

3D-Konstruktion und Visualisierung der eigenen Schule



Begleitet durch Herrn Prof. Dr. Guenther-Diringer und Herrn Berner

Justin Rüdiger, Kurs KA 16

Abstract

Restaurants, venues, and sometimes whole cities can be visited by using your phone and a service like Google Street View. Therefore it allows you to get an overview of the place you might want to visit. This project focuses on how to make this service available for schools too, by creating a 3D replica of the school building and placing it into an augmented reality app. This project also concentrates on providing a possible workflow, independent from specific software products.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | Methoden und Werkzeuge | 4 |
| 2.1 | Aufbereitung der Geodaten | 4 |
| 2.2 | Modellierung und Texturierung | 5 |
| 2.2.1 | Vorbereitung | 5 |
| 2.2.2 | Modellierung | 6 |
| 2.2.3 | Texturierung | 6 |
| 2.2.4 | Modellierungssoftware | 6 |
| 2.2.5 | UV Unwrap | 7 |
| 2.3 | Augmented Reality | 8 |
| 2.3.1 | Funktionsweise | 8 |
| 2.3.2 | Umsetzung | 8 |
| 3 | Umsetzung und Ergebnis | 9 |
| 3.1 | Aufbereitung der Geodaten | 9 |
| 3.2 | Modellierung | 10 |
| 3.3 | Texturierung | 13 |
| 3.4 | Import in Unity | 14 |
| 3.5 | Augmented Reality | 14 |
| 4 | Ausblick | 15 |
| 5 | Danksagung | 16 |
| 6 | Selbstständigkeitserklärung | 18 |

1 Einleitung

In der heutigen Welt spielt sich Vieles digital ab. Statt in einen Laden zu gehen, wird häufig nur noch bestellt, statt sich im Büro zu treffen, werden Online-Meetings veranschlagt und statt einen Urlaub im Reisebüro zu buchen, werden Hotels im Internet angeschaut und gebucht. Es ist für viele völlig normal, sich einen Urlaubsort, Restaurants oder Sehenswürdigkeiten vorher im Internet in dreidimensionaler Ansicht anzuschauen, um einen Überblick zu bekommen, ganz so, als wäre man dort.

Also warum sollten Schulen einen solchen Dienst nicht auch anbieten? Denn so können Familien im Vorhinein einen Überblick und zusätzliche Informationen über die zukünftige Schule bekommen. Ebenso kann ein 3D-Modell der Schule bei zukünftigen Planungen, wie der Umgestaltung des Schulhofs oder dem Bau eines Neubaus helfen.

Diese Arbeit beschäftigt sich deshalb damit, wie man diesen Dienst in Form einer Augmented Reality Web Application, welche einem erlaubt ein 3D-Modell des Schulgebäudes, das auf der Grundlage von dessen Geodaten erstellt wurde, von allen Seiten zu betrachten, so als würde es in Miniaturformat vor einem stehen.

2 Methoden und Werkzeuge

2.1 Aufbereitung der Geodaten

Um ein möglichst realitätsnahes 3D-Modell anzufertigen, werden die Geoinformationsdaten des Gebäudes als Grundlage für die Modellierung verwendet. Diese Daten bekommt man vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) kostenlos oder man erwirbt sie. Allerdings kann man das Gebäude auch selbst mit einer Vermessungsdrohne vermessen. [[1]]

Die Daten werden durch Laserscans der Oberfläche erfasst. Bei einem Laserscan bewegt sich ein in einem Flugzeug oder an einer Drohne befestigter Laser über den zu vermessenden Bereich und misst dabei, mit Hilfe einer Laufzeitmessung eines reflektierten Lichtstrahls, den Abstand zu dem Messpunkt. Zusammen mit der Position und dem Winkel des Messkopfes lässt sich die Koordinate des Punktes berechnen. Jeder dieser Punkte hat daher eine x- und y-Koordinate sowie eine Höhe in Metern über dem Meeresspiegel. Mit diesem System lässt sich jedem Punkt auf der Erde eine eindeutige Koordinate zuordnen. Die Genauigkeit liegt dabei im Bereich weniger Millimeter bis Zentimeter. [[2]] [[3]]

Eine Liste dieser Weltkoordinaten des zu modellierenden Objektes wird dann in einer Geoinformationssystemsoftware (GIS) geöffnet werden. Diese visualisiert die gemessenen Punkte in Form einer Wolke (Abb. 1). In dieser Arbeit wird die Software *QGIS* verwendet, da diese kostenfrei erhältlich ist. [[4]]

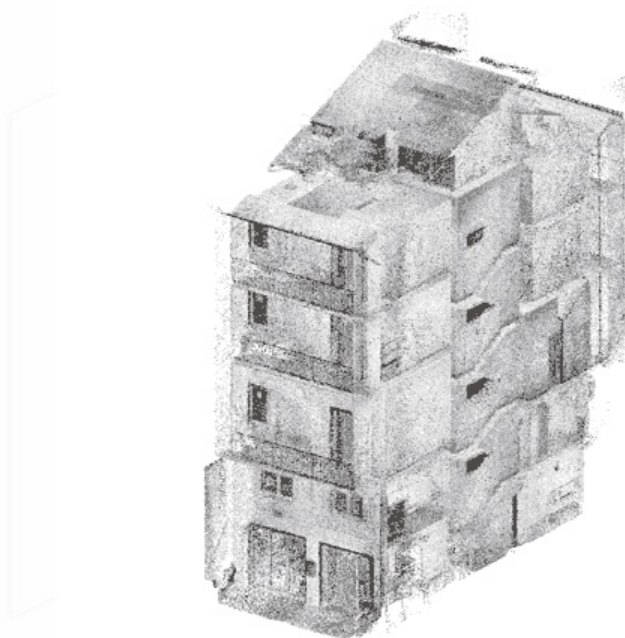


Abbildung 1: Beispiel einer Punktwolke [[5]]

2.2 Modellierung und Texturierung

2.2.1 Vorbereitung

Bei der Modellierung des Gebäudes versucht man, dass reale Gebäude in einem 3D Modellierungsprogramm zu rekreieren. Als Grundlage dienen die zuvor erfassten Geodaten. Dazu werden aus der Punktwolke in der Geoinformationssystemsoftware die Eckpunkte der Grundfläche des Gebäudes sowie die Eckpunkte des Daches ausgewählt. Diese werden dann in die 3D Modellierungssoftware übernommen, indem man einen der gemessenen Punkte der Grundfläche als Bezugspunkt wählt. Dieser bildet beim Modellieren den Ursprung mit den Koordinaten $(0,0,0)$. Alle anderen gewählten Messwert Punkte werden in Relation zu diesem im Maßstab 1:1 in die Modellierungssoftware übernommen. Das bedeutet, eine Einheit in der Modellierungssoftware entspricht einem Meter in der Realität. Damit lässt sich die Höhe des Daches des realen Gebäudes direkt aus den Daten des GIS-Systems ermitteln.

2.2.2 Modellierung

Zuerst werden die Punkte, die die Grundfläche des Gebäudes repräsentieren, zu einer Fläche verbunden, um aus den in die Modellierungssoftware übernommenen Punkte das Gebäude zu konstruieren. Danach wird diese um die Höhe des Gebäudes ohne das Dach extrudiert, das heißt aus der 2-dimensionalen Fläche wird ein 3-Dimensionaler Körper erzeugt. Danach werden die übernommenen Messwert-Punkte des Daches zu einem 3-Dimensionalen Körper verbunden und dem Gebäudegrundkörper hinzugefügt.

Das Verbinden von Punkten zu einem Körper kann man sich vorstellen, als würde man nur die Eckpunkte eines Würfels haben und diejenigen Punkte, welche zu einer Seite des Würfels gehören, mit einer Fläche verbinden.

Nachdem so die grobe Form des Gebäudes entstanden ist, kann man es um Details wie Türen und Fenster ergänzen. Dazu fertigt man Negativabdrücke eines vermessenen Fensters oder einer vermessenen Tür mit dem entsprechenden Maßstab an. Dieser Abdruck dient als eine Art Stempel. Man dupliziert den Abdruck und platziert ihn am Modell an einer zuvor am Gebäude abgemessenen Stelle und subtrahiert ihn vom Modell. Das heißt, die Stellen, an denen sich das Modell und der Negativabdruck überlappen, werden vom Modell entfernt, ganz so, als hätte man mit dem Abdruck auf das Modell gestempelt. Das lässt sich dann für alle gewünschten Details wiederholen.

2.2.3 Texturierung

Abschließend wird das Modell texturiert, das heißt, den noch farblosen Flächen des Modells werden verschiedene Materialien zugewiesen. Diese Materialien können eine einfache Farbe sein oder selbst eine Textur haben, um eine Fläche zum Beispiel mit einem Dachziegelmuster oder Backsteinmuster zu füllen. Der Vorteil der Verwendung einer Textur gegenüber einer einfachen Farbe besteht darin, dass erstere auch Informationen wie die optischen Reflexionseigenschaften, Transparenz oder Oberflächenstrukturmerkmale beschreibt und von der Software verwendet wird, um das Modell realistisch dazustellen. [[6]]

2.2.4 Modellierungssoftware

Es gibt eine Vielzahl an Modellierungssoftwares, beispielsweise Open-Source-Software *Blender* oder das hier benutzte, lizenzpflichtige *3ds Max* der Firma Autodesk. Welches dieser Programme bei der Modellierung und Texturierung zum Einsatz kommt spielt dabei keine Rolle, da sich die Programme in ihrem Funktionsumfang kaum unterscheiden.

Blender ist ein Open-Source Programm mit einer großen Vielfalt an Features, welches häufig von Hobbykünstlern verwendet wird, wohingegen *3ds Max*, Schüler und Studenten ausgenommen, kostenpflichtig ist und häufig in der Industrie verwendet wird. [[7]] [[8]]

2.2.5 UV Unwrap

Um das Modell nach der Modellierung mitsamt den Texturen zu exportieren, muss letztere zuerst “entfaltet” werden. Das heißt, die Textur wird seitenweise auf ein 2-dimensionales Bild platziert, während die Seite des Modells den Ort der Textur auf dem Bild speichert. Diesen Prozess übernimmt die Modellierungssoftware, so dass man am Ende nur noch überprüfen muss, dass keine der Texturen sich überlappen. [[6]]

2.3 Augmented Reality

2.3.1 Funktionsweise

Eine Technologie namens *Augmented Reality*, also erweiterte Realität, wird verwendet um ein 3D-Modell von allen Seiten betrachten zu können, so als würde es vor einem stehen. Dabei handelt es sich um eine computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung. [[9]]

Damit die Illusion des vor einem stehenden 3D-Modells funktioniert, wird auf dem Bildschirm das angezeigt, was die Handykamera sieht. Dadurch erscheint es so, als würde man durch den Handybildschirm wie durch ein Fenster schauen. Dann wird darüber das Modell gezeichnet.

Damit es aber wirklich so scheint, als würde das Modell vor der Kamera stehen, muss es beim Bewegen des Handys immer an derselben Stelle im abgebildeten Raum bleiben. Um das zu erreichen, berechnet die App die Bewegung des Handys in einem Koordinatensystem, welches gegenüber der aufgenommenen Umgebung fixiert ist. Das bedeutet, wenn sich das Handy um einen Meter nach rechts bewegt, bewegt sich ein in der Applikation definiertes Kameraobjekt im Koordinatensystem ebenfalls um eine Einheit nach rechts. Dadurch verschiebt sich aus der Sicht des Kameraobjekts das darzustellende, fixe Objekt nach links. So entsteht der Eindruck, dass sich das darzustellende Objekt gegenüber der abgebildeten Umgebung nicht bewegt. Ganz analog verhält es sich mit der Rotation des Handys.

Damit diese Bewegungsimitation möglichst genau funktioniert, werden bestimmte Punkte von der Handykamera verfolgt und ihre Bewegung aufgezeichnet sowie der Gyrosensor zur Lagebestimmung der Kamera verwendet. Dies wird auch als Tracking bezeichnet.

Im Zentrum des Koordinatensystems steht das 3D-Modell. Aus der Perspektive des Kameraobjektes wird das 3D-Modell über das zuvor aufgenommene Kamerabild des Handys gerendert, das heißt, es wird darüber gezeichnet. [[10]]

2.3.2 Umsetzung

In der Praxis bieten sich Spiele Engines für die Umsetzung an, da sie bereits Kameraobjekte bereitstellen, die 3D-Modelle in einem Koordinatensystem rendern und eine fertige Applikation exportieren können.

Zu populären Spiele Engines zählen die *Unreal Engine* der Firma *Epic Games*, *Unity* der Firma gleichen Namens und *Godot*, welches ein Open-Source Produkt ist. Genau wie bei der Wahl der Modellierungssoftware spielt es auch bei der Wahl der Spiele Engine keine große Rolle, welche von ihnen zum Einsatz kommt, da alle das fertige Projekt als Webapplikation exportieren können und sich *Augmented Reality* in allen mithilfe von Bibliotheken oder bereits vorhandenen Features umsetzen lässt. In dieser Arbeit wird *Unity* verwendet, da bereits gute Erfahrungen im Umgang damit vorhanden sind.

Unity enthält selbst bereits eine AR-Bibliothek, welche allerdings nicht in Webapplikationen funktioniert, deshalb wird auf die alternative Bibliothek *Zappar* von *Zappworks* zurückgegriffen. *Zappar* hat eine kostenfreie Version, deren Funktionsumfang zwar eingeschränkt ist, aber völlig genügt. [[11]] [[12]]

3 Umsetzung und Ergebnis

3.1 Aufbereitung der Geodaten

Nachdem man die Geodaten in Form einer Punktwolke in *QGIS* importiert hat, lässt sich durch die hohe Dichte der Punkte bereits deutlich ein Gebäude erkennen, das nun zu einem 3D-Modell umgesetzt werden soll.

Dazu sucht man sich markante Punkte heraus, darunter fallen die Eckpunkte des Gebäudes sowie des Daches, da dies oft hervorsteht und man dessen generelle Form benötigt.

Ebenso wichtig ist, aus diesen Punkten die Höhe des Gebäudes bis zum Dach zu bestimmen. Diese errechnet man durch das subtrahieren der Höhe über dem Meeresspiegel eines Punktes am Fuße des Gebäudes von der Höhe eines Punktes am Dachansatz.

Danach sucht man sich einen der unteren Eckpunkte heraus, dieser nimmt die Rolle des Nullpunktes in der Modellierung ein. Ausgehend von diesem Punkt werden die Koordinaten der anderen Punkte für die Modellierung definiert, indem man die X-, Y-, Z-Komponenten des gewählten Nullpunktes von denen des gewählten Eckpunktes abzieht. Am Ende hat man dann einen Datensatz an Messpunkten, der für die Modellierung verwendet werden kann.

3.2 Modellierung

Im Modellierungsprogramm *3ds Max* wird dieser Datensatz importiert. Die Punkte, welche die Grundfläche beschreiben, werden miteinander mit Geraden oder im Falle des Justus-Knecht-Gymnasiums mit Kurven, auf denen zur Beschreibung ebenfalls ein Punkt liegen muss, verbunden (Abb.2). Die sich daraus ergebende Grundfläche wird nun extrudiert. Dabei zieht man die Fläche senkrecht nach oben, wobei die Kanten eine Spur in der zusätzlichen Dimension hinterlassen. So entsteht der dreidimensionale Hauptkörper des Gebäudes (Abb. 3).

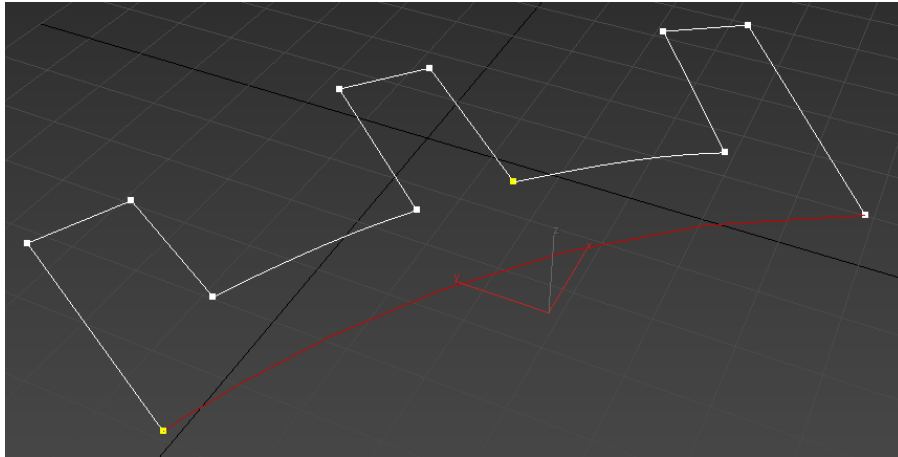


Abbildung 2: Grundfläche des Gebäudes

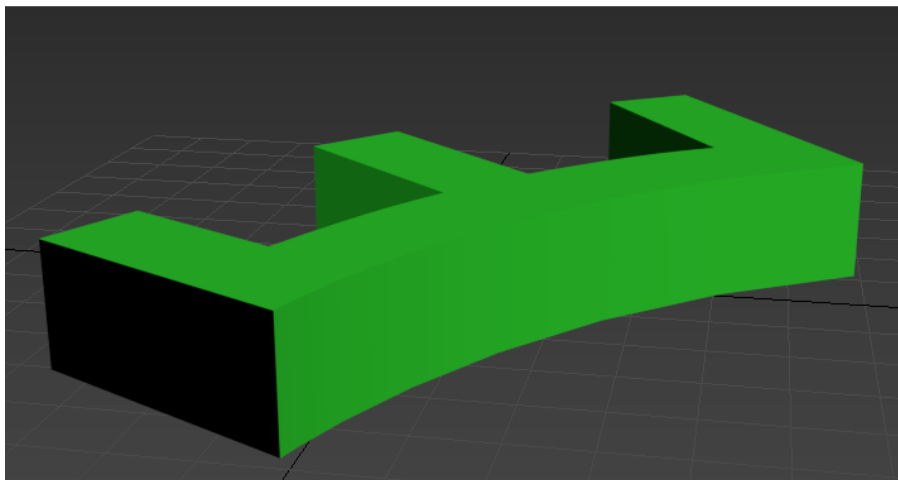


Abbildung 3: Extrudierte Grundfläche

Der nächste Schritt ist die Modellierung des Daches. Dazu wird die Oberseite des Modells gelöscht, da sie im weiteren Verlauf durch das Dach ersetzt werden soll.

Danach werden an der Oberkante neue Punkte hinzugefügt, welche um den Abstand des herausstehenden Teiles des Daches nach außen verschoben werden. Daraufhin werden diese mit den importierten Datensatz Punkten der Oberkante des Daches verbunden. Dadurch entsteht das vollständige Dach (Abb. 4).

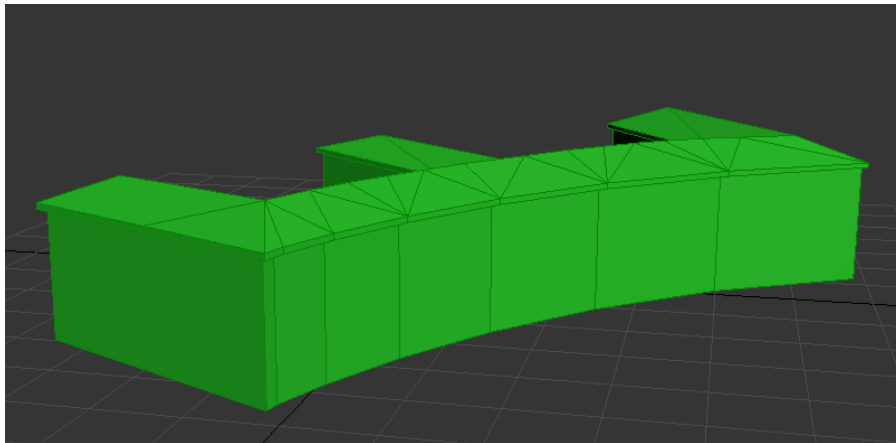


Abbildung 4: Gebäude mit Dach

Im Groben ist das Gebäude nun fertig und es kann durch Details wie Fenster und Türen verfeinert werden. Dazu werden zunächst die Maße eines Fensters vor Ort erfasst und in der Modellierungssoftware wird der Negativabdruck des Fensters angefertigt (Abb. 5).

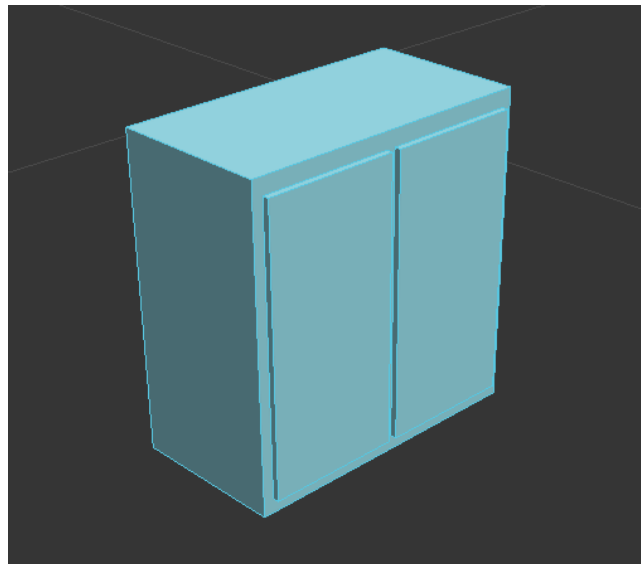


Abbildung 5: Negativabdruck eines Fensters

Diesen Negativabdruck dupliziert und platziert man diesen an die Stellen der Fassaden, an der im realen Gebäude ein Fenster oder eine Tür vorkommt. Um nicht jedes Fenster einzeln

platzieren zu müssen, verwendet man am besten die Array Funktion, welche ein ausgewähltes Objekt beliebig oft dupliziert und um den gemessenen Abstand der Fenster verschiebt. Da im Falle des Justus-Knecht-Gymnasiums die Fassaden gekrümmt sind, entsteht bei Anwendung dieses Verfahrens ein zusätzlicher Aufwand, da die Fassade leicht gekrümmt ist.

Die so platzierten Stempel für Fenster und Türen werden nun aus der Fassade ausgeschnitten, so dass die Abdrücke der Stempel als Fenster bzw. Türen auf der Modellfassade erscheinen (Abb. 6). Bei dieser Operation entstehen zusätzliche Punkte und Polygonflächen im Gebäudekörper. Dabei können Fehler in der Geometrie des Gebäudekomplexes auftreten, die manuell bereinigt werden müssen. Ein Beispiel eines solchen Artefakts kann man in Abb. 7 sehen.

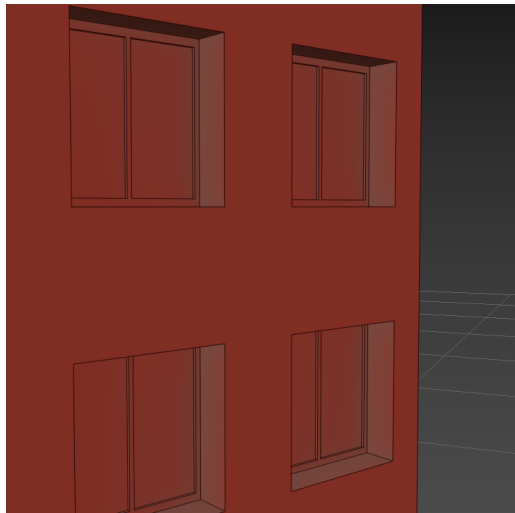


Abbildung 6: Seite des Gebäudes mit gestanzten Fenstern

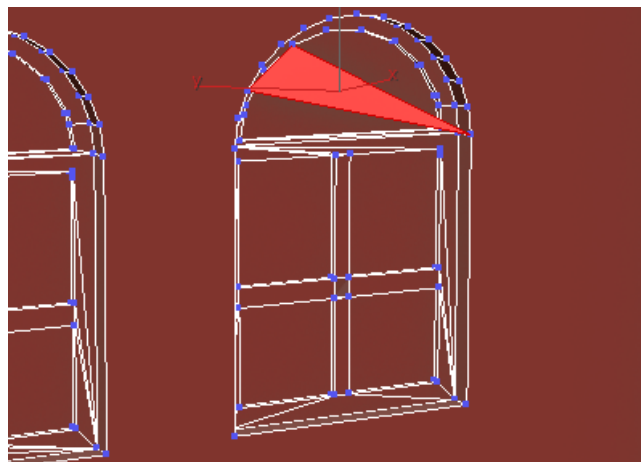


Abbildung 7: Das Artefakt bei den Türen

3.3 Texturierung

Nachdem man das Modell des Gebäudes angefertigt hat, wird es texturiert. Da das Dach und die Fensterrahmen eine andere Textur bekommen als die Fassade und Fenster durchsichtig und spiegelnd werden sollen, muss man diese Modellbereiche zuerst in verschiedene Gruppen einteilen. Das bedeutet, man muss alle Polygonflächen auswählen, die zusammen in eine Gruppe gehören und diesen einen spezifischen Material-Index zuordnen. Welchen Material-Index man für welche Fläche verwendet, spielt dabei keine Rolle, es ist nur wichtig, dass verschiedene Materialien im realen Gebäude unterschiedliche Materialindizes im Modell erhalten.

Es ist aufgrund der zeitlichen Effektivität günstig, zunächst allen Polygonflächen den Material-Index der Fenster- bzw. Türrahmen zuzuweisen. Die Material-Indizes der mit der Computermaus leichter auswählbaren Polygonflächen können anschließend verändert werden. So ist man nicht gezwungen, die sehr kleinen, schlecht selektierbaren Polygonflächen der Fenster einzeln auszuwählen und kommt dadurch schnell voran.

Im Material-Editor des Modellierungsprogramms werden nun den Material-Indizes Materialien zugeordnet.

Dabei handelt es sich um die Beschreibung der Materialeigenschaften der Oberfläche mit Hilfe von Bildern, die jeweils eine Eigenschaft darstellen. Damit lassen sich dann Oberflächenfarbe, Transparenz, Reflexionseigenschaften und Oberflächenstrukturen darstellen.

Mit diesen Materialien lässt sich so lange herumexperimentieren, bis das Ergebnis der Modellierungssoftware dem Aussehen des echten Gebäudes entspricht.

Den Fenstern des Justus-Knecht-Gymnasiums wurde ein Material mit Grau als Farbe sowie 40% Transparenz zugewiesen. In der Fassade kommt ein maisgelbes Material ohne Reflexion zum Einsatz. Da ein Dach aus Dachziegeln statt einer einfachen Farbe besteht, muss eine Dachziegel-Textur auf das Dach projiziert werden. Am Schluss hat man ein fertig texturiertes Gebäude (Abb. 8). Den Prozess der Texturierung kann man so beliebig detailliert und sorgfältig gestalten, wie die Nutzung des Modells es verlangt.

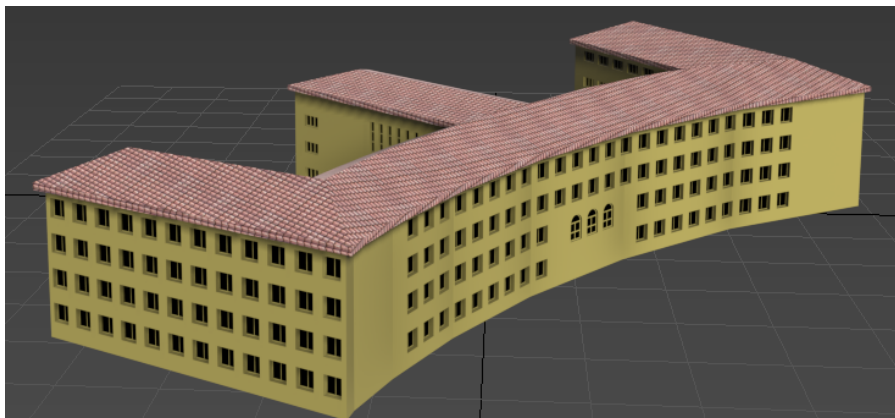


Abbildung 8: Fertig modelliertes und texturiertes Gebäude

3.4 Import in Unity

Sobald das Modell fertig modelliert und texturiert ist, wird das Objekt im Dateiformat .obj exportiert, einem Dateiformat, welches alle Spiele Engines importieren können. Die Textur wird mithilfe des UV Unwraps exportiert. [[13]]

Der anschließende Import in die Spiele Engine ermöglicht es, die dargestellte Szene durch Bilder oder Infotexte zu ergänzen. Dazu könnten zum Beispiel Klassenzimmer von innen dargestellt werden, nützliche oder geschichtliche Informationen angezeigt werden oder die dargestellte Szene insgesamt ausgeschmückt werden. Diese lassen sich der Szene in Form von neuen Objekten hinzufügen und an die gewünschte Stelle des Gebäudes platzieren. Abschließend kann man noch die Umgebung des Gebäudes mit Hilfe eines Geländes und Bäumen ausgestalten. (Abb. 9)



Abbildung 9: Bild des Modells aus Unity

3.5 Augmented Reality

Durch das Importieren der ausgewählten AR-Bibliothek kann man nun das Gebäudemodell in die virtuelle Umgebung einbauen. Die folgende Vorgehensweise kann sich je nach gewählter AR-Bibliothek unterscheiden.

Zuerst fügt man der Szene eine *Zappar Instant Tracking Target* sowie eine *Zappar Camera* hinzu. Danach wird die Kamera an den Ursprung des *Tracking Targets* gebunden

Da *Zappar* den Gyrosensor des Gerätes verwendet, lässt sich die App nicht direkt in *Unity* testen und muss vorher als WebGL exportiert werden.

Um die resultierende WebApp öffnen zu können, muss sie vorher über den Konsolenbefehl "zapworks serve -lan" für alle Geräte im selben Netzwerk sichtbar gemacht werden. Danach lässt sich die angezeigte Adresse auf einem mobilen Endgerät im Browser öffnen und ausführen. (Abb. 10)

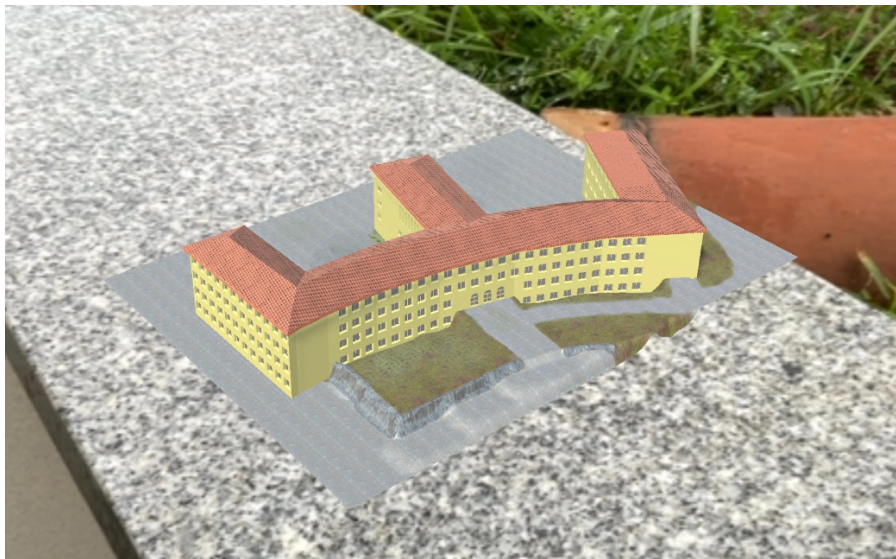


Abbildung 10: Verwendung der Augmented Reality Webapplikation

4 Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein Schulgebäude auf der Basis von Geodaten in dem Programm *3ds Max* modelliert und texturiert. Desweiteren wurde das Modell unter der Verwendung von *Unity* in eine *Augmented Reality* Webapplikation überführt.

Diese kann im Anschluss auf der Schulinternetseite zur Verfügung gestellt werden.

Ebenfalls kann das 3D-Modell auch zu Planungszwecken für eine Neugestaltung des Pausenhofs, den Bau eines Neubaus oder als 3D-Druck Vorlage verwendet werden.

Dieser Prozess der Erstellung des 3D-Modells beschränkt sich nicht nur auf Schulgebäude. Auch Stadtparks, Einkaufsstraßen und Industriegebiete lassen sich damit als 3D-Modelle erstellen, was die Planung einer Umgestaltung oder eines Rückbaus vereinfacht.

Im Moment ist die Vorgehensweise noch zeitaufwändig, was sich allerdings durch die Sammlung von Negativabdrücken einzelnen Fassadenelemente, wie z.B. Fensterformen, Türformen usw. effizienter gestalten lässt. Auch bietet es sich an Teile der Modellierung, wie das Platzieren von Fenstern oder das Anfertigen von Negativabdrücken zu Automatisieren. [[14]]

5 Danksagung

Mein Dank gilt Prof. Dr. Günther Diring und Herrn Berner, welche dieses Projekt überhaupt erst möglich gemacht und mich dabei betreut haben. Auch bedanken möchte ich mich bei Herrn Krieg und Herrn Gruber, die mich im Rahmen der Kooperationsphase sowie beim Schreiben der Abschlussdokumentation unterstützt haben und mir bei Fragen mit Rat und Tat zur Seite standen.

Desweiteren geht besonderer Dank an Herrn Bischof und Frau Richert, welcher mich in meiner Zeit im Hector-Seminar über begleitet hat.

Zum Schluss möchte ich mich noch bei dem Ehepaar Josephine Hector und Dr. Hans-Werner Hector bedanken. Ohne ihre Förderung des Hector-Seminars im Rahmen der Hector-Stiftung wären die weitgehenden Einblicke in verschiedenste Bereiche der Wissenschaft nicht möglich gewesen.

Literatur

- [1] Logxon. Artikel über die Dienstleistung als Vermessungsunternehmen. <https://www.logxon.com/leistungen/uav-laserscanning-lidar-laser-scanning/>, August 2022.
- [2] Laserscanning. <https://de.wikipedia.org/wiki/Laserscanning>, August 2022.
- [3] Andreas Marbs. Laserscanning zur drei dimensionalen Objekterfassung: Grundlagen und Anwendungen. https://www.ise.kit.edu/rd_download/SEB/Kolloquium_SEB_09-01_A._Marbs.pdf, August 2022.
- [4] Qgis Einführung. https://docs.qgis.org/2.8/de/docs/gentle_gis_introduction/index.html, August 2022.
- [5] ACCA Software. Erstellung von bim-modellen, mittels punktwolken als grundlage. <https://www.accasoftware.com/de/point-cloud-to-bim-software>, September 2022.
- [6] Yvonne Landscheidt. Wissenswertes über das texturieren! <https://margy.de/downloads/tutorials/Infoblatt-Texturieren.pdf><https://www.artec3d.com/de/learning-center/best-3d-modeling-software>, September 2022.
- [7] Autodesk. 3ds max. <https://www.autodesk.de/products/3ds-max>, September 2022.
- [8] Svetlana Golubeva. Die beste 3d-modellierungssoftware im jahr 2021. <https://www.artec3d.com/de/learning-center/best-3d-modeling-software>, August 2022.
- [9] Wikipedia. Erweiterte realität. https://de.wikipedia.org/wiki/Erweiterte_Realität, September 2022.
- [10] omnia360. Argmented Reality. <https://omnia360.de/blog/was-ist-augmented-reality/>, August 2022.
- [11] Unity's Website. <https://unity.com>, August 2022.
- [12] Zappar's Website. <https://www.zappar.com>, August 2022.
- [13] File Format Info. .obj dateiformat. <https://www.fileformat.info/format/wavefrontobj/egff.htm>, September 2022.
- [14] Deutscher Städtetag. 3d-geodaten in der integrierten stadtentwicklung. <https://www.staedtetag.de/files/dst/docs/Publikationen/Weitere-Publikationen/2019/3d-geodaten-integrierte-stadtentwicklung-handreichung-2017.pdf>, August 2022.

6 Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit unter der Beratung durch Herrn Prof. Dr. Günther-Diringer und Herrn Berner von der Hochschule Karlsruhe sowie Herrn Krieg, Kursleiter des Hector-Seminars, selbstständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden, sowie Zitate kenntlich gemacht wurden.

Bruchsal, den 28.09.2022

A handwritten signature in black ink that reads "Justin Rüdiger". The script is cursive and fluid, with the first name "Justin" and the last name "Rüdiger" clearly legible.