ausstellung gezeigt | 2017 | Sonderausstellung „Thonet und Design“ (17.05.2019 bis 02.02.2020) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|----------|--|---|---|------------|--|
| München | Die Neue Sammlung – The Design Museum | | Verkleinerte, maßstabsgetreue Modelle (L. 14 cm) des FUTURO-Hauses der 1960er-Jahre, das im Original eine Länge von 6m hat. Eines der Modelle wurde per Wetterballon, zwei Kameras und GPS-Tracker in die Stratosphäre geschickt. Ein möblierter, gedruckter Querschnitt eines FUTURO-Hauses ist in Planung | 2017 | Sonderausstellung „FUTURO. A FLYING SAUCER IN TOWN“ (02.06.2017 bis 22.02.2022) |
| München | Die Neue Sammlung – The Design Museum | Konstantin Grcic Industrial Design | „Chair One“ von Konstantin Grcic mit verschiedenen Entwurfsstadien von Modellen aus Draht, Pappe, Stahlblech oder 3D-Druck bis zum Endprodukt des italienischen Herstellers Magis, im Rahmen einer Ausstellungsreihe zu Persönlichkeiten des Designs | 2015 | Sonderausstellung „Konstantin Grcic: The Good, The Bad, The Ugly“ (12.11.2015 bis 18.09.2016, Pater-noster-Raum) |
| Münster | LWL-Museum für Naturkunde | | Lebengroßes farbiges Modell des „Monsters von Minden“ (Wiehenvinator albat), eines 165 Millionen Jahre alten Raub-sauriers (L. 8 m, H. 2 m). Gedruckt wurde das Grundgerüst, die realistische Optik entstand durch Modellbauer | 2019 | Dauerausstellung „Dinosaurier – Die Urzeit lebt!“ (seit 05.02.2020) |
| Münster | LWL-Museum für Naturkunde | | 3D-Druck eines Isopoden (Atlantoserolis vimae) als Tastobjekt für blinde und sehbehinderte Personen | 2019 | Sonderausstellung „Leben in der Dunkelheit“ (22.05.2015 bis 29.05.2016) |
| Münster | LWL-Museum für Naturkunde | | Zwei 3D-Drucker für Handstücke und Tastobjekte | / | Museumspädagogik |
| Münster | Archäologisches Museum der Universität Münster | Fachbereich Archäologie der Universität Münster | Modell der rekonstruierten „Grotta di Tiberio“ (M. 1:33), eine Höhle mit monumentalen Skulpturen und Wasserspielen, die im 1. Jh. n. Chr. Teil der Villa des römischen Kaisers Tiberius war. Teil der Ausstellung waren auch zwei Medienstationen und eine Video-simulation | 2015 | Sonderausstellung „Plastik ³ – Skulpturen aus der Maschine – 3D-Druck in der Archäologie. Die Rekonstruktion der Skulpturen der Grotte von Sperlunga“ (04.12.2015 bis 13.02.2016) |
| Nürnberg | Bionicum | | Bionische Ameise der Fa. Festo. Dabei handelt es sich um teamfähige Roboter, die sich miteinander verständigen und gemeinsam Aufgaben lösen können. Der Körper wird 3D-gedruckt (Verfahren: SLS) | / | Dauerausstellung |
| Nürnberg | Germanisches Nationalmuseum | | Modelle der Burgen Karlstein, Marburg, Heldburg, Rheda, Varenholz, Ziesar im Maßstab 1:150 (gipspulverbasierter 3D-Druck, z. T. mit anschließender Handbemalung) | 2010 | Sonderausstellung „Mythos Burg“ (08.07. bis 07.11.2010) |
| Nürnberg | Deutsches Museum | | Verschiedene Bereiche geplant: Versuchsaufbau zum experimentellen 3D-Druck eines menschlichen Herzens mit Bioprinter Inkredibile+ (Fa. Cellink); 3D-gedruckte bionische Ameise der Fa. Festo (Thema: Piezo-Technik) | In Planung | Dauerausstellung (vorr. ab 2021) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|--------------------------|--|----------------------|---|------|---|
| Nürnberg | Kaiserburg | | Kopie der Reichskrone des Heiligen Römischen Reichs (10.–12. Jh.) aus Kunststoff ohne Edel- und Halbedelsteine (ca. 650 g). Die Kopie entstand nach 3D-Daten des Künstlers Henning Kleist, die Herstellung kostete rund 20.000 € | 2016 | Dauerausstellung |
| Offenbach am Main | Deutsches Leder-museum | | Die Ausstellung thematisiert u. a. die Schuhherstellung mit 3D-Druck | 2019 | Sonderausstellung „Step By Step – Schuh.Design im Wandel“ (26.10.2019 bis 31.05.2020) |
| Oranienburg | Gedenkstätte und Mu-seum Sachsenhausen | | Mehrtägiger Workshop mit dem Künstler Hans Molzberger (Texas, USA) für Jugendliche und Er-wachsene. Fundstücke, Exponate und Geländetopografie werden digitalisiert und am PC ver-fremdet. Die Objekte wurden 3D-gedruckt und nachbearbeitet (nur Materialkosten) | 2019 | Workshop „lost/ found/ art. Von der historischen Spur zum Erinnerungskunst-werk“ (12. bis 14.07.2019) |
| Oranienburg | Gedenkstätte und Mu-seum Sachsenhausen | | Sonderausstellung zum gleich-namigen Workshop, in der die hergestellten Objekte sowie auch Werke von Hans Molzberger ge-zeigt wurden | 2019 | Sonderausstellung „lost/ found/ art. Von der historischen Spur zum Erinnerungs-kunstwerk“ (11.08. bis 31.10.2019) |
| Paderborn | Erzbischöfliches Diözesanmuseum | | Kopien von über 800 Jahre alten Holzfiguren vom Paradiesportal des Paderborner Doms: Heiliger Liborius, heiliger Kilian und das Kruzifix als Ersatz der Originale während einer Sonderausstellung | / | Sonderausstellung |
| Passau | RömerMuseum Kastell Boiotro | | Modelle des spätrömischen Kas-tells Boiotro und seiner Nach-nutzung in der Zeit von Severin von Noricum (5. Jh. n. Ch.), als das Kastell bereits keine militärische Funktion mehr hatte | 2013 | Dauerausstellung (seit 08.11.2013) |
| Regensburg | Haus der Bayerischen Geschichte | Nationalgalerie Prag | Modelle verschiedener Burgen im Maßstab 1:200: Kaiserburg (Nürnberg), Kaiserburg (Prag), Burg Karlstein (bei Prag), Resi-denz Karls IV., sog. Wenzelschloss (Lauf an der Pegnitz) | 2016 | Bayerisch-Tschechi-sche Landesaus-stellung „Karl IV. (1316–1378)“ (14.05. bis 25.09.2016 in Prag, 20.10. bis 05.03.2017 im Ger-manischen National-museum in Nürnberg) |
| Regensburg | Haus der Bayerischen Geschichte | | Zehn Modelle bayerischer Bau-werke, zum Beispiel das Ein-gangstor zum KZ Dachau oder das Schloss Neuschwanstein | 2019 | Dauerausstellung „Kulturkabinett 3: Mehr als Zwiebel-türme“ (seit 04.06.2019) |
| Salem | Kloster Salem (Zweig-stelle Badisches Landes-museum Karlsruhe) | | Reproduktionen von vier Holz-skulpturen des Künstlers Joseph Anton Feuchtmayer (in Einzel-teilen gedruckt, zusammen-gefügt, von Hand nachbearbeitet und bemalt) | 2016 | Rekonstruierter Mar-stall des Klosters Salem |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|-----------|--|-----------------------|--|------|--|
| Schwerin | Staatliches Museum Schwerin | Designschule Schwerin | Abschlusstermin eines Projekts mit Auszubildenden des Fachbereichs Gamedesign: Es entstanden digitale 3D-Modelle von Tierdarstellungen aus Gemälden und Grafiken der Sammlung, ein Rhinoceros wurde in zwei Varianten auch 3D-gedruckt | 2018 | Veranstaltung zum Thema „Inspiration Game – Designschule trifft Museum“ (08.11.2018) |
| Selb | Porzellanikon – Staatliches Museum für Porzellan | | Die Ausstellung zeigt mit verschiedenen Objekten die Möglichkeiten digitaler Technologien für die Keramikgestaltung, wie etwa das 3D-Drucken mit Ton | 2017 | Wanderausstellung „Shaping the Future – Neue Technologien für neue Gestaltung“ (21.01.2017 bis 01.05.2017), außerdem auch im Bröhan-Museum in Berlin unter dem Titel „Ceramics and its Dimensions. Shaping the Future“ (30.01. bis 22.04.2018) |
| Selb | Porzellanikon – Staatliches Museum für Porzellan | | Experimentier- bzw. Entdeckungstation zum Thema „Wie funktioniert 3D-Druck?“ | 2018 | Dauerausstellung (ab 18.03.2018) |
| Selb | Porzellanikon – Staatliches Museum für Porzellan | | Ausstellungsbereich „DesignLab“ mit Porzellannetzbechern von Max Kimpel, die unter Verwendung von 3D-gedruckten Kunststoffmodellen entstanden | 2019 | Sonderausstellung „REINE FORMSACHE – Vom Bauhaus-Impuls zum Designlabor an der Burg Giebi-chenstein“ (09.03. bis 06.10.2019) |
| Selb | Porzellanikon – Staatliches Museum für Porzellan | | Museumsfest mit 18 Food-Trucks und 21 Künstlern und Kunsthandwerkern, als Teil des museumspädagogischen Begleitprogramms konnte auch der 3D-Druck ausprobiert werden | 2019 | Food-Truck-Festival „Handgemacht“ (09. bis 10.06.2019) |
| Selb | Porzellanikon – Staatliches Museum für Porzellan | | Museumseigener 3D-Drucker als Exponat, außerdem eingesetzt für Schüler- und Erwachsenenworkshops | 2020 | Sonderausstellung „Kunst trifft Technik – Keramik aus dem 3D-Drucker“ (11.07.2020 bis 24.01.2021) |
| Siegen | Siegerlandmuseum | | Maßstabsgetreues 3D-Stadtmodell von Siegen (M. 1:850), eingebettet in eine interaktive Medienstation | 2017 | Dauerausstellung (ab dem 23.04.2017) |
| Singen | Archäologisches Hegau-Museum | | Modell des Geländes rund um die Festungsanlage auf dem Hohentwiel nach Laser-Messdaten | 2015 | Dauerausstellung |
| Solnhofen | Museum Solnhofen | | Vergrößertes, schwebendes Skelettmodell des Urvogels Archaeopteryx mit darum angeordneten Augmented Reality-Touch-Bildschirmen zu paläontologischen Detailthemen | 2014 | Dauerausstellung „PaläoZoo“ (seit 2014) |
| Speyer | Historisches Museum der Pfalz | | Schnittmodelle (M. 1:250) der Dome von Mainz (ca. 68 × 12,5 × 17 cm), Worms (ca. 41 × 8 × 20,5 cm) und Speyer (ca. 53 × 10 × 23 cm) | 2011 | Sonderausstellung „Die Salier – Macht im Wandel“ (10.04. bis 30.10.2011) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|-----------|-------------------------------------|--------------------|--|------|--|
| Stralsund | Ozeanum (Deutsches Meeresmuseum) | | Vormodell für einen verkleinerten und individualisierten Nachbau (L. 11 m) aus glasfaserverstärktem Kunststoff eines 1909 gesunkenen Frachtschiffs für ein Aquarium | 2018 | Dauerausstellung, Aquarium „Offener Atlantik“ (seit Mitte 2018) |
| Straubing | Gäubodenmuseum | | 3D-Drucke archäologischer Kleinfunde in vergrößertem Maßstab als Tastmodelle in der Dauerausstellung | 2018 | Dauerausstellung „Baiern gefunden! Die Entstehung Straubings (seit 14.09.2018) |
| Stuttgart | Museum für Stuttgart im Stadtpalais | | Objektregal mit Gebäudemodellen, die vom Besucher entnommen und an einem Auslesetisch „entschlüsselt“ werden, an dem das Gebäude erläutert wird (z. B. Altes Schloss, aber auch moderne Bauwerke) | 2018 | Dauerausstellung „Gestalt der Stadt“ (ab April 2018) |
| Stuttgart | Museum für Stuttgart im Stadtpalais | | 6 fest montierte Tastmodelle für Blinde, aber auch alle anderen Besucher: Berühmte Gebäude der Stadt (z. B. Schloss, Fernsehturm) | 2018 | Dauerausstellung „Jahrhundert-Räume“ (ab April 2018) |
| Stuttgart | Museum für Stuttgart im Stadtpalais | | Großes Stadtmodell (Durchmesser ca. 5-7 m), Maßstab 1:3350, integriert in Medienstation mit 6 Beamern mit einer Länge von 16 Minuten zu Themen der Stadt, z. B. Römerfunden, Verkehrsaufkommen, Feinstaub, Grundstückpreise, Brunnen und Gewässer) und weiteren 4 inhaltsgleichen Medienstationen zur Vertiefung, darunter auch eine für Rollstuhlfahrer | 2018 | Dauerausstellung „Stuttgarter Stadtgeschichte(n)“ (ab April 2018) |
| Stuttgart | Museum für Stuttgart im Stadtpalais | | Objektregal mit 3D-gedruckten Modellen, die vom Besucher entnommen und an einem Auslesetisch „entschlüsselt“ werden, an dem das Thema erläutert wird (z. B. Erfindung des Tierschutzes, Konstruktion des Fernsehturms, Hegel und seine geistigen Werke, Erfindung des Fabriksauerkrauts) | 2018 | Dauerausstellung Ausstellungsbereich „Geisterstadt“ (ab April 2018) |
| Stuttgart | Landesmuseum Württemberg | | 1:1-Kopie einer keltischen Hirschfigur aus Holz der Latènezeit aus Fellbach-Schmiden | 2005 | Sonderausstellung „Kelten digital – Archäologie und Hochtechnologie“ (22.03. bis 26.06.2005) |
| Stuttgart | Landesmuseum Württemberg | | Taststation mit verkleinerten Tastmodellen einer keltischen Hirschfigur aus Holz aus der Latènezeit aus Fellbach-Schmiden | 2005 | Sonderausstellung „Kelten digital – Archäologie und Hochtechnologie“ (22.03. bis 26.06.2005) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|-------------|--|---|---|------|---|
| Stuttgart | Lindencmuseum | | 1:1-Kopie des Sonnensteins (ca. 4 m Dm.), einer großen Skulptur aus dem Bereich des Templo Mayor von Tenochtitlán (Mexiko-Stadt) als Teil einer Medienstation mit Animation zu den Darstellungen darauf sowie rund 25 Gebäude des Templo Mayor als Teile eines Modells | 2019 | Große Landesausstellung „Azteken“ (12.10.2019 bis 03.05.2020) |
| Stuttgart | Staatsgalerie Stuttgart | | „Produktionshalle“ mit Scankabine, 3D-Druckern, Rechnern etc., in der sich Besucher*innen für 80 € scannen lassen konnten. Es wurden weiße Figuren der Besucher (M. 1:7) im laufenden Ausstellungsbetrieb produziert und ausgestellt und gingen im Anschluss in den Sammlungsbestand des Museums über | 2002 | Sonderausstellung „Karin Sander“ (27.04. bis 28.07.2002) |
| Thalmässing | Fundreich Thalmässing – Archäologisches Museum | | Geländerelief der Landschaft als Teil einer Medienstation mit Projektion von Verteilung und Anzahl der Fundstellen der Epochen (Alt- und Mittelsteinzeit, Jungsteinzeit, Bronzezeit, Eisenzeit, Römerzeit und Frühmittelalter) | 2013 | Dauerausstellung, Einführungsraum |
| Trier | Rheinisches Landesmuseum Trier | Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz | Büste von Karl Marx, die aufgrund von Magneten in der Luft schwebt | 2018 | Große Landesausstellung „KARL MARX 1818 – 1883. LEBEN. WERK. ZEIT“ (05.05. bis 21.10.2018) |
| Trier | Stadtmuseum Simeonstift Trier | | Zusammensetzbares Modell der Porta Nigra mit verschiedenen Bauphasen als Tastmodell | 2016 | Sonderausstellung „Lust und Verbrechen. Der Mythos Nero in der Kunst“ (14.05. bis 16.10.2016), Teil der Landesausstellung „Nero – Künstler, Kaiser und Tyrann“ und danach inklusive Station in der Dauerausstellung |
| Trier | Stadtmuseum Simeonstift Trier | | Tastmodell der Skulptur „Nero als Frau gekleidet“ des Künstlers Emilio Gallori (1873) | 2016 | Sonderausstellung „Lust und Verbrechen. Der Mythos Nero in der Kunst“ (14.05. bis 16.10.2016), Teil der Landesausstellung „Nero – Künstler, Kaiser und Tyrann“ |
| Trier | Museum am Dom | Campus Gestaltung der Hochschule Trier | Besucherlabor zu Produktionsmitteln und Arbeitsprozessen mit offenem 3D-Drucklabor, bei dem Bürger zusammen mit Künstlern und Experten in Micro-Workshops eigene Projekte entwickelten (Leitung: Anne Wiedau) | 2018 | Begleitprogramm vom 02. bis 29.07.2018 zur Sonderausstellung „LebensWert Arbeit“ (05.05. bis 21.10.2018) |
| Ulm | Museum Ulm – HfG Archiv | Hochschule Neu-Ulm, Hochschulverbund InnoSÜD | Kooperationsprojekt mit Studenten zu geeigneten Materialien für den 3D-Druck von Designobjekten als Tastobjekte | 2019 | Lehrveranstaltung im Wintersemester 2019/2020 |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|---------------|---------------------------------|--|--|------|---|
| Völklingen | Weltkulturerbe Völklinger Hütte | | 3D-Scan und im SLS -Verfahren aus Metall hergestellte Replik (M. 1:1) der Schale aus dem keltischen Fürstengrab von Schwarzenbach, der Rohling anschließend koloriert und vergoldet | 2010 | Sonderausstellung „Die Kelten – Druiden. Fürsten. Krieger.“ (20.11.2010 bis 22.05.2011) |
| Wallerfangen | Historisches Museum | | Reproduktionen des goldenen Ringschmucks aus dem Grab einer Wallerfanger Keltenfürstin der Zeit um 500 v. Chr. Die Originale befinden sich im LVR-Landesmuseum Bonn. Die Kunststoff-Rohlinge wurden in weiteren Arbeitsschritten vergoldet und patiniert | 2017 | Dauerausstellung „Hallstattzeit“ (ab 09.11.2017) |
| Weil am Rhein | Vitra Design Museum | | Verschiedene 3D-gedruckte Sammlungsobjekte zeitgenössischer Designer, z. B. Lampen, Plateauschuhe von Francis Bitonti, Stühle aus Aluminium, Polyamid , Epoxidharz oder recyceltem Kunststoff, ein Tisch aus Holz unter Verwendung 3D-gedruckter Verbindungsteile | / | Sammlungsobjekt |
| Weil am Rhein | Vitra Design Museum | | Materialschublade zum Thema 3D-Druck im Schaudepot Lab (Untergeschoß) mit Anschauungsbeispielen und Informationen zu unterschiedlichen 3D-Druckverfahren | 2016 | Schaudepot (Eröffnung im Juni 2016) |
| Weil am Rhein | Vitra Design Museum | | Verschiedene 3D-gedruckte Objekte, thematisiert auch das Konzept einer 3D-gedruckten Brücke der Firma MX3D. Im Außenbereich befand sich der mit einem Roboterarm 3D-gedruckte Elytra Filament Pavilion (200 qm, Institute for Computational Design der Universität Stuttgart) | 2017 | Wanderausstellung „Hello, Robot – Design between Human and Machine“ (10.02.2017 bis 14.05.2017, auf Tour bis ca. Herbst 2021) |
| Weil am Rhein | Vitra Design Museum | ECAL / Universität für Kunst und Design Lausanne | Produktionsstätte zur digitalen Fertigung, in der mehrere 3D-Drucker von Studierenden und Designer*innen entworfene Objekte druckten | 2018 | Projekt „ECAL Digital Market“ im Schaudepot (09. bis 17.06.2018) |
| Weil am Rhein | Vitra Design Museum | ECAL / Universität für Kunst und Design Lausanne | Eine Auswahl der im Projekt entstandenen, 3D-gedruckten Objekte wurde im Shop verkauft | 2018 | Projekt „ECAL Digital Market“ im Schaudepot (09. bis 17.06.2018) |
| Weimar | Bauhaus-Museum | | Werkstatträume, in denen der Besucher sich mit 3D-Druck und weiteren Techniken beschäftigen kann (regelmäßige Termine) | 2019 | Dauerausstellung „Das Bauhaus kommt aus Weimar“ (06.04.2019 bis 01.04.2024) |
| Weimar | Neues Museum | | Blogbeitrag mit Fotografien der Künstlerin Gökçen Dilek Acay unter Verwendung von 3D-gedruckten Open-Source-Modellen antiker Figuren im Rahmen eines ausstellungsbegleitenden Künstlerrufes zum Motto „Von Winckelmann inspiriert – Bauhaus-Künstler zwischen moderner Antike und antiker Moderne“ | 2017 | Sonderausstellung „Winckelmann. Moderne Antike“ (07.04. bis 02.07.2017) |

| Ort | Museum | Weitere Beteiligte | Was | Jahr | Anlass |
|-------------|---|---|--|------|---|
| Weimar | Neues Museum und Bauhaus-Museum (Klassik Stiftung Weimar) | | Workshop-Reihe für Erwachsene: Kreative Modellierung eigener Figuren, inspiriert durch Bauhaus-Bühnenfiguren. Die eigene Figur wird 3D-gedruckt. Teil von „Bauhaus Agenten“: Vier Jahre lang konzipieren und testen neun Bauhaus Agenten gemeinsam mit Partnerschulen und den drei Bauhaus-Institutionen in Berlin, Dessau und Weimar neue kollaborative Formate | 2019 | Projekt „Weimar: Design & Do!“ zum Thema „3D-Figuren“ im Werklabor des Bauhaus-Museums (03.10.2019) |
| Weimar | Neues Museum und Bauhaus-Museum (Klassik Stiftung Weimar) | | Pilotprojekt mit Partnerschule zur Entwicklung eines ein- oder zweitägigen Workshopformats zu den Themen 3D-Druck und VR mit einer App von TinkerToys und Bauhaus-Themen | 2019 | Pilotprojekt (Juli 2019) |
| Weimar | Museum für Ur- und Frühgeschichte | | Kopie des Schädels eines frühmittelalterlichen Kriegers von einem Fundort nahe Gotha-Sundhausen. Diese Kopie diente als Basis für eine Gesichtsrekonstruktion und dieser wiederum als Modell für einen Silikonkautschuk-Abguss | 2019 | Dauerausstellung (ab Frühjahr 2019) |
| Wolfsburg | phaeno | | Kooperationsprojekt mit örtlichen Schulen für Maker*innen. Ein Projekt mit dem Ratsgymnasium Wolfsburg beschäftigte sich mit dem 3D-Druck, zum Beispiel von Spielfiguren | 2019 | Mini Maker Faire (29. bis 30.03.2019) |
| Würzburg | Museum am Dom | | Verkleinertes Tastmodell (H. ca. 20 cm) aus Kunststoff der Skulptur „Heiliger Jakobus“ von Tilman Riemenschneider (um 1510), außerdem Detailmodelle des Kopfes und des Oberkörpers und Modelle weiterer Kunstwerke | 2015 | Führungen für Blinde und Sehbehinderte |
| Würzburg | Museum am Dom | | 3D-Drucker druckt Minikopien einer kopflosen Skulptur, die Besucher*innen auch kaufen können | 2018 | Installation „Printed Society“ von Max Gehlofen im Museumsfoyer, (? bis 18.12.2018) |
| Würzburg | Museum am Dom | | Minikopien der kopflosen Skulptur wurden vor Ort verkauft | 2018 | Installation „Printed Society“ von Max Gehlofen im Museumsfoyer, (? bis 18.12.2018) |
| Zweibrücken | Stadtmuseum | Hochschule Kaiserslautern (Studien-gang Information Management) | Ausgewählte Stücke Zweibrücker Porzellan wurden 3D-gescannt, außerdem entstanden Probe-drucke (M. 1:1) einer Figur einer Gärtnerin. Angedacht, aber nicht umgesetzt, war ein vergrößerter Druck für Werbezwecke | 2017 | Dauerausstellung „Zweibrücker Porzellan“ |
| Zwickau | August Horch Museum | | Vortrag zum Rennwagen Awto-welo 650, der zwischen 1950 bis 1952 entwickelt wurde. Ein Modell und fehlende Teile des Chassis wurden im 3D-Druck hergestellt und vor Ort im Museum ausgestellt | 2009 | Dauerausstellung (27.02.2009) |

Miriam Anders

Deutschsprachige Literatur ist **farbig** gekennzeichnet.

Allard u. a. 2005: T. Allard, T./M. Sitchon/R. Sawatzky/R. Hoppa, Use of Hand-held Laser Scanning and 3D Printing for Creation of a Museum Exhibit. In: M. Mudge/N. Ryan/R. Scopigno (Hrsg.) The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage = 3rd Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage (Tagung in Pisa, 2005). Online (10.01.2019): <http://public-repository.epoch-net.org/publications/VAST2005/shortpapers/short3006.pdf>

Nachdruck in Gips eines menschlichen Skeletts für die Dauerausstellung zum Thema „Funeral as a rite of passage“ im Mennonite Heritage Village (Manitoba, Kanada).

Antley u. a. 2011: K. Antley/M. Erič/M. Šavnik/B. Županek/J. Slabe/B. Battestin Combining 3D technologies in the field of cultural heritage: Three case studies. The 12th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (Tagung 2011) 1–4. Online (10.01.2019): <https://www.researchgate.net/publication/258343729>

Combining 3D technologies in the field of cultural heritage three case studies

Drei Fallstudien von 3D-Techniken im Kulturerbe, Schwerpunkt Slowenien, u. a. 3D-Druck einer steinzeitlichen Pfeilspitze, Rekonstruktion eine Porzellanschale mit 3D-Druck.

Antley u. a. 2017: K. Antley/R. Leen/A. Russo, 3D Food Printing in Museum Makerspaces: Creative Reinterpretation of Heritage. The International Conference on Design and Technology, KEG (2017) 1–7. Online (21.03.2019): <https://www.knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/588/1859>
Fallstudie aus Australien und weitere Literatur zum Bereich Lebensmitteldruck und dessen Potenzial für Museen.

Auenmüller u. a. 2015: J. Auenmüller/K. Ehrig/D. Meinel/G. Schneider/F. Willer, Werkstattfunde eines ägyptischen Bronze gießers der Spätzeit – Ein einzigartiges Konvolut im Kontext aktueller Forschung. In: Restaurierung und Archäologie 7, 2014, 1–25.
Nachguss von Figuren einer ägyptischen Gussform unter Verwendung des 3D-Drucks.

Ballarin u. a. 2018: M. Ballarin/C. Balletti/P. Vernier, Replicas in Cultural Heritage: 3D Printing and the Museum Experience. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII–2 (2018) 55–62. Online (30.04.2019): <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-55-2018>

Fallstudie zu 3D-Scan und -Druck eines altsteinzeitlichen Kalksteins mit Gravur eines bärtigen Mannes als Tastobjekt, Original im Museo Archeologico Giovannangelo Cam-poreale in Massa Marittima (Italien): Verfahren, Materialien, Genauigkeit des 3D-Drucks in Bezug auf die Größe des Objekts.

Balletti u. a. 2017: C. Balletti/M. Ballarin/F. Guerra, 3D printing: State of the art and future perspectives. In: Journal of cultural heritage – a multidisciplinary journal of science and technology for conservation and awareness 26 (2017) 172–182.

Überblick insbesondere über Projekte italienischer Museen, allgemeine Einführung zum 3D-Druck, Studie zur Druckgenauigkeit im Vergleich von 3D-Drucken und Originalen.

Balletti/Ballarin 2019: C. Balletti/M. Ballarin, An Application of Integrated 3D Technologies for Replicas in Cultural Heritage. In: ISPRS International Journal of Geo-Information 2019, 8, 285. Online (29.01.2021): <https://doi.org/10.3390/ijgi8060285>

Fallstudie zur Detailgetreue von 3D-Modellen und 3D-Drucken am Beispiel zweier Kulturobjekte aus italienischen Museen.

Bechtold/Fischer 2018: T. Bechtold/T. Fischer, 3D-Druck – Die Zukunft des Museums? In: Kulturbetrieb. Magazin für innovative und wirtschaftliche Lösungen in Museen, Bibliotheken und Archiven 1/2018, 10–11. Online (22.04.2020): http://www.kulturbetrieb-magazin.de/fileadmin/user_upload/kulturbetrieb-magazin/magazin/KulturBetrieb-2018-Ausgabe-1-April.pdf

Kurzer Beitrag zur Sonderausstellung „Futuro. A flying saucer in town“ der Pinakothek der Moderne in München.

Bräunig u. a. 2018: Th. Bräunig/J. Maxzin/I. Winkelmeier, Rekonstruktion der Gestaltung eines spätgotischen Kreuzifixes aus Lenbachs Schatzkammer mittels 3D-Technik. In: Verband der Restauratoren (Hrsg.) 3D – Durchblick oder Datenmüll? Dreidimensionale Scan-Verfahren in der Konservierung / Restaurierung (Bonn 2018) 27.

Kurzer Beitrag zu einem konkreten Anwendungsfall.

Coon u. a. 2016: C. Coon/B. Pretzel/T. Lomax/M. Strlič, Preserving rapid prototypes: a review. In: *Heritage Science* 4, 40 (2016). Online (21.04.2021): <https://doi.org/10.1186/s40494-016-0097-y>
Literaturüberblick zu Studien zur Konservierung und Erhaltung von Kunststoffen, die für den 3D-Druck eingesetzt werden, insbesondere mit Blick auf künstlerische Objekte.

Cooper 2019: C. Cooper, You Can Handle It: 3D Printing for Museums. In: *Advances in Archaeological Practice* 7/4, 2019, 443–447. Online (23.07.2020): <https://doi.org/10.1017/aap.2019.39>
Kritische Analyse zweier Projekte am Museum of Archaeology and Anthropology und dem Fitzwilliam Museum in Cambridge, vor allem im Hinblick auf Besucherorientierung.

D'Agnano u. a. 2015: D. D'Agnano/C. Balletti/F. Guerra/P. Vernier, Tooteko: A Case Study of Augmented Reality for an Accessible Cultural Heritage. Digitization, 3D Printing and Sensors for an Audio-Tactile Experience. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-5/W4*, 2015, 207–13. Online (25.06.2020): <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-207-2015>
Interaktive Medienstation für Blinde, die unter Beteiligung des 3D-Drucks entstand.

Der Manuelian 2017: P. Der Manuelian, The Lost Throne of Queen Hetepheres from Giza: An Archaeological Experiment in Visualization and Fabrication. In: *Journal of the American Research Center in Egypt* 53, 2017, 1–46. Online (10.01.2019): https://scholar.harvard.edu/files/petermanuelian/files/manuelian_jarce_53_2017.pdf
Ausführlicher Bericht über die Herstellung der Rekonstruktion eines ägyptischen Throns mit Verwendung zahlreicher digitaler wie auch analoger Techniken.

Di Giuseppantonio Di Franco 2015: P. Di Giuseppantonio Di Franco/C. Camporesi/F. Galeazzi/M. Kallmann, 3D Printing and Immersive Visualization for Improved Perception of Ancient Artifacts. In: *Presence* 24/3, 243–264. Online (20.04.2020): https://doi.org/10.1162/PRES_a_00229
*Studie zur Interaktion von Student*innen mit 3D-gedruckten Objekten, vor allem in Bezug auf die Präsentation archäologischer Objekte.*

Döppes u. a. 2014: D. Döppes/W. Rosendahl/A. Alterauge, Vom 3D-Scan bis zum 3D-Druck – Allgemeine Grundlagen und Praxisbeispiele aus dem Museumsbereich. *Der Präparator* 60 (2014), 36–41. *Werkstattbericht sowie drei Fallbeispiele mit Gipsdruck an den Reiss-Engelhorn-Museen in Mannheim.*

Döppes u. a. 2016: D. Döppes/A. Alterauge/S. Zesch/W. Rosendahl, Götter, Gräber und Pápste: Praxisbeispiele aus dem 3D-Labor an den Reiss-Engelhorn-Museen, Mannheim. In: *Museum Aktuell* 227, 2016, 24–27.
Bericht über verschiedene 3D-Druckprojekte an den Reiss-Engelhorn-Museen in Mannheim.

Ebinger-Rist u. a. 2016: N. Ebinger-Rist/H. Schlichtherle/M. Steffen, 5.000 Jahre alte Pfahlbaufunde: Dokumentation und Visualisierung von 3-D-Messdaten. *Denkmalpflege in Baden-Württemberg – Nachrichtenblatt der Landesdenkmalpflege* Bd. 45 Nr. 1 (2016), 33–36. Online (04.03.2019): <https://doi.org/10.11588/nbdpfbw.2016.1>
Herstellung von Kopien steinzeitlicher Funde unter Verwendung verschiedener digitaler und auch analoger Techniken.

Emden 2013: Zauberer, Feen und Ungetüme – 3D-Drucker-Projekt zu Emil Nolde. In: F. Schmidt/C. Ohmert, *Labor im Museum 2. Sechs museumspädagogische Projekte der Kunsthalle Emden* (Emden 2013) 54–61.
Der Beitrag stellt das Projekt mit zahlreichen Bildern vor.

Florez Jurado/Freyth-Weber 2016: A. Florez Jurado/K. Freyth-Weber, Inklusion in einer Sonderausstellung. Evaluation der Ausstellung „Leben in der Dunkelheit“ im LWL-Museum für Naturkunde (Münster 2016). Online (11.03.2020): http://www.lwl.org/wmfndownload/pdf/RZ_Evaluationsbericht_Dunkelheit_Blinde.pdf
Beschreibung der inklusiven Maßnahmen in einer Sonderausstellung, 3D-Druck nur am Rande erwähnt.

Fregonese u. a. 2019: L. Fregonese/N. Giordani/A. Adami/G. Bachinsky/L. Taffurelli/O. Rosignoli/J. Helder, Physical And Virtual Reconstruction For An Integrated Archaeological Model: 3d Print And Maquette. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W15*, 2019, 481–487. Online (23.07.2020): <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-481-2019>
Fallbeispiel für die Rekonstruktion eines römischen Grabmals für das Museo Archeologico Nazionale di Mantova, Mantua (Italien).

Friedel u. a. 2012: B. Friedel/W. Steeger/H. P. Volpert, Fünf Leichen und ein Museum. *Das ArchäologieMuseum Greding*. In: *museum heute* 42, 2012, 5–7. Online (29.01.2021): https://www.museen-in-bayern.de/fileadmin/news_import/Mh_42.pdf
Inszenierung eines frühmittelalterlichen Grabes im Museum, die Schädel für die Gesichtsrekonstruktion wurden 3D-gedruckt.

Gatzsche 2015: A. Gatzsche, Eine meroitische Doppelstatue des Götterpaares Amun und Mut – eine Restaurierung in 3D im Computer und am Objekt. In: Restaurierung und Archäologie 7, 2014, 93–112. Online (09.04.2020): <https://doi.org/10.11588/ra.2014.0.29551>

Stützstruktur für eine stark fragmentierte ägyptische Doppelstatue aus dem heutigen Sudan.

Gebhardt 2017: A. Gebhardt, AM-Based Evaluation, Reconstruction, and Improvement of Cultural Heritage Artifacts. In: Ioannides M., Magnenat-Thalmann N., Papagiannakis G. (Hrsg.) Mixed Reality and Gamification for Cultural Heritage (Cham, 2017). 527–548. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-319-49607-8_21 (21.04.2021)

Bes. 539–548: Verwendung des 3D-Drucks bei Rekonstruktionen altägyptischer Skulpturen der Königinnen Teje und Nofretete des Ägyptischen Museums, Berlin.

Gensyou 2018: T. Gensyou, Articulated Woolly Mammoth Manga. Beitrag vom 16.05.2018 im Blog des Smithsonian Digitization Program Office. Online (05.07.2021): <https://dpo.si.edu/blog/articulated-woolly-mammoth-manga>

Manga zur Nachnutzung von 3D-Kulturdaten eines Mammut aus der Sammlung des Smithsonian, USA, für ein 3D-Druckprojekt.

Hancock 2015: M. Hancock, Museums and 3D Printing: More Than a Workshop Novelty, Connecting to Collections and the Classroom. In: Bulletin of the Association for Information, Science and Technology 42/1 (2015), 32–35. Online (06.06.2019): <https://asistdl.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/bul2.2015.1720420110>

Plädoyer für den Einsatz von 3D-Druck durch Museen, v. a. im Rahmen von Workshops mit Besuchern. Beispiele von US-Museen, die Druckdaten zur Verfügung stellen oder Workshops durchgeführt haben.

Hart 2005: G. Hart, Creating a Mathematical Museum on Your Desk. Mathematical Intelligencer 27/4 (2005) 14–17.

Kleine Fallstudie zum Ausdruck mathematischer Modelle.

Hauenfels 2020: T. Hauenfels, Are you speaking Object? Das etwas andere Interview mit Anwendungen der Digitalisierung sowie Objekten in den Landes-sammlungen Niederösterreich. In: neues museum. Die österreichische Museumszeitschrift 20–1/2, 2020, 94–99.

Zwei 3D-gedruckte Objekte (Stadtmodell Retz und Barocker Landhauskelch) im Interview.

Heinz 2010: G. Heinz, Kopien berührungslos erstellen – virtuell und zum Anfassen. In: Restaurierung und Archäologie 2, 2010, 137–150. Online (13.03.2020): <https://doi.org/10.11588/ra.2010.0.36915>

Beispiele aus der Arbeit des Römisch–Germanischen Zentralmuseums.

Hensen 2020: A. Hensen, Iuppiter aus dem Brunnen. Erforschung und Sichtbarmachung von römischem Kulturerbe in Lopodunum/Ladenburg. In: D. Kimmel/S. Brüggerhoff (Hrsg.) Museen – Orte des Authentischen? RGZM – Tagungen, Band 42 (Mainz 2020), 421–430, bes. 427 Abb. 11; 428. Online (14.01.2021): <https://doi.org/10.11588/propylaeum.745>

3D-Druck einer römischen Jupitergigantensäule, passim.

Hess/Robson 2013: M. Hess/S. Robson, Re-engineering Watt: a case study and best practice recommendations for 3D colour laser scans and 3D printing in museum artefact documentation (2013). Online (04.05.2020): <http://discovery.ucl.ac.uk/1411525/1/23-Lacona-IX-Hess.pdf>

Fallstudie zur Erstellung einer 3D-gedruckten Skulptur von James Watt aus originalen Gussformen.

Hirst 2017: C. Hirst, British Museum Exhibition Review: The Jericho Skull, Creating an Ancestor. In: Papers from the Institute of Archaeology, 27/1, 1–4. Online (22.07.2020): <https://doi.org/10.5334/pia-521>

3D-Druck eines steinzeitlichen Schädels nach CT-Daten für eine Sonderausstellung am British Museum im Jahr 2017.

Jacobsen 2016: L. S. Jacobsen, Flip-flopping museum objects from physical to digital – and back again. Engaging museum users through 3D scanning, 3D modelling, and 3D printing. In: Nordisk Museologi 1 (2016), 121–137. Online (06.06.2019): <http://dx.doi.org/10.5617/nm.3068>

Ausführliche Fallstudie zu einem 3D-Workshop am KUNSTEN Museum of Modern Art Aalborg (Dänemark) inkl. Besucherforschung.

Jagemann 2017: E. Jagemann, 3D Fotogrammetrie und 3D Druck des Spangenbarrenhortes von Oberding. In: Stadt Erding (Hrsg.) Spangenbarrenhort Oberding. Gebündelt und vergraben – ein rätselhaftes Kupferdepot der Frühbronzezeit (Erding 2017), 103–111, bes. 109 f.

Anwendungsbeispiel für eine archäologische Ausstellung, zwei verschiedene 3D-Druckverfahren beim fertigen Objekt.

Jansen u. a. 2017: C. Jansen/J. Gerlach/T. Gund, 3D-Druck – Entwicklung eines Workshops im Technoseum Mannheim. Online (12.03.2020): https://hector-seminar.de/fileadmin/user_upload/Aktuelles/Aktuelles_SJ_2017-18/Abschlusskolloquien_H11/HDMA/Berichte/Bericht_3DDruck.pdf

Abschlussbericht zur Erarbeitung eines Workshops für Schulklassen durch einen Hector-Kurs für hochbegabte Kinder.

Jung/Dieck 2017: T. Jung/M. Dieck, Augmented reality, virtual reality and 3D printing for the co-creation of value for the visitor experience at cultural heritage places. *Journal of Place Management and Development* 10/2 2 (2017) 140–151. Online (30.04.2019): <https://doi.org/10.1108/>

3D-Anwendungen und Wertschöpfung für Museen und Besucher für den Bereich des Kulturerbes: 3D-Druck, 3D-Modelle, VR-Anwendungen, 3D-gedruckte Souvenirs.

Kanowski 2016: C. Kanowski, Digi.anALOG. Der Dialog von digitalen und analogen Techniken in der aktuellen Porzellangestaltung. In: Haak, C./Helfrich, M. (Hrsg.) *Casting. Ein analoger Weg ins Zeitalter der Digitalisierung? Ein Symposium zur Gipsformerei der Staatlichen Museen zu Berlin (Heidelberg: arthistoricum.net, 2016), 291–299.* Online (22.07.2020): <https://doi.org/10.11588/arthistoricum.95.114>

Bedeutung des 3D-Drucks für zeitgenössische Keramik-kunst und Kunsthandwerk, zahlreiche Beispiele.

Kersten/Lindstaedt 2017: T. P. Kersten/M. Lindstaedt, Mit Kamera, Maßstab und Laptop – Best Practice zur Erstellung von 3D-Modellen für eine Museumsausstellung am Beispiel vietnamesischer Kulturobjekte. In: *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e. V. 26 = Tagungsband der 37. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF (Würzburg 2017), 35–44.* Online (20.03.2019): https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2017/proceedings/proceedings/band_26/dgpf_tagungsband_2017.pdf

Beschreibung der Erstellung von 3D-Datenmodellierung und Druckerstellung nach Fotografien als kostengünstiges Verfahren.

Kimmel/Orthwein 2019: D. Kimmel/M. Orthwein, Unsichtbares sichtbar machen. Das Mixed Reality Open Lab im Museum für Antike Schifffahrt des RGMZ. In: *Online-Erweiterung zur Museumskunde Band 84/2019.* Online (02.12.2020): <https://www.museumbund.de/wp-content/uploads/2020/04/final-kimmel-orthwein.pdf>

*Projekt zur Besucher*innen-Interaktion, das zahlreiche verschiedene digitale Verfahren einsetzt.*

Lölkes/Holzheid 2015: C. Lölkes/A. Holzheid, Die Konsequenzen des 3D-Drucks für die Kunst – Eine kleine Ästhetik der Schichtung und Störung. In: *Rotary Magazin (Onlinemagazin), 16.04.2015.* Online (06.06.2019): <https://rotary.de/gesellschaft/eine-kleine-aesthetik-der-schichtung-und-stoerung-a-7318.html>

Einsatz von 3D-Druck als künstlerisches Werkzeug.

Lölkes 2017: C. Lölkes, Farb-Materialität – 3D-Druck: Werkzeug und künstlerisches Medium. In: K. Scheurmann/A. Karliczek (Hrsg.), *Gesprächsstoff Farbe. Beiträge aus Wissenschaft, Kunst und Gesellschaft (Wien 2017), 558–261.*

Überblick zum Thema 3D-Druck und Farbigkeit: Technische Verfahren und Überlegungen zur künstlerischen Anwendung.

Mendez u. a. 2018: P. K. Mendez/S. Lee/C. E. Venter, Imaging natural history museum collections from the bottom up: 3D print technology facilitates imaging of fluid-stored arthropods with flatbed scanners. In: *ZooKeys* 795, 2018, 49–65. Online (23.07.2020): <https://doi.org/10.3897/zookeys.795.28416>

3D-gedruckte Scanvorrichtung für in Flüssigkeit gelagerte Insektensammlungen von naturkundlichen Museen.

Moritz 2017: M. Moritz, Wie 3D-Druck Geschichte schreibt und zur Wahrung des menschlichen Erbes beiträgt. In: *3Dnatives (Onlinemagazin), 26.11.2018.* Online (15.03.2019): <https://www.3dnatives.com/de/wie-3d-druck-geschichte-schreibt-191020171/>

Längerer, bebildeter Artikel mit zahlreichen internationalen (aber nicht deutschen) Anwendungsbeispielen.

Neely/Langer 2013: L. Neely/M. Langer, Please feel the Museum: The Emergence of 3D Printing and Scanning. The annual conference of Museums and the Web (Tagung in Portland, 2013). Online (10.01.2019): <https://mw2013.museumsandtheweb.com/paper/please-feel-the-museum-the-emergence-of-3d-printing-and-scanning/>

*Die Rolle von Museen als Makerspaces und das Potenzial der 3D-Technologie für die Interaktion von Besucher*innen oder Künstler*innen mit Originalen. Museumsbeispiele vor allem aus den USA.*

Neely/Rozner 2015: L. Neely/E. Rozner, Museum3D: Experiments in engaging audiences using 3D. Konferenz „Museums and the Web“, 2015. Online (22.07.2020): <https://mw2015.museumsandtheweb.com/paper/museum3d-experiments-in-engaging-audiences-using-3d/>

3D-Programme (darunter 3D-Druck) am Art Institute of Chicago mit verschiedenen Formaten für unterschiedliche Altersgruppen, Demenzpatienten sowie Lehrer, Evaluation der Programme, Umsetzungsempfehlungen.

Neumüller u. a. 2014: M. Neumüller/A. Reichinger/F. Rist/Ch. Kern, 3D Printing for Cultural Heritage: Preservation, Accessibility, Research and Education. In: M. Ioannides/E. Quak (Hrsg.) *3D Research Challenges in Cultural Heritage. A Roadmap in Digital Heritage Preservation (Berlin, Heidelberg 2014), 119–134.*

Potenzial des 3D-Drucks für den Kulturbereich mit besonderem Blick auf das Kulturerbe und Nennung zahlreicher Beispielprojekte, vor allem aus dem englischsprachigen Raum.

Pak/Vianden 2014: L. Pak/M. Vianden, Die 3-D-Rekonstruktion der Verzierungselemente einer römischen Kline aus Haltern. *Archäologie in Westfalen-Lippe* 2014 (2015) 283–286. Online (20.03.2019): <https://doi.org/10.11588/aiw.2015.0.33961>
Praxisbeispiel aus dem Bereich Archäologie.

Pamer 2015: I. Pamer, Anwendungsmöglichkeiten des Fused Deposition Modeling (FDM) 3D-Druckverfahrens in der Restaurierung. *Materialanalyse und Adaption* (Berlin 2015, Masterarbeit). Online (20.08.2020): https://www.academia.edu/download/59049968/MA_Pamer20190427-64682-1mkocl.pdf
Analyse von 3D-Druckmaterialien aus Kunststoff im Hinblick auf die Anwendung in der Restaurierung.

Pitukcharoen 2014: D. Pitukcharoen, 3D Printing Booklet for Beginners. The MediaLab at the Metropolitan Museum of Art's Spring 2014 Intern Expo (2014). Online (17.04.2020): <https://www.metmuseum.org/-/media/files/blogs/digital-media/3dprintingbookletforbeginners.pdf>
Kleines Handbuch zum 3D-Scan, 3D-Modellieren und 3D-Druck im Museumskontext.

Precht/Weindl 2020: J. Precht/R. Weindl, Die neolithische Bestattung von Niederpöding. Storytelling im Museum Quintana – Archäologie in Künzing. In: *Museum Heute* 57, 2020, 40–44, bes. 42–43. Online (23.07.2020): https://www.museen-in-bayern.de/fileadmin/Daten/Ab_2018_Material_Landesstelle/Ver%C3%B6ffentlichungen/Museum_heute/mh_57_web.pdf
Ausführliche Beschreibung des Forschungsprojekts, 3D-Druck passim. Kosten der gesamten Ausstellungseinheit.

Ritter/Kosma 2009: A. Ritter/R. Kosma, 3D-Scannen, Rapid Prototyping und Rekonstruktion des Dinosaurierskeletts. In: U. Joger/R. Kosma/F. J. Krüger: *Projekt Dino: Die Entdeckungsgeschichte neuer Dinosaurier in Niger, Afrika / Staatliches Naturhistorisches Museum Braunschweig* (Schwülper 2009) 82–86.
Fallbeispiel zur Herstellung der Rekonstruktion eines Saurierskeletts, u. a. mit 3D-Druck.

Rosendahl u. a. 2016: W. Rosendahl/S. Zesch/D. Döppes/V. an Vilsteren, Eine Mumie aus dem 3D-Drucker. *Archäologie und Hightech zur Moorleiche des Yde-Mädchens*. In: *Antike Welt* 6 (2016) 30–34.
Projektbericht zur Herstellung einer Replik.

Sá u. a. 2012: A. M. Sá/K. Rodriguez Echavarria/M. Griffin/D. Covill/J. Kaminski/D. David Arnold, Parametric 3D-Fitted Frames for Packaging Heritage Artefacts. In: *13th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST, 2012*, 105–12. Online (05.08.2020): <http://dx.doi.org/10.2312/VAST/VAST12/105-112> (05.08.2020).

Pilotprojekt für 3D-gedruckte Transportverpackungen für Kulturobjekte.

Samaroudi/Echavarria 2019: M. Samaroudi/K. Echavarria, 3D printing is helping museums in repatriation and decolonisation efforts. In: *MuseumNext* (Online-Magazin) am 03.12.2019. Online (17.04.2020): <https://www.museumnext.com/article/3d-printing-is-helping-museums-in-repatriation-and-decolonisation-efforts/>
3D-Druck als Instrument im Rahmen von Dekolonisierung und Repatriierung von Objekten.

Schädel 2013: Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz, Gesichtsrekonstruktion eines 2000 Jahre alten Schädels. *Pressemeldung vom 05.11.2013*. Online (12.03.2020): http://www.landesmuseum-mainz.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Presse/Pressemeldungen/PE_Gesichtsrekonstruktion_0511.pdf
Pressemeldung zu einer Gesichtsrekonstruktion für eine Sonderausstellung.

Schneeberg 2018: *Angewandte Kunst Schneeberg – Fakultät der Westsächsischen Hochschule Zwickau* (Hrsg.) supported experiments – Archäologie inspiriert Designstudien (Schneeberg 2018). Online (23.06.2018): https://www.fh-zwickau.de/fileadmin/fakultaeten/aks/docs/studium/gestaltung_ba/kg_grundlagen/publikationen/3D_Heft_2018_klein.pdf
Studentisches Ausstellungsprojekt in Kooperation mit dem Staatlichen Museum für Archäologie Chemnitz (smac).

Schule 20XX: Qualitäts- und UnterstützungsAgentur – Landesinstitut für Schule des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), 3-D-Druck in der Schule. Informationen und Orientierung für den Einstieg in den Unterricht (ohne Ort und Jahr). Online (27.01.2021): https://www.schulentwicklung.nrw.de/cms/upload/Faecher_Seiten/faecheruebergreifend/3D-Druck_in_der_Schule.pdf
*Handreichung für Lehrer*innen zum Einsatz des 3D-Drucks an Schulen, auch für die Museumspädagogik interessant. Analyse verschiedener 3D-Designprogramme, Beispielprojekte für die Fächer Technik und Kunst.*

Schwandt u. a. 2016: H. Schwandt/S. Jerichow/J. Weinhold, Themse – 3D Technologies for Museums in Berlin. In: Bienert, A./Santos, P. (Hrsg.) *Konferenzband EVA (Electronic Media and Visual Arts) Berlin, 2014*. *Elektronische Medien & Kunst, Kultur und Historie* 21 (Heidelberg 2016). Online (22.07.2020): <https://doi.org/10.11588/arthistoricum.152.192>
Kooperationen zwischen 3D-Labor der TU Berlin und Berliner Museen, u. a. ägyptische Skulpturen, Skulpturen im Teesalon des Berliner Stadtschlosses u. v. m.

Scopigno u. a. 2017: R. Scopigno/P. Cignoni/M. Callieri/M. Dellepiane, Digital Fabrication Techniques for Cultural Heritage: A Survey. In: Computer Graphics forum 36/1 (2017) 6–21. Online (13.02.2020): <https://doi.org/10.1111/cgf.12781>

Gute Übersicht über 3D-Druck inkl. Vorstellung einiger Druckverfahren und deren Eignung für Anwendungen im Bereich des kulturellen Erbes, außerdem Überblick über mögliche Anwendungsszenarien.

Seatter 2016: T. Seatter, Cloning Dolly? Introducing 3D printing at National Museums Scotland. In: National Museums Scotland Blog, 04.02.2016. Online (11.03.2020): <https://blog.nms.ac.uk/2016/02/04/cloning-dolly-introducing-3d-printing-at-national-museums-scotland/>

Blogbeitrag zu den Aktivitäten eines schottischen Museums zum 3D-Druck.

Short 2015: D. B. Short, Use of 3D Printing by Museums: Educational Exhibits, Artifact Education, and Artifact Restoration. In: 3D Printing and Additive Manufacturing 2, Nr. 4 (2015) 209–215.

Vorstellung vor allem englischsprachiger Sonderausstellungen von Museen zum 3D-Druck.

Swift u. a. 2021: E. Swift/L. Bosworth/D. Creese/G. Morris/A. Pudsey/J. Richardson/J. Stoner/F. Walker/G. Wright, Creation of Functional Replica Roman and Late Antique Musical Instruments through 3D Scanning and Printing Technology, and their use in research and museum education, Internet Archaeology 56/1, 2021, ohne Seitenzahlen. Online (15.01.2021): <https://doi.org/10.11141/ia.56.1>

Fallbeispiel für 3D-Drucke von römischen Musikinstrumenten und deren Anwendung für Forschung und Vermittlung am Museum.

Tang/Zhao 2015: J. Tang/Y. Zhao, Edible Met: Eating Art to Understand. Beitrag im Blog „Digital Underground“ von The Met vom 09.06.2015. Online (13.04.2021): <https://www.metmuseum.org/blogs/digital-underground/2015/edible-met>

Entwicklung von „Edible Met“, ein DIY-Form- und Gusskit für Lebensmittel, das 3D-gedruckte Objekte (z. B. Museumsobjekte) in essbare Gegenstände verwandelt.

Thiel 2018: K. Thiel, Applications for 3D printing (New York 2018), bes. 99f.

Knappe Zusammenfassung zum Nachdruck des Skeletts von Richard III. Das Skelett wurde aus Kunststoff für das neue Visitor Centre „King Richard III: Dynasty, Death and Discovery“ in Leicester gedruckt, das originale Skelett wurde 2015 in der Kathedrale von Leicester bestattet.

Trendswatch 2013: American Alliance of Museums (Hrsg.) TrendsWatch 2013. Back to the Future (2013). Online (27.07.2020): https://www.aam-us.org/wp-content/uploads/2017/12/2013_trendswatch.pdf

Trend-Bericht des Amerikanischen Museumsverbands zu Relevanz und Potenzial des 3D-Drucks, Beispiele aus den USA, Empfehlungen für Museen.

Turner u. a. 2017: H. Turner/G. Rech/D. Southwick/R. McEwen/A. K. Dubé/I. Record, Using 3D Printing to Enhance Understanding and Engagement with Young Audiences: Lessons from Workshops in a Museum. In: Curator – The Museum Journal 60, Nr. 3 (2017) 311–333. *Praxisbericht über ein Workshopformat mit Schülern.*

Urbas u. a. 2016: R. Urbas/M. Pivar/U. Elesini, Development of tactile floor plan for the blind and the visually impaired by 3D printing technique. Journal of Graphic Engineering and Design 7/1 (2016) 19–29. Online (30.04.2019): <http://doi.org/10.24867/JGED-2016-1-019>

Herstellung eines taktilen Gebäudeplans für ein Museum mit 3D-Druck. Probleme mit zweifarbigen 3D-Druck.

Urcia u. a. 2018: A. Urcia/S. Zambruno/A. Vazzana/M. Anderson/C. Darnell, Prototyping an Egyptian Revival. Laser scanning, 3D prints and sculpture to support the Echoes of Egypt exhibition. Archeologia e Calcolatori 29 (2018) 317–332.

Herstellung einer 1:1-Kopie einer Marmorskulptur, Fokus auf Vorteile des Verfahrens als Ersatz für Leihvorgänge.

Weinold 2016: J. Weinold, Treffpunkte. Die Kooperation des 3D-Labors am Institut für Mathematik der TU Berlin mit der Gipsformerei der Staatlichen Museen zu Berlin. In: Haak, C./Helfrich, M. (Hrsg.) Casting. Ein analoger Weg ins Zeitalter der Digitalisierung? Ein Symposium zur Gipsformerei der Staatlichen Museen zu Berlin (Heidelberg: arthistoricum.net, 2016) 281–289. Online (22.07.2020): <https://doi.org/10.11588/arthistoricum.95.114>

Beispiele für Anwendung des 3D-Drucks an der Gipsformerei der Staatlichen Museen zu Berlin.

Williams 2017: T. Williams, More than just a novelty? Museum visitor interactions with 3D printed artifacts (Abschlussarbeit University of Washington 2017).

Online (24.03.2020): <http://hdl.handle.net/1773/39772>

*Studie am Burke Museum of Natural History and Culture in Seattle (USA) zum Lernnutzen von 3D-Drucken für Besucher*innen durch taktile Interaktion.*

Wilson u. a. 2017: P. Wilson/J. Stott/J. Warnett/A. Attridge/M. Smith/M. Williams, Evaluation of Touchable 3D-Printed Replicas in Museums. Curator – The Museum Journal 60/4 (2017) 445–465. *Studie im Oxford University Museum of Natural History (Großbritannien) zur Wahrnehmung und Akzeptanz 3D-gedruckter Repliken aus verschiedenen Materialien durch Besucher*innen.*

Younan 2015: S. Younan, Poaching Museum Collections Using Digital 3D Technologies. In: CITAR Journal of Science and Technology of the Arts 7/2, 2015, 25–32. Online (22.07.2020): <https://doi.org/10.7559/citarj.v7i2.152>

Zwei Projekte am National Museum Cardiff und The Collection in Lincoln, UK, über Nachnutzung und Remixen von 3D-Daten durch Künstler und Online-Besucher, darunter auch 3D-Druck.

Videos

Emden 2013: Kunsthalle Emden (Hrsg.), 3-D-Drucker in action: Märchenwesen und Monster werden real (Vimeo-Video vom 25.03.2013). Online (13.01.2021): <https://vimeo.com/62602847>

3D-gedruckte Figuren nach Besucherentwürfen an der Kunsthalle Emden im Rahmen einer Sonderausstellung.

Here I Stand 2016: Here I Stand (Hrsg.) Making a Museum Object Printable (Vimeo-Video vom 22.09.2016, 1:37 min). Online (15.01.2021): <https://vimeo.com/183829476>

Herstellung eines 3D-gedruckten Objekts aus der Wanderausstellung „#HereIStand“.

Leiden 2020: Builder 3D Printers (Hrsg.) Dinosaur skeletons restored with large scale 3D printing – Builder 3D Printers (Youtube-Video vom 26.02.2020, 2:32 min). Online (13.01.2021): <https://www.youtube.com/watch?v=zfvV40Vct80>

Herstellung 3D-gedruckter Dinosaurierknochen für das Naturalis Biodiversity Centre in Leiden, Niederlande.

Lier 2018: Materialise Manufacturing (Hrsg.) 3D Printing a Life-Size Mammoth for the City Museum of Lier | Stereolithography (Youtube-Video vom 11.10.2018, 4:16 min). Online (13.01.2021): <https://www.youtube.com/watch?v=m1cGM9uzRVQ>
Herstellungsprozess eines Mammutskeletts für das Stadsmuseum Lier, Belgien.

London 2013: Dezeen (Hrsg.) “Can these parts go together and kill someone? The answer is yes.” (Vimeo-Video vom 24.09.2013, 3:53 min). Online (15.01.2021): <https://vimeo.com/75324064>

Interview mit dem Kurator zu einer 3D-gedruckten Schusswaffe im Victoria & Albert Museum in London, UK.

London 2018: Victoria and Albert Museum (Hrsg.), How was it made? 3D Scanning & Printing (Youtube-Video vom 19.12.2018, 2:45 min). Online (14.12.2020): <https://www.youtube.com/watch?v=ztzrxeat5s8>
Kommentierte Herstellung der Kopie einer Flasche mit Pulverdruck-Verfahren.

Loughborough 2013: Loughborough University (Hrsg.), 3D printing technology breathes new life into Richard III (Youtube-Video vom 04.02.2013, 0:36 min). Online (13.01.2021): <https://www.youtube.com/watch?v=FQRI-QWVoKc>

Unkommentiertes Video zum Herstellungsprozess der Kopie des Skeletts von Richard III.

New Haven 2014: YaleCampus (Hrsg.), 3D Printing for Museum Exhibitions (Youtube-Video vom 24.06.2014, 3:09 min). Online (13.01.2021): <https://www.youtube.com/watch?v=nuR3zOENZmU>

Entwicklung der Herstellung von künstlichen Baumblättern für ein Diorama am Yale Peabody Museum of Natural History.

New York 2017: The Museum of Modern Art (Hrsg.), Designing 3D Printed Dresses | FASHION AS DESIGN (Youtube-Video vom 06.10.2017, 7:40 min). Online (13.01.2021): <https://www.youtube.com/watch?v=4j6iZDKpwTQ>

Entstehung 3D-gedruckter Kleidungsstücke, das Video entstand für einen Online-Kurs des Museums of Modern Art, New York.

Rochester 2020: Rochester Museum of Science (Hrsg.), Virtual Tour: 3D printing (Youtube-Video vom 26.03.2020, 4:03 min). Online (17.04.2020): <https://www.youtube.com/watch?v=iEWsLYq8Bwg>

Blick auf einen Ausstellungsbereich zum 3D-Druck in der Ausstellung „SciFiTech“.

Selb 2020: Porzellanikon – Staatliches Museum für Porzellan Selb (Hrsg.), Porzellan aus dem 3D Drucker (Youtube-Video vom 21.04.2020, 4:35 min). Online (13.01.2021): https://www.youtube.com/watch?v=nO_g1up_Og8

Neuer Porzellandrucker am Museum.

Smithsonian 2019: Adam Savage’s Tested (Hrsg.), Adam Savage Explores the 3D Printing and Model-making Shop at Smithsonian Exhibits! (Youtube-Video vom 18.09.2019, 24:39 min). Online (13.01.2021): <https://www.youtube.com/watch?v=dntMcmUfxHs>
3D-Druck und Modellbau in den Werkstätten der Smithsonian Institution, USA.

Wien 2017: MAK – Museum für angewandte Kunst, Wien (Hrsg.), 3D-Druck im MAK (Youtube-Video vom 10.10.2017, 1:52 min). Online (13.01.2021): <https://www.youtube.com/watch?v=itClSxqsanM>
Zeigt vor allem das 3D-Scannen.

Zürich 2013: Museum für Gestaltung Zürich (Hrsg.), Trailer „3D – Dreidimensionale Dinge drucken“ (Youtube-Video vom 18.03.2013, 3:57). Online (13.01.2021): <https://www.youtube.com/watch?v=hcHa4v3kdBs>
Trailer zur gleichnamigen Sonderausstellung des Museums.

| | |
|---|--|
| ABS | Acrylnitril-Butadien-Styrol. Ein Kunststoff, der 3D-gedruckt werden kann. |
| CAD | Abkürzung für engl. computer-aided design, d. h. Design am Computer mit Nutzung von Softwareprogrammen. |
| CNC-Maschinen | Computerized Numerical Control-Maschinen. Werkzeugmaschinen, die über einen Computer gesteuert werden, z. B. Fräsen. |
| Binder Jetting bzw. Pulverdruck | 3D-Druckverfahren, das zum Drucken Rohmaterial in Pulverform verwendet. |
| FabLab/MakerSpace | Offene Kreativwerkstatt, die sich meist an Bürger*innen richtet und Werkzeuge zum Gestalten und Handwerken enthält, z. B. 3D-Drucker, CNC-Maschinen, Lasercutter etc. |
| FFF/FDM-Verfahren | Fused Filament Fabrication/ Fused Deposition Modeling: 3D-Druckverfahren, bei dem durch Wärme verformbarer Kunststoff schichtweise zu Objekten aufgebaut wird. |
| Filament | Kunststoffmaterial für den 3D-Druck, das in Form von Strängen auf Rollen vorliegt. |
| HIPS | High-Impact Polystyrene. Ein Kunststoff, der 3D-gedruckt werden kann. Dient auch als auswaschbares Stützmaterial für 3D-Drucker mit zwei Druckköpfen. |
| gcode-Datei | Programmiersprache, die dem 3D-Drucker die Parameter für den 3D-Druck vorgibt. |
| MakerSpace | Siehe FabLab. |
| Maker, Maker-Bewegung, Maker-Szene | Kreativ-Szene, die Dinge unter Verwendung moderner Technik neu- oder umbaut. Auch 3D-Drucker können zum Einsatz kommen. |
| PET/PETG | Polyethylenterephthalat. Ein durch Wärme verformbarer Kunststoff, beispielsweise für Pfandflaschen. PETG ist eine modifizierte Version von PET, die geeignet für den 3D-Druck ist. |
| Photopolymere | Flüssige Kunststoffe, die durch UV-Belichtung aushärten. |
| PLA | Poly lactide. Ein Kunststoff, der 3D-gedruckt werden kann. |
| Polyamid | Durch Wärme verformbarer Kunststoff. |
| Polyurethane | Überbegriff für eine bestimmte Klasse Kunststoffe bzw. Kunstharze. |
| Slicer/Slicing-Software | Software, die 3D-Modelle im STL-Format öffnen und zu einer G-Code-Datei für den 3D-Druck konvertieren kann. |

| | |
|--------------------------------------|--|
| Selektives Lasersintern (SLS) | 3D-Druckverfahren. Mit Hilfe eines Lasers wird pulverförmiges Kunststoffpulver schichtweise aufgeschmolzen. |
| Stereolithografie | Eines der ältesten 3D-Druckverfahren. Das flüssige Druckmaterial wird durch das Licht eines UV-Lasers verfestigt. |
| STL | Abkürzung für Stereolithografie/Standard Triangle Language/Standard Tessellation Language. Dateiformat zum Speichern von 3D-Modellen. |
| Thermoplaste | Durch Wärme verformbare Kunststoffe. |
| Thermoplastische Elastomere | Flexible, durch Wärme verformbare Kunststoffe, vergleichbar mit Gummi. |
| Wachsausschmelz-Verfahren | Gussverfahren. Das zu gießende Objekt wird aus Wachs modelliert und mit dem Formmaterial für die Gussform umhüllt. Beim anschließenden Erhitzen schmilzt das Wachsmaterial und ist verloren, hinterlässt aber einen Hohlraum in der Form für den eigentlichen Guss, oft in Metall. |

Danksagungen

Dank gilt zunächst den Autorinnen und Autoren, die sich an dieser Publikation beteiligt haben. Daneben danken wir insbesondere diesen Personen und Institutionen sehr herzlich:

Allen Museen sowie Firmen und weiteren Institutionen und deren Mitarbeiter*innen, die Informationen und Bilder für die Publikation zur Verfügung gestellt haben

Allen Kolleg*innen, die Fallbeispiele aus Deutschland gemeldet haben

Der Fachgruppe „Digitale Bildung“ beim Bundesverband
Museumspädagogik e. V.

Dem Arbeitskreis „Konservierung/Restaurierung“ beim Deutschen
Museumsbund e. V.

Der Fachgruppe „Dokumentation“ beim Deutschen Museumsbund e. V.

Christof Flügel (Landesstelle für die nichtstaatlichen Museen in Bayern,
München)

Susanne Graner (Vitra Design Museum, Weil am Rhein)

Stefanie Holzheu (Futurium, Berlin)

Dominik Kimmel (Römisch–Germanisches Zentralmuseum, Mainz)

Danny Könnicke (Museumsverband Sachsen–Anhalt e. V.)

Hubert Mara (IWR – Interdisciplinary Center for Scientific Computing,
Heidelberg University)

Sabine Pelgjer (Deutsches Museum, München)

Andrea Prehn (Institut für Museumsforschung, Berlin)


Ralph Röber (Archäologisches Landesmuseum Baden–Württemberg,
Konstanz)

Ruth Türnich (Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes
Nordrhein–Westfalen, Referat 423 Visuelle Künste, Provenienz)

Stephanie Zesch (Reiss–Engelhorn–Museen, Mannheim)

Autorinnen und Autoren

Miriam Anders M. A.

 <https://orcid.org/0000-0001-5027-6310>

Museumsverband Rheinland-Pfalz
Von-Weber-Straße 54
67061 Ludwigshafen a. Rh.
anders@museumsverband-rlp.de

Rainer Auts

ehemals Karl Marx 2018 – Ausstellungsgesellschaft
mbH i. L.
Olewiger Straße 171
54295 Trier

Lisa Burkart M. A.

CICS – Cologne Institute of Conservation Science
KuWerKo – Kunststoff ein moderner Werkstoff im kul-
turhistorischen Kontext
Technische Hochschule Köln
Campus Südstadt
Ubierring 40
50678 Köln
lisa.burkart@th-koeln.de

Dr. Dorothee Henschel

Stadtmuseum Simeonstift Trier
Simeonstiftplatz 1
54290 Trier
dorothee.henschel@trier.de

Dr. Annette Ludwig

Gutenberg-Museum
Liebfrauenplatz 5
55116 Mainz
dr.annette.ludwig@stadt.mainz.de


Linda C. Reiter

Fluxguide Ausstellungssysteme GmbH
Kandlgasse 15/5
1070 Wien
Österreich
linda@fluxguide.com

Moritz Neumüller


The Curator Ship
Carrer de Montserrat 41
08340 Vilassar de Mar, Barcelona
Spanien
moritzbarcelona@gmail.com

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Reichinger

 <https://orcid.org/0000-0002-2835-5634>

VRVis Zentrum für Virtual Reality und Visualisierung
Forschungs-GmbH
Donau-City-Straße 11
1220 Wien
Österreich
reichinger@vrvis.at

Ingrid Schmidts-Jütting M. A.

 <https://orcid.org/0000-0003-4745-3632>

Anne Wiedau, Dipl.-Des. M.A.

Hochschule Trier
FB Gestaltung
Irminenfreihof
54290 Trier
wiedau@hochschule-trier.de

Impressum

Vom Digitalen zum Realen: Museen und der 3D-Druck in Rheinland-Pfalz und Deutschland

Herausgeber:

Museumsverband Rheinland-Pfalz e. V.
Von-Weber-Straße 54
67061 Ludwigshafen a. Rh.
0621 529 25 23
info@museumsverband-rlp.de
museumsverband-rlp.de
museumsportal-rlp.de
twitter.com/Museen_RLP

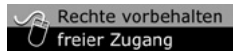
Projektleitung und Gesamtdredaktion: Miriam Anders M.A.**Bildredaktion:** Miriam Anders M. A.**Lektorat:** Kathrin Lubber M. A.**Mitarbeit:** Hannah Hilß, Anne-Katrin Koch**CI Print:** media machine GmbH, Mainz (<https://www.mediamachine.de>)**Layout, Gestaltung:** Katrin Pfeil (<https://www.pfeil-gestaltung.de>)**Coverbild:** Römisch-Germanisches Zentralmuseum, Mainz, V. Iserhardt.

Das Cover der Publikation darf als Ganzes zum Zwecke der Berichterstattung ohne Rücksprache verwendet werden.

Alle Bilder und Texte sind, soweit nicht anders angegeben, in der Regel urheberrechtlich geschützt und dürfen nicht ohne das Einverständnis der Rechteinhaber genutzt werden.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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



Dieses Werk als Ganzes ist durch das Urheberrecht und bzw. oder verwandte Schutzrechte geschützt, aber kostenfrei zugänglich. Die Nutzung, insbesondere die Vervielfältigung, ist nur im Rahmen der gesetzlichen Schranken des Urheberrechts oder aufgrund einer Einwilligung des Rechteinhabers erlaubt.



FACHINFORMATIONSDIENST KUNST · FOTOGRAFIE · DESIGN

Publiziert auf ART-Dok – Publikationsplattform Kunst- und Bildwissenschaften, Universitätsbibliothek Heidelberg 2022.

Die Online-Version dieser Publikation ist dauerhaft frei verfügbar (Open Access).
doi: <https://doi.org/10.11588/artdok.00007960>

1. Auflage, November 2022

ISBN 978-3-00-073150-1
Online-Publikation

ISBN 978-3-00-073149-5
Diese Publikation kann beim Museumsverband Rheinland-Pfalz als Print-Ausgabe erworben werden.

Gefördert durch



MINISTERIUM FÜR
FAMILIE, FRAUEN, KULTUR
UND INTEGRATION