

Transformation von Bildern in dreidimensionale Modelle am Beispiel von Münzen

Forschungsprojekt Data Science

Maximilian Krämer

03.08.2023

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung - Idee	3
2 Theoretische Grundlagen - Dateiformate	4
3 Programmtechnische Grundlagen	5
3.1 Online Tool - Image to STL	5
3.2 Microsoft 3D Builder	6
4 Anwendung	9
4.1 Vorbereitungen	9
4.2 Anwendung auf die Manchinger Münzen	9
4.2.1 Keltischer Goldschatz	9
4.2.2 Online Tool - Image to STL	10
4.2.3 Microsoft 3D Builder	11
4.3 Anwendung auf Coin 3101	13
4.3.1 Einführung Coin 3101	13
4.3.2 Image to STL	14
4.3.3 MS Builder	15
4.4 Bewertung	16
5 Weitere verfolgte Ansätze	18
6 Fazit	20
6.1 Zusammenfassung	20
6.2 Ausblick	20

1 Einführung - Idee

Die Idee dieses Forschungsprojektes liegt darin zweidimensionale Bilder von Münzen in dreidimensionale Bilder zu transformieren. Die Transformation soll dabei so einfach wie möglich gehalten werden, damit auch Personen, welche sich nicht tiefergehend mit IT auskennen, die Transformation mit einem Tool durchführen können.

Als Grundlage dienen in diesem Fall Bilder von Goldmünzen des Keltenschatzes aus Manching, wobei die grundlegende Münze mit der Vorderseite in Abbildung 1 und mit der Rückseite in Abbildung 2 zu sehen ist. Der Goldschatz und auch kurz sein Hintergrund wird genauer im Unterunterabschnitt 4.2.1 eingeordnet. Ein Interesse die Münzen zu transformieren wurde von der Archäologischen Staatssammlung München bekundet und ist unter anderem darin begründet, dass der eigentliche Goldschatz im November 2022 gestohlen wurde und somit keine dreidimensionalen Aufnahmen mehr gemacht werden können. [5] Darüber hinaus wird eine weitere Münze aus der Sammlung von <https://www.corpus-nummorum.eu/> betrachtet, um einen Vergleich der Transformationstools, auch für eine andere Münze zu haben. Im weiteren Verlauf werden dann Tools betrachtet, welche die Transformation auch durchführen können, jedoch aus verschiedensten Gründen nicht mit den Münzbildern funktionieren. Zuletzt wird der Inhalt dann zusammengefasst und es gibt einen Ausblick zur Verbesserung der Transformation.

2 Theoretische Grundlagen - Dateiformate

In diesem Forschungsprojekt werden verschiedene Dateiformate für die Bilder und Modelle genutzt, welche hier kurz eingeführt werden. Darüber hinaus wird erläutert, warum diese eingesetzt werden und was daraus resultierende Vorteile sind:

- **tif:**

Beim tif-Format handelt es sich um ein Bildformat, welches dazu dient Raster Bilddaten zu beschreiben und zu speichern. [13] Für die getesteten Programme ist das Format nicht nutzbar und die Bilddateien müssen konvertiert werden.

- **png**

Das png-Format bietet den Vorteil gegenüber dem tif-Format, dass es von den Programmen genutzt werden kann. Außerdem muss das Bild nicht rechteckig sein. So kann ein zugeschnittenes Bild die Form des Zuschnitts halten und bekommt nicht automatisch einen Hintergrund. Bei png handelt es sich um das meistgenutzte Bildformat für Webseiten. [21] Im Vergleich zu tif ist es jedoch nicht so komplex und kann daher auch einen Detailverlust haben.

- **svg**

Das svg-Format, lang Scalable Vector Graphics, dient der "Beschreibung zweidimensionaler Vektorgrafiken" [2]. Es handelt sich dabei "um mathematisch definierte Bilder, die sich aus Punkten und Linien in einem Raster zusammensetzen" [2]. Das heißt es werden nicht die einzelnen Pixel gespeichert, "sondern eine Beschreibung aller im Bild befindlichen Objekte und deren Grenzen, Linien, Schatten oder Stärke" [2].

- **stl**

In das stl-Format werden die Bilder zu Modellen transformiert. Es handelt sich hierbei um ein Format zum Beschreiben der Oberfläche eines Objektes in einem Dreiecksnetz, welches als Repräsentation einer dreidimensionalen Oberfläche durch Dreiecke gesehen werden kann. [18]

Es gibt darüber hinaus noch weitere 3D-Formate, wie zum Beispiel 3MF. Dennoch wird das stl-Format genutzt, da es das aktuell Meistgenutzte ist. [14] Eine Konvertierung ist dennoch, zum Beispiel von stl zu 3MF, mit Hilfe von nötigen Tools möglich.

3 Programmtechnische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Tools, welche zur Umsetzung des Forschungsprojektes, funktional genutzt werden, eingeführt und deren Einstellungsmöglichkeiten erläutert. Tools die zwar getestet wurden jedoch im gegebenen Forschungsprojekt nicht funktionieren, sind in Abschnitt 5 erläutert.

3.1 Online Tool - Image to STL

Eine Möglichkeit aus den png-Bildern ein 3D-Modell zu erstellen ist einen der vielen kostenlosen Online Services zu nutzen. Die besten Resultate wurden von der Website Image to STL (<https://imagetostl.com/de>) erzeugt, weswegen diese als einzige in diesem Forschungsprojekt betrachtet wird. Hierzu gibt es auf der Website Einstellungsmöglichkeiten, welche das Resultat verändern. Die Möglichkeiten definieren sich, wie folgt:

1. Tool

Die Einstellung Tool bietet die Möglichkeit einzustellen, wie die Ausgabe final aussehen soll. Einerseits kann die Option Standard gewählt werden, wo versucht wird die erkennbaren Höhen dreidimensional in die Höhe zu ziehen. Andererseits gibt es die Option Extrudieren, wo die Vertiefungen extrudiert dargestellt werden. Diese beiden Optionen sind auch in Farbe verfügbar. Dies heißt, dass ein gegebenes Bild auf das fertige Modell projiziert wird, um die Darstellung realistischer wirken zu lassen.

2. Color Conversion

Die Option Color Conversion bietet drei verschiedene Auswahlmöglichkeiten. Zum einen Grayscale, welche die Grauwerte des Bildes nutzt um daraus die Tiefen zu erhalten. Die Zweite ist Color Height Map, welche versucht mit Hilfe der Farben die Tiefen zu ermitteln. Die Dritte ist Full Spectrum Height Map, welche auch die Farben nutzt, sich hierbei jedoch auf das volle Spektrum bezieht.

3. Width und Height

Die Einstellung Width und Height dient der Angabe der Breite und Länge des finalen Modells. Die proportionale Anpassung dieser Werte hat nur die Vergrößerung des Modells als Ziel und keine Veränderungen am Modell an sich.

4. Depth

Die Option passt die Tiefe des Modells auf die gegebene Milimeterzahl an. Durch

Anpassung dieses Parameters kann das Modell im Allgemeinen realistischer gemacht werden.

5. Add Base

Die Einstellung Add Base gibt die Möglichkeit eine Basis (angegeben in Millimeter) anzugeben, welche unter das Modell gesetzt wird. Dies bringt in dem gegebenen Beispiel keinen Vorteil, sodass die Möglichkeit nicht weitergehend erläutert wird.

6. Transparency Conversion

Die Option Transparency Conversion dient dazu, bei einem transparenten Hintergrund, die Hintergrundfarbe anzupassen. Dies ist im gegebenen Beispiel jedoch nicht relevant.

7. Lock aspect ratio

Durch Lock aspect ratio wird die Proportion bei Änderung der Breite oder Länge beibehalten. Da im gegebenen Fall die Länge oder Breite nicht angepasst werden, verändert diese Auswahlmöglichkeit nichts.

8. Invert Output

Die Option invertiert bei Aktivierung den Output, sodass die Erhebungen in der Tiefe dargestellt wird.

9. Enable Smoothing

Durch das Auswählen von Enable Smoothing wird ein Smoothing des Modells ermöglicht, sodass eventuelle Kanten runder dargestellt werden.

10. Z-Axis Mirror

Die Option Z-Axis Mirror bietet die Möglichkeit das Modell an der Z-Achse zu spiegeln. Diese Option ist für die gegebenen Münzen aus Manching nicht sinnvoll und wird daher auch nicht genauer betrachtet.

Darüber hinaus kann sowohl das STL Format angepasst, als auch die Möglichkeit einer Preview genutzt werden. Beides ist für die endgültige Generierung nicht relevant. Als STL Format wird immer Standard (Binary) genutzt.

3.2 Microsoft 3D Builder

Eine weitere Möglichkeit aus einem 2D-png-Input ein 3D Modell erstellen zu lassen, bietet das Programm Microsoft (kurz MS) 3D Builder. Dieses ist zum Beispiel im Microsoft Store kostenlos erhältlich (<https://apps.microsoft.com/store/detail/3d-builder/>)

9WZDNCRFJ3T6). Im MS 3D Builder gibt es die Möglichkeit eine png-Bilddatei einzufügen, aus welcher das Tool dann automatisch versucht, ein 3D Modell zu erstellen. Dies wird auch sofort grafisch dargestellt. Um das automatisch generierte Modell zu optimieren, bietet das Tool weiterführende Möglichkeiten.

So kann der Anwender zwischen vier verschiedenen Vorverarbeitungsmethoden wählen, welche zur Generierung des 3D Modells genutzt werden sollen:

1. Kontur

Bei der Methode Kontur wird ein 3D Modell in der gegebenen Form des Bildes erstellt und anhand der Konturen des Bildes versucht Tiefen in das Modell zu bringen. Die Konturen werden als abrupte Farbänderungen definiert. [6]

2. Höhenkarte

Bei der Höhenkarte wird nicht die gegebene Form des Bildes betrachtet, denn es wird von einer Nullhöhe ausgegangen, auf welchem dann bestmöglich das erkennbare Relief aus den verschiedenen Farben des Bildes aufgesetzt wird. [6]

3. Rand

Bei der Methode Rand ist es ähnlich zur Höhenkarte. Es gibt eine Nullhöhe, jedoch werden hier die Ränder hervorgehoben und eben nicht die eigentlichen Höhen. Somit geht es auch hier mehr um die Tiefe, welche durch die hohen Ränder entsteht.

4. Stempel

Der Stempel startet auch bei einer Nullhöhe, auf welcher jedoch die erkennbaren Höhen als eine Art Stifte aufgestellt werden und somit ein Höhenprofil entsteht.

Darüber hinaus gibt es weitere Einstellmöglichkeiten, um den Erstellungsprozess weiter zu optimieren. Bei allen Methoden sind das die Funktionen Glatt, Texturen und Invertieren. Einen Unterschied gibt es bei der vierten Funktion, welche bei den ersten drei Punkten *Ebenen* und beim vierten Punkt *Details* heißt. Die fünf Einstellungsmöglichkeiten haben verschiedene Funktionalitäten:

- Ebenen (Kontur, Höhenkarte, Rand)

Bei der Einstellmöglichkeit Ebenen kann eingestellt werden, wie viele Farben verwendet werden sollen, was bei einer höheren Anzahl an Farben zu einer differenzierteren Darstellung führt. Die Einstellmöglichkeit liegt im Bereich zwischen 2 Farben und 256 Farben.

- Glatt

Bei der Funktionalität Glatt kann die Geometriedetailebene angepasst werden, also

der Grad der Detaillierung von Konturen. Der Einstellbereich liegt zwischen 0 und 8, wobei mit größerem Wert die Detaillierung zunimmt.

- **Textures**

Bei der Auswahlmöglichkeit Texturen kann nur zwischen An und Aus gewählt werden. Ist die Option An gewählt, wird das Bild als Textur auf dem 3D Objekt dargestellt. Ist sie Aus, dann nicht.

- **Invertieren**

Die Möglichkeit Invertieren kann auch entweder An oder Aus geschaltet sein. Ist sie eingeschaltet, wird das Ergebnis der Generierung invertiert, sprich Höhen werden zu Tiefen und vice versa. Ist sie ausgeschaltet, dann wird das Bild, wie anfanghaft generiert, dargestellt.

- **Details (Stempel)**

Bei der Einstellungsmöglichkeit Detail wird der Ditheringdetailgrad eingestellt. Beim Dithering handelt es sich um ein Verfahren, welches aus benachbarten Pixel versucht, Farben zu simulieren. [1] Der auswählbare Wert liegt hier zwischen 1 und 3 und mit höherem Wert steigt auch der Detailgrad des Ditherings.

4 Anwendung

4.1 Vorbereitungen

Für die meisten Tools ist es einfacher die Münzen aus den Ursprungsbildern Abbildung 1 und Abbildung 2 auszuschneiden, also nur die eigentliche Münze ohne den Hintergrund als Input zu nutzen. Dies ist beispielhaft für die Vorderseite in Abbildung 3 zu sehen. Für die Rückseite sieht es analog aus. Exportiert wurden die Zuschnitte jeweils als png. Dies ist darin begründet, dass bei einem anderen Bildformat, wie auch in Abschnitt 2 erläutert, automatisch ein Hintergrund eingefügt würde, was genau die Idee des Zuschnittes wieder zunichte machen würde. Um den Zuschnitt zu erstellen, wurde das Programm GIMP genutzt. Es handelt sich um eine Abkürzung, welche für GNU Image Manipulation Program steht. [19]

GIMP ist ein Open Source Image Editor und bietet daher die Möglichkeit, kostenlos Bilder zu bearbeiten und diese danach in einem beliebigen Format zu exportieren. [19]

4.2 Anwendung auf die Manchinger Münzen

4.2.1 Keltischer Goldschatz

Wie bereits in Abschnitt 1 kurz erläutert, sind der Forschungsgegenstand in diesem Projekt die Münzen des Keltischen Goldschatzes, welcher in Manching gefunden wurde. Es handelt sich bei diesem „um den größten keltischen Goldfund unseres Jahrhunderts.“ [10] Am 26. August 1999 wurden die Münzen bei archäologischen Grabungen in der Nähe der Bahnhofsstraße gefunden. [11] In der Gesamtheit wurden 483 Münzen gefunden. [5] Diese werden allgemein „ins 2. und frühe 1. Jh datiert“ [12] und gehören „dem Stamm oder einer politisch führenden Persönlichkeit“ [12], welche(r) vermutlich aus Böhmen stammt, da „das Depot ausschließlich aus boischen (also böhmischen) Münzen besteht.“ [12] Im Goldschatz waren „ausschließlich große Goldstücke mit Gewichten zwischen 7 und 7,5 Gramm vertreten“ [10]. Eine beispielhafte Münze ist in Abbildung 1 und Abbildung 2 zu sehen, wobei Abbildung 1 die Vorderseite der Münze und Abbildung 2 die Rückseite der Münze zeigt.

In der Nacht vom 21.11.22 auf den 22.11.22 wurden die Münzen aus dem kelten römer museum manching gestohlen und konnten seitdem nicht in ihrer Ursprungsform aufgefunden werden. [5] Dennoch wurden am 18.07. und 19.07.2023 vier Tatverdächtige gefasst, wobei einer 18 Goldklumpen mit sich führte, bei welchen davon ausgegangen werden muss, „dass es sich hier um bearbeitete Stücke des Manchinger Goldschatzes handelt.“ [4]



Abbildung 1: Die Vorderseite der betrachteten Münze aus Manching



Abbildung 2: Die Rückseite der betrachteten Münze aus Manching

4.2.2 Online Tool - Image to STL

Wie bereits in Unterabschnitt 3.1 erläutert ist eine Möglichkeit aus den png-Bildern ein 3D-Modell zu erstellen die Nutzung des Online Service ImageToSTL (<https://imagetostl.com/de>).

Für die Vorderseite wird der bereits erwähnte Zuschnitt aus Abbildung 3 verwendet.



Abbildung 3: Die Vorderseite der betrachteten Münze aus Manching nach dem Zuschnitt mit GIMP

Für die Vorderseite, welche in Abbildung 4 erkennbar ist, wurde für das Tool die Option Standard (Color) genutzt, um das eigentliche Design der Münze aufzu projizieren zu können. Für die Color Conversion wurde Grayscale und für Depth 40mm genutzt. Als Transparency Conversion wurde Black ausgewählt und die Optionen Lock aspect ratio und Enable Smoothing wurden eingeschaltet.



Abbildung 4: Die Vorderseite der betrachteten Münze aus Manching nach dem Erstellen des 3D Modells mit Hilfe von Image to STL

Für die Rückseite, welche in Abbildung 5 erkennbar ist, wurden zu den Einstellungen für die Vorderseite nur zwei Punkte verändert. Erstens die Tiefe (Depth), welche auf 25mm gesetzt wurde, was ein realistischeres Modell liefert. Zweitens wurde die Auswahl Invert Output gesetzt. Dies ist notwendig, da die Form der Rückseite einer Schale ähnelt und somit in die Tiefe geht, welche nur durch invertieren dargestellt werden kann.

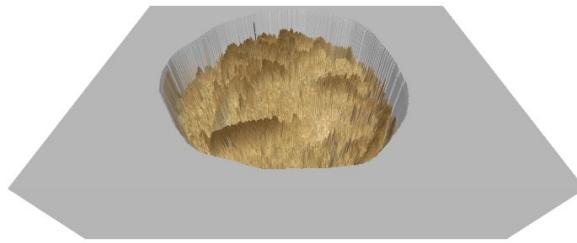


Abbildung 5: Die Rückseite der betrachteten Münze aus Manching nach dem Erstellen des 3D Modells mit Hilfe von Image to STL

4.2.3 Microsoft 3D Builder

Wie bereits in Unterabschnitt 3.2 erläutert, ist eine weitere Möglichkeit aus einem 2D-png-Input ein 3D Modell erstellen zu lassen, das Programm Microsoft 3D Builder. Um die Vorderseite bestmöglich als ein 3D Modell darstellen zu können, wurde in MS 3D Builder

das zugeschnittene Bild aus Abbildung 3 importiert. Als Methode wurde die Höhenkarte genutzt, wobei die Ebenen-Option ziemlich mittig auf 111 gestellt wurde. Darüber hinaus wurde die Glatt-Option auf das Maximum von 8 gesetzt, die Texturen-Option auf An gestellt, wobei das kaum einen Unterschied ergibt und die Invertieren-Option auf Aus gestellt, da eine Erhebung in die Höhe für die Vorderseite benötigt wird. Das fertige Modell ist in Abbildung 6 dargestellt.

Um die Rückseite bestmöglich als ein 3D Modell darstellen zu können, wurde auch hier ein zugeschnittenes Bild analog zur Vorderseite verwendet. Als Methode wurde ebenfalls die Höhenkarte genutzt, wobei die Ebenen relativ gering gehalten wurden mit 28 und die Glatt-Option auf 7 gesetzt wurde. Die Texturen-Option wurde auch hier auf An gesetzt, was aber auch in diesem Fall keinen Unterschied macht. Wichtig ist es hier, die Invertieren-Option zu setzen, da auf der Rückseite die Münze nach innen geformt ist und dies, durch die Auswahl der Option, dargestellt wird. Das fertige Modell ist in Abbildung 7 dargestellt.

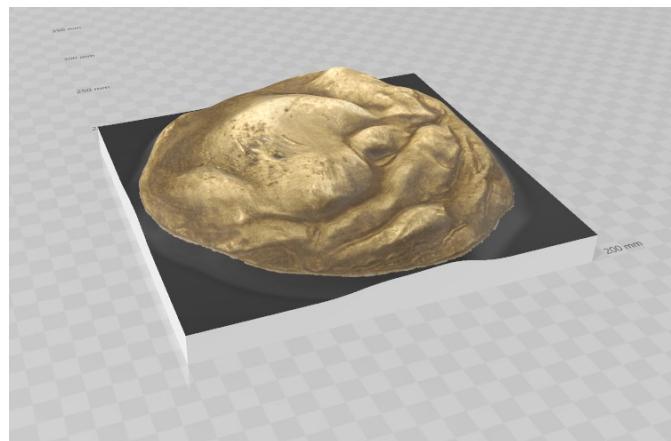


Abbildung 6: Die Vorderseite der betrachteten Münze aus Manching nach dem Erstellen des 3D Modells mit Hilfe von MS 3D Builder

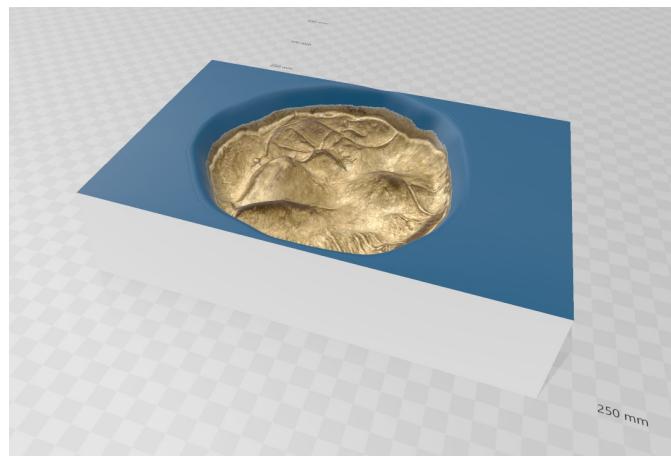


Abbildung 7: Die Rückseite der betrachteten Münze aus Manching nach dem Erstellen des 3D Modells mit Hilfe von MS 3D Builder

4.3 Anwendung auf Coin 3101

Um einen vergleich der Tools sinnvoller zu machen, wird Coin 3101, welcher unter dem Link <https://www.corpus-nummorum.eu/coins/3101> bei Corpus Nummorum zu finden ist, genutzt. Analog zu den Manchinger Münzen wird auch hier kurz der Kontext der Münze eingeführt. Danach wird das Bild der Münze mit den gleichen Tools wie bei der Manchinger Münze von 2D zu 3D transformiert.

4.3.1 Einführung Coin 3101

Bei Coin 3101 handelt es sich um eine Münze von ca. 297-281 v. Chr., welche dementsprechend dem Hellenismus unter Herrscher Lysimachos entstammt. [9] Auf der Münze ist auf der Vorderseite der "Kopf des vergöttlichten Alexander des Großen nach rechts mit Diadem und Ammonshorn" [9] zu sehen. Auf der Rückseite ist Äthena (Nikephoros) nach links thronend mit Nike und Speer" [9] und dem Schild hinten zu sehen. [9] Die Münze hat einen Durchmesser von 20mm, wiegt im Durchschnitt 8.51g und besteht aus Gold. [9] Die Münze wurde gewählt, da sie im Vergleich zu den Manchinger Münzen relativ simpel und akkurat zu erkennen ist und somit der Transformationsprozess unterschiedlich ist. Gerade durch die Form und etwaige Unförmigkeiten in den Manchinger Münzen ist dies erkennbar.

4.3.2 Image to STL

Als erstes Tool zur Transformation des 2D Bildes zu 3D wird auch für Coin 3101 die Website Image to STL genutzt. Um die Vorderseite zu transformieren wird als Tool Standard (Color) und als Color Conversion Grayscale genutzt. Sowohl für Width als auch für Height werden 100mm ausgewählt, was der besseren Veranschaulichung dient. Die Depth ist auf 2mm gesetzt, um keine Verzerrungen auf Grund des Bildes zu erhalten. Eine Basis muss auch für Coin 3101 nicht hinzugefügt werden, sodass der Basewert bei 0mm verbleibt. Als Transparency Conversion wird Black genutzt. Bei den Auswahkmöglichkeiten wird Lock Aspect Ratio, Invert Output und Enable Smoothing ausgewählt. Das Ergebnis des Transformationsprozesses ist in Abbildung 8 zu sehen.



Abbildung 8: Die Vorderseite der weiteren nach dem Erstellen des 3D Modells mit Hilfe von ImageToSTL

Für die Transformation der Rückseite von 2D zu 3D werden nahezu dieselben Einstellungen, wie für die Vorderseite verwendet. Nur bei der Depth wird statt 2mm, ein Millimeter mehr verwendet (also 3mm). Dies ist in diesem Fall besser, da die Prägung der Rückseite so besser dargestellt wird. Das finale 3D Modell der Rückseite ist in Abbildung 9 zu sehen.



Abbildung 9: Die Rückseite der weiteren nach dem Erstellen des 3D Modells mit Hilfe von ImageToSTL

4.3.3 MS Builder

Als zweites Tool zur Transformation des 2D Bildes von Coin 3101 zu einem 3D Modell, wird wieder analog zu der Manchinger Münze, der Microsoft 3D Builder verwendet. Um die Rückseite zu transformieren wird als Methode die Höhenkarte verwendet. Die Ebenen, also die Anzahl der verwendeten Farben, ist auf 81 und die Geometriedetailebene durch die Einstellungsmöglichkeit Glatt auf 4 gesetzt. Die Funktion Invertieren ist eingeschaltet. Diese Einstellungen ergeben ein 3D Modell der Rückseite, welches in Abbildung 10 zu sehen ist.



Abbildung 10: Die Rückseite der weiteren nach dem Erstellen des 3D Modells mit Hilfe von MS 3D Builder

Zur Transformation der Vorderseite wird auch die Methode der Höhenkarte genutzt. Die Ebenen werden auf 75 und der Glatt Wert auf 6 gesetzt. Neben der Funktion Invertieren, wird für die Vorderseite auch die Funktion Texturen eingeschaltet. Das Resultat der Transformation ist in Abbildung 11 dargestellt.

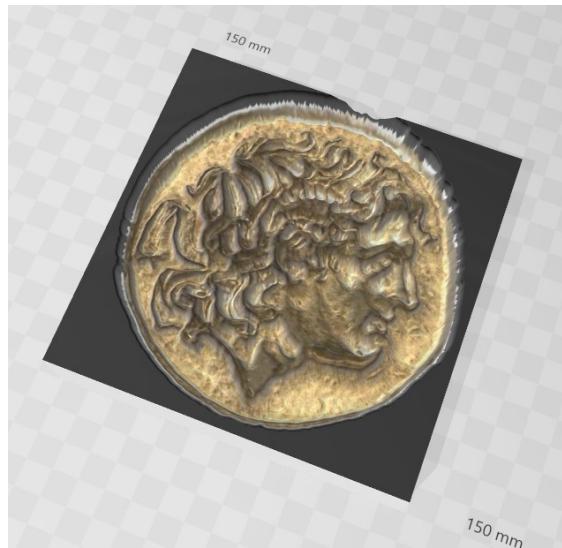


Abbildung 11: Die Vorderseite der anderen Münze nach dem Erstellen des 3D Modells mit Hilfe von MS 3D Builder

4.4 Bewertung

Die Bewertung der zwei Ansätze ist sehr komplex. Dies ist durch verschiedene Faktoren begründet. Gerade bei den Münzen aus Manching ist das offensichtliche Problem, dass die Münze, von welcher die Fotos gemacht wurden, nicht mehr vorhanden ist und somit ein Vergleich des Modells nicht möglich ist. Hier braucht es einen Domain Experten, welcher eine bessere Einschätzung vornehmen könnte.

Aber selbst wenn ein 3D Modell der Münze vorhanden sein sollte, wird ein Vergleich nur bedingt möglich sein, da die in dieser Arbeit erstellten Modelle, die Münze lediglich einseitig betrachten und dazu auch noch, bis auf bei dem Modell, welches mit dem Online Tool für die Manchiner Münze erstellt wurde, einen quadratischen Rand hinzufügen. So bedeutet ein sinnvoller Vergleich noch fast immer Vorarbeit mit einem Bearbeitungsprogramm, wie zum Beispiel Blender.

Dennoch ist ein Vergleich der Modelle anhand des Aussehens durchaus möglich. Gerade bei den Manchinger Münzen ist der Unterschied zwischen dem Online Tool und Microsoft 3D Builder offensichtlich. So ist die Glättung bei dem Modell, welches mit dem 3D

Builder erstellt wurde, stärker und das Modell sieht somit wohlgeformter aus. Dies gilt sowohl für die Vorder- als auch die Rückseite. Dadurch scheint das Modell gegenüber jenem, welches mit dem Online Tool erstellt wurde, realistischer und näher an den gegebenen Bildern. Der Vorteil beim Onlinetool imagetostl ist jedoch, dass für das Modell der Vorderseite kein quadratischer Rand hinzugefügt wird. So ist die Form näher am Originalfoto.

Der Vergleich der Modelle für Coin 3101 fällt deutlich schwerer und ist für einen nicht Domain Experten nicht sinnvoll möglich. Es ist jedoch auffällig, dass beide Tools im finalen Modell sehr ähnlich aussehen.

5 Weitere verfolgte Ansätze

Neben den oben erwähnten Ansätzen, wurden im Forschungsprozess weitere Programme und Möglichkeiten zum Transformieren betrachtet, welche jedoch nicht zum Erfolg geführt haben. Diese sind zum Beispiel:

- **COLMAP:**

Bei COLMAP handelt es sich um eine Pipeline für Structure-from-Motion und Multi-View Stereo mit einer graphischen und einer Commandline Oberfläche.[\[16\]](#) [\[17\]](#) Es lassen sich damit unter anderem Rekonstruktionen von 3D Modellen durchführen anhand mehrerer Bilder. [\[17\]](#) [\[16\]](#)

In diesem Forschungsprojekt funktioniert das Programm leider nicht, da es zwar die Features aus den Bildern extrahieren kann, jedoch dann das Feature Matching keine Resultate liefert. Dies bedeutet, dass COLMAP die Bilder nicht über die Features verbunden bekommt und somit auch kein 3D Modell erstellt werden kann. Dies sowohl für die Manchinger Münze, als auch Coin 3101.

- **Meshroom:**

Meshroom ist ein freies und OpenSource 3D Rekonstruktionstool, welche auf dem AliceVision Framework, einem Photogrammetrie Computer Vision Framework, basiert. [\[3\]](#) In der Anwendung auf die Münzen findet auch die Pipeline von Meshroom zuerst Features, jedoch kann auch diese Pipeline keine Matches im Schritt Feature Matching finden, sodass auch hier keine 3D-Rekonstruktion für eine der Münzen durchgeführt werden kann.

- **Regard3D:**

Bei Regard3D handelt es sich um ein freies und Open-Source Structure-from-Motion Programm. Dieses konvertiert Fotos von einem Objekt, welches aus verschiedenen Winkeln aufgenommen wurde, zu einem 3D Modell. [\[15\]](#)

Regard3D funktioniert für dieses Forschungsprojekt nicht, da zwei Input-Bilder für das Programm zu wenig sind. Dieses benötigt mehr Bilder aus verschiedenen Winkeln, um ein 3D-Modell zu erstellen. Somit funktioniert es, sowohl für die Manchinger Münzen, als auch für Coin 3101 nicht.

- **VisualSFM:**

VisualSFM ist eine GUI (Graphical User Interface) Applikation zur 3D Rekonstruktion von Bildern, welche Structure-from-Motion nutzt. [\[8\]](#)

Auch bei diesem Tool gibt es wieder das Problem, dass zwei Bilder zu wenig sind.

Es werden zwar Matches gefunden, allerdings kann die Rekonstruktion nicht durchgeführt werden.

Ein weiterer Ansatz zur Transformation ist kein fertiges Programm, wie die vier obigen, sondern aus einem Ansatz entstanden, welcher mit dem MakeLab (https://www.uni-frankfurt.de/103729512/MakeLab___Offene_Werkstatt__3D_Labor_und_Makerspace) der Goethe Universität entwickelt wurde. Die Idee besteht darin, das Bild zuerst von png to svg zu konvertieren. Dies hat den Vorteil, dass es sich beim svg-Format, um ein Format handelt, wo das Bild aus mathematischen Netzwerken aufgebaut wird (siehe hierzu auch Abschnitt 2). So eignet sich eine Vektorgrafik dazu, diese durch XML zu beschreiben, sprich also eine Vektorgrafik durch Konvertierung in ein strukturiertes Format, wie XML, zu bringen. Nun kann das XML mit Hilfe eines Parsers, welcher üblicherweise in C# geschrieben ist, in Unity importiert werden und so ein 3D Modell aus dem XML erzeugt werden. Bei Unity handelt es sich um eine "*Echtzeit-Entwicklungsplattform*" [20], welche es unter anderem ermöglicht 3D Modelle zu entwickeln und diese dann in, zum Beispiel Computerspielen zu nutzen. [20] Somit ist das oben erwähnte Parsing auch für Unity relevant, jedoch nicht nativ verfügbar. Somit muss der Parser eigenständig erstellt werden. Das Problem mit diesem Ansatz liegt jedoch schon darin, dass die Konvertierung von SVG to XML, nicht trivial ist. Das heißt, dass nicht einfach ein Online Tool verwendet werden kann, da sonst zwar ein XML erstellt wird, dieses jedoch nicht die Beschreibung der Vektoren enthält. Somit kann Unity dann im weiteren Verlauf nichts sinnvolles darstellen. Die Darstellung der Münze in XML sollte aber dennoch möglich sein, nur würde dies den Rahmen des Forschungsprojektes überschreiten, da diese Konvertierung definitiv nicht, von einem/r Nicht-IT-Mitarbeiter*in durchgeführt werden kann.

6 Fazit

6.1 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass trotz vieler verschiedener Ansätze, verhältnismäßig Wenige funktioniert haben, was auch in Abschnitt 5 ersichtlich ist. Oftmals ließe sich dort mehr herausholen, wenn es mehr Bilder aus verschiedenen Winkeln geben würde und bestenfalls noch die Spezifikationen der Fotos, wie zum Beispiel die Brennweite, bekannt wären. Wichtig ist vor allem dabei jedoch die Anzahl und nur bedingt der Punkt der verschiedenen Winkel. Ein Versuch mit zwei Bildern, welche eine Münze und dieselbe dann um 90° gedreht zeigte, war auch nicht erfolgreich auf Grund der Anzahl der Bilder. Mehr Bilder heißt in diesem Fall mindestens fünf, jedoch wären mehr besser, um die Funktionalität bestmöglich zu garantieren. Dies erschwert zwar die Berechnung, gibt den Tools aber mehr Möglichkeiten, übereinstimmende Features zu finden. So würden die automatisierten Tools dann mit großer Wahrscheinlichkeit ein 3D-Modell erstellen können.

Trotz der vielen nicht funktionierenden Ansätze, haben die beiden funktionierenden Ansätze passable Ergebnisse geliefert, welche simpel zu erstellen und verstehen sind. Hierzu trägt auch die einfache Bedienung der Tools bei. Um einen ersten Eindruck der 3D Modelle zu erhalten, eignen sich die Ansätze durchaus und können auch zur Veranschaulichung dienen. Dennoch sind sie für einen Druck suboptimal, da jeweils immer nur eine Seite der Münze pro Modell dargestellt ist und somit keine Münze ohne aufwändige Kombinationsarbeit der Modelle gedruckt werden kann. Durch diesen Punkt ist auch ein Vergleich der Ähnlichkeit des erstellten Modells, mit einem eventuell vorhandenen 3D-Modell einer Münze, nur schwer möglich. Dies ist auch darin begründet, dass der Rand und auch die Form der Münze erst mit einem 3D-Bearbeitungstool bearbeitet werden müssten. Dennoch wäre diese Kombinationsarbeit eine Möglichkeit der Optimierung, auch wenn sie aufwändig ist. Weitere Optimierungen und Ansätze folgen in Unterabschnitt 6.2.

6.2 Ausblick

In der Masse der vorhandenen Programme, ist es nicht möglich alle Möglichkeiten zu betrachten. Der Fokus in diesem Forschungsprojekt liegt darauf eine möglichst simple Möglichkeit zu finden, aus den Bildern der Münzen, dreidimensionale Modelle zu erstellen. Dies auch mit dem Hintergrund die Transformation für Nicht-IT-Spezialisten, wie Mitarbeiter*innen der Münzsammlung, einfach möglich zu machen. Wenn man optimallere Ergebnisse erzeugen möchte, bietet es sich an, das Modell mit Blender selber zu

bauen. Blender ist eine ”*open source 3D creation suite*”[7]. Hierzu benötigt der Ersteller jedoch Erfahrung und Vorwissen im Tool. Darüber hinaus kostet das Erstellen einiges an Zeit, sodass dieser Ansatz nicht für die Mitarbeiter*innen der Münzsammlung sinnvoll ist. Gleiches gilt auch für den in Unterabschnitt 6.1 bereits erwähnten Ansatz der Kombination der für Vorder- und Rückseite erstellten Modelle in dieser Arbeit. Auch dies ist mit Blender möglich, bedarf jedoch auch Kenntnis über das Tool.

Ein weiterer Ansatz wäre das Erstellen einer 3D Aufnahme mit Hilfe eines 3D Scanners. Dort wird mit Hilfe von Kameras, ein Objekt dreidimensional eingescannt, um dann ein Modell zu erhalten. Dies ist jedoch für die Manchinger Münzen nicht mehr möglich, da diese, bisher in ihrer Ursprungsform, wie in Unterabschnitt 4.2.1 erläutert, nicht wieder aufgefunden werden konnten. Dennoch bietet dieser Ansatz in Kombination mit der Nachbearbeitung mit Blender für vorhandene Münzen die besten Ergebnisse, ist jedoch auch mit dem größten Aufwand verbunden.

Darüber hinaus gibt es, wie in Unterabschnitt 6.1 bereits erläutert, die Möglichkeit mehr Bilder aus verschiedenen Winkeln zu nutzen, um die in Abschnitt 5 erläuterten Tools, verwenden zu können. Diese liefern dann auch ein vollständiges 3D Modell und nicht eines für die Vorder- und eines für die Rückseite. Dadurch wäre dann auch ein Ähnlichkeitsvergleich möglich. Dieser Ansatz ist verhältnismäßig simpel, wenn die Münzen noch vorhanden sind. Leider ist auch dies mit den Manchinger Münzen somit (zumindest nach aktuellem Stand) nicht mehr möglich.

Ein weiterer Ansatz wäre die Nutzung von Heightmaps. Die Idee entstammt aus der Konstruktion von 3D Modellen aus OpenStreetMap Karten und der Darstellung dieser in Unity. So lassen sich dann 3D-Karten von Orten ausdrucken. In diesem Feld gibt es aktuell Forschungen, um auch aus Bildern Heightmaps zu erstellen. Dennoch gibt es momentan noch kein Tool, welches dies gut genug tut, um brauchbare Heightmaps aus den Münzbildern zu erstellen.

Es ist also offensichtlich, dass es für den Prozess der Transformation unzählige Ansätze und Möglichkeiten gibt, von welchen manche schwerer und manche einfacher sind. Darüber hinaus findet in diesem Feld auch weiterhin einiges an Forschung statt, sodass es vor allem auch durch Generative AI, in den nächsten Jahren dazu kommen kann, dass der Transformationsprozess für jedermann schnell und einfach durchgeführt werden kann.

Die Modelle und erzeugten Bilder können im folgenden Ordner abgerufen werden:
https://github.com/makr173/forschungsprojekt_2d_to_3d

Abbildungsverzeichnis

1	Vorderseite Münze Manching	10
2	Rückseite Münze Manching	10
3	Zuschnitt der Vorderseite	10
4	Vorderseite mit Image to STL	11
5	Rückseite mit Image to STL	11
6	3D Modell Vorderseite MS 3D Builder	12
7	3D Modell Rückseite MS 3D Builder	13
8	3D Modell Vorderseite ImageToSTL	14
9	3D Modell Rückseite ImageToSTL	15
10	3D Modell Rückseite MS 3D Builder	15
11	3D Modell Vorderseite MS 3D Builder	16

Tabellenverzeichnis

Literatur

- [1] Adobe. *Dithering in Webbildern*. 2021. URL: <https://helpx.adobe.com/de/photoshop-elements/using/dithering-web-images.html> (besucht am 15.06.2023).
- [2] Adobe. *SVG: Verwendung und Eigenschaften des Dateiformats*. 2023. URL: <https://www.adobe.com/de/creativecloud/file-types/image/vector/svg-file.html#1> (besucht am 01.08.2023).
- [3] AliceVision. *Meshroom*. 2023. URL: <https://alicevision.org/#meshroom> (besucht am 28.07.2023).
- [4] Bayerisches Landeskriminalamt. *Festnahme von vier Tatverdächtigen – vermutliche Teile des Goldfundes sichergestellt*. 2023. URL: <https://www.polizei.bayern.de/aktuelles/pressemitteilungen/052389/index.html> (besucht am 27.07.2023).
- [5] Bayerisches Landeskriminalamt. *Größter keltischer Goldfund des 20. Jahrhunderts entwendet! – Pressekonferenz*. 2022. URL: <https://www.polizei.bayern.de/aktuelles/pressemitteilungen/039360/index.html> (besucht am 30.05.2023).

- [6] bitfab. *How to transform 2D images into 3D printable images*. 2020. URL: <https://wikifactory.com/+bitfab/stories/how-to-transform-2d-images-into-3d-printable-images> (besucht am 15.06.2023).
- [7] Blender. *The Freedom to Create*. 2023. URL: <https://www.blender.org/about/> (besucht am 27.07.2023).
- [8] Changchang Wu. *VisualSFM : A Visual Structure from Motion System*. 2015. URL: <http://ccwu.me/vsfm/index.html> (besucht am 28.07.2023).
- [9] Corpus Nummorum Online. *cn coin 3101, in: Corpus Nummorum*. 2023. URL: https://www.corpus-nummorum.eu/CN_3101 (besucht am 18.07.2023).
- [10] Dr. Bernward Ziegaus (Archäologische Staatssammlung München). *Keltischer Goldschatz - Numismatischer Überblick*. 2023. URL: <https://www.museum-manching.de/index.php?id=68,34> (besucht am 30.05.2023).
- [11] Dr. Matthias Leicht (Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege Ingolstadt). *Keltischer Goldschatz - Fundbergung*. 2023. URL: <https://www.museum-manching.de/index.php?id=69,34> (besucht am 30.05.2023).
- [12] Dr. Susanne Sievers (Römisch-Germanische Kommission Frankfurt/Main). *Keltischer Goldschatz - Allgemeine Einordnung*. 2023. URL: <https://www.museum-manching.de/index.php?id=65,34> (besucht am 30.05.2023).
- [13] G. Parsons, J. Rafferty. *Tag Image File Format (TIFF) - image/tiff MIME Sub-type Registration*. 2022. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3302> (besucht am 28.07.2023).
- [14] Redaktion AMEXcited. *Futter für den Drucker: Tolle Webseiten mit 3D-Vorlagen*. 2023. URL: <https://www.americanexpress.com/de-de/amexcited/explore-all/technology/3d-drucker-webseiten-mit-3d-vorlagen-22155> (besucht am 28.07.2023).
- [15] Regard3D. *Regard3D*. 2023. URL: <https://www.regard3d.org/> (besucht am 28.07.2023).
- [16] Johannes Lutz Schönberger und Jan-Michael Frahm. „Structure-from-Motion Revisited“. In: *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2016.
- [17] Johannes Lutz Schönberger u. a. „Pixelwise View Selection for Unstructured Multi-View Stereo“. In: *European Conference on Computer Vision (ECCV)*. 2016.

- [18] StereoLithography Interface Specification. *STL (STereoLithography) File Format Family*. 2019. URL: https://w3techs.com/technologies/overview/image_format (besucht am 28.07.2023).
- [19] The GIMP Team. *GIMP - GNU Image Manipulation Program*. 2023. URL: <https://www.gimp.org/> (besucht am 15.06.2023).
- [20] Unity. *MACHEN SIE MEHR MIT UNITY*. 2023. URL: <https://www.regard3d.org/> (besucht am 31.07.2023).
- [21] W3 Techs. *Usage statistics of image file formats for websites*. 2023. URL: https://w3techs.com/technologies/overview/image_format (besucht am 28.07.2023).