



Open Access zu historischen Schätzen

Die Rolle von 3D-Modellen und digitalen Denkmaltechnologien in Wikimedia, am
Beispiel eines historischen Gebäudes in Fürth



Masterarbeit

im Masterstudiengang

Digitale Denkmaltechnologien/

Digital Technologies in Heritage Conservation

der Otto-Friedrich-Universität Bamberg und

der Hochschule für angewandte Wissenschaften

vorgelegt von:

Maryam Ghasemi Darestani

Prüferin:

Prof. Dr. Mona Hess

Bamberg 2025



Masterarbeit

Open Access zu historischen Schätzen

Die Rolle von 3D-Modellen und digitalen Denkmaltechnologien in Wikimedia, am Beispiel eines historischen Gebäudes in Fürth



Zur Erlangung des Grades

Master of Science

im Studiengang Digitale Denkmaltechnologien

vorgelegt von

Maryam Ghasemi Darestani

Institut für Archäologische Wissenschaften

Denkmalwissenschaften und Kunstgeschichte

Lehrstuhl für Digitale Denkmaltechnologien an der

Otto-Friedrich-Universität Bamberg und

der Hochschule für angewandte Wissenschaften

Coburg

Erstgutachterin: Prof. Dr. Mona Hess

Zweitgutachter/in:

Dieses Werk ist als freie Onlineversion über das Forschungsinformationssystem (FIS; <https://fis.uni-bamberg.de>) der Universität Bamberg erreichbar.

Das Werk steht unter der CC-Lizenz CC BY.

Lizenzvertrag: Creative Commons Namensnennung 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



URN: <urn:nbn:de:bvb:473-irb-1060744>

DOI: <https://doi.org/10.20378/irb-106074>

Dankesworte

Mein Masterstudium im Studiengang „digitale Denkmaltechnologien“ ist zu Ende. Mit dem Abschluss dieser Masterarbeit ist ein wichtiger Schritt in meiner akademischen Laufbahn absolviert und ein neuer beginnt. An dieser Stelle möchte ich mich zunächst bei allen bedanken, die mich während meiner Masterarbeit unterstützt haben.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei meiner Betreuerin, Prof. Dr. Mona Hess, für ihre Beratung, Anleitung und Unterstützung, sowohl bei der Masterarbeit als auch während des gesamten Studienverlaufs. Herzlichen Dank für Ihre Zeit und Unterstützung.

Ein herzliches Dankeschön an FürthWiki, insbesondere meiner Ansprechpartnerin Frau Anja Wiegel, die mich stets bei organisatorischen und fachlichen Fragen unterstützt und mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat. Ich möchte auch Herrn Ralf Stenzel und Herrn Kamran Salimi für die organisatorische Unterstützung und den Zugang zum FürthWiki-Laden danken. Vielen Dank auch an Herrn Mark Muzenhardt für die technische Unterstützung. Und ein großes Dankeschön an Herrn Maximilian Kristen von MediaWiki für die technische Beratung.

Mein Dank gilt auch den Eigentümern und Bewohnern des historischen Gebäudes „Goldener Schwan“ für die freundliche Ermöglichung des Zugangs zum Gebäude.

Weiterhin möchte ich allen Professoren, Dozenten und Mitarbeitern am Lehrstuhl für „digitale Denkmaltechnologien“ für ihre Unterstützung während der Studienzeit und bei der Masterarbeit meinen herzlichen Dank aussprechen.

Ein herzliches Dankeschön an meine Kommilitonen. Gemeinsam haben wir diesen Weg beschritten und durch unsere großartige Zusammenarbeit vieles erreicht. Vielen Dank für Ihre ständige Freundlichkeit und Hilfsbereitschaft.

Zum Schluss möchte ich meiner Familie danken. Ihre ständige Unterstützung und Ermutigung haben mir immer Kraft gegeben.

Inhaltsverzeichnis

GLOSSAR	1
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	3
ZUSAMMENFASSUNG	4
ABSTRACT	5
چکیدهZUSAMMENFASSUNG IN PERSISCH	6
1 EINLEITUNG	7
1.1 VISION	7
1.2 ZIELE UND ANSATZ	8
2 OPEN ACCESS IN MEDIEN	9
2.1 WAS IST OPEN ACCESS (OA)?	11
2.2 OPEN ACCESS ZU KULTURERBE (CULTURAL HERITAGE)	17
2.3 ERWEITERTER ZUGANG ZU KULTURELLEM ERBE: DIGITALISIERUNG UND ZUGÄNGLICHKEIT	18
2.4 FÜRTHWIKI UND DAS VORGEHEN BEI DER DIGITALISIERUNG UND OPEN ACCESS ZU DEN HISTORISCHEN SCHÄTZEN DER STADT FÜRTH	21
2.4.1 <i>Denkmalstadt Fürth</i>	21
2.4.2 <i>FürthWiki</i>	23
2.4.3 <i>Plattform und technische Struktur</i>	24
2.5 EINSATZ VON ONLINE-PLATTFORMEN FÜR DIE INTEGRATION VON 3D-MODELLEN IN MEDIEN	26
2.6 FALLSTUDIE	31
2.7 WIKIMEDIA - ANSATZ, FUNKTIONEN UND MÖGLICHKEITEN	33
2.7.1 <i>MediaWiki</i>	34
2.7.2 <i>Wikimedia Commons</i>	36
2.7.3 <i>Freie Lizenz</i>	37
2.8 DIGITALE DENKMALTECHNOLOGIEN ZUR REALISIERUNG DER ZIELSETZUNGEN VON WIKIMEDIA	38
2.9 ZWISCHENFAZIT	39
3 DAS UNTERSUCHUNGSOBJEKT - GOLDENER SCHWAN (EHM. GASTHAUS)	40
3.1 BAUGESCHICHTE	40
3.2 BAUBESCHREIBUNG	43
4 VON OBJEKT BIS ZU MODELL	46
4.1 TERRESTRISCHEN LASERSCANNING (TLS)	47
4.2 AUFNAHMEVERFAHREN	53
4.3 DATENVERARBEITUNG	60

4.4	HERAUSFORDERUNGEN BEI AUFNAHME UND DATENVERARBEITUNG	65
5	H-BIM (HISTORIC BUILDING INFORMATION MODELLING)	67
5.1	DREIECKNETZE (MESHES) UND TEXTURIERUNG	77
5.1.1	<i>FARO SCENE – Ziel: Vermaschung</i>	<i>80</i>
5.1.2	<i>CloudCompare – Ziel: Vermaschung.....</i>	<i>82</i>
5.1.3	<i>Reality Capture – Ziel: Vermaschung.....</i>	<i>86</i>
5.2	3D-MODELLIERUNG IN AUTODESK REVIT	87
5.2.1	<i>Modellierungsprozess und Projektausrichtung in Revit</i>	<i>89</i>
5.2.2	<i>Farben und Texturen</i>	<i>100</i>
5.3	2D-ZEICHNUNG IN AUTODESK AUTOCAD	102
5.4	FILMISCHE VISUALISIERUNG	104
5.4.1	<i>Animation in Blender.....</i>	<i>104</i>
5.4.2	<i>Animation in Twinmotion.....</i>	<i>106</i>
6	INTEGRATION DER MODELLE AUF ONLINE-PLATTFORMEN	107
6.1	EINBETTUNG AUF FÜRTHWIKI WEBSITE.....	107
6.2	EINBETTUNG AUF SKETCHFAB	110
6.3	EINBETTUNG AUF METAORT	112
7	DISKUSSION UND FAZIT	113
8	AUSBLICK	116
9	ANHANG	118
9.1	METADATEN	118
9.2	CYCLONE REGISTER 360 REGISTERBERICHT	122
9.3	SCREENSHOT VON MODELLIERUNG IN REVIT.....	123
9.4	GRUNDRISS ERDGESCHOSS – 2D ZEICHNUNG AUTOCAD	124
9.5	GERENDERTE MODELLE AUS BLENDER UND TWINMOTION	125
9.6	TWINMOTION EINSTELLUNGEN	126
9.7	DIE RELEVANTEN LINKS	127
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	129
11	TABELLENVERZEICHNIS	133
12	FLOWCHART-VERZEICHNIS.....	134
13	LITERATURVERZEICHNIS.....	135
14	ERKLÄRUNG	141

Glossar

Fachbegriff	Definition	Link
ArXiv	open-access repository	https://arxiv.org/
BERLINER ERKLÄRUNG	Berliner Erklärung über den offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen	https://openaccess.mpg.de/Berliner-Erklaerung
BioMed Central (BMC)	BMC ist ein kommerzieller wissenschaftlicher Zeitschriftenverlag, der über 200 Open-Access-Zeitschriften aus dem Bereich Biologie und Medizin publiziert.	https://www.biomedcentral.com/
bPlugins	bPlugins ist ein Unternehmen, das auf die Entwicklung von Plugins für WordPress spezialisiert ist.	https://bplugins.com/
Copernicus	Copernicus Publications ist ein deutscher Open-Access-Verlag mit Hauptsitz in Göttingen.	https://publications.copernicus.org/
Creative Commons	Eine amerikanische Non-Profit-Organisation und ein internationales Netzwerk, das sich für den Zugang zu Bildung und die Erweiterung des Spektrums an kreativen Werken einsetzt, die anderen zur Verfügung stehen, um sie legal zu nutzen und zu teilen	https://creativecommons.org/
E-Commerce	Unter dem Konzept des E-Commerce (elektronischer Geschäftsverkehr) wird die Tätigkeit des elektronischen Kaufs oder Verkaufs von Produkten über Online-Dienste oder das Internet verstanden.	https://en.wikipedia.org/wiki/E-commerce
Eisen, Michael	US-amerikanischer Biologe.	https://de.wikipedia.org/wiki/Michael_Eisen
Enzyklopädie	Eine Enzyklopädie ist ein besonders umfassendes Nachschlagewerk. Der Begriff Enzyklopädie soll auf Vollständigkeit oder ein breites Spektrum an Themen hinweisen.	https://de.wikipedia.org/wiki/Enzyklop%C3%A4die
Epic Games	Der Epic Games Store bietet eine Vielzahl von PC-Spielen, Mods, DLC und Sonderangeboten.	https://store.epicgames.com/en-US/
Ginsparg, Paul	Amerikanischer Physiker	https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_Ginsparg
MariaDB	MariaDB bietet Open-Source-Datenbanken für Unternehmen und Cloud Managed Database Services zur Unterstützung von Skalierbarkeit, geschäftskritischen Implementierungen und mehr.	https://mariadb.com/
MySQL	MySQL ist ein Open-Source-System zur Verwaltung relationaler Datenbanken.	https://www.mysql.com/

Open Access (OA)	Open Access ist der freie Zugang zu wissenschaftlicher Literatur und sonstigen Materialien im Internet. Durch die Veröffentlichung eines wissenschaftlichen Dokuments unter Open-Access-Bedingungen kann jeder das Dokument kostenlos lesen, herunterladen, speichern, verlinken, drucken und somit nutzen.	https://de.wikipedia.org/wiki/Open_Access
Open Access Bewegung	Open Access ist eine breit angelegte internationale Bewegung, die den freien und offenen Online-Zugang zu akademischen Informationen, wie z.B. Publikationen und Daten, anstrebt.	https://de.wikipedia.org/wiki/Open_Access
Open Knowledge Foundation (OKF)	Die Open Knowledge Foundation ist ein globales, gemeinnütziges Netzwerk, das Informationen, einschließlich Inhalte und Daten, kostenlos fördert und weitergibt.	https://okfn.org/en/
PHP	PHP ist eine allgemeine Skriptsprache für die Webentwicklung.	https://www.php.net/
Regiowikis	Regiowikis, auch bekannt als Regionalwikis oder Stadtwikis, bieten wie alle Wikis die Möglichkeit, Themen frei zu bearbeiten. lexikalisch bearbeitbar. Regionalwikis sind interaktive Plattformen, auf denen unter anderem lokale Chroniken und Enzyklopädien oder lokale Geschichtsbücher erstellt werden können.	https://de.wikipedia.org/wiki/Regiowiki
UNESCO	The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	https://www.unesco.org/en
UNESCO OER Dynamic Coalition	Open Educational Resources (OER) Dynamic Coalition	https://www.unesco.org/en/open-educational-resources/oer-dynamic-coalition
Wiktionary	Wiktionary ist ein mehrsprachiges, webbasiertes Projekt zur Erstellung eines kostenlosen Inhaltswörterbuchs mit Begriffen (einschließlich Wörtern, Sätzen, Sprichwörtern, sprachlichen Rekonstruktionen usw.) in allen natürlichen Sprachen und in einer Reihe von Kunstsprachen.	https://en.wiktionary.org/wiki/Wiktionary:Main_Page
WordPress-Container	WordPress ist ein System zur Verwaltung von Webinhalten. Es unterstützt die Veröffentlichung von Webinhalten, einschließlich traditioneller Websites, Mailinglisten und Internetforen, Mediengalerien, Mitgliederseiten, Lernmanagementsysteme und Online-Shops.	https://wordpress.com/

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Definition
BOAI	Budapest Open Access Initiative
3D	Dreidimensional
BIM	Building Information Modelling (Gebäudemodellierung)
CH	Cultural Heritage
E57	Punktwolkenformat
FBX	Filmbox (Modellformat)
FFmpeg	Fast Forward Moving Pictures Experts Group
glTF	Graphics Library Transmission Format
H-BIM	Heritage Building Information Modelling
OA	Open Access
OBJ	Wavefront Object (Modellformat)
PLOS	Public Library of Science
RCP	Recap (Datei- und Punktwolkenformat)
SPARC	Scholarly Publishing and Academic Resources Coalition
STM	Science, Technology, Medicine
WebGL	Web Graphics Library

Zusammenfassung

Angenommen, eine Person mit einem Studien- oder Arbeitsschwerpunkt im Bereich des Kulturerbes benötigt detailreiche Informationen über ein historisches Werk. Oder jemand, die sich für historische Denkmäler und Kulturerbe interessiert, möchte ein Denkmal besichtigen, sieht sich jedoch durch Hindernisse wie große Entfernungen oder Schutzgesetze daran gehindert, diesen Zugang zu erhalten. Die Fortschritte der digitalen Denkmaltechnologien sowie die Entwicklung von Online-Plattformen ermöglichen es, historische Werke mit hoher Präzision zu erfassen und ortsunabhängig zu digital archivieren. Dadurch kann ein freier Zugang zu ihnen geschaffen werden.

Im digitalen Zeitalter wird der Zugang zu historischen Schätzen und Kulturerbestätten immer bedeutender. 3D-Modelle und digitale Denkmaltechnologien ermöglichen einen breiten Zugang zu historischen Denkmälern sowie deren digitale Erweiterung, Erhaltung und Erforschung. In dieser Masterarbeit werden die Methoden und Technologien zur Erstellung und Nutzung von 3D-Modellen unter Berücksichtigung der Bedeutung von „Open Access“ analysiert und die Herausforderungen und Lösungen für deren Nutzung aufgezeigt. Die Untersuchung von 3D-Online-Plattformen und deren Funktionen sowie von Open-Access-Lizenzen ist ein wichtiges Ziel dieser Arbeit.

Im Rahmen einer Fallstudie wird das historische Gebäude 'Goldener Schwan' in Fürth untersucht. Ziel ist es, mit Hilfe digitaler Technologien ein 3D-Modell zu erstellen und über Wikimedia zugänglich zu machen. Dazu wurden verschiedene Methoden und 3D-Softwaresysteme wie H-BIM und Terrestrisches Laserscanning eingesetzt. Die Evaluierung erfolgte anhand der Genauigkeit, der Benutzerfreundlichkeit und der Effizienz der Datenverarbeitung und -integration.

Die Studie zeigt, dass digitale Technologien und 3D-Modelle den Zugang zum kulturellen und historischen Erbe erheblich verbessern. Auch wenn noch einige technische Herausforderungen zu bewältigen sind, bieten sie entscheidende Vorteile für die Dokumentation und Vermittlung des kulturellen Erbes. Zukünftige Forschung sollte sich daher auf die Weiterentwicklung dieser Technologien und die Überwindung bestehender Hindernisse konzentrieren.

Abstract

Suppose a person with a study or work focus on the field of cultural heritage requires detailed information about a historical work. Alternatively, an individual interested in historical monuments and cultural heritage wishes to visit a monument but is hindered by obstacles such as great distances or protective laws that prevent access. Advances in digital technologies in Heritage Conservation and the development of online platforms enable the precise capture and remote digital archiving of historical works, thereby providing free access to them.

In the digital age, access to historical treasures and cultural heritage sites is becoming increasingly important. 3D models and digital technologies in Heritage allow broad access to historical monuments, as well as their digital extension, preservation, and research. This master's thesis analyzes the methods and technologies for creating and utilizing 3D models, considering the significance of "Open Access," and highlights the challenges and solutions for their use. An essential goal of this work is to investigate 3D online platforms and their features, as well as open-access licenses.

As part of a case study, the historical building 'Goldener Schwan' in Fürth is examined. The aim is to create a 3D model using digital technologies and make it accessible via Wikimedia. Various methods and 3D software systems such as H-BIM and terrestrial laser scanning were employed for this purpose. The evaluation was based on the accuracy, user-friendliness, and efficiency of data processing and integration.

The study demonstrates that digital technologies and 3D models significantly improve access to cultural and historical heritage. Although some technical challenges remain, they offer crucial advantages for the documentation and communication of cultural heritage. Future research should therefore focus on further developing these technologies and overcoming existing obstacles.

1 Einleitung

1.1 Vision

Die Digitalisierung und der Einsatz digitaler Technologien sind von entscheidender Bedeutung für die Erhaltung des kulturellen Erbes, insbesondere für die nachhaltige Nutzung des baulichen Erbes [1]. Andererseits eröffnet die Digitalisierung des historischen Kulturerbes die Möglichkeit, freien Zugang zu diesen Werken für wissenschaftliche, kulturelle, Forschungs- und sogar Unterhaltungszwecke zu schaffen. In der heutigen digitalen Ära gewinnt der Zugang zu historischen Schätzen und Kulturerbe-Stätten zunehmend an Bedeutung. Die Verwendung von 3D-Modellen und digitalen Denkmaltechnologien ermöglicht es, historische Gebäude und Schätze einem breiten Publikum zugänglich zu machen und gleichzeitig zu ihrer Erhaltung und Erforschung beizutragen. Diese Masterarbeit widmet sich dem Thema des freien Zugangs zu digitalen historischen Archiven und Datensätzen und untersucht insbesondere die Rolle von 3D-Modellen und digitalen Denkmaltechnologien in Wikimedia, einer Plattform, die für ihre offene Wissensbasis und kollaborative Inhalte bekannt ist.

Im Rahmen der Verwirklichung der Ziele von "Fürth Wiki" zur Schaffung von "Open Access" zu städtischen historischen Gebäuden und ihrem Schutz wurde das Gebäude "Goldener Schwan" Gebäude als Fallstudie untersucht. FürthWiki ist ein regionales Online-Nachschlagewerk zur Stadt Fürth mit derzeit über 12.003 Inhaltsseiten. Am 27. Juni 2012 wurde der Verein FürthWiki e. V. für Freies Wissen und Stadtgeschichte gegründet. Der Verein FürthWiki e.V. hat sich die „Erforschung, Dokumentation und Bewahrung der Geschichte und Kultur der Stadt Fürth, die Bewahrung und Vermittlung des historischen Wissens“ und die „Förderung der Wissensfreiheit“ zum Ziel gesetzt [2] , [3]. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Untersuchung und Anwendung von oben genannten Digitalisierungstechnologien mit dem Ziel, den freien Zugang zum kulturellen und historischen Erbe zu optimieren und den Menschen die Möglichkeit zu bieten, diese Informationen online und offene zugänglich über Wikimedia zu erhalten. Anhand eines historischen Gebäudes in Fürth wird aufgezeigt, wie die betrachteten Technologien zum besseren Verständnis des Gebäudes, zur Erforschung seiner Geschichte sowie zum Erhalt seines kulturellen Erbes beitragen können.

Diese Studie versucht, das Thema aus verschiedenen Aspekten wie Methoden, Funktionen, Herausforderungen und dem Einsatz der entsprechenden Technologien bei der Erhaltung des

historischen Erbes zu beleuchten und einen Ausblick auf die zukünftige Erforschung zu gewinnen. Für die Erstellung eines standardisierten 3D-Modells des ausgewählten Gebäudes und die Schaffung eines offenen Zugangs wurden Technologien zur Erfassung des digitalen Kulturerbes eingesetzt, die in dieser Abschlussarbeit beschrieben und der Arbeitsablauf und die Ergebnisse vorgestellt werden.

1.2 Ziele und Ansatz

Der zentrale Ansatz dieser Arbeit befasst sich mit der Rolle digitaler Technologien und 3D-Modelle bei der Erfassung und Digitalisierung von kulturellem und historischem Erbe sowie der Rolle von Wikimedia als Plattform zur Förderung und Erleichterung des Zugangs zu 3D-Modellen und Technologien für das digitale Erbe. Um dies zu erzielen, werden die folgenden Punkte angesprochen:

- Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit den Konzepten sowie der Bedeutung des offenen Zugangs zu historischen Schätzen und der Rolle digitaler Technologien in diesem Bereich.
- Im Rahmen der Studie werden Methoden und Technologien für den Einsatz von 3D-Modellierung und digitalen Technologien zur Bewahrung und gemeinsamen Nutzung des kulturellen Erbes untersucht.
- Des Weiteren erfolgt eine Untersuchung der Hindernisse und Herausforderungen, die bei dem Einsatz dieser Technologien auftreten können, und die Entwicklung potenzieller Lösungsstrategien.
- Es erfolgt eine Untersuchung der Ansätze und Konzepte von Wikimedia.
- Darüber hinaus analysiert diese Studie die technische Struktur von Wikimedia.

Die Digitalisierung des Gebäudes Goldenen Schwan, einem Denkmal in Fürth, die als „Denkmalstadt“ bekannt ist, ermöglicht die Untersuchung der Möglichkeiten und Herausforderungen des freien Zugangs zu historischen Archiven, insbesondere der 3D-Modelle von Denkmälern auf Wikimedia und weiteren Plattformen. Die Initiative gewährleistet nicht nur eine optimierte Sichtbarkeit und Zugänglichkeit des Denkmals für ein breites Publikum, sondern fördert zudem den wissenschaftlichen Austausch über digitale Plattformen. Gleichzeitig werden jedoch auch Fragen zur Wahrung der Authentizität und der Datensicherheit gestellt.

2 Open Access in Medien

Die UNESCO (The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) unterstreicht im „UNESCO Science Report 202: The Time for Open Science is Now“ die Bedeutung einer Ausweitung von offener Wissenschaft und offenem Zugang. Die UNESCO hat den „UNESCO Science Report 2021“ mit dem Titel „The Race against Time for Smarter Development“ veröffentlicht [4]. Dieser Bericht befasst sich mit den globalen Entwicklungen in der Wissenschaftspolitik und analysiert die Art und Weise, wie verschiedene Länder die Wissenschaft nutzen, um eine Zukunft zu erreichen, die sowohl digital fortschrittlich als auch ökologisch nachhaltig ist. Der Bericht analysiert die Relevanz von Open Science und Open Access für die umfassende Nutzung des Forschungspotenzials im Kontext globaler Herausforderungen wie Klimawandel, Verlust der biologischen Vielfalt, Epidemien und Naturkatastrophen. Des Weiteren betont sie die Relevanz eines zeitnahen und kostenfreien Zugangs zu hochwertigen Daten, Veröffentlichungen, Informationen und Innovationen, um globale und zukünftige Herausforderungen effektiv zu bewältigen. Des Weiteren wird die Einrichtung von Infrastrukturen und Plattformen befürwortet, welche die umfassende Verbreitung der Informationen und Daten erleichtern sollen. Im digitalen Zeitalter eröffnet sich der wissenschaftlichen Gemeinschaft die einmalige Möglichkeit, das immense Potenzial wissenschaftlicher Forschung zum Wohle der Gesellschaft zu nutzen. Die Autoren erachten diesen Ansatz als die Essenz von Open Science und sind der Überzeugung, dass die Open-Science-Bewegung dazu beitragen kann, Transparenz, Umfang und demokratischen Charakter des Wissenschaftssystems zu verbessern. Dies sollte zu einem effizienteren und qualitativ hochwertigeren wissenschaftlichen Fortschritt führen [5].

Die Entwicklung der Idee und Vorgehensweise, freien Online-Zugang zu Zeitschriftenartikeln zu gewähren, lässt sich ein Jahrzehnt vor der formellen Prägung des Begriffs „Open Access“ nachzeichnen. Bereits seit den 1970er Jahren nutzen Informatiker anonyme FTP-Archive zur Archivierung eigener Daten, während Physiker seit den 1990er Jahren auf die Dienste von ArXiv zurückgreifen. Der Vorschlag zur Verallgemeinerung dieser Praxis, der als subversiv zu bezeichnen ist, wurde 1994 veröffentlicht. Der Begriff „Open Access“ selbst wurde erstmals in den 2000er Jahren in drei öffentlichen Erklärungen formuliert. Dabei handelte es sich um die "Budapest Open Access Initiative im Februar 2002", "das Bethesda

Statement on Open Access Publishing im Juni 2003" sowie die "Berliner Erklärung über offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen vom Oktober 2003". Das ursprüngliche Konzept von Open Access bezieht sich auf den uneingeschränkten Online-Zugang zu wissenschaftlicher Forschung. Dieser sollte in erster Linie wissenschaftlichen Zeitschriftenartikeln zur Verfügung gestellt werden [6].

Wie im Artikel „Von Open Access zu Open Science: Der Weg von der wissenschaftlichen Realität zur offenen wissenschaftlichen Kommunikation“ dargelegt, gewährleistet Open Access die freie Zugänglichkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse für jede Person mit Internetanschluss sowie die Beseitigung von Barrieren, die durch Abonnementgebühren und Paywalls errichtet werden. Die Förderung der Transparenz in der wissenschaftlichen Forschung ist ein wesentlicher Aspekt von Open Access. Dies wird erreicht durch die Gewährleistung des uneingeschränkten Zugangs zu Daten, Methoden und Ergebnissen. Die Offenheit der Daten und Ergebnisse ermöglicht es anderen Forschenden, Studien zu reproduzieren, Ergebnisse zu validieren und auf früheren Arbeiten aufzubauen. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für wissenschaftlichen Fortschritt und Glaubwürdigkeit [7].



Abbildung 1: 10 Gründe für Open Access, Bild von <https://open-access.network/en/information/subject-specific-open-access/media-studies>

Geschützte Gebiete und Denkmäler haben einen bedeutenden kulturellen Wert. Zum Erreichen internationaler Ziele ist es entscheidend, ihre Zugänglichkeit und gründliche Recherche zu gewährleisten. Die Nutzung digitaler Möglichkeiten für die Ressourcenverwaltung und den Datenaustausch über digitale Plattformen ist essenziell, um eine Verbindung zwischen Menschen herzustellen und die Zusammenarbeit auf globaler Skala zum Schutz und zur Erhaltung dieser wichtigen Kulturstätten zu erleichtern [8]. Kulturerbe-Stätten auf der ganzen Welt stehen vor Herausforderungen wie dem Klimawandel, der zunehmenden Verstädterung, der wahllosen und profitorientierten Erschließung, Kriegen und der allgemeinen Vernachlässigung, die zu einem raschen Verfall des kulturellen Erbes führen. In Gebieten, in denen Ressourcen für den Schutz vorhanden sind, wie z.B. bei ehemaligen Palästen und Tempeln, wird der Schwerpunkt auf den Erhalt und die Verbesserung des Zugangs zu diesen Stätten gelegt. In anderen Gegenden werden die Kulturgüter in Museen gebracht, manchmal in abgelegene Museen, und aus dem Kontext, in dem sie gefunden wurden, herausgelöst. Keiner dieser Ansätze kann das aktive Leben des Kulturerbes so bewahren, wie es aussah, als der Ort noch besiedelt war, außer in Gemälden oder Dioramen. Daher besteht die Gefahr, dass Gegenstände des lebendigen Kulturerbes, wie z.B. genutzte Gebäude, traditionelles Alltagsleben und besondere Zeremonien, verloren gehen. Deshalb kann dank digitaler Technologien und Dokumentationen, die das Potenzial haben, die Planung des Schutzes des kulturellen Erbes zu unterstützen, soziale Bindungen aufrechtzuerhalten und sie der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, ein neuer Ansatz zum Schutz des kulturellen Erbes entwickelt und vorangetrieben werden [9].

2.1 Was ist Open Access (OA)?



Abbildung 2: Open-Access-Logo der [Public Library of Science](https://www.plos.org/)

Zum richtigen Verständnis des Themas "Open Access" ist es erforderlich, das Konzept dahinter zu untersuchen. Open Access (OA) ermöglicht die freie Verbreitung von wissenschaftlicher Literatur im Internet. Der Begriff „Open Access“ (OA) bezeichnet eine Reihe von Prinzipien und Praktiken, die darauf abzielen, Forschungsergebnisse kostenlos und ohne Zugangsbeschränkungen online zu verbreiten. Die Anwendung einer offenen Lizenz für das Urheberrecht zielt darauf ab, Hindernisse für das Kopieren oder die Wiederverwendung zu verringern oder zu beseitigen, sofern der offene Zugang streng definiert ist oder wie im angloamerikanischen Raum als „libre open access“ bezeichnet wird. Das Hauptziel der Open-Access-

Bewegung besteht in der Verbreitung von Forschungsliteratur, die durch Experten begutachtet wurde. In der Vergangenheit erfolgte eine Konzentration auf gedruckte akademische Fachzeitschriften. Im Gegensatz zu nicht-Open-Access-Zeitschriften, bei denen die Publikationskosten durch Zugangsgebühren wie Abonnements, Standortlizenzen oder Pay-per-View-Gebühren gedeckt werden, verwenden Open-Access-Zeitschriften Finanzierungsmodelle, bei denen die Leser nicht für den Zugang zu den Inhalten der Zeitschrift bezahlen müssen. Diese Modelle basieren stattdessen auf Autorengebühren oder auf öffentlichen Mitteln, Subventionen und Sponsoring. Das Open-Access-Modell kann auf alle Formen von veröffentlichten Forschungsergebnissen angewendet werden, einschließlich von Experten begutachteter und nicht von Experten begutachteter akademischer Zeitschriftenartikel, Konferenzbeiträge, Dissertationen, Buchkapitel, Monografien, Forschungsberichte und Bilder [10].

In den frühen 1990er Jahren entstand die internationale Open-Access-Bewegung als Reaktion auf die steigenden Preise für wissenschaftliche Zeitschriften und den Wunsch, Forschungsergebnisse der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Ziel dieser Bewegung war es, die Privatisierung von öffentlich finanziertem Wissen zu verhindern und die digitale Kluft zu verringern, indem der Zugang zu wissenschaftlichen Erkenntnissen insbesondere für Forscher mit begrenzten finanziellen Mitteln ermöglicht wurde [11]. In diesem Kontext sei auf die Gründung des „ArXiv“ durch „Paul Ginsparg“ verwiesen. Das „ArXiv“ stellt ein Open-Access-Repository für elektronische Preprints und Postprints (auch als E-Prints bezeichnet) dar, welche nach einer Moderation, jedoch ohne Peer-Review-Verfahren, zur Veröffentlichung freigegeben werden. Das Repository umfasst wissenschaftliche Arbeiten aus einer Vielzahl von Fachbereichen, darunter Mathematik, Physik, Astronomie, Elektrotechnik, Informatik, quantitative Biologie, Statistik, Finanzmathematik und Wirtschaftswissenschaften. Der Online-Zugriff auf die Inhalte ist für die breite Öffentlichkeit möglich [12].

Die Entwicklung des Internets und elektronischer Publikationen erleichterte die schnelle Veröffentlichung von Dokumenten und führte zur Frage des offenen Zugangs zu relevanten wissenschaftlichen Informationen. Ab Mitte der 1990er Jahre erfolgte in zahlreichen Fachverlagen die Umstellung auf die parallele oder ausschließliche digitale Bereitstellung ihrer Zeitschriften. Studierende sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben seitdem die Möglichkeit, die Artikel über die Rechner in ihren Bildungseinrichtungen zu lesen und auszudrucken, sofern ihre Institutionen die Lizenzgebühren für die entsprechenden

Zeitschriften entrichten. Als ein weiterer Ausgangspunkt für die Forderung nach neuen Publikationsstrukturen kann die sogenannte Zeitschriftenkrise identifiziert werden. Der Begriff bezeichnet eine Entwicklung, die vornehmlich im STM-Bereich (Science, Technology, Medicine) zu beobachten war. Der Anteil, der den Lesern zur Verfügung stehenden Literatur verringerte sich kontinuierlich, während das Publikationsaufkommen stieg. Als Konsequenz der Zeitschriftenkrise wurden Verlage wie BMC (2000), PLoS (Anfang 2001) und Copernicus (2001) gegründet. Im November 2001 fand in Budapest eine vom Open Society Institute organisierte Konferenz statt, auf der eine Reihe bekannter Wissenschaftler, darunter Michael Eisen (Public Library of Science) und Rick Johnson (Scholarly Publishing and Academic Resources Coalition, SPARC), die sogenannte Budapest Open Access Initiative (BOAI) gründeten. Die Budapest Open Access Initiative (BOAI) verabschiedete am 14. Februar 2002 eine Erklärung, in der unter anderem festgehalten wurde, dass alle wissenschaftlichen Publikationen, die von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ohne Erwartung einer finanziellen Gegenleistung im Internet veröffentlicht werden, frei zugänglich sein sollten. Die Konferenz sowie die daraus hervorgegangene BOAI werden als Ausgangspunkt der Open-Access-Bewegung betrachtet, da hier erstmalig die verschiedenen Akteure und bereits existierenden Initiativen zusammengeführt wurden. In der Sitzung vom 11. April 2003 in Bethesda, Maryland, erfolgte eine Beratung hinsichtlich der Möglichkeiten einer optimierten Einbindung der Beteiligten am Publikationsprozess. Das Ergebnis dieser Beratung wurde im Juni desselben Jahres in Form des Bethesda Statements on Open Access Publishing publiziert. Die im Oktober 2003 in Berlin verabschiedete Berliner Erklärung über offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen beinhaltet eine Erweiterung der Ziele der Open-Access-Bewegung. Sie greift die Inhalte der Budapester Erklärung sowie der Bethesda-Erklärung auf. Die Erklärung wurde von zahlreichen bedeutenden deutschen Forschungsinstitutionen unterzeichnet, darunter die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), die Hochschulrektorenkonferenz, die Max-Planck-Gesellschaft, die Fraunhofer-Gesellschaft, die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (BBAW), die Deutsche Initiative für Netzwerkinformation (DINI) sowie das Ministerium für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, welches mit DiPP eine eigene Initiative ins Leben gerufen hatte. Seit Januar 2023 besteht seitens des Schweizerischen Nationalfonds die Vorgabe, dass alle im Rahmen einer Förderung veröffentlichten wissenschaftlichen Publikationen ohne Embargofrist unmittelbar für die Öffentlichkeit frei verfügbar sein müssen [11], [13].

Die UNESCO stützt sich auf die im Oktober 2003 veröffentlichte „Berliner Erklärung“, die als Meilenstein der Open Access Bewegung gilt. Darin heißt es: „Unter 'Open Access' zu Literatur verstehen wir deren freie Verfügbarkeit im öffentlichen Internet, die es jedem Nutzer erlaubt, die Volltexte dieser Artikel zu lesen, herunterzuladen, zu kopieren, zu verteilen, zu drucken, zu durchsuchen oder zu verlinken, sie zur Indexierung zu suchen, sie als Daten der Software zur Verfügung zu stellen oder sie für jeden anderen rechtmäßigen Zweck zu nutzen, ohne andere finanzielle, rechtliche oder technische Hindernisse als die, die untrennbar mit dem Internetzugang verbunden sind“ [14] , [15].

Dieser revolutionäre Umstand unterstreicht die Tatsache, dass digitale Technologien den weltweiten Austausch von Arbeiten zu minimalen Kosten ermöglichen. Trotz dieses Potenzials zögern viele Autoren aus finanziellen Gründen, Open Access zu übernehmen. Es gibt jedoch eine Teilmenge von Autoren, insbesondere Forscher, die keinen finanziellen Gewinn anstreben, sondern ihre Arbeit veröffentlichen, um etwas zu bewirken. Die Merkmale von Open-Access-Literatur sind digital, online, kostenlos und oft frei von Urheberrechten und Lizenzen. Im Allgemeinen zielt die Open-Access-Bewegung darauf ab, den Zugang zu wissenschaftlichen Erkenntnissen zu demokratisieren, die Zusammenarbeit zu fördern und die Veröffentlichung von Forschungsergebnissen zu unterstützen [16].

Die Open Knowledge Foundation (OKF) definiert "offenes Wissen" als Inhalte, Informationen oder Daten, die frei verwendet, erneut angewandt und weiterverbreitet werden können - ohne rechtliche, technische Einschränkungen. Genauer gesagt, nachstehend eine Kurzübersicht über die Anforderungen an einen offenen Inhalt[17] , [18]:

- Lizenz oder Offener Status: Die Daten oder Inhalte müssen öffentlich zugänglich sein oder unter einer offenen Lizenz stehen. Es darf keine zusätzlichen Bedingungen geben, die dem Entgegenstehen.
- Zugänglichkeit: Die Daten oder Inhalte sollten leicht zugänglich sein, zum Beispiel über das Internet, und nicht zu teuer sein.
- Maschinenlesbarkeit: Die Daten oder Inhalte müssen in einem Format vorliegen, das von einem Computer leicht verarbeitet werden kann.

- Offenes Format: Die Daten oder Inhalte müssen in einem Format vorliegen, das keine Nutzungsbeschränkungen auferlegt und von mindestens einem freien Softwaretool verarbeitet werden kann.

Der Begriff „Open Access“ kann verschiedene Bedeutungen haben. So kann er darauf hinweisen, dass ein bestimmtes Werk kostenlos verfügbar ist. Allerdings kann er sich auf die Freiheit beziehen, das Werk weiterzuverwenden, ohne dabei Urheberrechte zu verletzen. Die genaue Definition von „Open Access“ ist daher von Fall zu Fall zu bestimmen. Um die Rechte zur Nutzung des Werks zu klären, kann eine Bereitstellung unter einer Open-Content-Lizenz, wie beispielsweise einer Creative-Commons-Lizenz, erfolgen. Open-Content-Lizenzen stellen standardisierte Vereinbarungen dar, welche die kostenlose Nutzung urheberrechtlich geschützter Werke sowie eine Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten erlauben. Es gibt eine Vielzahl von Lizenzen, wie beispielsweise Creative Commons (CC), Publishing-Licences (DPPL) sowie die GNU Free Documentation Licence (GNU-FDL). In wissenschaftlichen Kontexten findet insbesondere die Creative Commons (CC)-Lizenz häufig Anwendung [19].







Die gemeinnützige Organisation Creative Commons stellt Urheberinnen und Urhebern offene Lizenzen und weitere rechtliche Instrumente zur Verfügung, welche die Verbreitung und Nutzung von urheberrechtlich geschützten Werken ermöglichen [20].

Die Nutzung von Creative-Commons-Lizenzen ermöglicht die flexible Definition individueller Richtlinien hinsichtlich der Wiederverwendung von Inhalten. Die Lizenzen ermöglichen das Teilen, die Wiederverwendung und sowohl kommerzielle als auch nicht-kommerzielle Nutzung von Inhalten. Zudem bieten sie eine Vielzahl von Optionen, die über die bestehenden rechtlichen Rahmenbedingungen und Kontrollen hinausgehen. In diesem Kontext sind insbesondere Aspekte wie Namensnennung, kommerzielle Nutzung, abgeleitete Werke sowie das Teilen von Inhalten von Relevanz.¹

Die genutzten Creative-Commons-Lizenzen sind:

¹ Diese Absätze stammen aus Vorlesungsvertrag: M-DDT-GL-4 Digitale Archivierung (Digital Archive), Modul 4, Lecture 9/Copy Right, Wintersemester 2021, Dr. John Hindmarch.

Tabelle 1: Creative-Commons-Lizenzen, aus Vorlesungsvertrag Digitale Archivierung, Dr. John Hindmarch

	Attribution (BY): Andere können alles mit Ihrer Arbeit machen, solange Sie als Original genannt werden.
	Share Alike (SA): Die neue Sache muss unter denselben Bedingungen wie das Original lizenziert werden
	No Derivatives (ND): Das Original darf in keiner Weise verändert werden.
	Non-Commercial (NC): Die neue Sache darf nicht für kommerzielle Projekte verwendet werden.
	CC-BY-NC-ND: Benutzer können Ihre Arbeit weitergeben, dürfen sie aber nicht verändern oder kommerziell nutzen und müssen Sie als Urheber nennen. (Am restriktivsten)
	Public Domain (CC0): Sie verzichten auf alle Rechte

Five Reasons for Using Creative Commons Licences

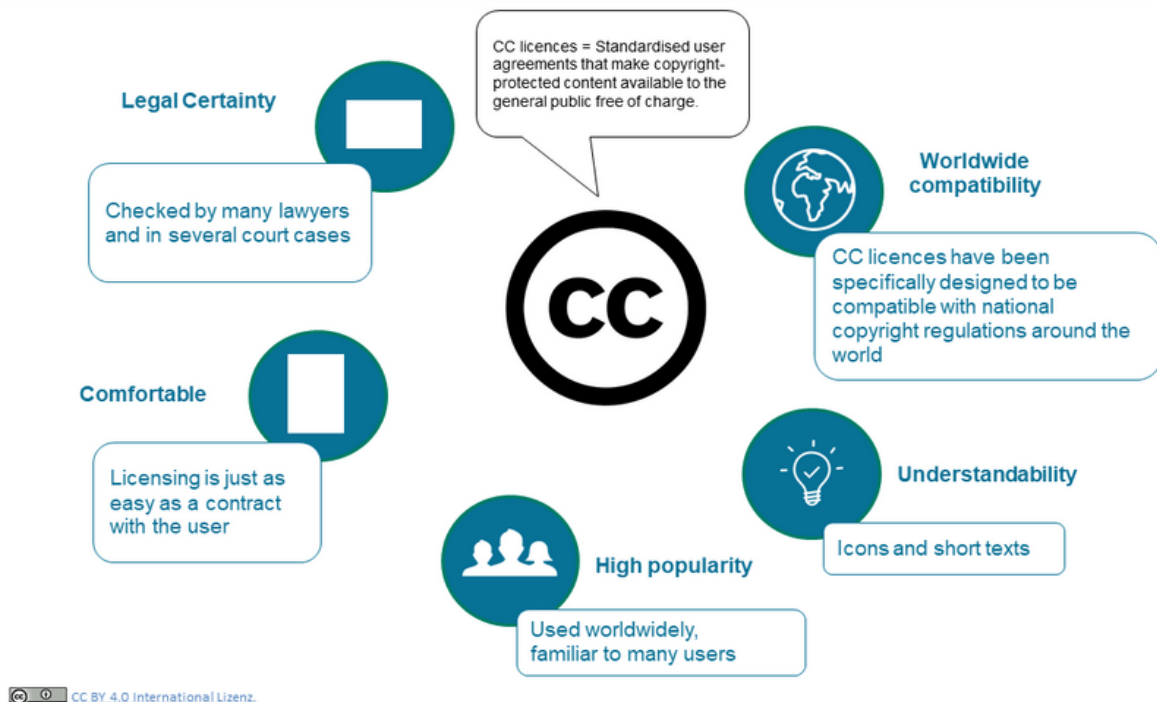


Abbildung 3: Fünf Gründe, Creative Commons zu nutzen, <https://doi.org/10.5281/zenodo.4068291>, (CC BY 4.0 International), [19]

2.2 Open Access zu Kulturerbe (Cultural Heritage)

Wie bereits in der Definition von "Open Access" erläutert, bedeutet "Open" in verschiedenen Bereichen, von Software bis hin zu wissenschaftlicher und Forschungsliteratur usw., dass etwas ohne finanzielle, technologische oder rechtliche Beschränkungen zugänglich zu machen ist [21]. Jede Art von digitalen Inhalten kann OA sein, von Texten und Daten bis hin zu Software, Audio, Video und Multimedia [14].

Gemäß der Creative Commons Organisation besteht im Kontext des kulturellen Erbes keine eindeutige Übereinstimmung über die Definition von „Open Culture“. Zudem entwickelt sich diese Definition weiterhin. Allerdings besteht ein allgemeines Einvernehmen darüber, dass Institutionen und Vereinigungen des kulturellen Erbes einen offenen Zugang ihrer Sammlungen in der digitalen Umgebung gewährleisten müssen. Die Internettechnologien haben neue Gelegenheiten eröffnet, digitale Versionen zu erstellen, auf die von jedem Ort der Welt aus zugegriffen werden kann, ohne dass die Ressourcen physisch beschädigt werden [21].

Im Rahmen Open Culture werden digitale Technologien, Web, offene Lizenzen und Public Domain eingesetzt, um den Open Access zu Cultural Heritage zu fördern und dessen Wiederverwendung zu ermöglichen [21]. Open Domain (PD) Werke sind für jedermann zur Nutzung für jeden Zweck verfügbar, für die keine exklusiven Rechte an geistigem Eigentum gelten [22]. Die Förderung digitaler Programme für Nachhaltigkeit erfordert sowohl finanzielle als auch politische Unterstützung. Um diese Unterstützung zu fördern, ist es von entscheidender Bedeutung, die Auswirkungen der Digitalisierung auf Institutionen, Nutzer und die Öffentlichkeit aufzuzeigen. Die Richtlinie und Methoden des Open Access ermöglichen den Zugriff auf kulturelle Inhalte für neue Audiences und gewährleisten, dass alle Menschen kulturelle Inhalte wiederverwenden und mit neuen Methoden umgehen können [21].

Am 4. Mai 2023 führte die UNESCO OER Dynamic Coalition ein Webinar mit dem Titel „Open Solutions: A lever to achieve access to information and knowledge“ durch, in dessen Rahmen die vorteilhafte Nutzung offener Lizenzen bei der Förderung inklusiver Wissensgesellschaften thematisiert und hervorgehoben wurde. Der Terminus „offene Lösungen“ bezeichnet digitale Güter des öffentlichen Rechts, welche unter offenen Lizenzen publiziert werden und somit die Rechte des Urheberrechtsinhabers respektieren. Die genannten Lösungen erlauben eine erleichterte Wiederverwendung, Anpassung und Weiterverbreitung von Inhalten durch die Nutzer. Der Fokus liegt auf der Förderung von Open Access. Dies wird

durch die Bereitstellung wissenschaftlicher und kultureller Inhalte unter offenen Lizenzen umgesetzt, wodurch eine breite Zugänglichkeit gewährleistet werden soll. Die Stärkung der digitalen Infrastruktur, einschließlich der Schaffung interoperabler Repositorien, stellt ein weiteres zentrales Element dar. Des Weiteren werden politische und rechtliche Maßnahmen, wie die Entwicklung unterstützender Richtlinien und Anreize, als essenziell erachtet. Die Bildungsinitiativen verfolgen das Ziel, das Bewusstsein für Open Access zu schärfen und die erforderlichen Kompetenzen zu fördern. Die internationale Zusammenarbeit sowie technologische Innovationen fördern die Verbreitung und Nutzung offener Inhalte durch globale Partnerschaften und fortschrittliche Plattformen [23].

2.3 Erweiterter Zugang zu kulturellem Erbe: Digitalisierung und Zugänglichkeit

In dem am 17. Oktober 2003 auf der 32. Generalkonferenz der UNESCO verabschiedeten „Charta zur Bewahrung des digitalen Kulturerbes“ wird darauf hingewiesen, dass der Verlust von Kulturerbe in jeglicher Form eine Verarmung des Erbes aller Nationen bedeutet. Die Verfassung der UNESCO legt fest, dass die Organisation durch die Sicherstellung des Erhalts und Schutzes des weltweiten Erbes an Büchern, Kunstwerken sowie historischen und wissenschaftlichen Monumenten und durch das Programm „Information für alle“ zur Bewahrung, Erweiterung und Verbreitung von Wissen beitragen wird. Die Produktion, Distribution, Zugänglichkeit und Aufbewahrung von Informations- und Ausdrucksressourcen erfolgten zunehmend in digitaler Form, wodurch ein neues Erbe – das digitale Erbe – geschaffen wird. In Anerkennung der Tatsache, dass der Zugang zum digitalen Erbe erweiterte Möglichkeiten für Schöpfung, Kommunikation und Wissensaustausch unter allen Menschen eröffnet, und in Erkenntnis der Bedrohung dieses digitalen Erbes sowie der dringlichen und besorgniserregenden globalen Bedeutung seiner Bewahrung für gegenwärtige und zukünftige Generationen, werden die Prinzipien dieser Charta verabschiedet, von denen einige im Folgenden aufgeführt sind [24]:

- Artikel 1 – Geltungsbereich

Das digitale Erbe umfasst einzigartige Ressourcen menschlichen Wissens und menschlicher Ausdrucksformen. Das digitale Erbe umfasst eine Vielzahl von Ressourcen, darunter kulturelle, erzieherische, wissenschaftliche und administrative Informationen sowie technische, rechtliche, medizinische und andere Arten von Daten, die in digitaler Form vorliegen. Diese Daten können auf unterschiedliche Weise entstanden sein,

beispielsweise durch die digitale Erstellung oder die Umwandlung bestehender analoger Ressourcen. Wird eine Ressource in digitaler Form erstellt, existiert kein alternatives Format. Zu den digitalen Materialien gehören Texte, Datenbanken, Stand- und Bewegtbilder, Audiodateien, Grafiken, Software und Webseiten. Diese Aufzählung ist nicht abschließend, da die Vielfalt an Formaten kontinuierlich wächst. Charakteristisch für digitale Materialien ist ihre Kurzlebigkeit, weshalb eine gezielte Produktion, Pflege und Verwaltung erforderlich ist, um deren Erhalt zu gewährleisten [24].

- Artikel 2 – Zugang zum digitalen Erbe

Der Zweck der Bewahrung des digitalen Erbes besteht in der Sicherstellung der öffentlichen Zugänglichkeit desselben. Dementsprechend sollte der Zugang zu den Materialien des digitalen Erbes, insbesondere zu denen, die öffentlich zugänglich sind, frei von unangemessenen Einschränkungen sein. Gleichzeitig ist sicherzustellen, dass sensible und persönliche Informationen vor jeglichem unberechtigten Zugriff geschützt werden. Die Mitgliedstaaten können mit den einschlägigen Organisationen und Institutionen kooperieren, um ein rechtliches und praktisches Umfeld zu etablieren, welches die Zugänglichkeit des digitalen Erbes maximiert. Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den berechtigten Interessen von Urhebern und anderen Rechteinhabern auf der einen Seite und den Interessen der Öffentlichkeit am Zugang zum digitalen Erbe auf der anderen Seite sollte in Übereinstimmung mit internationalen Normen und Abkommen bestätigt und gefördert werden [24].

- Artikel 5 – Digitale Kontinuität

Die Kontinuität des digitalen Erbes ist von grundlegender Bedeutung. Um das digitale Erbe zu bewahren, müssen Maßnahmen während des gesamten Lebenszyklus der digitalen Informationen ergriffen werden, von der Erstellung bis zum Zugriff. Die langfristige Bewahrung des digitalen Erbes erfordert zunächst die Entwicklung zuverlässiger Systeme und Verfahren, welche die Generierung authentischer und stabiler digitaler Objekte gewährleisten [24].

- Artikel 7 – Auswahl des zu erhaltenden Materials

Wie bei jedem dokumentarischen Erbe können die Auswahlprinzipien von Land zu Land unterschiedlich sein. Die Hauptkriterien für die Entscheidung, welche digitalen Materialien aufbewahrt werden sollen, sind ihre Bedeutung und ihr bleibender kultureller, wissenschaftlicher, beweiskräftiger oder anderer Wert. Es wird empfohlen, Materialien, die „digital geboren“ wurden, eindeutig zu bevorzugen. Die Auswahlentscheidungen sowie die nachfolgenden Überprüfungen sind auf verantwortungsvolle Weise durchzuführen

und basieren auf klar definierten Grundsätzen, Richtlinien, Verfahren und Standards [24].

- Artikel 8 – Schutz des digitalen Erbes

Die Mitgliedstaaten sind dazu verpflichtet, adäquate rechtliche und institutionelle Rahmenbedingungen zu etablieren, um den Schutz ihres digitalen Erbes zu gewährleisten. Als wesentlicher Bestandteil der nationalen Bewahrungspolitik sollten die Archivgesetze sowie die gesetzliche oder freiwillige Hinterlegung in Bibliotheken, Archiven, Museen und weiteren öffentlichen Einrichtungen das digitale Erbe berücksichtigen. Der Zugang zu rechtmäßig hinterlegtem digitalem Erbe sollte unter Berücksichtigung angemessener Beschränkungen gewährleistet sein, ohne dabei die normale Nutzung zu beeinträchtigen. Die Sicherstellung der Authentizität stellt einen entscheidenden Aspekt dar, um Manipulationen oder bewusste Veränderungen des digitalen Erbes zu verhindern. Diesbezüglich sind sowohl rechtliche als auch technische Rahmenbedingungen von grundlegender Bedeutung. Diesbezüglich ist festzuhalten, dass sowohl der Inhalt als auch die Funktionalität der Dateien und die Dokumentation in dem Maße erhalten bleiben müssen, wie es für die Sicherstellung einer authentischen Aufzeichnung erforderlich ist [24].

- Artikel 10 – Rollen und Verantwortlichkeiten

Die Mitgliedstaaten können eine oder mehrere Stellen benennen, die die koordinierende Verantwortung für die Bewahrung des digitalen Erbes übernehmen und die erforderlichen Ressourcen bereitstellen. Die Aufteilung der Aufgaben und Zuständigkeiten kann auf der Grundlage bestehender Rollen und Fachkenntnisse erfolgen. Es sollten Maßnahmen ergriffen werden, um:

(a) Es sollten Maßnahmen ergriffen werden, um Hard- und Softwareentwickler, Urheber, Verleger, Hersteller und Vertreiber von digitalem Material sowie andere Partner aus dem privaten Sektor dazu zu bewegen, mit Nationalbibliotheken, Archiven, Museen und anderen öffentlichen Einrichtungen zur Bewahrung des digitalen Erbes zusammenzuarbeiten.

(b) Zudem sollten Ausbildung und Forschung entwickelt und Erfahrungen und Wissen zwischen den betroffenen Institutionen und Berufsverbänden ausgetauscht werden.

(c) Schließlich sollten Universitäten und andere öffentliche und private Forschungseinrichtungen dazu ermutigt werden, die Bewahrung von Forschungsdaten sicherzustellen [24].

- Artikel 12 – Die Rolle der UNESCO

In Ausübung ihres Mandats und im Rahmen ihrer Aufgaben obliegt es der UNESCO:

- (a) Die in dieser Charta niedergelegten Grundsätze sind bei der Durchführung der Programme zu berücksichtigen und ihre Umsetzung ist innerhalb des Systems der Vereinten Nationen sowie durch zwischenstaatliche und internationale nichtstaatliche Organisationen, die sich mit der Bewahrung des digitalen Erbes befassen, zu fördern.
- (b) Die UNESCO hat die Funktion eines Bezugspunkts und Forums, in dem die Mitgliedstaaten, zwischenstaatliche und internationale nichtstaatliche Organisationen, die Zivilgesellschaft und der Privatsektor gemeinsam Ziele, Strategien und Projekte für die Bewahrung des digitalen Erbes ausarbeiten können.
- (c) Förderung der Zusammenarbeit, Bewusstseinsbildung und des Kapazitätsaufbaus durch die Entwicklung einheitlicher ethischer, rechtlicher und technischer Leitlinien zur Unterstützung der Bewahrung des digitalen Erbes;
- (d) Ermittlung des Bedarfs an weiteren Standardinstrumenten für die Förderung und Bewahrung des digitalen Erbes auf Basis der Erfahrungen aus der sechsjährigen Umsetzungsphase dieser Charta und der Leitlinien [24].

Es stellt sich die Frage, welche Bedeutung die Digitalisierung des kulturellen Erbes hat und welche Faktoren sie notwendig machen. Diese Frage wurde in Übereinstimmung mit der UNESCO-Charta in einer Vorlesungs-Folie von Prof. Dr. Mona Hess zusammengefasst beantwortet:

Das digitale Erbe umfasst einzigartige Ressourcen des menschlichen Wissens und Ausdrucks. Ein Großteil dieser Ressourcen weist einen dauerhaften Wert und eine fortwährende Bedeutung auf, weshalb ihr Schutz und ihre Erhaltung für die heutige sowie die zukünftigen Generationen von essenzieller Bedeutung sind. Darüber hinaus stellt die Gewährleistung des Zugangs zum digitalen Erbe stellt dabei eine wesentliche Herausforderung dar.²

2.4 FürthWiki und das Vorgehen bei der Digitalisierung und Open Access zu den historischen Schätzen der Stadt Fürth

2.4.1 Denkmalstadt Fürth

Im Band zur Stadt Fürth (Denkmäler in Bayern) präsentiert Heinrich Habel eine detaillierte Beschreibung von Fürth geschichtlicher und städtebaulicher Entwicklung. Dabei betont er

² Diese Absätze stammen aus Vorlesungsvertrag: M-DDT-GL-1 Digitale Denkmaltechnologien, Modul 1, Vorlesung 3/ Statuten für die Denkmalpflege in Verbindung mit Digitalen Denkmaltechnologien, Wintersemester 2021, Prof. Dr. Mona Hess

den besonderen historischen Werdegang der Stadt, der sie unter den größeren bayerischen Städten hervorstechen lässt. Im Gegensatz zu anderen Städten war Fürth weder Residenz- noch Bischofssitz, keine freie Reichsstadt und auch keine Universitätsstadt. Der bemerkenswerte Aufschwung der Stadt seit dem späten 17. Jahrhundert ist in erster Linie auf den Fleiß ihrer Bewohnerinnen und Bewohner im gewerblichen Bereich zurückzuführen. Eine aktuelle wissenschaftliche und denkmalpflegerische Betrachtung hat eine Neubewertung des städtebaulichen Wertes Fürths vorgenommen, wobei insbesondere die Einbeziehung privater Bausubstanz sowie jüngerer architektonischer Entwicklungen Berücksichtigung fand. Bis vor einem Jahrzehnt wurde die Stadt als neuzeitliches Zentrum von Handel und Gewerbe betrachtet, dem mangels sakraler und profaner Monumentalbauten kaum künstlerische oder städtebauliche Bedeutung beigemessen wurde. Eine aktuelle wissenschaftliche und denkmalpflegerische Betrachtung führte jedoch zu einer gewandelten Beurteilung des Stadtorganismus Fürth. Ein wesentlicher Aspekt war dabei die Berücksichtigung der privaten Bausubstanz sowie jüngerer architektonischer Entwicklungsphasen im Rahmen der Forschung und des Denkmalschutzes. Die Altstadt Fürths, deren Bausubstanz hauptsächlich aus dem 17. und 18. Jahrhundert stammt, blickt auf eine bis ins frühe Mittelalter reichende Geschichte zurück. Der Ursprung der Stadt wird in einem Königshof aus karolingischer Zeit (8./9. Jahrhundert) vermutet. Die Martinskapelle in der Regnitzniederung, die vermutlich zu diesem Königshof gehörte, verlor ihre pfarrlichen Rechte zu einem späteren Zeitpunkt an die jüngere St. Michael-Kirche im hochmittelalterlichen Marktort. Die Städte Fürth und das benachbarte Nürnberg standen in einem fortwährenden Wettbewerb, der für Fürth sowohl Vor- als auch Nachteile mit sich brachte. Während das Marktrecht im 11. Jahrhundert an Nürnberg übertragen wurde, konnte sich Fürth durch die Ansiedlung von Juden seit dem 16. Jahrhundert wirtschaftlich entwickeln. Die jüdische Gemeinde, die bis ins späte 19. Jahrhundert die größte in Bayern war, leistete mit einer bedeutenden Talmudhochschule und Druckereien einen wesentlichen Beitrag zum wirtschaftlichen und geistigen Aufschwung der Stadt [25].

Fürth ist eine kreisfreie Stadt in Franken - dem Regierungsbezirk Mittelfranken im Freistaat Bayern. Ihren Namen hat sie von einer Furt durch die Rednitz, einem wichtigen Flussübergang auf der Handelsstraße von Nürnberg nach Frankfurt. Die Stadt hat eine Fläche von 63,35 Quadratkilometern und eine Einwohnerzahl von 131.714 Menschen (Stand: 30. Sept. 2023). Über 1000 Jahre sind seit der ersten Erwähnung Fürths vergangen. Obwohl Fürth mit der Nachbarstadt Nürnberg zusammengewachsen ist, präsentiert sich Fürth auch mit einem eigenen Charakter, sowohl in Bezug auf die historische Entwicklung als auch in Bezug auf

Architektur und Bürgerbewusstsein. Fürth zeichnet sich auch heute noch nicht nur durch seine Altstadt mit vielen historischen Fachwerk- und Sandsteingebäuden aus, sondern vor allem durch ein in großer Geschlossenheit erhaltenes Stadtbild des 19. Jahrhunderts, das die Stadt zur Stadt mit der höchsten Denkmaldichte pro Einwohner in Deutschland macht [26]. Im Zweiten Weltkrieg wurden in der Stadt Fürth lediglich Schäden an 10,6 % der Gebäude registriert. Dies führte dazu, dass Fürth nach dem Krieg – gemeinsam mit fünf anderen deutschen Städten – zu den Städten mit den geringsten Luft- und Atelierschäden gehörte [27].

Die Stadt Fürth, die den Titel „Denkmalstadt“ trägt, erschließt heute mit neuem Selbstbewusstsein vor allem auf kulturellem Gebiet erfolgreich ihr historisches Erbe und ihr markantes städtisches Profil [26].

2.4.2 FürthWiki

Das FürthWiki stellt ein regionales Online-Nachschlagewerk (Regiowikis - Regionale Wikis oder Stadtwikis genannt, bieten wie alle Wikis die Möglichkeit, Themen in freier. Bearbeitbarkeit lexikalisch aufzubereiten. Regiowikis sind interaktive Plattformen, in denen unter anderem lokale Ortschroniken und -lexika oder Heimatbücher erstellt werden können.) für die Stadt Fürth dar, das aktuell über 12.003 Inhaltsseiten [3]. Am 7. Februar 2007 wurde das FürthWiki von Felix Geismann und Mark Muzenhardt ins Leben gerufen. Dies geschah vor dem Hintergrund, dass nach ihrer Auffassung in Fürth weder ein aktuelles Stadtlexikon existiert noch eine hinreichende Stadtchronik geführt wird. Diese freie Online-Enzyklopädie (Eine Enzyklopädie ist ein besonders umfangreiches Nachschlagewerk) befasst sich mit allen Themen rund um die Stadt Fürth [28].

Am 27. Juni 2012 wurde ein Trägerverein mit dem Namen FürthWiki – Verein für freies Wissen und Stadtgeschichte gegründet. Zweck von FürthWiki e. V. ist laut Vereinssatzung, „die Geschichte und Kultur der Stadt Fürth zu erforschen, dokumentieren und verbliebene einzigartige Kulturwerte zu bewahren, geschichtliche Kenntnisse zu erhalten und zu vermitteln“ sowie „die Freiheit des Wissens zu fördern“. Zur Erreichung der Ziele soll vor allem „der weitere Aufbau und die Pflege einer freien und den Nutzern kostenlos zugänglichen Internet-Enzyklopädie („FürthWiki“) sowie einer Vereinsinternetseite betrieben werden, um Wissen frei online verfügbar zu machen“. Das Archiv FürthWiki besteht aktuell aus den zeitgeschichtlichen Privatsammlungen einzelner Vereinsmitglieder und Aktiver, welche dem Trägerverein in der Regel zur Verfügung stehen. Die Sammlungen umfassen derzeit

mehrere hundert Bücher zur Fürther Stadtgeschichte, Biografien, Firmenchroniken, Fotos, Dias u. Ä., eine nahezu komplette Ausgabe der Fürther Heimat- bzw. Geschichtsblätter, ca. eintausend historische Geschäftsbriefe von Fürther Firmen, eine umfangreiche Postkarten- und Reklamemarkensammlung, div. Artefakte mit Fürther Bezug, Zeitzeugenberichte sowie alle entsprechend gekennzeichneten Mediendateien aus der Datenbank des Wiki-Projekts selbst. Bisher wurden vor allem Bilddateien (Dias und analoge Fotos, aber auch viele Postkarten) digitalisiert. Ziel von FürthWiki ist es, auch im Bereich der neuen Medien und 3D-Darstellungen voranzukommen und hier neue Wege zu finden, die Quellen digital zu präsentieren und zu erweitern. Das FürthWiki versteht sich als eine moderne, interaktive Plattform, die nicht nur als Informationsquelle, sondern auch als ein Ort des Austauschs und der gemeinsamen Erforschung von Geschichte genutzt werden kann. Dabei werden innovative Technologien und kreative Methoden eingesetzt, um die Fürther Geschichte erlebbar zu machen und einen freien Zugang zu Wissen und Kulturressourcen zu schaffen. Um diese Zielsetzungen zu erreichen, versucht FürthWiki in Zusammenarbeit mit der Universität Bamberg, Lehrstuhl DDT, die Denkmäler der Stadt Fürth mit Hilfe von Methoden der Digitale Denkmaltechnologie zu digitalisieren und ein digitales Modell dieser Denkmäler zu erstellen. Dieses soll als 3D-Modell mit Open Access in die FürthWiki-Website integriert werden [2], [28].

2.4.3 Plattform und technische Struktur

Um die Funktionsweise von FürthWiki zu verstehen, ist es notwendig, sich mit der Software MediaWiki auseinanderzusetzen, die als Basis für die Plattform dient. MediaWiki ist eine von der Wikimedia Foundation entwickelte Software, die zum Betrieb ihrer Projekte verwendet wird. Dazu zählen unter anderem Wikipedia, Wikimedia Commons, Wiktionary oder Regiowikis usw. Sie ermöglicht die Erstellung und Bearbeitung von Seiten durch Benutzer, unterstützt Erweiterungen und Anpassungen und bildet die technologische Grundlage für die gemeinschaftlichen Projekte der Wikimedia Foundation. Daher lässt sich konstatieren, dass MediaWiki die technische Infrastruktur für die Wikimedia-Projekte bereitstellt [29].

Zur genaueren Erfassung der genannten Begriffe ist es erforderlich, diese kurz zu definieren. Die Wikimedia Foundation (WMF) ist eine Non-Profit-Organisation, die die grundlegende Infrastruktur für die Förderung von freiem Wissen bereitstellt, wie z. B. die Online-Enzyklopädie Wikipedia, die von Freiwilligen auf der ganzen Welt erstellt, bearbeitet und

überprüft wird. Darüber hinaus beherbergt die Wikimedia Foundation eine Vielzahl weiterer wichtiger Gemeinschaftsprojekte [30].

Wikipedia stellt ein Wikimedia-Projekt dar, welches sich durch eine globale, freie und vielsprachige Ausgestaltung auszeichnet. Es handelt sich hierbei um das älteste und größte Wikimedia-Projekt, welches im Jahr 2001 gegründet wurde [29].

Wikimedia Commons stellt ein Repository für Mediendateien dar, welches gemeinfreie und frei lizenzierte Bildungsmedieninhalte (Bilder, Ton- und Videoclips) für jedermann in seiner eigenen Sprache zur Verfügung stellt. Es fungiert als gemeinsames Repository für die verschiedenen Projekte der Wikimedia Foundation. Ein Bezug zu einem dieser Projekte ist für die Nutzung der hier gehosteten Medien nicht erforderlich. Die Erstellung und Pflege des Repositoriums erfolgt nicht durch bezahlte Archivare, sondern durch Freiwillige. Der Umfang von Commons wird auf den Seiten zum Projektumfang näher beschrieben. Die technische Grundlage von Wikimedia Commons entspricht derjenigen von Wikipedia und basiert auf der Wiki-Technologie. Die Bearbeitung der Inhalte ist für jeden möglich. Im Gegensatz zu Mediendateien, die in andere Projekte hochgeladen werden, können Dateien, die in Wikimedia Commons hochgeladen werden, auf Seiten aller Wikimedia-Projekte eingebettet werden, ohne dass sie dort separat hochgeladen werden müssen [31].

Die Gestaltung des FürthWikis ist der der Wikipedia ähnlich, da beide Plattformen auf dem Wiki-Hypertext-System MediaWiki basieren. Unter Hypertext wird Text verstanden, der auf einem Computerbildschirm oder anderen elektronischen Geräten angezeigt wird und Verweise (Hyperlinks) auf andere Texte enthält, auf die der Leser unmittelbar zugreifen kann. Die Verbindung der einzelnen Hypertext-Dokumente wird durch die Einbindung von Hyperlinks realisiert, welche typischerweise durch Mausklick, Tastendruck oder eine Interaktion mit dem Bildschirm aktiviert werden. Der Begriff „Hypertext“ findet zudem Verwendung zur Beschreibung von Tabellen und Bildern, die integrierte Verlinkungen aufweisen, sowie weiteren Präsentationsformaten, welche auf diese Art und Weise beschrieben werden können. Hypertext stellt eines der grundlegenden Konzepte des World Wide Web dar, wobei Webseiten häufig in der Hypertext Markup Language (HTML) verfasst sind. In seiner im World Wide Web implementierten Form ermöglicht Hypertext die Veröffentlichung von Informationen über das Internet, wobei die Benutzerfreundlichkeit im Vordergrund steht.

Des Weiteren wird seit einigen Jahren das Semantic MediaWiki zur Verwaltung der Inhalte des RegionalWikis verwendet [32], [3]. Semantic MediaWiki (SMW) bezeichnet eine freie

Open-Source-Softwareerweiterung zu MediaWiki, der Wikisoftware. Die Funktionalität ermöglicht die Definition und Abfrage zusätzlicher Daten zu Texten und medialen Inhalten auf einer Wiki-Seite [33].

2.5 Einsatz von Online-Plattformen für die Integration von 3D-Modellen in Medien

Im Kontext digitaler Plattformen lässt sich eine Vielzahl an 3D-Inhalten für unterschiedliche Anwendungsbereiche beobachten, darunter Bildung, elektronischer Handel, Kultur und Unterhaltung. Im Bereich der digitalen Geisteswissenschaften werden digitale Technologien eingesetzt, um das kulturelle Erbe zu erforschen und zu verbreiten. Obwohl die zugrundeliegenden Technologien bereits etabliert sind, wird die Verfügbarkeit hochwertiger digitaler Modelle oft durch Urheberrechtsfragen, Kosten und technische Herausforderungen eingeschränkt [34].

Die Integration von 3D-Modellen wurde durch das Aufkommen von Online-Plattformen, welche die Veröffentlichung und orts- sowie zeitunabhängige Verfügbarkeit von 3D-Inhalten erleichtern, maßgeblich vorangetrieben. Dadurch wurde eine neue Ära der Kreativität eingeläutet, da Urheber nun einfacher in der Lage sind, 3D-Inhalte online zu veröffentlichen und zu finden [35].

Online-Plattformen für die Integration von 3D-Modellen finden in diversen Anwendungsbereichen Einsatz, darunter in den Bereichen Bildung und Forschung, Kultur und Geschichte, E-Commerce, Unterhaltung und weiteren. Im Folgenden werden exemplarisch einige der führenden Plattformen in den jeweiligen Bereichen vorgestellt.

Gemäß der Daminion³, einer Digital Asset Management (DAM) Software, die insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen sowie kreative Agenturen entwickelt wurde, um die effiziente Verwaltung, Zusammenarbeit und Sicherung digitaler Dateien zu unterstützen, werden einige der führenden 3D-Online-Plattformen wie folgt aufgeführt [36]:

- 1) CGTrader: CGTrader ist ein Online-Markt für Designer, auf dem sie ihre 3D-Modelle verkaufen oder mit anderen teilen können. Außerdem werden Designwettbewerbe veranstaltet. Zudem bieten sie eine breite Palette von Modellen und führen

³ Digital Asset Management (DAM) <https://daminion.net/>

Designwettbewerbe durch. Sie bieten auch eine Plattform für Unternehmen, um 3D-Designer für individuelle Projekte zu beauftragen.⁴

- 2) TurboSquid: TurboSquid ist eine 3D-Modellierungsplattform mit über 900.000 Modellen, die auf Fahrzeuge, Figuren und Architekturmodelle spezialisiert ist.⁵
- 3) 3DBrute: 3DBrute ist eine Plattform für Architektur und Innenarchitektur, die 2009 gegründet wurde. Sie bietet eine große Auswahl an Modellen, darunter auch Innenarchitektur und Möbel. Sie ist bei Innenarchitekten wegen ihrer umfangreichen Sammlung detaillierter 3D-Modelle beliebt.⁶
- 4) CGMood: CGMood ist eine von der Community betriebene Plattform für hochwertige Architekturmodelle und -texturen, wobei der Schwerpunkt auf Realismus und architektonischen Details liegt. Neben dem Modellmarktplatz bietet sie kostenlose Ressourcen und Tutorials.⁷
- 5) 3DSky: 3DSky präsentiert eine umfangreiche Kollektion hochwertiger 3D-Modelle für die Innenarchitektur, insbesondere für Möbel, Dekorationsgegenstände und architektonische Elemente. Es handelt sich um eine Ressource für Innenarchitekten und Architekten, die die Realisierung ihrer Modelle in verschiedenen Projekten veranschaulicht.⁸
- 6) Sketchfab: Sketchfab ist eine Plattform mit Millionen von Modellen und einer Community für Künstler, um ihre Arbeiten zu veröffentlichen, zu teilen und zu verkaufen. Sie bietet einen interaktiven 3D-Viewer und unterstützt VR- und AR-Inhalte für ein noch intensiveres Erlebnis.⁹
- 7) Free3D: Free3D ist eine Plattform für Designer zum Herunterladen und Teilen von 3D-Modellen, von denen zehntausende kostenlos zur Verfügung stehen. Sie bietet eine Mischung aus kostenlosen und Premium-Modellen, die den unterschiedlichen Bedürfnissen und Budgets der Nutzer gerecht werden. Sie bietet nicht nur Modelle, sondern auch Texturen und ist damit eine ganzheitliche 3D-Ressourcenplattform.¹⁰
- 8) Blend Swap: Blend Swap ist eine Community-gesteuerte Plattform für Blender-Nutzer zum Austausch und Download von Blend-Dateien mit über 25.000 Modellen. Sie richtet sich ausschließlich an Blender-Nutzer und bietet spezielle Ressourcen, die für die Software optimiert sind. Die Plattform arbeitet mit Creative-Commons Lizenzen, die

⁴ <https://www.cgtrader.com/>

⁵ <https://www.turbosquid.com/>

⁶ <https://3dbrute.com/>

⁷ <https://cgmood.com/>

⁸ <https://3dsky.org/>

⁹ <https://sketchfab.com/>

¹⁰ <https://free3d.com/>

es den Nutzern erlauben, die Modelle zu teilen, zu remixen und zu verwenden und gleichzeitig die Urheber zu bestätigen.¹¹

- 9) Evermotion: Bei Evermotion handelt es sich um eine 3D-Modellierungsplattform, die über 16.000 Modelle verfügt und sich auf Architekturvisualisierungen spezialisiert hat. Das bietet Assets, Tutorials und Artikel zur Unterstützung der 3D-Künstlergemeinschaft. Ihre Kollektionen sind für ihre Detailtreue und ihren Realismus bekannt und stellen eine Bildungsdrehscheibe für angehende 3D-Künstler dar.¹²

Die einzelnen Plattformen weisen jeweils spezifische Stärken auf und sind dazu imstande, eine Vielzahl unterschiedlicher Anforderungen im Bereich der 3D-Anwendungen zu erfüllen. Diese Plattform eignet sich sowohl für erfahrene Nutzer als auch für Anfänger, die sich mit 3D-Inhalten befassen oder die Grundlagen des 3D-Bereichs erlernen möchten [36].

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass CGTrader, TurboSquid, 3DBrute, CGMood, 3DSky und Free3D die sechs führenden 3D-Online-Plattformen sind, die im Bereich E-Commerce Anwendung finden. Sketchfab, Blend Swap und Evermotion hingegen werden im Bereich Bildung und Kultur eingesetzt. Obwohl Sketchfab und Evermotion ebenfalls in die Kategorie E-Commerce fallen, liegt der Fokus dieser Untersuchung auf ihrer Relevanz für die Bereiche Bildung und Kultur. Insbesondere die Themenfelder digitale Kulturerbe und Open Access werden in diesem Kontext diskutiert. Im Rahmen dieser Untersuchung sollten die führenden Plattformen wie Sketchfab und ähnliche Plattformen einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

- **Sketchfab:**

Sketchfab ist eine bekannte Online-3D-Plattform, die sich durch eine Vielzahl an Modelle auszeichnet. Der Schwerpunkt liegt auf der Gemeinschaft und Interaktivität. Die Plattform wird häufig im Bildungsbereich eingesetzt, um 3D-Modelle für Lernzwecke bereitzustellen und zu visualisieren. Zudem findet sie Anwendung im kulturellen Bereich, um digitale Reproduktionen von Kunstwerken und historischen Artefakten zu präsentieren. Sketchfab stellt eine Plattform dar, die es jedem Nutzer ermöglicht, 3D-Inhalte online zu veröffentlichen und zu finden. Die Plattform hat eine Community von Millionen von Erstellern, die Modelle veröffentlicht haben, und ist damit eine große Plattform für immersive und interaktive 3D-

¹¹ <https://www.blendswap.com/>

¹² <https://evermotion.org/>

Inhalte. Die Technologie dieser Plattform ist mit allen wichtigen 3D-Erstellungstools und -veröffentlichungsplattformen integriert und ist mit allen Browsern, Betriebssystemen, Desktops und Mobiltelefonen kompatibel. Zudem unterstützt sie auch VR und AR auf kompatibler Hardware. Sketchfab ist nicht nur eine Plattform für 3D-Modelle, sondern bietet auch einen interaktiven 3D-Viewer. Dies impliziert, dass Modelle, welche auf die Plattform hochgeladen werden, unmittelbar in Webbrowsern ohne zusätzliche Plugins betrachtet und bearbeitet werden können. Sketchfab wurde Anfang 2012 in Paris, etabliert, um 3D-Designern zu assistieren, ihre Arbeit zu präsentieren. Die Erstellung von 3D-Inhalten wurde durch die Implementierung einfacher Erstellungswerkzeuge sowie einer 3D-Erfassung auf Smartphones für eine breite Nutzerbasis zugänglich gemacht. Das Ziel ist die Etablierung von 3D als Mainstream-Medienformat. Sketchfab gilt aufgrund mehrerer Faktoren als führend in diesem Bereich. Erstens ist sie eine beliebte Plattform, die eine große Auswahl an 3D-Modellen bietet. Zweitens erleichtert die intuitive Benutzeroberfläche das Engagement der Benutzer, während die flexiblen Lizenzierungsoptionen den Benutzern den Zugang und die gemeinsame Nutzung von Inhalten ermöglichen. Die Plattform fördert kollaborative Arbeitsmethoden und den Wissensaustausch, was die Kommunikation und die Entwicklung neuer Ideen erleichtert. Darüber hinaus können Museen, Bildungseinrichtungen und kulturelle Organisationen die Plattform nutzen, um den Wert ihrer Sammlungen zu steigern, indem sie diese in 3D präsentieren [35] , [36].

- **Kompakt:**

Kompakt¹³ ist eine 3D-Repositories Plattform. Die Entwicklung erfolgt am Lehrstuhl für Digital Humanities der Universität Köln. Die Website wurde für die Digitalisierung von historischen Objekten sowie die 3D-Modellierung konzipiert. Die Möglichkeit der Erforschung, des Teilens und des Einbettens von 3D-Modellen ist gegeben. Die Funktionen der Website umfassen „Explore, share & embed“ (Erforschen, Teilen und Einbetten), Annotation sowie Kollaboration.

Unter dem „Explore, share & embed“-Menüpunkt werden Bilder, Videos, Audiodateien sowie 3D-Modelle präsentiert. Alle Inhalte sind im Browser verfügbar. Zudem gibt es die Möglichkeit, alle hochgeladenen Objekte per Iframe auf anderen Websites einzubetten, wie die Entwickler mitteilen.

¹³ <https://kompakt.de/home?locale=en>

Die Annotation ermöglicht die Hinzufügung von Beschreibungen oder Verweisen auf bestimmte Punkte im Raum. Die Interaktion mit den Kompakkt-Objekten kann durch das Hinzufügen von Beschreibungen oder Verweisen auf bestimmte Punkte im Raum erfolgen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Kompakkt-Multimedia-Objekte miteinander zu verknüpfen. Dies veranschaulicht die Funktionsweise des Annotierens mit Kompakkt. Es besteht die Möglichkeit, die Annotationen anderer zu erforschen, eigene Annotationen hinzuzufügen oder gemeinsam mit anderen zu annotieren.

Die Möglichkeit der Zusammenarbeit ist ein wesentlicher Bestandteil der Kompakkt-Plattform. Die Möglichkeit der Zusammenarbeit mit anderen Kompakkt-Nutzern basiert auf der gemeinsamen Erstellung von Objekten, Annotationen und dem Prozess des Annotierens. In der Gewissheit, dass diese Informationen vertraulich behandelt werden, stellt Kompakkt seinen eigenen Quellcode zur Verfügung.

Kompakkt bezeichnet eine Open-Access-Plattform, die Inhalte unter Creative-Commons-Lizenzen anbietet. Der Ansatz ermöglicht es den Nutzern, die auf der Website verfügbaren Inhalte frei zu nutzen, zu teilen und weiterzuentwickeln. Dadurch wird die Zusammenarbeit und die Verbreitung von Wissen gefördert [37].

- **Google Arts & Culture:**

Bei Google Arts & Culture¹⁴ handelt es sich um eine Online-Plattform, die von Google betrieben wird. Sie ermöglicht es Nutzern, Kunstwerke, kulturelle Artefakte und historische Schätze aus Museen und kulturellen Institutionen weltweit zu entdecken. Die Plattform bietet virtuelle Museumsbesuche, hochauflösende Bilder und 3D-Scans von Kunstwerken sowie Bildungsressourcen für Lehrer, Schüler und Forscher. Die Nutzung von AR- und VR-Technologien ermöglicht es Google Arts & Culture, immersive und interaktive Erlebnisse zu schaffen, die das kulturelle Erbe digital zugänglich und erlebbar machen.

Die Inhalte der Plattform richten sich an verschiedene Zielgruppen, darunter Bildungseinrichtungen, Kunst- und Kulturinteressierte sowie die allgemeine Öffentlichkeit. Des Weiteren unterstützt sie kulturelle Institutionen bei der digitalen Präsentation und Archivierung ihrer Sammlungen, wodurch Kunst und Kultur weltweit zugänglich gemacht werden. Mit einem umfassenden Angebot an Lehrmaterialien und virtuellen Erlebnissen fördert Google Arts & Culture das Verständnis und die Wertschätzung von Kunst und Kultur.

¹⁴ <https://artsandculture.google.com/>

Die nicht-kommerzielle Initiative Google Arts & Culture kooperiert mit Kultureinrichtungen und Künstlern weltweit. Die Bewahrung und Zugänglichmachung von Kunst und Kultur weltweit stellt für Google Arts & Culture eine zentrale Aufgabe dar. Dies erfolgt mit dem Ziel, Kunstwerke und kulturelle Inhalte für jeden und überall verfügbar zu machen.

Google Arts & Culture kooperiert mit kulturellen Institutionen und Künstlern, um Kunstwerke und kulturelle Inhalte einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Die Inhalte gehören entweder Google Arts & Culture oder den jeweiligen Partnerinstitutionen. Ein Großteil der Inhalte ist unter Creative-Commons-Lizenzen verfügbar und kann für bestimmte Zwecke frei genutzt werden, wobei die Urheberrechte gewahrt bleiben. Der Zugriff auf die Inhalte ist kostenfrei und die Datenschutzrichtlinien von Google gewährleisten den Schutz der Privatsphäre der Nutzer. Die Plattform garantiert jedoch nicht, dass die Inhalte vollständig und fehlerfrei sind. Für die rechtmäßige Nutzung der Inhalte sind die Nutzer selbst verantwortlich [38].

Insgesamt kann festgestellt werden, dass Online-Plattformen in verschiedenen Bereichen wie Bildung, E-Commerce, Kultur und Kulturerbe und Unterhaltung eingesetzt werden. Diese Plattformen befinden sich noch in der Entwicklung, so dass in Zukunft weitere potenzielle Fortschritte und Innovationen zu erwarten sind. Die digitalen Technologien haben sich erheblich weiterentwickelt und ermöglichen genaue 3D-Modelle, die sowohl die Geometrie als auch die Oberfläche in hoher Auflösung wiedergeben. Was die technischen Herausforderungen angeht, so kann festgestellt werden, dass die Bereitstellung von 3D-Inhalten über das Internet hinter anderen digitalen Medien wie Text, Bild, Video und Audio zurückbleibt. Die Integration von 3D-Modellen oder digitalen Inhalten in Medien über Online-Plattformen bietet jedoch mehr Möglichkeiten, sie interaktiver und attraktiver zu gestalten. [34] Allerdings gibt es immer noch technische Hindernisse oder Probleme im Zusammenhang mit dem Datenschutz. Die Bereitstellung von Inhalten ist eine bedeutende Herausforderung. Durch die Untersuchung verschiedener Anwendungen, Technologien und Herausforderungen lassen sich wertvolle Erkenntnisse gewinnen, die zur weiteren Entwicklung und Optimierung dieser Technologien beitragen [39].

2.6 Fallstudie

- **Verbreitung und Nutzung von 3D-Modellen im Web: Sind wir bereit?[34]**

Der Beitrag „DELIVERING AND USING 3D MODELS ON THE WEB: ARE WE READY?“ befasst sich mit den Technologien und Plattformen, die zur Veröffentlichung und

Visualisierung von 3D-Modellen im Internet zum Einsatz kommen. Dabei liegt der Fokus auf den Anwendungen im Bereich des Kulturerbes (Cultural Heritage, CH). Im Folgenden werden die Herausforderungen und Lösungen bei der Erstellung, Verwaltung und Darstellung von hochauflösenden 3D-Modellen erörtert, insbesondere im Kontext der Restaurierung und Dokumentation kultureller Artefakte.

Die Einführung von WebGL (Web Graphics Library), einem Standard, der die Darstellung von 3D-Grafiken im Webbrowser ermöglicht, ohne dass dafür zusätzliche Plugins benötigt werden, ist ein entscheidender Faktor. WebGL unterstützt eine Vielzahl webbasierter Anwendungen. Als führende Lösungen für die Veröffentlichung von 3D-Inhalten werden Plattformen wie Sketchfab und Smithsonian Museum X3D¹⁵ beschrieben, obwohl sie einige Einschränkungen hinsichtlich Flexibilität und Datenkomplexität aufweisen. Techniken wie Multiresolution-Ansätze und View-Dependent-Rendering sind von entscheidender Bedeutung für die effiziente Verwaltung komplexer 3D-Daten im Web. Die 3DHOP-Plattform (3D Heritage Online Presenter) stellt eine Open-Source-Lösung dar, die eigens für die Anforderungen der digitalen Geisteswissenschaften entwickelt wurde und die Erstellung interaktiver Webseiten für hochauflösende 3D-Modelle ermöglicht. Des Weiteren sei der ARIADNE Visual Media Service¹⁶ erwähnt, der die automatische Umwandlung und Veröffentlichung visueller Medien im Web erleichtert.

Eine Fallstudie, die im vorliegenden Artikel präsentiert wird, betrifft die Restaurierungsmaßnahmen am Neptunbrunnen in Bologna, Italien. Ziel des Projekts ist die Sammlung aller technischen Dokumentationen zur diagnostischen Phase, Planung und Durchführung der Restaurierung in einem Online-System. Die Dokumentationen beinhalten eine Georeferenzierung sowie eine Verknüpfung mit hochauflösenden 3D-Modellen des Brunnens, welche durch ein Online-Tool zugänglich sind. Die Digitalisierung des Brunnens, durchgeführt von der Universität Bologna, erzeugte hochauflösende 3D-Scans, welche als Basis für das Informationssystem dienen. Das entwickelte Informationssystem ermöglicht es den Benutzerinnen und Benutzern, Dokumente und Fotos zu verlinken und georeferenzierte Daten direkt auf dem 3D-Modell zu erstellen und zu speichern.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

¹⁵<https://www.3d.si.edu/>

¹⁶<https://visual.ariadne-infrastructure.eu/>

Das System stellt ein komplexes Kunstwerk mit einer hohen Präzision dar, welches mittels einer 3D-Scanning-Methode erfasst wurde. Die 3D-Datenverwaltung wurde auf der Grundlage der 3DHOP-Technologie implementiert und ermöglicht die webbasierte interaktive Bearbeitung und Analyse eines umfangreichen Modells (insgesamt etwa 600 Millionen Dreiecke – Meshes).

In diesem Beitrag wurde der aktuelle Stand der Technik für die webbasierte Veröffentlichung und Visualisierung visueller Medien (mit Schwerpunkt auf CH 3D-Modellen) präsentiert. Das World Wide Web stellt heutzutage den wichtigsten Kanal für die Veröffentlichung und Verbreitung von Wissen dar. Die Technologie ist nun bereit für die anspruchsvolle Nutzung des Webs[40]. In der Konsequenz wird das Web zur wichtigsten Verbreitungs- und Austauschplattform für 3D-Inhalte. Das Web kann über die Archivierung und Visualisierung von Daten hinausgehen und sich zu einem Bereich entwickeln, in dem Programme über Daten laufen. (Diesbezüglich können die Experimente mit der webbasierten Version von MeshLabJS unter <http://www.meshlabjs.net> erwähnt werden.)

Diese Fallstudie demonstriert, wie fortschrittliche webbasierte Technologien und Plattformen effektiv in Restaurierungsprojekten implementiert werden können, um eine optimierte Dokumentation, Analyse und Zugänglichkeit von Kulturerbedaten zu erreichen. Der Einsatz von 3D-Modellen und interaktiven Informationssystemen stellt eine zukunftsweisende Methode dar, die die Effizienz und Genauigkeit in der Erhaltung und Restaurierung von kulturellen Artefakten erheblich steigert [34].

2.7 Wikimedia - Ansatz, Funktionen und Möglichkeiten

Die 2003 von Jamie Wells in St. Petersburg, Florida, gegründete Wikimedia Foundation (WMF) ist eine US-amerikanische Non-Profit-Organisation mit Hauptsitz in San Francisco, Kalifornien. Die Foundation ist für die Bereitstellung der Online-Enzyklopädie Wikipedia verantwortlich, welche weltweit auf Platz 7 der meistbesuchten Websites rangiert. Des Weiteren beherbergt die Wikimedia Foundation 14 weitere Projekte mit verwandten Inhalten und fördert die Entwicklung von MediaWiki, welches die Grundlage für alle genannten Projekte bildet. Der Ansatz der Wikimedia Foundation zielt darauf ab, freien und zugänglichen Bildungsinhalt durch verschiedene Projekte, die auf der Wiki-Technologie basieren, bereitzustellen. Diese fördern die Beteiligung der Gemeinschaft, Innovation und den Austausch von Informationen über Sprachen und Kulturen hinweg. Die Finanzierung der Stiftung erfolgt primär durch die Sammlung von Millionen kleiner Spenden seitens der Nutzerinnen

und Nutzer von Wikipedia. Diese werden mittels E-Mail-Kampagnen sowie jährlicher Banner-Spendenaktionen auf Wikipedia und ihren Schwesterprojekten generiert [41].

Die Studie „Open Strategy-Making at the Wikimedia Foundation: A Dialogic Perspective“ von Heracleous et al. (2017) analysiert die Bedeutung des Dialogs in offenen Strategieprozessen der Wikimedia Foundation. Die Studie fokussiert auf die Untersuchung der Rolle des Dialogs in offenen Strategieprozessen am Beispiel der Entwicklung des 5-Jahres-Strategieplans von Wikimedia. Die Studie identifiziert die inhärenten Spannungen zwischen dem Dialog als einer aufstrebenden, nicht-hierarchischen Praxis und der Strategie als einer Praxis, die eine klare Richtung und Ausrichtung erfordert. Des Weiteren wird in der Studie der kontextuelle Charakter dialogischer und offener Strategieprozesse betont, wobei die These aufgestellt wird, dass die dialogische Organisationsentwicklung dazu beitragen kann, kontextuelle Merkmale zu berücksichtigen. Die Charakteristika von Offenheit und Dialogizität machen diese Art von Strategieprozess zu einem interaktiven und kommunikativen Vorgehen, das Transparenz und Partizipation als grundlegende Elemente beinhaltet. Die vorliegende Studie hat zum Ziel, den Strategieprozess von Wikimedia durch eine dialogische Perspektive zu analysieren und die Rolle des Dialogs bei der Gestaltung von Denk- und Handlungsweisen durch effektive Kommunikation zu identifizieren. Die zentrale Forschungsfrage lautet wie folgt: Welche Rolle spielt der Dialog in offenen Strategieprozessen? Im Rahmen der Studie wurde eine eingehende qualitative Fallstudie über den offenen Strategieprozess von Wikimedia durchgeführt, welcher als Beispiel für phänomenbasierte Forschung betrachtet wurde. Der analytische Prozess folgte den Prinzipien der Grounded Theory und führte zur Identifizierung von Schlüsselaspekten der Kultur und des Strategieprozesses von Wikimedia. Diese Aspekte wurden in Themen wie Transparenz, Partizipation, Zusammenarbeit und Entscheidungskontrolle unterteilt. Die detaillierte Studie der offenen Strategieentwicklung von Wikimedia bietet wertvolle Einblicke in die Rolle des Dialogs in offenen Strategieprozessen. Dabei wird ersichtlich, dass Organisationen eine Vielzahl an Herausforderungen bewältigen müssen, um in einem komplexen und kontextabhängigen Umfeld erfolgreiche strategische Ergebnisse zu erzielen [42].

2.7.1 MediaWiki

MediaWiki stellt eine Softwarelösung dar, die sich großer Beliebtheit bei der Einrichtung und Verwaltung von Wikis erfreut. Hierbei handelt es sich um Websites, deren gemeinschaftliche Bearbeitung im Vordergrund steht. Der Quelltext wurde erstmals im Jahr 2004 für die Wikimedia Foundation veröffentlicht, deren Hauptziel die Hosting-Dienstleistungen

für eine Vielzahl von Projekten, insbesondere Wikipedia, der größten Enzyklopädie der Welt, umfasste. Seit seiner Einführung wurde es als primäre Software für Zehntausende von Websites auf der ganzen Welt übernommen. Dennoch ist es die Wikimedia-Gemeinschaft, die weiterhin die aktivste Rolle bei der Entwicklung und Pflege der Software einnimmt. Des Weiteren hat die Gemeinschaft eine Vielzahl an Erweiterungen entwickelt, die für unterschiedliche Anforderungen konzipiert wurden. Zu den wesentlichen Funktionen von MediaWiki zählt die Erweiterung Semantic MediaWiki (SMW), welche die Nutzung semantischer Fähigkeiten für MediaWiki ermöglicht. Die Funktion von SMW besteht in der Interpretation formatierten Textes innerhalb eines Wikis als Daten. Dadurch wird eine textbasierte Bearbeitungssoftware in eine dynamische, kollaborative Datenbank transformiert, wodurch die Beschränkungen herkömmlicher Datenbanksoftware umgangen werden. Die Kombination von MediaWiki und SMW birgt das Potenzial, als Repository für die Dokumentation von Open-Source-Projekten in gemeinschaftlichen und laufenden Projekten zu dienen. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass mehrere Benutzer die Informationen nicht nur asynchron bearbeiten können, sondern auch, dass sich die Datenbank mit weniger Aufwand als eine relationale Datenbank an die sich entwickelnden Anforderungen von Datenbankschemata anpassen lässt. Zudem kann die Datenbank Datenkonsistenz, Zugriff und Wiederverwendbarkeit bieten [43].

Die Ursprünge des MediaWiki gehen auf Magnus Manske zurück; eine Weiterentwicklung erfolgte durch Lee Daniel Crocker. Ein Großteil der funktionalen Anforderungen der Software wird von einer Vielzahl von Wiki-gehosteten Websites im Internet erfüllt, ebenso wie die meisten von der Stiftung gehosteten Websites, darunter Wikipedia, Wiktionary, Wikimedia Commons, Wikispeak, MetaWiki und Wikidata. Die MediaWiki-Software ist ein PHP-basiertes System, welches textuelle Inhalte in einer Datenbank speichert. Sie wurde entwickelt, um die hohen Anforderungen von umfangreichen Projekten wie Wikipedia zu erfüllen. Die Software steht in mehr als 400 Sprachen zur Verfügung und verfügt über eine Vielzahl von 1000 Konfigurationseinstellungen und Erweiterungen. MediaWiki ist Open Source und kostenlos verfügbar und wird unter den Bedingungen der GNU General Public License Version 2 oder einer späteren Version vertrieben. Die Dokumentation ist unter der Creative-Commons-BY-SA-4.0-Lizenz veröffentlicht, welche die Verwendung einiger Inhalte in der Public Domain erlaubt. Sie wird von einer aktiven Gemeinschaft von Freiwilligen entwickelt und gepflegt. Die Erstellung von Hauptversionen von MediaWiki erfolgt etwa alle sechs Monate, während kleinere Versionen bei Bedarf zur Behebung von Fehlern

veröffentlicht werden. Regelmäßige Updates der Software werden an die Wikimedia-Seiten weitergeleitet. Für die Kommunikation von Funktions- und Verbesserungswünschen wird ein öffentlicher Bug-Tracker verwendet, der unter der Adresse phabricator.wikimedia.org erreichbar ist [44].

2.7.2 Wikimedia Commons

„Commons“ bezeichnen umfassende soziale Institutionen, die die Kontrolle der (Re-)Produktion von Ressourcen zum Ziel haben. Diese werden durch miteinander verbundene rechtliche, soziokulturelle, wirtschaftliche und institutionelle Dimensionen ausgedrückt. Sie stellen einen umfassenden Ansatz für die Organisation kollektiven Handelns dar und positionieren sich „jenseits von Markt und Staat“ [45], [46]. Commons stellen eine dritte Möglichkeit zur Organisation von Gesellschaft und Wirtschaft dar, die sich sowohl von marktbasierenden Ansätzen, welche sich an Preisen orientieren, als auch von bürokratischen Organisationsformen, welche sich an Hierarchien und Befehlen orientieren, unterscheidet. Digitale Commons stellen einen Teilbereich der Commons dar, bei dem die Ressourcen Daten, Informationen, Kultur und Wissen sind, welche online erstellt und/oder gepflegt werden. Das Konzept der digitalen Commons ist von entscheidender Bedeutung, um einer rechtlichen Enteignung entgegenzuwirken und einen gerechten Zugang zu diesen Ressourcen zu fördern [47].

Wikimedia Commons, kurz Commons, ist ein auf der Wiki-Technologie basierender Medienspeicher für Bilder, Audio, Video und andere Medien. Es handelt sich hierbei um ein Projekt der Wikimedia, welches am 7. September 2004 durch die Wikimedia Foundation gegründet wurde. Die auf Wikimedia Commons gespeicherten Dateien können für die externe Nutzung in allen Wikimedia-Projekten in allen Sprachen heruntergeladen werden. Dazu zählen unter anderem Wikipedia, Wikivoyage, Wikiarticles, Wikitalk, Wiktionary, Wikinews, Wikibooks und Wikispecies. Im Mai 2024 umfasste das Repository mehr als 105 Millionen freie Mediendateien, die von registrierten Freiwilligen verwaltet und bearbeitet werden konnten. Im Jahr 2018 bestand die Möglichkeit, 3D-Modelle im STL-Format auf die Website hochzuladen. Eines der ersten Modelle, das auf Commons hochgeladen wurde, war die Rekonstruktion einer Löwenstatue in Palmyra, Syrien, die im Jahr 2015 von ISIS schwer beschädigt wurde. Eine Vielzahl von Organisationen hat Dateien auf Commons hochgeladen. Im Jahr 2012 hat die National Archives and Records Administration (NARA) 100.000 digitale Bilder aus ihrer Sammlung hochgeladen. Im Jahr 2020 hat die Digital Public Library of America (DPLA) mit dem Hochladen ihrer Sammlungen auf Commons begonnen. Im

Jahr 2022 hat die DPLA mehr als zwei Millionen Dateien hochgeladen. Auch Europeana, eine Website, die das europäische Kulturerbe sammelt, stellt seine digitalen Bilder über Commons zur Verfügung. Wikimedia Commons ist ein zentrales Archiv für frei verfügbare Mediendateien, darunter Bilder, Sounds, Videos und 3D-Modelle, die von allen Wikimedia-Projekten und darüber hinaus genutzt werden. Im Mittelpunkt stehen der Zugang und die Integration von Mediendateien durch Werkzeuge zum Hochladen, Kategorisieren und Teilen. Für 3D-Modelle unterstützt Commons verschiedene Formate und bietet einen 3D-Viewer für eine bessere Benutzerinteraktion. Die Plattform legt den Schwerpunkt auf Beiträge der Community, die Organisation von Metadaten und die Einhaltung von Lizenzen, um einen offenen Zugang zu Medien und eine einfache Integration in Bildungs- und Informationskontexte zu gewährleisten [48] , [41].

2.7.3 Freie Lizenz

Die Inhalte von Wikimedia und anderen Wiki-Projekten stehen unter freien Lizenzen zur Verfügung. Eine freie Lizenz oder offene Lizenz erlaubt den Nutzern, die Arbeit eines anderen Autors zu nutzen. Ohne eine spezifische Lizenz sind diese Nutzungen in der Regel durch Copyright, Patente oder kommerzielle Lizenzen verboten. Freie Lizenzen sind oft die Grundlage für Crowdsourcing- und Crowdfunding-Projekte. Die Konzeption des Begriffs „freie Lizenz“ sowie die Fokussierung auf die Nutzerrechte sind im Kontext der Traditionen des Teilens in der Hackerkultur des Public-Domain-Software-Ökosystems der 1970er Jahre, der sozialen und politischen Bewegung für freie Software (seit 1980) sowie der Open-Source-Bewegung (seit den 1990er Jahren) zu verorten. Die genannten Rechte wurden von verschiedenen Gruppen und Organisationen für unterschiedliche Bereiche in der Free Software Definition, Open Source Definition, Debian Free Software Guidelines, Definition of Free Cultural Works und Open Definition kodifiziert. Open Source, freie Kultur (vereint als Free- und Open-Source-Bewegung), Anti-Copyright, Projekte der Wikimedia Foundation, Interessengruppen für Public Domain und Piratenparteien werden alle mit freien und offenen Lizenzen in Verbindung gebracht. Die primäre Lizenz, die für Wikipedia-Inhalte verwendet wird, ist die Creative Commons Attribution-ShareAlike (CC BY-SA) Lizenz. Diese Lizenz erlaubt anderen, die Inhalte frei zu verwenden, zu teilen und zu modifizieren, sofern sie den ursprünglichen Autoren angemessen zugeschrieben werden und die abgeleiteten Werke unter derselben Lizenz veröffentlicht werden. Die Verwendung der CC BY-SA Lizenz fördert die Prinzipien der Freiheit und Offenheit, auf denen die Wikimedia-Projekte basieren [49].

2.8 Digitale Denkmaltechnologien zur Realisierung der Zielsetzungen von Wikimedia

Institutionen, die sich der Archivierung und Bewahrung des kulturellen Erbes widmen, nutzen zunehmend digitale Ressourcen, einschließlich digitaler Sammlungen und Online-Plattformen. Um die Zugänglichkeit ihrer Sammlungen für die Nutzer zu optimieren, haben sie verschiedene kreative Lösungen entwickelt. Eine Strategie zur Verbesserung des Zugangs zu den Ressourcen des digitalen Kulturerbes besteht darin, Links oder Medien in die Wikimedia-Umgebung einzubinden. Die Collaboration zwischen Kulturinstitutionen und Wikimedia-Projekten kann für beide Seiten vorteilhaft sein und dazu beitragen, den Zugang und die Nutzung digitaler Inhalte zu optimieren. In diesem Zusammenhang verweist der Artikel 'Assessing Impact of Medium-Sized Institution Digital Cultural Heritage on Wikimedia Projects' auf die Beziehungen zwischen digitalem Kulturerbe und Wikimedia und ihre gegenseitigen Auswirkungen. Die Plattform Wikimedia ermöglicht es der Öffentlichkeit, digitale Inhalte hochzuladen, zu bearbeiten und zu nutzen. Dem digitalen Kulturerbe sind hingegen digitale Sammlungen historischer, künstlerischer und kultureller Materialien zuzuordnen, deren Pflege durch Kultureinrichtungen erfolgt. Die wechselseitige Nutzung dieser Beziehung zielt darauf ab, den Zugang zu und die Wiederverwendung digitaler Inhalte für Kultureinrichtungen zu optimieren, die Wikimedia-Inhalte zu bereichern und ihre Glaubwürdigkeit zu erhöhen. Einerseits können kulturelle Institutionen von Wikimedia profitieren, indem sie den Zugang zu digitalen Inhalten für die Öffentlichkeit erleichtern, die Wiederverwendung dieser Inhalte auf Websites und sozialen Plattformen erhöhen und das Suchmaschinen-Ranking verbessern. Andererseits leisten Kulturinstitutionen einen Beitrag zur Bereicherung von Wikipedia und Wikimedia Commons, indem sie hochwertige und korrekte Inhalte hochladen und dadurch die Glaubwürdigkeit dieser Plattformen erhöhen [50].

In diesem Zusammenhang kann der Einsatz von Methoden der digitale Denkmaltechnologien zur Dokumentation historischer und kultureller Werke als ein wichtiges Element angesehen werden. Diese Methoden ermöglichen ein hohes Ausmaß an Genauigkeit bei der Erfassung von physischen und historischen Merkmalen in digitalen Dokumenten. In den letzten Jahren haben sich die Technologien und digitalen Werkzeuge für die Dokumentation historischer Denkmäler erheblich verbessert, was zu einem besseren Standard der Denkmalpflege geführt hat. Vor diesem Hintergrund ist es von größter Bedeutung, die neuesten Technologien und Techniken im Bereich des kulturellen Erbes zu kennen und zu nutzen. Dazu gehört auch die digitale Erfassung und Dokumentation durch Methoden wie 3D-Scannen,

hochauflösende Bildgebung und Geoinformationssysteme, usw. Die digitale Dokumentation unterstützt auch die langfristige Speicherung und Archivierung von Kulturgütern in digitalen Archiven. Zugang und Öffentlichkeitsarbeit umfassen Online-Datenbanken, digitale Bibliotheken, virtuelle und erweiterte Realität und digitale Exponate. Diese Technologien erleichtern den Zugang für Forscher, Studenten und die breite Öffentlichkeit weltweit. Virtual Reality und Augmented Reality bieten immersive Erfahrungen, die es ermöglichen, historische Stätten und Kunstwerke auf innovative Weise zu erleben und zu erkunden. Digitale Dokumentationen ermöglichen die Erstellung genauer und realistischer 3D-Modelle historischer Denkmäler, die für verschiedene Zwecke wie Tourismus, Bildung und Restaurierung genutzt und auf Online-Plattformen wie Wikimedia veröffentlicht werden können [51] , [52].

2.9 Zwischenfazit

Die bisherigen Ausführungen zu den Grundkonzepten, Open-Access-Technologien sowie der Bedeutung der „Digitalen Denkmaltechnologien“ verdeutlichen das Potenzial dieser Ansätze für die digitale Archivierung und Bewahrung sowie den Zugang zu kulturellen Schätzen. Die Integration von 3D-Modellen in Plattformen wie Wikimedia demonstriert die Relevanz digitaler Technologien für die Konservierung und Verbreitung historischen Wissens. Die bisherigen Methoden zur Erstellung und Nutzung von 3D-Modellen fokussieren sich auf die präzise und effiziente Abbildung und Darstellung historischer Denkmäler, um wissenschaftlichen und pädagogischen Anforderungen gerecht zu werden.

Für eine Vielzahl von Anwendungen, wie beispielsweise die allgemeine Bereitstellung des kulturellen Erbes oder die Bildungsarbeit, ist eine 3D-Modellierung ausreichend. Eine präzisere Darstellung erweist sich jedoch insbesondere in den Bereichen Denkmalpflege, Archäologie und wissenschaftliche Forschung als vorteilhaft. Die Präzision der digitalen Erfassung eines Gebäudes bestimmt maßgeblich die Qualität der Dokumentation spezifischer Details und Informationen, die Planung von Restaurierungsmaßnahmen sowie die Analyse des aktuellen Zustandes des Gebäudes.

Ein wesentlicher Aspekt ist der Einsatz von Technologien wie H-BIM (Heritage Building Information Modeling), einem leistungsfähigen Instrument zur präzisen digitalen Erfassung und Verwaltung bestehender Gebäude. Die Technologie ermöglicht die genaue Erfassung der geometrischen und historischen Informationen eines Gebäudes. Dennoch bestehen weiterhin Herausforderungen, insbesondere im Hinblick auf die Integration dieser detaillierten Modelle in breitere digitale Plattformen wie Wikimedia oder ähnliche frei zugängliche

Datenbanken. Die Kompatibilität und der Austausch von Daten zwischen verschiedenen digitalen Formaten und Plattformen stellen nach wie vor komplexe Themen dar.

Im Folgenden wird der gesamte Arbeitsablauf von der Datenerfassung über die Modellierung bis zur Integration des 3D-Modells in die Wikimedia-Plattform am Beispiel des historischen Gebäudes „Goldener Schwan“ in Fürth vorgestellt. Im Rahmen der Untersuchung werden verschiedene Modellierungsansätze und Softwarelösungen miteinander verglichen, um die methodischen und technischen Herausforderungen sowie die Vorteile und Grenzen digitaler Denkmaltechnologien näher zu ergründen.

3 Das Untersuchungsobjekt - Goldener Schwan (Ehem. Gasthaus)



Abbildung 4: Goldener Schwan, Ansicht Marktplatz

3.1 Baugeschichte

- **Das Gebäude als Baudenkmal:**

Das Gebäude Goldener Schwan, auch bekannt als Ehem. Gasthaus, befindet sich in der [Marktplatz 2 Fürth](#), Bayern. Im Denkmaltlas des bayerischen Landesamts für Denkmalpflege besitzt es die Aktennummer D-5-63-000-839. Der Goldene Schwan ist nach dem Bayerischen Denkmalschutzgesetz als Baudenkmal im Ensemble sowie als Bodendenkmal geschützt. Das Gebäude selbst ist aufgrund seiner architektonischen, künstlerischen oder historischen Bedeutung geschützt. Zudem ist es Bestandteil des Altstadtensembles und liegt im Bereich eines archäologisch bedeutenden Bodendenkmals [53].

- **Abriss zur Bau- und Umbaugeschichte:**

Das Gebäude geht im Kern auf das Jahr 1681 zurück. Zu dieser Zeit wurde dem „Goldenen Schwan“ das sogenannte „Anspannrecht“ verliehen, welches die Unterbringung von Fuhrwerken und Pferden über Nacht ermöglichte. Diese Praxis ist noch heute an den beiden Zugängen zum Marktplatz und zur Königstraße 45 sichtbar. Erst im 18. Jahrhundert wurde dem Fachwerkhaus die repräsentative Sandsteinfassade angefügt. Das Gebäude wurde mehrmals saniert, zuletzt umfassend im Jahr 2016. Im Rahmen dieser Sanierung wurden auch Holzschädlinge bekämpft, die das Gebäude befallen hatten. Die historische Bedeutung des Gebäudes zeigt sich auch in der Größe des Innenhofs, der eine Fläche von 516 m² umfasst. In einem um 2005 abgerissenen Hinterhaus befand sich bis 1720 die Schule der Dompropstei für ärmere Kinder. Der Goldene Schwan ist das einzige Haus am Platz, das über eine kleine Freitreppe verfügt. An der Fassadenecke befindet sich als Symbol des Gasthauses ein geschnitzter goldener Schwan, dessen geschwungener Hals sowohl in Richtung Marktplatz als auch in Richtung Königstraße streckt. Auch auf dem Eingangstor ist ein Schwan zu sehen [53] , [54].



Abbildung 5: Historische Ansicht: Der Goldene Schwan (ganz rechts im Bild) am Grünen Mark, Bild von [55]

Abbildung 6: Marktplatz um 1980, rechts Goldener Schwan, Bild von Fürth Wiki Website, https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:Marktplatz_Straßenbahn.jpg - [/media/Datei:Marktplatz_Straßenbahn.jpg](https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:Marktplatz_Straßenbahn.jpg)

Im Jahr 1979 wurde die Renovierung des Gebäudes durch den Altstadtverein unterstützt. In der Folgezeit stand das Gebäude leer und verfiel zusehends. Im Juli 2015 wurde in der Presse darüber berichtet, dass eine Wiederbelebung des Gebäudes mit einer Gaststätte im Erdgeschoss geplant sei. Die im April 2016 erteilte Baugenehmigung für die Generalsanierung wurde ebenfalls mit der Weiterführung der Traditionsgaststätte begründet. Die geplante Nutzung wurde jedoch wieder verworfen, da sich kein geeigneter Gastronom finden ließ. Im Februar 2017 wurde öffentlich bekannt, dass im Sommer eine Physiotherapiepraxis in das Gebäude einziehen soll. Am 6. Juni 2017 nahm die Praxis „Reha am Stadtpark“ ihren Betrieb

in den neu bezogenen Räumlichkeiten auf. Erst nach der umfassenden Sanierung des Gebäudes wurde ersichtlich, dass dieses von Holzschädlingen befallen war. Mitte April 2018 wurde das gesamte Gebäude daher vollständig in Schwarz, Rot und Gold gehüllt und der gesamte umschlossene Raum mehrere Tage lang begast. Am 12. Dezember 2019 wurde seitens der Stadt Fürth eine Prämie für eine besonders gelungene Fassadensanierung vergeben [54].



Abbildung 7: Blick von der Marktplatz, nach der Renovierung der Fassade, https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:20230514_Marktplatz_2.jpg - /media/Datei:20230514_Marktplatz_2.jpg

Abbildung 8: Blick von der Königstraße, nach der Renovierung der Fassade, Bild von Website FürthWiki, https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:Zum_Goldenen_Schwan_2020.jpg - /media/Datei:Zum_Goldenen_Schwan_2020.jpg

Im Jahr 1932 verschwand das Symbol des Goldenen Schwans, aber es ist unklar, wann es wieder angebracht wurde. Durch Zufall wurde das gestohlene Gasthaussschild schließlich am 24. Oktober 1979 von der Polizei entdeckt. Nachdem der Goldene Schwan vergoldet worden war, wurde er am 13. Dezember 1979 an seinen ursprünglichen Platz am Gasthausgebäude zurückgebracht. Im Rahmen der Renovierungsarbeiten am Gebäude im Jahr 2016 wurde der Schwan entfernt und eine Wiederaufstellung aufgrund der entstandenen Schäden zunächst in Frage gestellt. Die Diskussion über den Schwan, eine lebensgroße Skulptur, war von Kontroversen geprägt. Es wurde erörtert, ob die Originalskulptur erhalten bleiben oder eine Nachbildung angefertigt werden sollte. Die Entscheidung fiel schließlich zugunsten einer originalgetreuen Kopie, welche im Frühjahr 2019 von der Schmiedewerkstatt Weber und Hermann (Langenzenn) hergestellt wurde. Im Laufe seiner Geschichte wurde das Original

aus Zinkblech wiederholt mit unterschiedlichen Materialien repariert. Die Verwendung unterschiedlicher Materialien, darunter Stahl, Kupfer, verzinktes Eisenblech und Zinkblech, führte zu einer Beschleunigung des Verfalls. Für die Nachbildung wurde Kupferblech verwendet, da es sich hierbei um ein sehr haltbares und zugleich leicht formbares Material handelt. Am 20. November 2019 wurde der Schwan von Oberbürgermeister Dr. Thomas Jung unter Beteiligung der Öffentlichkeit feierlich enthüllt [54] , [56].



Abbildung 9: Original Wahrzeichen Goldene Schwan, vor der Renovierung, Bild von Website FürthWiki, https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:Goldener_Schwan_IMG_1757.jpg - /media/Datei:Goldener_Schwan_IMG_1757.jpg

Abbildung 10: Erstellung der originalgetreuen Kopie bei Schmiedewerkstatt Weber und Hermann, Bild von <https://weberundhermann.de/goldener-schwan/>

Abbildung 11: Enthüllung der Replik des Goldenen Schwans an der Gaststätte am Marktplatz, Nov. 2019, Bild von Website FürthWiki https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:Goldener_Schwan_Enthüllung_Nov_2019_2.jpg - /media/Datei:Goldener_Schwan_Enthüllung_Nov_2019_2.jpg

3.2 Baubeschreibung

- **Städtebauliches Umfeld:**

Das Gebäude liegt am Marktplatz 2 in Fürth und ist Teil des historischen Stadtkerns. Es befindet sich an einer westlichen Eckparzelle, die zwischen dem Marktplatz und der Königstraße liegt. Diese Lage ist bedeutend für das städtebauliche Gefüge der Altstadt [54] , [25].

- **Beschreibung der Parzelle und Lage des Gebäudes:**

Die Parzelle umfasst neben dem Hauptgebäude auch weitere historische Gebäude, wie die benachbarten Häuser in der Königstraße 39, 41 und 43. Die ursprüngliche Parzelle umfasste auch Standorte benachbarter Gebäude. Der Zugang zur Parzelle erfolgt über ein bogenförmiges Tor aus Sandsteinblöcken mit kugelförmigen Bekrönungen, das aus dem späten 17. Jahrhundert stammt [54].

- **Beschreibung der Form des Baukörpers:**

Das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege beschreibt das Baudenkmal als zweigeschossiger giebelständiger Sandsteinquader-Eckbau mit Steilsatteldach und Schweifgiebel mit Voluten auf dem Dach. Das Obergeschoss ist in Fachwerkbauweise errichtet, während an der Ostseite ein Giebelhaus steht, das ursprünglich im Jahr 1681 errichtet und wohl um 1800 umgebaut wurde. Gedenktafel an den hier geborenen Begründer der Milchbakteriologie Hermann-Weigmann wurde im Jahr 1950 angebracht und ehrt Hermann Weigmann. Am Eingang zum Hof befindet sich ein bogenförmiges Tor aus Sandsteinblöcken mit kugelförmigen Bekrönungen an den Seiten, das aus dem späten 17. Jahrhundert stammt. Das Hinterhaus ist ein zweigeschossiges, aus Sandstein errichtetes Satteldachgebäude mit einem Erdgeschoss und einem Fachwerkgiebel im Obergeschoss [53].



Abbildung 12: Das Gebäude am Marktplatz2 vor der Renovierung der Fassade, Bild von Website FürthWiki, https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:Goldener_Schwan.jpg - /media/Datei:Goldener_Schwan.jpg

Abbildung 13: Hermann-Weigmann-Gedenktafel, Bilder von Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, <https://geoportal.bayern.de/denkmalatlas/searchResult.html?koid=78077&objtyp=bau&top=1>

Abbildung 14: Tor zum Hof der ehemaligen Gaststätte Zum Goldenen Schwan, Mai 2023, Bild von Website FürthWiki, https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:20230514_Marktplatz_2_Hofstor.jpg - /media/Datei:20230514_Marktplatz_2_Hofstor.jpg

- **Architektur und Baukonstruktion**

Unter Berücksichtigung der bestehenden Gestaltungselemente ist davon auszugehen, dass die Baumaßnahmen in das 17. und 18. Jahrhundert zu datieren sind. Das Gebäude besticht durch eine Kombination von Stilelementen, die sowohl aus der Barock- als auch aus der Renaissancezeit stammen. Die Entstehungszeit des Gebäudes, datiert auf das Jahr 1681, fällt in die Barockepoche, welche den Zeitraum von etwa 1600 bis 1750 umfasst. Als typisch barocke Merkmale können der dreigeschossige Schweifgiebel mit Voluten und Aufsätzen sowie die dekorativen Elemente wie die genasteten s-förmigen Gegenstreben und die reich verzierten Rauten identifiziert werden, auch wenn letztere möglicherweise erst um 1720 hinzugefügt wurden. Ein besonderes Merkmal des Gebäudes ist die Giebelform. Hierbei handelt es sich um einen mehrgeschossigen, horizontal gegliederten Schweifgiebel, der auch als

Volutengiebel bezeichnet wird. Diese Giebelform ist ein typisches Element der Renaissancearchitektur. Obschon diese Giebelform ihren Ursprung in der Renaissance (ca. 1400–1600) hat, wurde sie auch in späteren Epochen, einschließlich des Barocks, beibehalten und adaptiert [57].

Ogleich das Bauwerk Elemente aufweist, die an die Renaissance erinnern, stammt es doch aus der Barockzeit. Dies lässt sich durch die Angabe im Bayernatlas von 1681 belegen. Diese Vermischung der Stilrichtungen ist nicht ungewöhnlich, da in verschiedenen Regionen Barockgebäude oft Merkmale der vorhergehenden Renaissance aufweisen. In der Gesamtschau lässt sich festhalten, dass das Gebäude in erster Linie dem Barockstil zugeordnet werden kann, gleichwohl aber deutliche Einflüsse der Renaissance in den spezifischen dekorativen Giebelformen manifest werden. Die Kombination aus Natursteinmauerwerk und Fachwerk sowie die spezifische Giebelform tragen maßgeblich zur komplexen historischen und stilistischen Einordnung des Bauwerks bei [25].

Eine Untersuchung der Fachwerkbauten in Franken erfolgt in dem Buch „Fachwerkkunst in Franken“, welches in zwei Bänden die Zeiträume vor 1600 und 1600–1750 beleuchtet. Dabei wird der Goldene Schwan als Fachwerkbau mit Kombinationen aus Natursteinmauerwerk und Fachwerk erwähnt. Das Gebäude wurde aus Sandstein erbaut, wobei das Erdgeschoss sowie die gesamte Fassade zum Marktplatz hin aus diesem Material bestehen. An der westlichen Traufseite befindet sich ein Zierfachwerk im Obergeschoss. Die westliche Traufseite des Obergeschosses präsentiert sich mit einem Fachwerk, das durch gekreuzte, geschwungene Rauten in der Brüstung sowie ein breites Feld mit geschwungenen Formen an den Seiten und einer in der Mitte eingefügten, profilierten Raute gekennzeichnet ist [57].

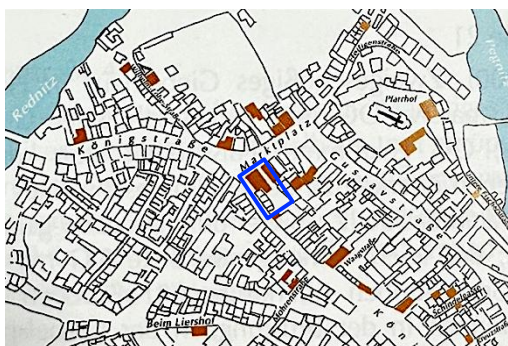


Abbildung 13: Das „alte“ Fürth nach dem Katasterplan von 1828 mit den erfassten Fachwerkbauten vor 1750; Bild von „Fachwerkkunst in Franken 1600-1750, eine Bestandaufnahme, Konrad Bedal“

Abbildung 14: Fürth, Marktplatz 2 von 1681, Blick auf die westliche Traufseite mit dem Zierfachwerk im OG, das einst auch an der Giebelseite vorhanden gewesen sein dürfte (2012); Bild von „Fachwerkkunst in Franken 1600-1750, eine Bestandaufnahme, Konrad Bedal“

4 Von Objekt bis zu Modell

In der heutigen, durch die Digitalisierung geprägten Zeit hat der Prozess der Erstellung digitaler Modelle, das Building Information Modelling (BIM) mit dem Ziel der Digitalisierung von Baudenkmälern, wesentliche Fortschritte gemacht, insbesondere durch die Entwicklung neuer Technologien für die Erfassung und Modellierung. Die Integration von Punktwolken-daten, die durch Laserscanning und digitale Photogrammetrie erzeugt werden, ermöglicht die Gewinnung hochpräziser Daten über Gebäude [58]. Die Entwicklung technologischer Fortschritte sowie der Einsatz innovativer, nicht-invasiver Bildgebungsinstrumente und Methoden mit großem Anwendungsbereich, haben die Durchführung von Architekturvermessungen wesentlich vereinfacht. Die Kombination dieser Technologien ermöglicht die Erstellung detaillierter digitaler Modelle von Gebäuden, welche sowohl bei der Planung als auch bei der Restaurierung und Erhaltung historischer Gebäude von großem Nutzen sind. Die gewonnenen Modelle liefern nicht nur eine exakte geometrische Darstellung, sondern auch wertvolle Informationen bezüglich der strukturellen Integrität sowie der Planung zukünftiger Bau- oder Renovierungsprojekte. Des Weiteren gestatten diese nicht-invasiven Methoden eine Vermessung ohne physische Eingriffe in die Bausubstanz, was insbesondere bei der Arbeit an sensiblen oder historisch wertvollen Gebäuden von essenzieller Bedeutung ist [59].

In der Gebäudedatenmodellierung (BIM) ist die Erstellung von As-Built-Modellen an die Erfassung des aktuellen Zustandes bestehender Gebäude geknüpft. Die Anwendung von Laserscannern stellt in diesem Kontext eine vielversprechende Methode dar. Der Einsatz von Laserscannern erlaubt die Erfassung geometrischer Informationen von Objekten in Form von Punktwolken, wobei eine große Menge präziser Daten in einer kurzen Zeitspanne und mit einem hohen Detailgrad gewonnen werden kann. Terrestrisches Laserscanning (TLS) stellt eine vielfach verwendete Methode zur präzisen Erfassung des aktuellen Zustandes bestehender Gebäude dar. Diese Technologie erlaubt die Gewinnung detaillierter Informationen bezüglich der Objektgeometrie in Form von Punktwolken. Die mit Laserscannern erfassten Daten zeichnen sich durch eine hohe Präzision sowie einen hohen Detailgrad aus und stellen somit ein wertvolles Werkzeug im Bauwesen dar. Einige Regierungen, darunter die britische und die amerikanische, befürworten nachdrücklich den Einsatz dieser fortschrittlichen Erfassungstechnologie im Rahmen des Building Information Modeling (BIM)-Prozesses. Obgleich der Scan-to-BIM-Prozess signifikante Vorteile bietet, stellt dessen Umsetzung aufgrund diverser Einflussfaktoren nach wie vor eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Ein

wesentlicher Aspekt ist die immense Datenmenge, die eine umfassende Verarbeitung erfordert. Des Weiteren stellt die Rekonstruktion verdeckter Gebäudeteile eine signifikante Herausforderung dar, da diese Bereiche in der Regel nicht direkt gescannt werden können und somit zusätzliche Methoden zur Modellierung erforderlich sind. Ein weiteres wesentliches Hindernis stellt das Fehlen semantischer Informationen in den Punktwolken dar. Die in den Daten enthaltenen geometrischen Informationen sind präzise, jedoch fehlen direkte Hinweise auf die Bedeutung oder Funktion der erfassten Elemente. In Konsequenz erfolgt die Konvertierung von Punktwolken in ein vollständiges BIM-Modell nach wie vor überwiegend manuell. Die manuelle Bearbeitung ist nicht nur zeitintensiv, sondern erfordert zudem ein hohes Maß an Fachwissen und Erfahrung. Die Fähigkeit, Punktwolken zu interpretieren, fehlende Informationen zu ergänzen und die Daten in ein kohärentes und nutzbares BIM-Modell zu überführen, stellt eine Kernkompetenz für Fachkräfte dar. Obgleich die genannten Schwierigkeiten bestehen, bieten die Weiterentwicklung von Software-Tools sowie Automatisierungstechniken potenzielle Lösungen, um den Scan-to-BIM-Prozess in Zukunft effizienter zu gestalten [60].

Im Rahmen dieser Arbeit wurden sowohl händische als auch automatische Methoden und Software eingesetzt, um das Modell zu erstellen. Der Prozess der Modellierung in Revit wurde händisch durchgeführt, wobei die Punktwolken der Scandaten als Grundlage dienen. Darüber hinaus wurden die Dreiecksnetze unter Verwendung von drei verschiedenen Softwareprogrammen automatisch erstellt. Im Folgenden erfolgt eine detaillierte Erläuterung dieser Methoden und ihrer Ergebnisse.

4.1 Terrestrischen Laserscanning (TLS)

Der Begriff „Laser“ ist ein Akronym für „light amplification by stimulated emission of radiation“ und kann mit „Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung“ übersetzt werden. Ein Laser stellt ein System oder eine Technologie dar, welches bzw. welche die Energie aus einem externen Medium in die Energie eines eng divergierenden Strahls umwandelt. Die extern zugeführte Energie kann dabei unterschiedliche Formen annehmen, darunter Lichtenergie, Elektroenergie, Wärmeenergie oder chemische Energie. Ein Laser ist kohärent, d. h. die Phasendifferenz ist konstant, monochromatisch, polarisiert (d. h. die Schwingung ist gerichtet) und sehr eng fokussiert. Die herausragenden Eigenschaften des Laserstrahls machen ihn zu einem vielseitigen Instrument mit zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten. In der Praxis findet Laserlicht Anwendung in verschiedenen Bereichen, darunter in der Medizin, der Materialbearbeitung, der Kommunikationstechnologie sowie der

Vermessung. Die Fähigkeit zur präzisen und effizienten Erzeugung von Lichtstrahlen erlaubt die Ausführung von Aufgaben mit hoher Genauigkeit und Effizienz, wodurch die Technologie zu einem unverzichtbaren Werkzeug in vielen modernen wissenschaftlichen und industriellen Prozessen wird.¹⁷

Die Erfassung komplexer Geometrien kann mittels Laserscannern schnell, berührungslos und umfassend erfolgen. Traditionelle Aufmaßmethoden werden dadurch zunehmend ersetzt. Diese fortschrittliche Technologie findet in einer Vielzahl von Branchen Anwendung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die konkreten Einsatzmöglichkeiten maßgeblich von der Hardware der verschiedenen 3D-Laserscanner sowie dem physikalischen Funktionsprinzip der auf dem Markt verfügbaren Laserscanning-Systeme abhängen. Typische Anwendungsbereiche umfassen die Architektur und das Building Information Modeling (BIM), die Anlagenplanung, den Denkmalschutz, das Handwerk, den Hoch- und Tiefbau, die Forensik sowie das Vermessungswesen. Die Funktionsweise von Laserscannern basiert auf der Nutzung von Laserlicht, wobei eine Erfassung ohne Berührung erfolgt. Der Sensor des Laserscanners sendet einen Laserstrahl aus, welcher von der Umgebung reflektiert und im Anschluss von der Empfangsoptik des Laserscanners aufgezeichnet wird [61].

Der terrestrische Laserscanner (TLS) stellt eine logische Weiterentwicklung der Tachymetrie dar. Es sei hervorgehoben, dass die Kombination beider Methoden in der Bauforschung zu hochpräzisen Messdaten führt. Das Kernprodukt des TLS ist eine 7D-Punktwolke, welche die Koordinaten X, Y, Z sowie die Intensität (I) und die Farbwerte Rot, Grün und Blau (RGB) umfasst. Die hohe geometrische und physikalische Detailtreue der Punktwolke ermöglicht die präzise Erfassung sowohl kleiner als auch großer Objektmerkmale und deren Veränderungen im Laufe der Zeit. Es sei insbesondere darauf verwiesen, dass die Effizienz bei der Erstellung von Laserscans in den vergangenen Jahren signifikant erhöht werden konnte. Dies ist auf die Einführung intelligenter, vollautomatischer Blickpunktverknüpfungen sowie eine Erhöhung der Messfrequenz zurückzuführen. Die genannten technologischen Fortschritte haben dazu beigetragen, dass das Laserscanning zu einer bevorzugten Methode in der Bau- und Ingenieurvermessung geworden ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es eine schnelle und präzise Datenerfassung ermöglicht, welche für die Analyse und Dokumentation von Bauwerken und deren Zustand von entscheidender Bedeutung ist [62].

¹⁷ Diese Absätze stammen aus den Vorlesungsunterlagen: Digitale Objekterfassung (Digital Object Acquisition/Digital Object Recording), Modul 3, Wintersemester 2021, Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.

Terrestrisches Laserscanning (TLS) bezeichnet ein bodenbasiertes Messverfahren, welches die Position und Abmessungen von Objekten in drei Dimensionen ermittelt. TLS stellt ein aktives System dar, welches einen Laserstrahl von der Laserlichtquelle auf die Oberfläche des Objekts sendet und ihn reflektiert. Der Prozess wird durch ein spezielles Gerät, den sogenannten Laserscanner, durchgeführt. Die Genauigkeit dieser Methode beträgt etwa 10^{-2} mm. Die Daten umfassen die kartesischen Koordinaten oder Polarkoordinaten (vertikale und horizontale Winkel) sowie zusätzliche Informationen über die Intensität des empfangenen Signals. Die erfassten Daten können zudem in einer zweidimensionalen Darstellung präsentiert werden, wobei es sich jedoch um eine dreidimensionale Wolke von erfassten Punkten im Raum handelt, die als „Punktwolke“ bezeichnet wird. Der Arbeitsablauf des TLS umfasst sechs Schritte: Messplanung, Feldmessung, Vorbereitung der Daten, Registrierung, Datenverarbeitung und Qualitätskontrolle. Wie bereits dargelegt, resultiert das Laserscanning-Verfahren in einer 7D-Punktwolke, die eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten eröffnet. Aus der erzeugten Punktwolke lassen sich sowohl 2D-Zeichnungen als auch 3D-Modelle ableiten. Die genannten Modelle erweisen sich als außerordentlich nützlich für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen, zu denen unter anderem die Architektur, das Ingenieurwesen, der Denkmalschutz sowie eine Vielzahl weiterer Felder zählen, die auf exakte und detaillierte Daten angewiesen sind.¹⁸

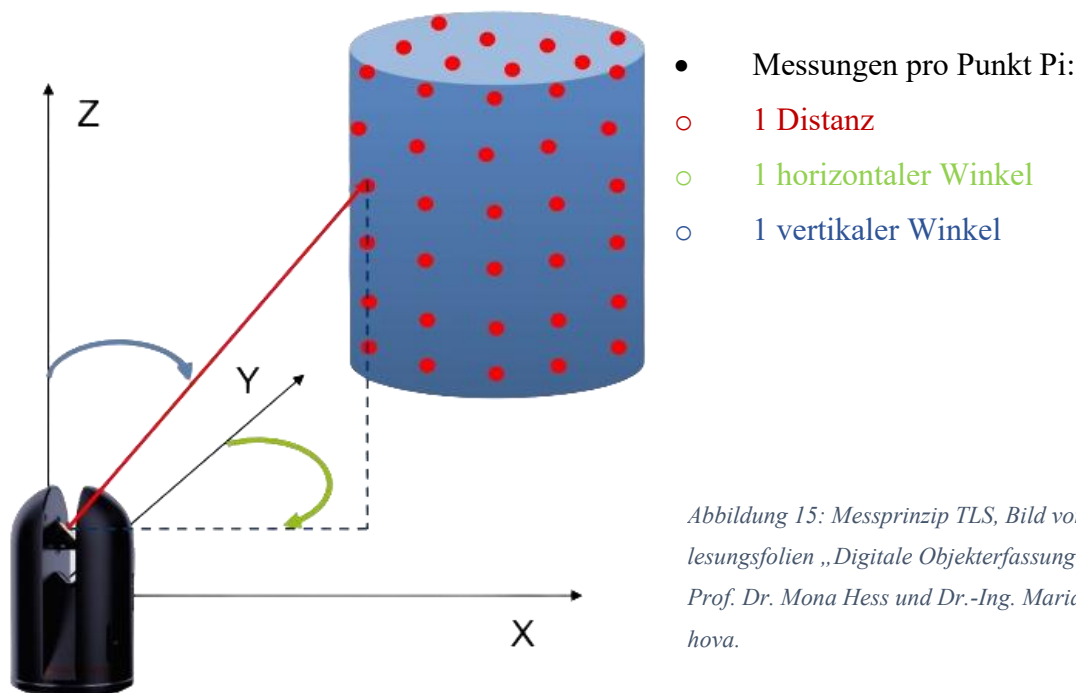


Abbildung 15: Messprinzip TLS, Bild von Vorlesungsfolien „Digitale Objekterfassung“ von Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.

¹⁸ Diese Absätze stammen aus Vorlesung: Digitale Objekterfassung (Digital Object Acquisition/Digital Object Recording), Modul 3, Wintersemester 2021, Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.

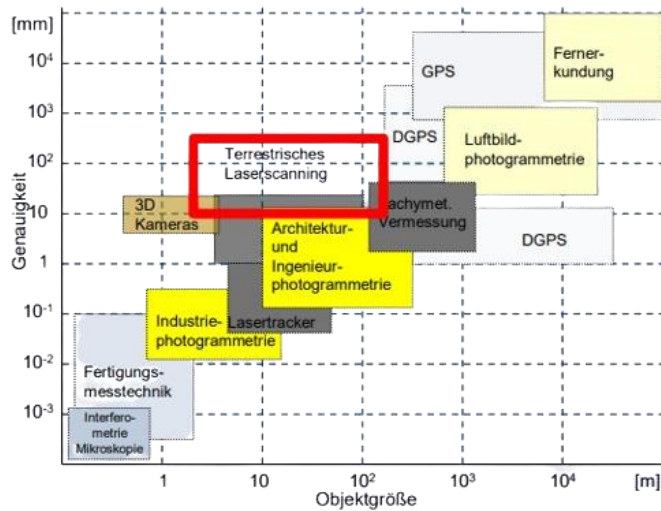


Abbildung 16: Genauigkeit von 3D-Messverfahren, Bild von Vorlesungsfolien „Digitale Objekterfassung“ von Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.

Terrestrische Laserscanner zeichnen sich dadurch aus, dass sie auf Stativen oder anderen Halterungen montiert werden und somit statisch arbeiten. Dieser Vorgang wird oft als statisches Scannen bezeichnet. Diese Scanner werden in der Regel nach ihrem Messprinzip und ihrer Messreichweite unterschieden, was bei der Auswahl eines geeigneten 3D-Laserscanners beachtet werden sollte [61].

Zur Durchführung dieser Arbeit wurde der Leica BLK 360 Scanner verwendet. Der Leica BLK360 ist ein hochentwickelter, bildgebender Präzisions-Laserscanner, der sich durch seine Mobilität und sein geringes Gewicht auszeichnet. Dadurch eignet er sich in besonderem Maße für terrestrische Scananwendungen und stellt somit eine exzellente Wahl dar. Der Scanner basiert auf einem rotierenden und sich drehenden Laser, der in Kombination mit dem Impulslaufzeitverfahren oder der Time-of-Flight-(ToF)-Technologie eingesetzt wird. Dadurch ist eine direkte Erfassung von detaillierten Umgebungsdaten möglich. Durch die Kombination einer Reihe von Scans kann der Benutzer genaue, farbige Punktwolkendaten erzeugen. Die mit dem BLK360 erfassten Daten sind für eine Vielzahl von Anwendungen von großem Nutzen. Dazu zählen traditionelle Aufgaben in den Bereichen Architektur, Ingenieurwesen und Bauwesen (AEC) ebenso wie moderne Visual Effects (VFX) und Virtual Reality (VR). Die Daten können problemlos übertragen und in Software-Ökosysteme integriert werden, sodass die Benutzer präzise Ergebnisse und Erlebnisse erstellen können [63].

Impulslaufzeitverfahren *einfach erklärt:*



Abbildung 17: Impulslaufzeitverfahren, Messverfahren von Leica BLK 360; Bild von: <https://www.laserscanning-europe.com/de/unsere-leistungenhardware/terrestrische-laserscanner>

Die Begriffe "Impulslaufzeitverfahren" und "Time-of-Flight" (ToF) bezeichnen dasselbe Messprinzip, welches in diversen Laserscan-Technologien Anwendung findet. Bei der hier beschriebenen Methode wird ein Laserpuls vom Scanner ausgesendet, von einem Objekt reflektiert und kehrt zum Scanner zurück. Die Zeit, die der Impuls für den Weg zum Objekt und zurück benötigt, wird gemessen und zur Berechnung der Entfernung zum Objekt verwendet.¹⁹

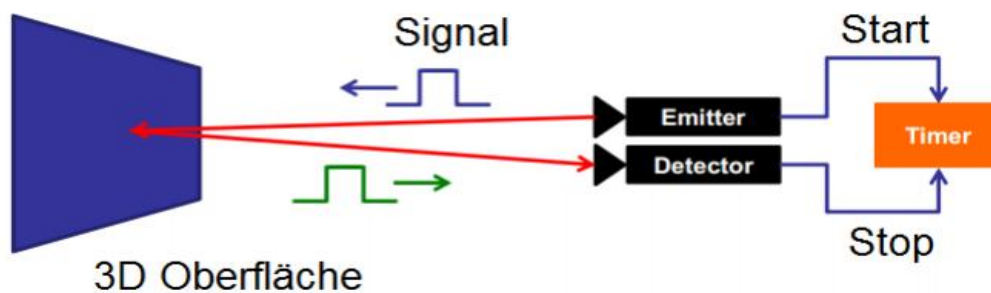


Abbildung 18: Messverfahren ToF (Impuls); Bild von Vorlesungsfolien „Digitale Objekterfassung“ von Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.

Der Leica BLK360 Scanner ist ein kompakter und effizienter Laserscanner, der aus mehreren wesentlichen Komponenten besteht. Der Laser emittiert Strahlen, die von einem rotierenden Spiegel in verschiedene Richtungen gelenkt werden, um die Umgebung umfassend zu scannen. Detektoren erfassen die reflektierten Lasersignale von den gescannten Objekten, die dann vom Lasermesssystem verarbeitet werden, um präzise Punktwolken zu erstellen.

¹⁹ Diese Absätze stammen aus Vorlesung: Digitale Objekterfassung (Digital Object Acquisition/Digital Object Recording), Modul 3, Wintersemester 2021, Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.

Der Scanner verfügt über einen Rotationsmechanismus, der eine 320° vertikale und 360° horizontale Sicht ermöglicht, was eine gründliche Erfassung der Umgebung gewährleistet. Diese Struktur macht den BLK360 besonders geeignet für Anwendungen in Architektur, Ingenieurwesen, Bauwesen und weiteren Bereichen.²⁰

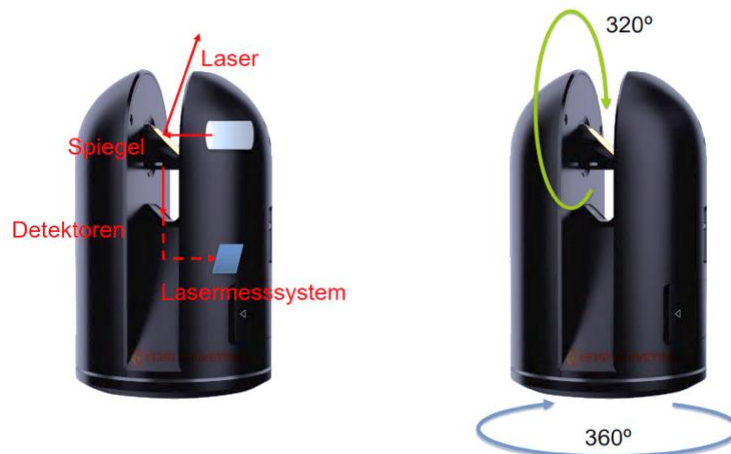


Abbildung 19: Laserscanner - Aufbau; Bild von Vorlesungsfolien „Digitale Objekterfassung“ von Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.

Die Ursachen für typische Fehler beim Laserscanning sind vielfältig und beruhen auf einer Reihe von Faktoren, darunter "Aufnahmeentfernung", "Aufreffwinkel" und "die Eigenschaften der Objektoberfläche". Mit zunehmender Entfernung verschlechtert sich die Signalqualität, was auf die Divergenz des Lasers zurückzuführen ist und zu einer Verringerung der Messgenauigkeit führen kann. Ein steilerer Einfallswinkel des Laserstrahls auf die Oberfläche kann zu einer Beeinträchtigung der Signalform und -intensität führen, was wiederum zu einer Verzerrung oder Unvollständigkeit der Daten führt. Darüber hinaus sind die Reflexionseigenschaften und die Form des Signals von entscheidender Bedeutung für die Qualität der Messergebnisse. Beispielsweise wird ein Signal auf glatten oder reflektierenden Oberflächen stärker reflektiert, während die Signalqualität aufrauen oder absorbierenden Materialien verringert wird. Diese Faktoren müssen bei der Planung und Durchführung von Laserscanning-Projekten berücksichtigt werden, um präzise und zuverlässige Daten zu gewährleisten.²¹ Diese Arbeit ist auch auf einige Herausforderungen gestoßen, die im Folgenden erwähnt werden.

²⁰ Diese Absätze stammen aus Vorlesung: Digitale Objekterfassung (Digital Object Acquisition/Digital Object Recording), Modul 3, Wintersemester 2021, Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.

²¹ Diese Absätze stammen aus Vorlesung: Digitale Objekterfassung (Digital Object Acquisition/Digital Object Recording), Modul 3, Wintersemester 2021, Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.

4.2 Aufnahmeverfahren

Im ersten Schritt der Vorbereitung für die Aufnahme wurde Kontakt mit FürthWiki sowie den Eigentümern aufgenommen. Für diese Arbeit wurde ein Vertrag zwischen den Eigentümern, FürthWiki und der Studentin unterzeichnet, der im Anhang dieser Arbeit einsehbar ist (vgl. Anhang, Abb.82). Das Gebäude umfasst insgesamt elf Einheiten. Im Erdgeschoss befindet sich ein Reha-Zentrum, während sich in den Obergeschossen eins und zwei eine Wohnanlage mit zehn Mietern befindet. Die Zentralheizung ist im Dachgeschoss installiert und der Keller befindet sich im Untergeschoss. Das ursprüngliche Ziel des Projekts bestand in der Erstellung eines 3D-Modells des Gebäudes und dessen Integration auf der Website von FürthWiki. Aufgrund des Wunsches der Eigentümerin, Grundrisse der Geschosse zu erstellen, wurde die Vermessung zur Kartierung der Gebäude als neuer Arbeitsschritt integriert. Es sei an dieser Stelle hervorgehoben, dass der vorliegende Abschnitt des Projekts keine Bauforschung oder detaillierte Bauaufmaß darstellt. Aufgrund verschiedener Hindernisse und Herausforderungen, die im Verlauf des Projekts hinzukamen, war es nicht möglich, eine vollständige Vermessung durchzuführen. Dennoch gestattet die durchgeführte Aufnahme eine grundlegende Orientierung und bildet eine solide Basis für die weitere Bearbeitung und Nutzung der Gebäudedaten. Obgleich mit Schwierigkeiten verbunden, gelang es, wesentliche Informationen zu gewinnen, die für die künftige Planung sowie potenzielle bauliche Modifikationen von großem Nutzen sein werden. Die Modifikation des Projekts, um den Intentionen der Eigentümerin gerecht zu werden, stellte einen wesentlichen Aspekt bei der vorliegenden Arbeit dar. Mit einer entsprechenden Anpassungsfähigkeit und einem engagierten Vorgehen konnten qualitativ hochwertige und nutzerorientierte Ergebnisse erzielt werden. Die Entscheidung, die Kartierung der Gebäude in das Projekt zu integrieren, führte zu einer Reihe von neuen Herausforderungen. Eine wesentliche Herausforderung stellte die Kontaktaufnahme mit den Bewohnern sowie die Einholung deren Zustimmung für die Vermessung und Dokumentation der Innenbereiche dar. Der Prozess erforderte nicht nur kommunikative Kompetenzen sowie Verhandlungsgeschick, sondern auch die Fähigkeit, auf persönliche Bedenken und Bedürfnisse der Mieter sensibel einzugehen. Des Weiteren waren datenschutzrechtliche Aspekte mit der gebotenen Sorgfalt zu berücksichtigen, um die Privatsphäre der Bewohner zu schützen und sicherzustellen, dass sämtliche Erhebungen in Übereinstimmung mit den geltenden Vorschriften durchgeführt wurden. Es wurden diverse Versuche unternommen, die Einwohner per E-Mail, Brief oder persönlichem Kontakt über das Projekt zu informieren. Es war jedoch nur möglich, Zugang zu vier Wohnungen und dem Rehabilitationszentrum zu erhalten. Eine große Schwierigkeit bestand darin, das

Vertrauen der Bewohner zu gewinnen, um ihre Privatsphäre und den Datenschutz zu gewährleisten. Für die Innenräume waren mehrere Aufnahmerunden und eine große Anzahl von Scans erforderlich, um eine vollständige Dokumentation aller relevanten Bereiche zu ermöglichen. Dies führte zu einem erhöhten Zeitaufwand und erforderte eine präzisere Datenverarbeitung.

Die erste Aufnahmerunde fand vom 10. bis 13. November 2023 statt. Das Reha-Zentrum, zwei Wohnungen im ersten Obergeschoss und Teile der Außenanlagen wurden in die erste Runde einbezogen. Und die zweite Aufnahmerunde fand vom 24. bis 27. November 2023 statt. Der Keller, das Treppenhaus, das Dachgeschoss, Ein Wohnungen im ersten Obergeschoss und der Rest der Außenanlagen wurden in die zweite Runde aufgenommen. Des Weiteren ist ein zusätzlicher kleiner Aufnahmetermin für eine Wohnung im zweiten Obergeschoss am 8. Dezember 2023 zu vermerken. Wie bereits dargelegt, stellte die Abstimmung mit den Bewohnern sowie die Festlegung der Termine eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Auch für die übrigen Wohnungen müssten die Termine mit den Bewohnern vereinbart werden. Aufgrund des Zeitmangels wurde jedoch auf Vorschlag von Prof. Hess auf die Aufnahme der restlichen Wohnungen verzichtet. Es wurden insgesamt 120 Scans von Gebäuden durchgeführt, davon 43 von der Außenansicht und 77 von den Innenräumen.

Tabelle 2: Laserscanner Aufstellungsorte, Anzahl und Datum

Areal	Scanstandorte	Anzahl der Scans	Datum
1	Reha-Zentrum, im EG	22	10.11.2023
2	Außenbereiche: von Marktpaltz, Königstrasse und Hinterhof	43	11.11.2023 und 24.11.2023
3	Wohnung 1, im 1.OG	8	12.11.2023
4	Wohnung 2, im 1.OG	6	13.11.2023
5	Treppenhaus und Diele	10	25.11.2023
6	Dachgeschoss	3	26.11.2023
7	Wohnung 3, im 1.OG	7	26.11.2023
8	Keller	13	27.11.2023
9	Wohnung 3, im 2.OG	8	08.12.2023

Bei der Erfassung von innen- und Außenbereichen wurden sämtliche relevanten Informationen als Metadaten gespeichert und die Position der Scan-Station auf der Karte markiert. Die Erstellung dieser Metadaten ist von entscheidender Bedeutung für die Arbeit, da sie während der Datenverarbeitung von großem Nutzen sein können. Für eine umfassende Analyse und Verarbeitung der gesammelten Daten ist eine präzise Erfassung und Dokumentation dieser Metadaten unerlässlich (vgl. Anhang, Abb.83). Somit ist gewährleistet, dass alle relevanten Informationen vollständig und korrekt zur Verfügung stehen, was eine signifikante Steigerung der Qualität und Genauigkeit der Ergebnisse zur Folge hat.

Die Anwendung des Leica BLK 360 zur Aufnahme von 3D-Laserscans erfolgt unter Berücksichtigung eines systematischen und methodischen Prozesses, um präzise und umfassende Daten zu gewährleisten. Die sorgfältige Planung der Standortwahl sowie die Sicherstellung einer korrekten Einrichtung und Kalibrierung des Scanners stellen zu Beginn des Prozesses essenzielle Faktoren dar. Im Anschluss an die Platzierung des Scanners auf einem stabilen Stativ sowie dessen Verbindung mit der entsprechenden Steuerungssoftware erfolgt die Planung der Scan-Positionen. Im Rahmen dessen wird ein detaillierter Scanplan erstellt, welcher alle relevanten Bereiche umfasst und Überlappungen zwischen den Positionen berücksichtigt, um eine vollständige Erfassung der Umgebung sicherzustellen. Der eigentlichen Datenerfassung geht die Aktivierung des Scanvorgangs über die entsprechende Software in Tablet (Leica Cyclone FIELD 360) voraus. Der BLK 360 nimmt daraufhin die Umgebung auf und speichert die Daten. Nach jedem Scan erfolgt eine Kontrolle und Optimierung auf dem Tablet, mit Hilfe von Cyclone FIELD, und diese wird mit den anderen Scans der Gruppe verknüpft. Dann fährt der Scanner zur nächsten Position, um weitere Bereiche zu erfassen. Nach der Datenerfassung werden die Daten geprüft und zur weiteren Verarbeitung an die entsprechende Software (Cyclone Register 360) übertragen. Die nachfolgende Verarbeitung und Analyse der gesammelten Daten mithilfe spezialisierter Software erlaubt die Erstellung detaillierter 3D-Modelle sowie präziser Planungen. Diese strukturierte Vorgehensweise garantiert die Genauigkeit und Unversehrtheit der erfassten Daten und ist von entscheidender Bedeutung für die Qualität der Endergebnisse.

Die Anbringung der Zielmarken am Standort beim Scannen erlaubt eine automatisierte oder manuelle Optimierung der Scanflächen mit höherer Genauigkeit. Innerhalb der vorliegenden Untersuchung wurde auf die Verwendung einer Zielmarke für die Außenbereiche verzichtet. Aufgrund der zweiwöchigen Zeitspanne zwischen den Aufnahmen wurde die Zielmarken

entfernt. Im Treppenhaus und im Flur hingegen wurden die Zielmarker eingeklebt, was sich im Nachhinein als vorteilhaft für die Integration der einzelnen Scans erwies.

Zu Beginn der Aufnahme von Cyclone Field wurden die Einstellungen für den Scanner vorgenommen. Die Cyclone FIELD 360 Software von Leica Geosystems stellt eine mobile Anwendung zur direkten Erfassung und Verwaltung von 3D-Daten im Feld bereit. Die Software ermöglicht ein nahtloses Zusammenspiel mit verschiedenen Laserscannern von Leica, darunter dem RTC360, der ScanStation P30/P40/P50, dem BLK360, dem BLK2GO und dem BLK2GO PULSE. Die Software zeichnet sich durch eine benutzerfreundliche Oberfläche aus, die sowohl Anfängern als auch erfahrenen Nutzern eine einfache Bedienung ermöglicht [64].

Die nachfolgende Tabelle präsentiert eine Übersicht der konfigurierten Einstellungen für den Scanner. Die definierten Parameter legen die Qualität der erfassten Daten fest, wobei sie ebenfalls die Dauer jedes einzelnen Scans bestimmen:

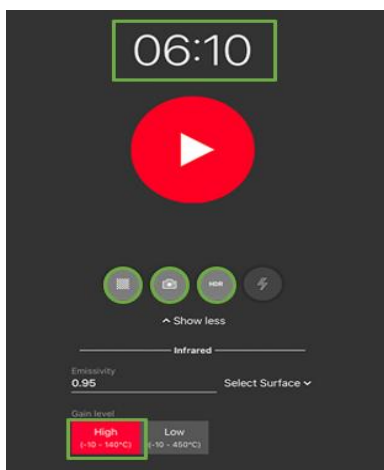


Abbildung 20: Einstellungen der Scanner auf Cyclone Field

Parameter	Wert
Emissivität	0.95
HDR (High Dynamic Range)	Aktiviert
Gain level (Verstärkungspegel)	High (+10 - 140°C)
Scandauer	06:10

Tabelle 3: Einstellungen der Scanner auf Cyclone Field

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Leica BLK360 mit der Erfassung von hochpräzisen 3D-Bildern und Punktwolken durch den Imaging Laser Scanner im Feld beginnt. Die gescannten Daten werden über WLAN an die Cyclone FIELD 360 Software auf einem Tablet übertragen. Diese Software ermöglicht die sofortige Überprüfung und Vorverarbeitung der erfassten Daten im Feld, einschließlich Registrierung, Bereinigung und Anpassung der Punktwolken. Nach der Vorverarbeitung werden die Daten an die Cyclone REGISTER 360 Software geschickt. Hier findet die detaillierte Verarbeitung, Feinregistrierung und Analyse

der Punktwolken statt. Die bearbeiteten Daten werden dann zur Erstellung von Berichten, 3D-Modellen und anderen Anwendungen verwendet.

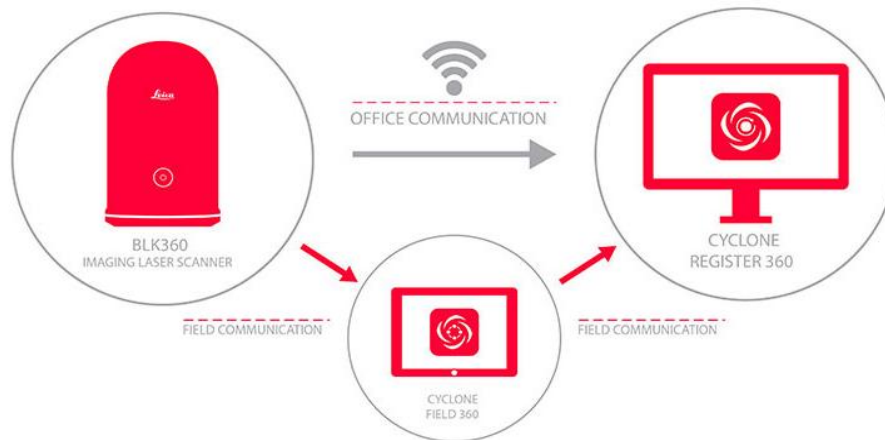


Abbildung 21: Kommunikationsfluss des Leica BLK360 Scanners mit Cyclone Software; Bild von <https://grupoacre.com.pt/es/catalogo-productos/software-de-procesamiento-de-nuvens-leica-cyclone-field-360/>

Im Folgenden erfolgt eine kurze Beschreibung des Arbeitsablaufs in jedem der aufgezeichneten Bereiche:

- **Reha-Zentrum**

Im Erdgeschoss dieses Gebäudes befindet sich ein Reha-Zentrum. Der Haupteingang liegt auf dem Marktplatz und es gibt auch eine Tür zum Hinterhof. Der erste Tag der Aufnahme begann mit dem Reha-Zentrum. Der neue Plan dieser Anlage, der nach der Renovierung erstellt wurde, wurde von der Eigentümerin zur Verfügung gestellt. Anhand dieses Grundrissplans war die Anzahl der Zimmer in dieser Einheit bekannt. Kleine, miteinander verbundene Räume verlängerten den Aufnahmeprozess. Für jeden Raum waren mindestens ein oder zwei Stationen erforderlich. Bei größeren Räumen lag diese Zahl bei 3 oder 4. Einige Räume durften nicht betreten werden, so dass sie nicht gescannt wurden. Die größte Herausforderung in diesem Behandlungszentrum bestand darin, die Privatsphäre der Patienten zu schützen und sie während der Behandlungszeiten nicht zu stören. Andererseits war eine Aufzeichnung außerhalb der Arbeitszeiten nicht möglich. Es wurde also versucht, die Aufzeichnung während der Arbeitszeiten durchzuführen und dabei die Privatsphäre der Patienten und Therapeuten zu berücksichtigen.

- **Außenbereiche - von Marktpaltz, Königstrasse und Hinterhof**

Die Erfassung des Außenbereichs, die das Hauptziel der Arbeit war, wurde in zwei Runden durchgeführt und es wurden insgesamt 43 Außenscans aufgenommen. Zu Beginn der

Aufnahme wurde die Umgebung erkundet, um ein geeignetes Scan-Plan zu finden, damit möglichst viel von der Oberfläche in ansprechender Qualität gescannt werden konnte. Eine der größten Herausforderungen beim Scannen der Außenseite des Gebäudes war das Scannen des Daches. Für das Scannen des vollständigen Daches gab es zwei Möglichkeiten:

- a) Die erste Option bestand darin, mehrere Scans von einem Nachbargebäude aus durchzuführen, das das Dach des Goldenen Schwans überblickt, was eine Abstimmung mit den Nachbargebäuden erforderte, weshalb von dieser Option abgesehen wurde.
- b) Eine weitere Option war die Luftbildphotogrammetrie, die aus zwei Gründen ebenfalls nicht in Frage kam:
 - Der eine ist, dass für Luftaufnahmen mit Drohnen rechtliche Genehmigungen erforderlich sind.
 - Ein weiterer Grund war, dass die für dieses Projekt gewählte Methode TLS war, die Luftbildphotogrammetrie aber eine weitere Methode darstellte. Das Ziel der Studie war das terrestrische Laserscanning. Infolgedessen wurde diese Arbeit nach Rücksprache mit Prof. Hess aufgegeben. Die Modellierung auf dem Dach konnte jedoch weiterhin mit den verfügbaren Daten in Revit durchgeführt werden.

Eine weitere Schwierigkeit bei Scans im Außenbereich lag in den Wetterbedingungen. Die Scans wurden im Herbst 2023 durchgeführt. Das Wetter war meist kalt und regnerisch. Regen und Schnee unterbrachen den Scanvorgang. Andererseits konnte der Scanner aufgrund des kalten Wetters nicht kalibriert werden und musste an einen warmen Ort gebracht werden, um ihn zu kalibrieren. Nach der Kalibrierung wurde der Scanner an die gewünschte Station verlegt.

• **Treppenhaus und Diele**

Das Scannen des Treppenhauses war einer der weniger anspruchsvollen Teile der Arbeit. An den Wänden wurden Zielmarken geklebt, um sowohl die Verbindung der Treppenhaus-Scans untereinander als auch die Verbindung der Wohnungs-Scans mit dem Flur zu optimieren. Es wurden insgesamt 10 Scans vom Treppenhaus aus durchgeführt.

• **Wohnungen**

Die Erfassung der Wohnungen war eine der größten Herausforderungen bei diesem Projekt. Wie bereits erwähnt, war die Abstimmung mit den Bewohnern problematisch und zeitaufwändig. Am Ende wurden 4 von 10 Einheiten erfasst. Die Anzahl der Scans jeder Wohnung

hing von der Wohnungsgröße ab, aber es kann gesagt werden, dass durchschnittlich 1 bis 2 Stunden pro Einheit verbraucht wurden. Es sei darauf verwiesen, dass bei der Durchführung des Vermessungsprozesses darauf geachtet wurde, eine möglichst geringe Anzahl an Stationen zu erfassen. Ziel war es, den Prozess zeitlich zu optimieren, um den Einwohnern nicht zu stören. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass auf Wunsch den Bewohnern keine bildlichen Darstellungen, seien es Fotografien oder 3D-Modelle, von den Innenräumen der Wohneinheiten veröffentlicht werden dürfen.

- **Dachgeschoss**

Im obersten Geschoss, dem Dachgeschoss, welches mit dem Treppenhaus verbunden ist, befindet sich ein Raum, in dem die Heizungsanlage installiert ist. Insgesamt wurden drei Scans des Dachgeschosses durchgeführt, wobei eine Verknüpfung mit den Scans des Flurs erfolgte.

- **Keller**

Der Zugang zum Untergeschoss erfolgte über das Erdgeschoss vom Reha-Zentrum aus, das durch eine Treppe mit dem Untergeschoss verbunden war. Teile des Kellers waren renoviert worden und das Scannen war problemlos möglich. Die alten, dunklen Teile stellten jedoch eine Herausforderung beim Scannen dar und es wurde versucht, die dunklen Teile mit den Einrichtungen im Keller zu beleuchten. Insgesamt wurden 13 Scans im Keller aufgenommen.



Abbildung 22: Aufnahme, Goldener Schwan Rückgebäude

Abbildung 23: Aufnahme, Goldener Schwan, Ansicht Königstrasse

Abbildung 24: Aufnahme, Marktplatz

4.3 Datenverarbeitung

Im Anschluss an die Erfassung besteht die Möglichkeit, die Daten entweder über den BLK Data Manager oder direkt an Leica Cyclone Register 360 zur Verarbeitung zu übermitteln. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte die Übertragung der Daten an Leica Cyclone Register 360 Plus BLK Edition. Im CIP-Pool der Lehrstuhl DDT steht Leica Cyclone Register 360 Plus zur Verfügung. Für diese Arbeit hat die Studentin jedoch eine begrenzte kostenlose Lizenz für die Cyclone Register 360 BLK-Edition von Leicas Geosystem Company erhalten. Diese Lizenz erwies sich als äußerst hilfreich, da die Verarbeitung der umfangreichen Scan-Daten viel Zeit in Anspruch nahm. Cyclone REGISTER 360 PLUS (BLK Edition) ist die Software von Leica Geosystems für die effiziente Registrierung und Verarbeitung von Scandaten, die mit BLK-Scannern erfasst wurden, und ermöglicht eine präzise Datenverarbeitung [65].

Die Registrierung von Scans in Cyclone REGISTER 360 erfolgt in mehreren Schritten. Dadurch wird eine präzise und effiziente Zusammenführung von Punktwolken ermöglicht. Die nachfolgende Abbildung gibt Aufschluss über die einzelnen Arbeitsschritte, die im Rahmen der Anwendung von Cyclone Register 360 zu durchlaufen sind.



Abbildung 25: Arbeitsschritte im Cyclone Register 360

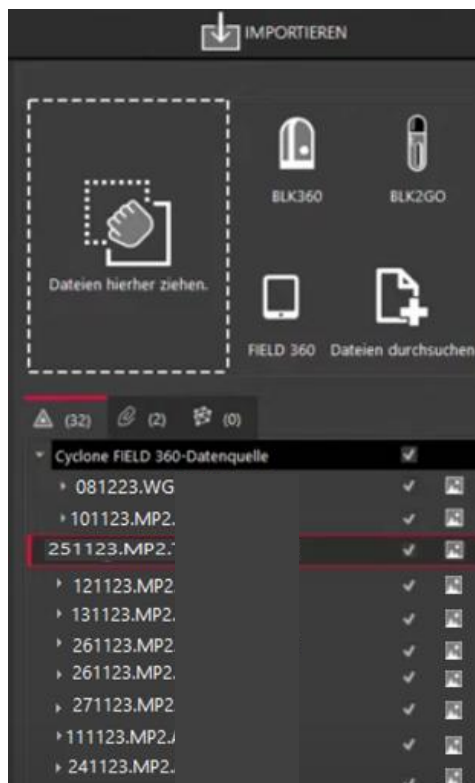


Abbildung 26: Daten vom Scanner geladen

In diesem Kontext ist es von Relevanz, darauf zu verweisen, dass die Datenübertragung vom Scanner auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgte. Einmal mit Hilfe des BLK Data Manager. In diesem Fall wurden alle einzelnen Scandaten im .blk-Format als Backup gesichert. Für die Datenaufbereitung wurde die Übertragung jedoch mit Cyclone Field und Cyclone Register 360 (BLK-Edition) durchgeführt, da sie die Übertragung jeder Scangruppe ermöglichten, die in der Aufzeichnung als Job gespeichert sind und die Scans miteinander verknüpft sind. Zu diesem Zweck wurde ein neues Projekt auf Cyclone Register 360 erstellt. Der Scanner wird dann über WLAN durch die IP-Adresse mit Register 360 synchronisiert und

anschließend wurden die Daten vom Scanner geladen. Nach erfolgtem Import wurde eine Überprüfung der Übersichtskarten aus den gescannten Bereichen vorgenommen, wobei im Anschluss eine Verbindung und Registrierung der Übersichtskarten erforderlich war. In diesem Projekt gab es 10 Übersichtskarten, die auf dem Foto oben zu sehen sind. Um die einzelnen Gruppen miteinander zu registrieren, muss zuerst herausgefunden werden, welcher Scan in einer Gruppe mit welchem Scan in einer anderen Gruppe verknüpft werden kann. Dabei ist es hilfreich, die Namen der Scanpositionen einzublenden. Dann werden durch den Vergleich mit den Angaben aus dem Metadatenblatt die Stationen identifiziert, die verknüpft werden konnten. Hierzu wurden die Standpunkte („Scannen“) aus zwei Gruppen ausgewählt und mit dem Befehl Visuelle Registrierung verknüpft.

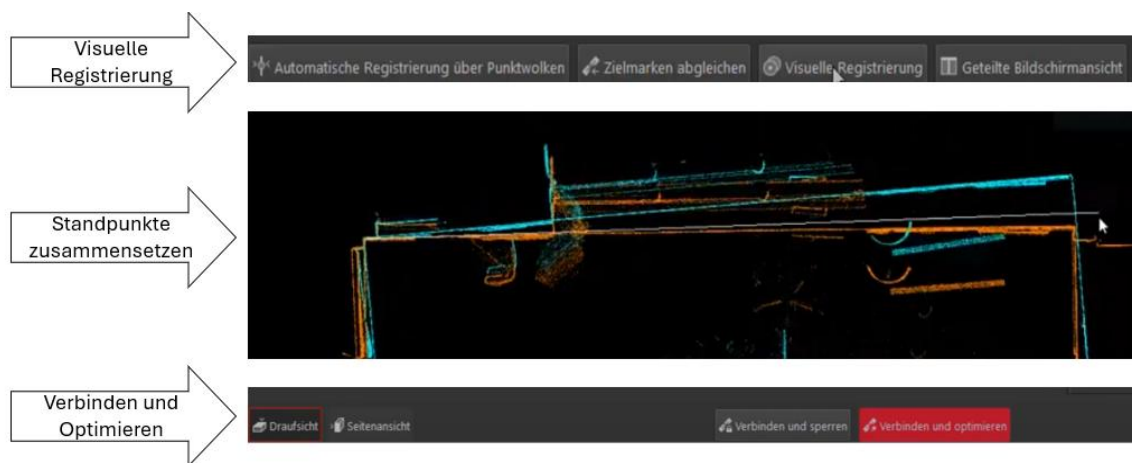


Abbildung 27: Visuelle Registrierung und Verbindung von Standpunkten aus zwei Gruppen

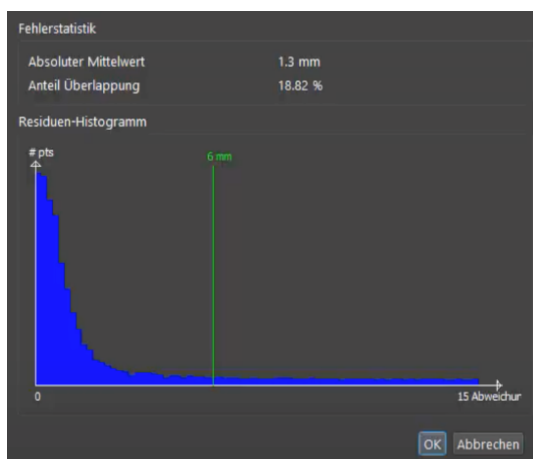


Abbildung 28: Ausreichende Überlappung von Scanflächen

Zum Zusammensetzen der Standpunkte müssen die Scans in der Draufsicht und in der Seitenansicht angepasst und aufeinander ausgerichtet werden. Anschließend werden Optimierung und Verbindung hergestellt. Wenn die Scanflächen eine ausreichende Überlappung aufweisen, kann die Verbindung erfolgreich durchgeführt werden. Optimal ist eine große prozentuale Überlappung.

Vor der Verknüpfung der Gruppen ist eine Prüfung der Scans auf Qualität und Vollständigkeit erforderlich. Des Weiteren müssen alle störenden Artefakte oder Fehler entfernt werden. Wie schon oben erwähnt, werden alle wesentlichen Informationen während der Aufnahme

als Metadaten geschrieben. Dazu gehören die Bedingungen während der Aufnahme, die Beschreibung des Standorts, Hinweise auf die Spiegelung usw. Auf diese Weise konnten alle störende Elemente und Fehler bei der Datenverarbeitung vermieden werden.



Abbildung 29: Scan-Gruppen-Außenbereich

Die Verknüpfung in Gruppen kann ebenfalls verdichtet werden. Dies kann manuell oder automatisch geschehen, wobei der automatische Vorgang hier erwähnt wird. Mit Rechtsklick auf die Gruppe und Auswahl von „Verknüpfungsvorschläge in der Gruppe anzeigen“ zeigt Register sofort Verknüpfungsvorschläge an, diese werden mit gestrichelten Linien dargestellt. Dann muss eine dieser Linien aktiviert werden und auf „Alle sichtbaren Verknüpfungsvorschläge hinzufügen“ klicken. Dies hilft, die Registrierung zu optimieren.

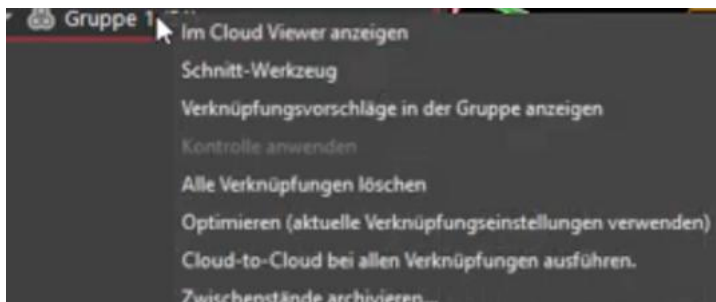


Abbildung 30: Verknüpfungsvorschläge in der Gruppe

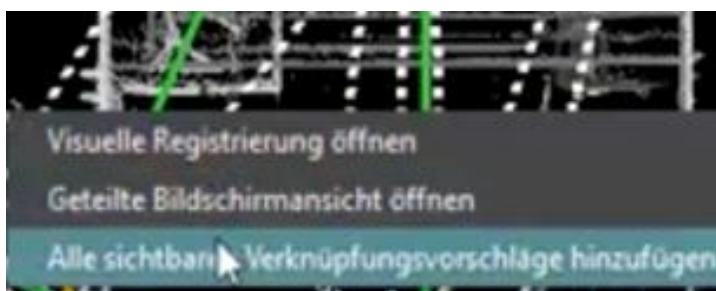


Abbildung 31: Alle Sichtbare Verknüpfungsvorschläge

Nach Ablauf dieser Schritte sind die Scandaten verlinkt und die Punktwolke sieht vollständig aus. Vor dem Export der Punktwolke sollte sie noch bearbeitet werden. Um die Datenqualität zu verbessern, wurden die registrierten Punktwolken bereinigt, indem Rauschen und unnötige Daten entfernt wurden.

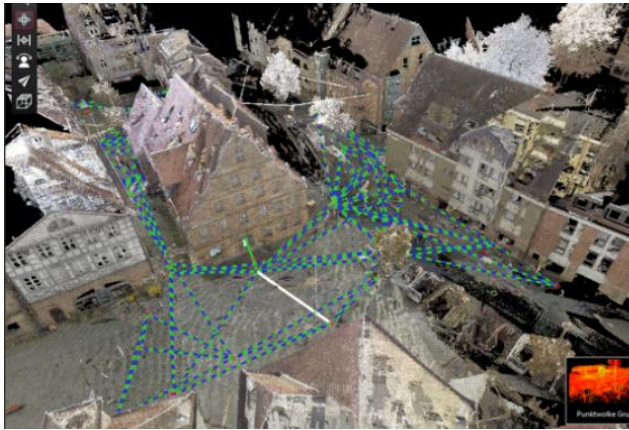


Abbildung 32: Punktwolke, Verlinkte Scannen

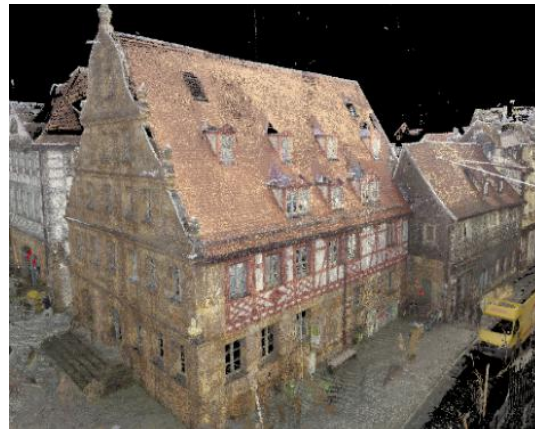


Abbildung 33: Punktwolke, Goldener Schwan



Abbildung 34: Eigenschaften der Registrierungsgruppe

Nach erfolgter Verknüpfung aller Scans und Gruppen kann der Registrierungsprozess abgeschlossen und die Punktwolke für den Export vorbereitet werden. Die Registrierung und Optimierung aller Gruppen erfolgte mit einer Überlappung von 53 %, einer Stabilität von 80 % und einem Fehler von 0,005 mm. Die hohe Qualität und Genauigkeit der registrierten Punktwolke gestattet eine detaillierte und präzise Visualisierung des erfassten Bereichs. Die Einhaltung strenger Qualitätsstandards während des Registrierungsprozesses stellt sicher, dass die finale Punktwolke verlässliche Informationen liefert.

Jede einzelne Gruppe wurde dann unter der Schaltfläche "Abschließen" akzeptiert. Das Projekt wurde dann zum nächsten Schritt, dem Registrierungsbericht, weitergeleitet. In diesem Schritt wurden die Informationen zum Projekt angegeben und der Bericht zum Projekt verfasst (vgl. Anhang, Finale Report). Danach wechseln, zur Schaltfläche Publikationsoptionen. In diesem Fall wurden alle gewünschten Formate, einschließlich E57. Datei, E57.Separate, LGS und RCP, ausgewählt und die Publizität wurde durchgeführt.



Abbildung 35: Registrierungsbericht

Abbildung 36: Ausgewählte Export-Formate

Aufgrund der begrenzten Lizenz für Cyclone Register 360 (BLK-Edition) wurde die Punktwolke in verschiedene Datenformate exportiert, die in der nächsten Phase der Arbeit verwendet werden konnten. Es ist wichtig zu erwähnen, dass die Punktwolke zweimal exportiert wurde. Einmal die gesamten Scandaten, inklusive 120 Scans. Und einmal die Scans aus dem Außenbereich. Da der Umfang der Daten sehr groß ist und es sich um eine riesige Punktwolke handelt, wurde davon ausgegangen, dass nur die Scans der Außenbereiche für die Modellierung und die Erstellung des Maschennetzes verwendet werden sollten.

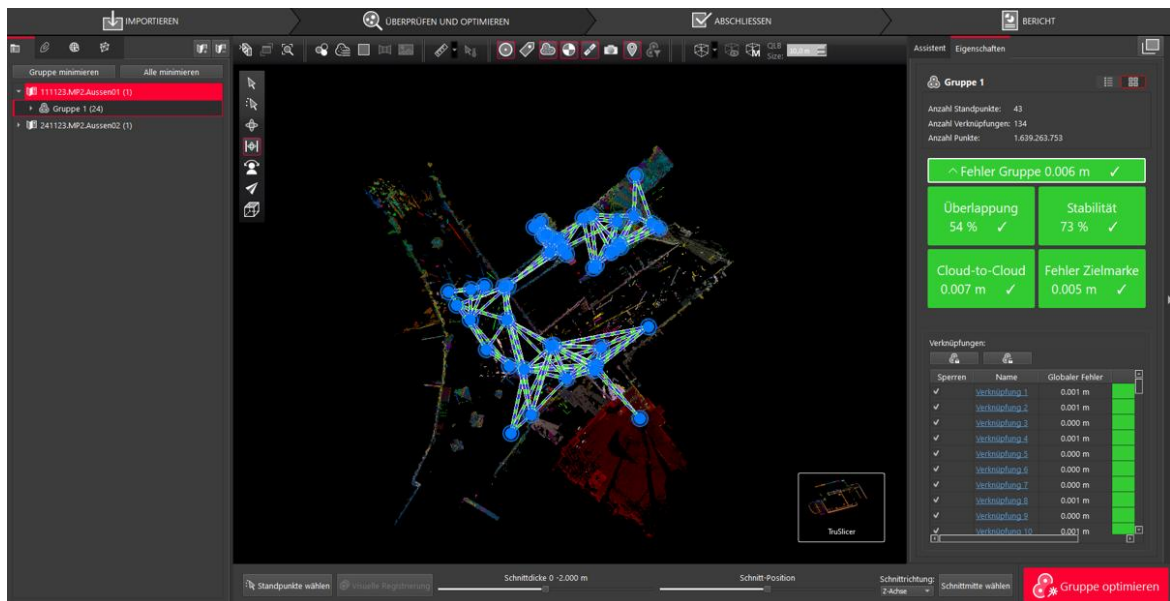


Abbildung 37: Registrierung von Übersichtskarten der Außenbereiche

Die folgende Tabelle enthält Informationen über Export-Dateien:

Tabelle 4: Export-Dateien Formate

Datei-Name	Format	Bereich	Anzahl des Scannens	Größe
081223-H- 1	E57	Gesamte Punkt- wolke	120	78.4 GB
081223-H- 1	E57 Separate	Gesamte Punkt- wolke	120	115 GB
091223-GS 1	E57	Außen	43	34.1 GB
091223-GS 1	E57 Separate	Außen	43	34.6 GB
091223-GS 1	RCP	Außen	43	2 KB
091223-GS 1	LGS	Außen	43	22.5 GB

4.4 Herausforderungen bei Aufnahme und Datenverarbeitung

Die Herausforderungen im Rahmen der Aufnahme und Datenverarbeitung des Projekts erstreckten sich auf verschiedene Bereiche, wobei organisatorische, technische und datenschutzrechtliche Aspekte von zentraler Bedeutung waren. Im Folgenden erfolgt eine detaillierte Aufstellung der wichtigsten Herausforderungen:

Organisatorische Herausforderungen:

- **Zugang und Zustimmung:** Die größte Herausforderung war es, die Zustimmung der Bewohner für die Vermessung ihrer Wohnungen zu erhalten. Trotz diverser Kommunikationsversuche über E-Mail, Briefe und persönliche Kontakte war es nur möglich, Zugang zu vier Wohnungen und dem Rehabilitationszentrum zu erhalten. Dies beeinträchtigte das Ziel, alle Einheiten umfassend zu erfassen.
- **Abstimmung der Termine:** Die Koordination der Aufnahmetermine mit den Bewohnern und die Einhaltung dieser Termine stellten eine weitere erhebliche Herausforderung dar. Dies führte zu Verzögerungen und machte die Planung komplexer.
- **Wetterbedingungen:** Die Scans wurden im Herbst durchgeführt, was oft zu regnerischem und kaltem Wetter führte. Diese Bedingungen unterbrachen die Scans und erschwerten die Kalibrierung der Geräte.

Technische Herausforderungen:

- **Datenerfassung:** Die Erfassung der Daten mit der TLS-Methode und die Sicherstellung, dass alle Bereiche angemessen gescannt wurden, erforderte eine sorgfältige Planung und Ausführung. Das Dach und einige Außenbereiche erwiesen sich als besonders schwierig. Daher sind die Ergebnisse der Datenverarbeitung in einigen Bereichen, besonders dem Dach, nicht akzeptabel.



Ein Teil des Rückgebäudes musste in einem engen Durchgang aufgenommen werden. Die Pflanzen ermöglichten es nicht, dass alle Oberflächen gescannt werden konnten, so dass die Punktwolken keine vollständigen Daten über diesen Bereich liefern.

Abbildung 38: Aufnahme des engen Durchgangs im Hinterhof



Wie auch erwähnt, war die Erfassung des Daches problematisch und in diesem Projekt konnte die TLS-Methode für die Erfassung des Daches nicht akzeptabel sein. Dieser Punkt könnte bei zukünftigen Arbeiten berücksichtigt werden.

Abbildung 39: Inakzeptable Dach-Punktwolke

Datenschutz und Privatsphäre:

- **Bewahrung der Privatsphäre:** Die größte Sorge der Bewohner war der Schutz ihrer Privatsphäre. Es mussten umfangreiche Maßnahmen ergriffen werden, um sicherzustellen, dass keine sensiblen Daten ohne Zustimmung erfasst oder veröffentlicht wurden. Diese Bedenken machten die Erfassung und Verarbeitung komplizierter.

Datenverarbeitung:

- **Datenmengen und -verarbeitung:** Die Verarbeitung der großen Datenmengen, insbesondere die Registrierung der Scans und die Erstellung von Punktwolken, erforderte den Einsatz spezialisierter Software und intensive Rechenprozesse. Die Überprüfung der Verknüpfungen und die Bereinigung von Rauschen und Fehlern waren zeitaufwendig und technisch anspruchsvoll.
- **Softwareeinschränkungen:** Die begrenzte Lizenz für die Cyclone Register 360 BLK-Edition stellte eine weitere Herausforderung dar. Da die Datengröße sehr umfangreich war, gestaltete sich die Verarbeitung bei Cyclone Register im CIP-Pool nicht zeiteffizient. Jedes Mal mussten die Daten in Cyclone Register geladen werden, was sehr viel Zeit in Anspruch nahm, so dass es viel zeiteffizienter wäre, wenn dieser Prozess auf dem eigenen PC durchgeführt werden würde.

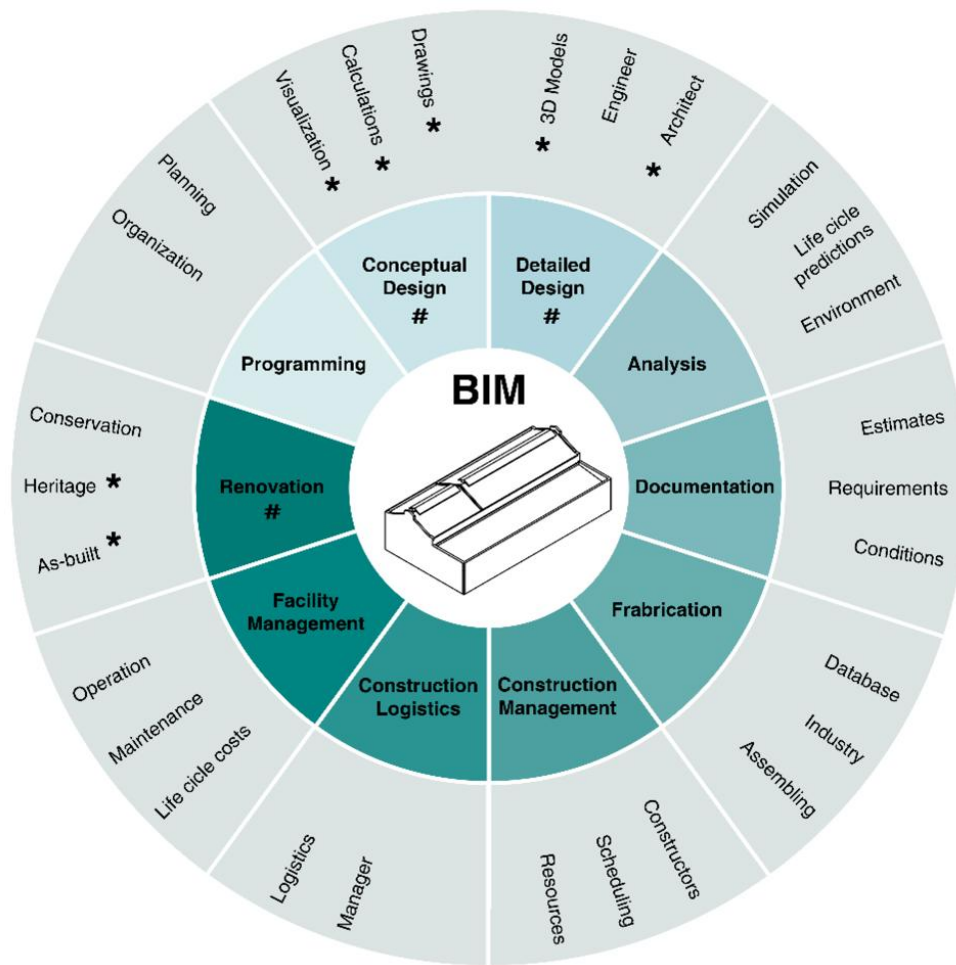
Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die organisatorischen, technischen und datenschutzrechtlichen Herausforderungen in einer komplexen Mischung auftraten, die ein flexibles und sorgfältiges Vorgehen erforderte, um das Projekt erfolgreich umzusetzen und qualitativ hochwertige Ergebnisse zu erzielen. Die Erkennung dieser Herausforderungen ist erforderlich, um die Arbeit in zukünftigen Projekten zu optimieren und weniger Probleme zu haben.

5 H-BIM (Historic Building Information Modelling)

In den vergangenen Jahren hat sich die Bedeutung von Fernerkundungsverfahren für die Vermessung und Dokumentation historischer Objekte signifikant erhöht. Die Anwendung digitaler Methoden erlaubt eine hochpräzise und effiziente Erfassung komplexer Geometrien, was für die Erhaltung der Integrität historischer Bauten von entscheidender Bedeutung ist. Die Umwandlung dieser Fernerkundungsdaten in brauchbare und intelligente Modelle, wie beispielsweise das des Historic Building Information Modeling (HBIM), stellt jedoch eine beständige Herausforderung dar. In der Tat stellt HBIM ein entscheidendes Instrument für die Erhaltung des kulturellen Erbes dar, da es eine Möglichkeit bietet, historische Gebäude mit Präzision zu dokumentieren, zu verwalten und zu analysieren. Das Modell integriert verschiedene Arten von Daten, darunter detaillierte Geometrien, die durch Fernerkundungstechnologien erfasst wurden, in ein kohärentes und brauchbares Modell. Das Modell

kann folglich für eine Vielzahl von Zwecken zum Einsatz kommen, beispielsweise für die Restaurierung, die Konservierung sowie für den virtuellen Tourismus. Die Herausforderung besteht in der Konvertierung der rohen Fernerkundungsdaten in ein intelligentes, parametrisches Modell. Der Prozess umfasst nicht nur die Datenverarbeitung und Modellerstellung, sondern auch die Sicherstellung der Genauigkeit, Konsistenz und Nutzbarkeit des Modells für verschiedene Interessengruppen. Daher ist die Entwicklung einer systematischen und pragmatischen HBIM-Methodik unerlässlich. Eine derartige Methodik würde dazu beitragen, den Prozess zu standardisieren und sicherzustellen, dass alle erforderlichen Details erfasst werden. Dadurch kann gewährleistet werden, dass das resultierende Modell sowohl funktional als auch präzise ist [59].

Building Information Modeling (BIM) ermöglicht durch die Erstellung detaillierter, dreidimensionaler Modelle eine erhebliche Optimierung der Rekonstruktion und Verwaltung bestehender Gebäude. Die Einbindung bestehender Strukturen in einen digitalen Rahmen erlaubt die Erleichterung verschiedener Funktionen, wie beispielsweise die Analyse von Entwurfsalternativen, die Kostenschätzung, die Materialquantifizierung sowie die Dokumentation des Ist-Zustandes. Bei der Anwendung auf denkmalgeschützte Gebäude ist die Entwicklung von Modellen erforderlich, die den HBIM-Standards (Historic Building Information Modeling) entsprechen. Dadurch wird gewährleistet, dass die digitale Darstellung den Lebenszyklus des Gebäudes effektiv unterstützt, beginnend mit dem ersten Entwurf über die Bau- und Instandhaltungsphase bis hin zur Stilllegung. BIM ist mehr als eine Software. Es handelt sich um eine integrierte, kollaborative Methodik, welche Technologie, Prozesse und menschliches Fachwissen kombiniert. Der hier beschriebene Ansatz verbessert das Informationsmanagement in sämtlichen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes. Zudem werden effiziente Arbeitsabläufe, multidisziplinäre Zusammenarbeit sowie die Automatisierung von Aufgaben wie Kollisionserkennung und quantitative Bewertungen gefördert. Die Integration von BIM mit der Modellierung von Punktwolkendaten führt zu einer weiteren Optimierung des Prozesses. Dadurch werden repetitive Aufgaben reduziert und die Genauigkeit sowie die Effizienz der Modellerstellung verbessert, was letztlich sowohl traditionelle als auch moderne Baupraktiken unterstützt [59].



* Items covered by the Engine House case study
 # Goals to be achieved by the project

Abbildung 40: Diagramm eines Building Information Modeling (BIM)-Workprozesses; Bild von <https://doi.org/10.3390/heritage3010004>

Die innovative Lösung "Historic Building Information Modelling (HBIM)" stellt eine fortschrittliche Anwendung der BIM-Methodik dar, welche speziell auf historische Gebäude zugeschnitten ist. Im Rahmen dessen werden interaktive parametrische Objekte, welche architektonische Elemente repräsentieren, aus historischen Daten konstruiert und diese Elemente (einschließlich der Details, welche sich hinter der Scan-Oberfläche befinden) exakt auf einer Punktwolke oder einer bildbasierten Vermessung abgebildet [66].

Im Gegensatz zum Standard-BIM, dessen Entwicklung auf moderne Bauwerke ausgerichtet war, befasst sich HBIM mit den besonderen Herausforderungen historischer Bauwerke. Dazu zählen beispielsweise deren unregelmäßige Geometrien sowie die Notwendigkeit detaillierter und hochpräziser Vermessungen. Die Integration parametrischer Modelle erfolgt

nicht nur unter Einbezug präziser geometrischer Darstellungen, sondern ebenso unter Berücksichtigung von Attributen aus historischen Datenbanken. Dies erlaubt die Erleichterung von Aufgaben wie der Überwachung des Erhaltungszustandes, der Verwaltung des kulturellen Erbes sowie der Planung von Restaurierungsarbeiten [59].

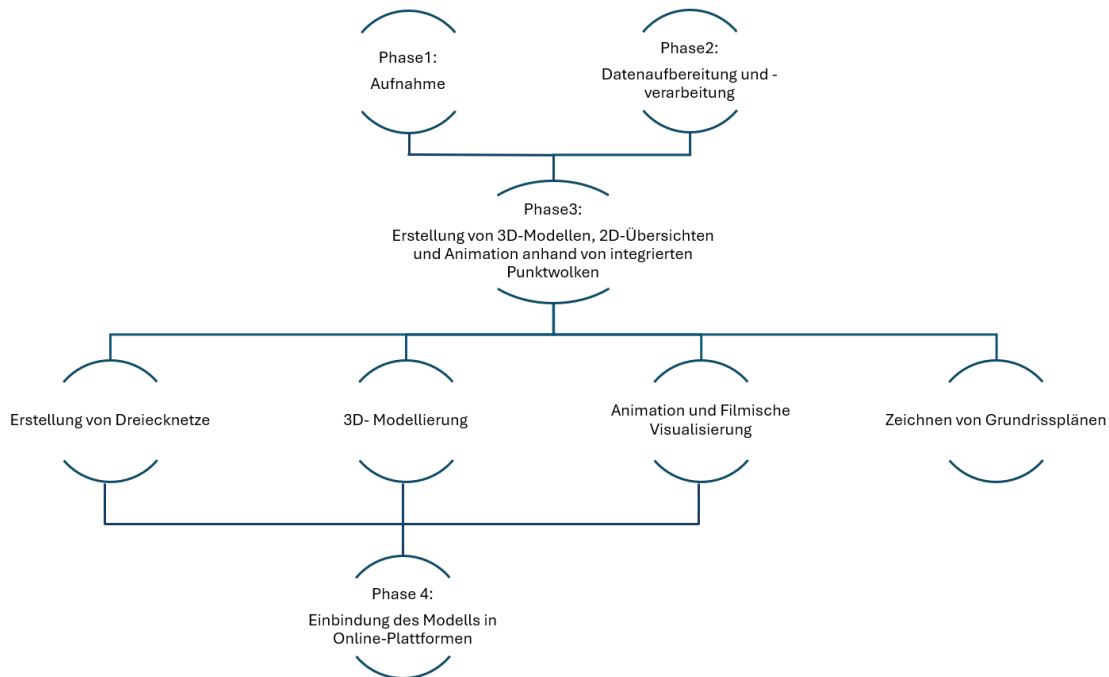
Die Komplexität historischer Gebäude, die sich durch nicht standardisierte Formen und variable Abmessungen auszeichnet, bedingt umfangreichere und sorgfältigere architektonische Erhebungen, was zu größeren, komplexeren Datenbeständen führt, die sich schwierig verwalten lassen. Schlüsselkonzepte in HBIM, wie beispielsweise die Modellierungstoleranz und der Level of Development (LOD), spielen eine entscheidende Rolle bei der Ausgewogenheit von Genauigkeit und Detailtreue in den Modellen. Dennoch stößt der Bereich nach wie vor an gewisse Grenzen, insbesondere hinsichtlich der Verfügbarkeit parametrischer Bibliotheken, die auf historische Architekturelemente zugeschnitten sind. Die Entwicklung spezialisierter Bibliotheken, wie sie in den Bemühungen, um islamische Architektur und Bautypologien aus dem späten neunzehnten und frühen zwanzigsten Jahrhundert zu beobachten ist, stellt einen entscheidenden Schritt in der Weiterentwicklung von HBIM dar. Durch die Schaffung solcher Bibliotheken wird das System effizienter und anwendbar für eine breitere Palette von Denkmalschutzprojekten [59].

Im Artikel "A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings" (von Gustavo Rocha, Luís Mateus, Jorge Fernández und Victor Ferreira) wird in einer Fallstudie das um 1900 erbaute Engine House von Paços Reais in Lissabon, Portugal, behandelt. Im Rahmen des Projekts wurde ein Scan-to-BIM-Ansatz verwendet, um das Engine House mithilfe von 3D-Laserscanning, Photogrammetrie und BIM-Modellierungstechniken digital zu rekonstruieren. Der Arbeitsablauf umfasste eine detaillierte Datenerfassung, -verarbeitung und -ausrichtung der Scans, gefolgt von der Erstellung eines hochpräzisen BIM-Modells. Das finale Modell erreichte einen Detailgrad (LOD) zwischen 300 und 350 und umfasste architektonische und strukturelle Elemente wie Wände, Böden, Dächer, Türen und Fenster. Das Projekt demonstrierte erfolgreich die Effizienz von Scan-to-BIM bei der Bearbeitung historischer Gebäude, der Bereitstellung einer detaillierten Dokumentation sowie der Vorbereitung des Modells für zukünftige Restaurierungsarbeiten. Des Weiteren verdeutlichte das Projekt die Schwierigkeiten und erforderlichen Modifikationen bei der Modellierung komplexer historischer Strukturen und unterstrich die Relevanz eines methodischen und pragmatischen Vorgehens [59].

Im Rahmen des vorliegenden Projekts zur digitalen Modellierung und Integration des historischen Gebäudes "Goldener Schwan" auf Online-Plattformen wurde eine präzise und methodische Anwendung von Scan-to-BIM-Technologien innerhalb des HBIM-Prozesses umgesetzt. Die angewendete Methode umfasst mehrere wesentliche Schritte, die von entscheidender Bedeutung für die exakte Erfassung, Verarbeitung und Modellierung des Baudenkmals sind. Durch den Einsatz fortschrittlicher Scan-Technologien und spezifischer Softwarelösungen konnte eine detailgetreue Punktwolke erstellt werden, die als Grundlage für die nachfolgende digitale Modellierung diente. Die angewandten Verfahren und Instrumente zur Datenerfassung wurden im vorangegangenen Abschnitt ausführlich erörtert. Der Fokus lag neben der Erfassung auf der sorgfältigen Verarbeitung der gewonnenen Daten sowie deren Integration in ein digitales Modell. Diese Arbeitsschritte sind von grundlegender Bedeutung, um die Qualität und Genauigkeit der Punktwolke sicherzustellen, welche wiederum als Basis für das finale 3D-Modell dient. Der folgende Abschnitt befasst sich mit der detaillierten Beschreibung der Vorbereitung der Punktwolke zur Verwendung in verschiedenen Softwareanwendungen für die Erstellung des 3D-Modells. Dabei wird dargelegt, wie die Punktwolke optimiert und angepasst wurde, um eine nahtlose Integration in die Modellierungssoftware zu ermöglichen, sowie die spezifischen Techniken, die bei der digitalen Rekonstruktion des historischen Baudenkmals „Goldener Schwan“ zum Einsatz kamen.

Die Umsetzung des Scan-to-BIM-Prozesses erfolgte unter Zuhilfenahme diverser auf spezifische Anwendungsbereiche fokussierter Softwarelösungen. Die Erstellung der 3D-Modelle erforderte die Anwendung diverser Applikationen und Methoden, um den komplexen Anforderungen des Projekts gerecht zu werden. Im Rahmen des Projekts wurden diverse Softwaretools eingesetzt, deren Effektivität und Eignung für die spezifischen Aufgaben im Verlauf desselben variierte. Im Folgenden erfolgt eine detaillierte Darstellung der erfolgreichen und weniger erfolgreichen Ansätze. Im Rahmen des Scan-to-BIM-Prozesses wurden diverse Softwareprogramme eingesetzt, darunter CloudCompare, Autodesk Recap, MeshLab, FaroSCENE, GeomagicWRAP, Autodesk Revit, Autodesk AutoCAD, Reality Capture, Blender und Unity. Die einzelnen Anwendungen erfüllten dabei spezifische Funktionen im Gesamtprozess, von der initialen Verarbeitung der Punktwolken bis hin zur finalen Modellierung und Visualisierung der 3D-Modelle des historischen Gebäudes "Goldener Schwan".

In Bezug auf den Verlauf dieser Arbeit lässt sich eine Unterteilung in insgesamt vier Phasen feststellen:



Flowchart 1: Projektphasen – Scan to Publication

In der nachfolgenden Tabelle sind die im Projekt verwendeten Software aufgeführt, jeweils in Bezug auf ihre spezifische Anwendung innerhalb der Projektphasen:

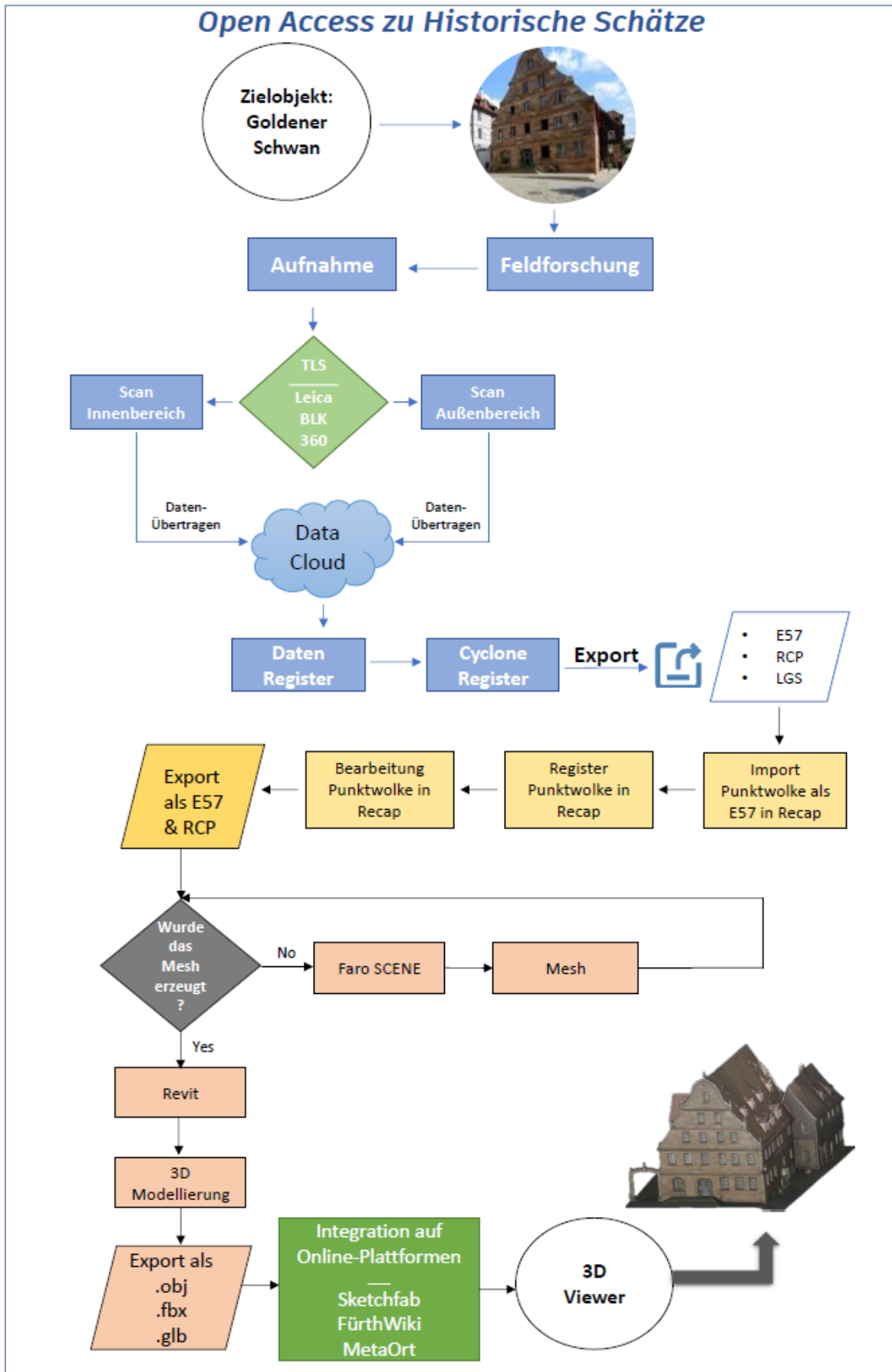
Tabelle 5: Eingesetzte Software für den Scan-to-H-BIM-Prozess

Software	Anwendungen	Ergebnis/Bewertung
1) Cyclone Register 360 (BLK-Edition)	Datenaufbereitung und -verarbeitung	Export die Punktwolke als E57, RCP, LGS
2) CloudCompare	<ul style="list-style-type: none"> Nachbearbeitung des Punktwokles und Export als E57.Datei Erzeugung von Dreiecksnetzen (Meshes) 	<ul style="list-style-type: none"> Nachbearbeitung und Export der Punktwolke erfolgreich. Die Dreiecksnetze (Mesh) inakzeptabel.
3) Text Editor Visual Studio	Zum Generieren der Texturen und Farbdaten aus CloudCompare	Das war nicht erfolgreich.
4) MeshLab	Erstellung von Meshes	Das war nicht erfolgreich.

5) Faro SCENE	Erstellung von Meshes mit Texturen und Farben und Export als Objekt (obj. Datei)	Das war erfolgreich und das Mesh ist akzeptabel.
6) GeomagicWRAP	Bearbeitung von Mesh und Export als obj. Datei	Der Einsatz des Werkzeugs Mesh-Doctor war einigermaßen zufriedenstellend.
7) Autodesk Recap	Nachbearbeitung der Punktwolke und Export als E57. und RCP. Datei	Nachbearbeitung und Integration von Punktwolke wurde erfolgreich durchgeführt.
8) Autodesk Revit	3D-Modellierung Basis auf Punktwolke	Das Model wurde erstellt und als Objekt exportiert.
9) Autodesk AutoCAD	2D-Zeichnung	Die Grundrisse des Erdgeschosses wurden mithilfe von As-Built-Plugin gezeichnet.
10) Blender/Twinmotion	Filmische Visualisierung	Die Filmische Visualisierung wurde mit Hilfe der beiden Software erstellt.

Zur Verwirklichung der Projektziele wurde die oben genannten Software-Programmen umfassend eingesetzt. In den folgenden Abschnitten wird der Arbeitsablauf innerhalb der einzelnen Softwareanwendungen detailliert dargestellt. Dabei wird nicht nur die spezifische Rolle jeder Software im Gesamtprozess erläutert, sondern auch auf die jeweiligen Stärken und Schwächen eingegangen. Insbesondere werden die Limitierungen hervorgehoben, die während der Anwendung auftraten und wie diese im Rahmen des Projekts bewältigt wurden. Dies ermöglicht eine tiefere Einsicht in die praktischen Herausforderungen und die Effizienz der eingesetzten Tools im Kontext des Scan-to-HBIM-Prozesses.

Open Access zu Historische Schätze



Flowchart 2: Ablaufdiagramm „von Objekt bis zu Model auf Online-Plattformen“

- **Autodesk ReCap**

Autodesk ReCap ist eine Software von Autodesk, die speziell entwickelt wurde, um 3D-Daten zu verarbeiten. Es erlaubt Designern, Technikern und sonstigen Spezialisten, qualitativ hochwertige und detaillierte Modelle realer Objekte und Umgebungen zu erstellen. Dazu werden Fotos oder Laserscans zu Punktwolken oder Netzen verarbeitet, die als Grundlage für die digitale Modellierung dienen. Mit ReCap werden reale Objekte in digitale 3D-Modelle umgewandelt, die dann in verschiedenen Entwurfs-, Restaurierungs- oder Bauprozessen wiederverwendet werden können. Die Software erleichtert den Zugriff auf Punktwolken und -netze. Die Integration von Cloud-basierten Arbeitsabläufen ist ein weiteres wichtiges Merkmal von Autodesk ReCap. Dadurch wird es den Nutzern ermöglicht, Aktualisierungen effizient durchzuführen, Objekte aus den erfassten Daten zu extrahieren und Dateien in der Cloud zu verwalten, wodurch der gesamte Prozess der Datenerfassung und -verarbeitung flexibler und effizienter wird [67].

Eines der Exportformate von Cyclone Register 360 war das .rcp-Format, das eine übliche Wahl für die Weiterverarbeitung von Punktwolkendaten darstellt. Während der Analyse stellte sich jedoch heraus, dass die Punktwolke im .rcp-Format nicht die erforderliche Qualität aufwies. Insbesondere traten erhebliche Lücken in der Punktwolke auf, die zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Datenintegrität führten. Diese Lücken und Ungenauigkeiten machten die Punktwolke in diesem Format für die Projektanforderungen ungeeignet. Aufgrund dieser Qualitätsmängel war es notwendig, alternative Formate für die Datenverarbeitung und den Datenexport in Betracht zu ziehen, um eine Punktwolke mit höherer Genauigkeit und Dichte zu haben. Dieser Ansatz war ein Versuch, den Arbeitsprozess zu reduzieren, erwies sich jedoch als ineffizient.



Abbildung 41: Punktwolken, die im rcp-Format exportiert wurden

Aus diesem Grund wurde die Punktwolke als E57-Datei in ReCap importiert, ausgerichtet und bearbeitet, bevor sie schließlich in das .rcp-Format exportiert wurde. Die erneute Ausrichtung und Registrierung der Punktwolke in ReCap ist trotz vorheriger Zusammenführung der Daten in Cyclone Register erforderlich, wenn dies durch unterschiedliche Koordinatensysteme, Datenübertragungsverluste oder die Verwendung spezifischer Algorithmen in den beiden Softwareprogrammen bedingt ist. Eine erneute Registrierung kann durch ReCap angeboten werden, um eine noch präzisere Ausrichtung zu gewährleisten, insbesondere wenn die Punktwolke in ReCap weiterverarbeitet oder in anderen Autodesk-Programmen verwendet werden soll. Im Rahmen dieses Projekts war eine weitere Verarbeitung der Punktwolke in Autodesk Revit und AutoCAD erforderlich.

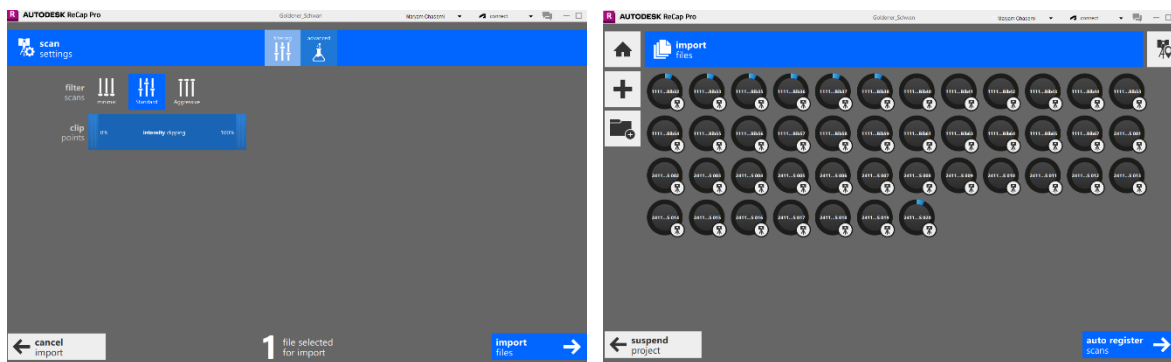


Abbildung 42: Import Scandaten in ReCap – Einstellung – mit Standardfilter

Abbildung 43: Import Scandaten in ReCap zur Registrierung

Die Registrierung und Ausrichtung der Punktwolken erfolgten manuell. Im Anschluss erfolgte eine Bereinigung der Punktwolke, wobei nicht benötigte Daten, wie Rauschen oder überflüssige Punkte, durch Schneiden (Trimmen) oder Filtern der Punktwolke entfernt werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, einzelne Segmente der Punktwolke zu isolieren und separat zu bearbeiten, um spezifische Bereiche detailliert zu untersuchen oder zu bearbeiten. Vor dem finalen Export wurde die Punktwolke einer Prüfung unterzogen, um sicherzustellen, dass alle relevanten Daten korrekt integriert und die Qualität der Punktwolke gewährleistet ist. Nach der vollständigen Integration und Bearbeitung der Punktwolke erfolgte der Export als .rcp- und E57-Datei, wodurch eine Verwendung in anderen Autodesk-Anwendungen, wie Revit oder AutoCAD, vorbereitet wurde. Die genannten Schritte waren von entscheidender Bedeutung, um eine saubere, präzise und funktionsfähige Punktwolke für die nachfolgenden BIM-Prozesse zu erhalten.

5.1 Dreiecknetze (Meshes) und Texturierung

Die Darstellung einer Punktwolke, die als dreidimensionaler Satz von Punkten innerhalb eines bekannten Koordinatensystems definiert ist, ist ein grundlegender Aspekt sowohl der dreidimensionalen Oberflächenmodellierung als auch der Punktwolken-Texturierung. Jeder Punkt in der Wolke wird durch einen Satz von drei Koordinaten definiert, die als x , y und z bezeichnet werden. Für die Erzeugung dreidimensionaler Modelle aus Punktwolken wurde eine Reihe von Techniken entwickelt. Solche Modelle können mit spezieller Modellierungssoftware erstellt oder durch Polygonnetze konstruiert werden [68]. Die Auswahl einer geeigneten Modellierungsmethode hängt von einer Reihe von Faktoren ab, wobei der beabsichtigte Zweck des Modells eine der wichtigsten Überlegungen ist. Der betreffende Zweck bestimmt also den erforderlichen Detailgrad, die Genauigkeit und die Visualisierungsmöglichkeiten. Darüber hinaus sind die Eigenschaften der Objekte und das Volumen der erzeugten Daten von großer Bedeutung. Digitale 3D-Oberflächen können auf verschiedene Weise mathematisch beschrieben und dargestellt werden, wobei zwischen digitalen Höhenmodellen, Geländemodellen und Oberflächenmodellen unterschieden wird. Solche Darstellungen können mit Methoden wie Höhenlinien, Gittern oder unregelmäßigen Dreiecken beschrieben werden [69]. Die 3D-Erfassung von Scanpunkten mittels eines Laserscanners ermöglicht die Abbildung der Oberflächenstruktur von 3D-Objekten. Die erfassten Scanpunkte dienen der Erstellung eines Netzes, welches die reale Oberflächenstruktur mithilfe von Dreiecken approximiert [70]. Die Anzahl der erzeugten und im Netz integrierten Dreiecke ist von der Oberflächengeometrie des Objekts, dem gewählten Vernetzungsalgorithmus sowie der Dichte der Scanpunkte abhängig. Nach der Konstruktion des Netzes besteht die Möglichkeit, dieses mit einer Texturüberlagerung zu verbessern. Dabei kann entweder eine fotorealistische oder künstliche Textur verwendet werden, um ein realistisches 3D-Modell zu erzeugen. Der Prozess des Texture Mappings kann manuell oder automatisch durchgeführt werden [71].²²

Im Kontext der "mathematischen Grundlagen für die Vermaschung von Punktwolken" stellt die "Berechnende Geometrie"²³ die fundamentale Basis für die Verarbeitung und

²² „Dieser Absatz wurde aus der Masterarbeit von Jessica Lang übernommen und angepasst, und die in dieser Arbeit zitierten Quellen wurden verwendet. Vgl. Lang, Jessica: Effiziente Vermessung und Visualisierung stadträumlicher Strukturen zur digitalen Integration virtueller Rekonstruktionen von verlorenen Baudenkmalern, Masterarbeit, Otto-Friedrich-Universität Bamberg und Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg, 2021.“

²³ https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_geometry#:~:text=Computational%20geometry%20is%20a%20branch,be%20part%20of%20computational%20geometry.

Visualisierung dreidimensionaler Daten, insbesondere bei der Umwandlung von Punktwolken in strukturierte 3D-Modelle, dar. Die "Berechnende Geometrie" wurde in den späten 1970er Jahren aus dem Bereich des Algorithmen-Entwurfs und der Algorithmen-Analyse heraus entwickelt. Die Disziplin hat sich zu einer anerkannten wissenschaftlichen Disziplin mit eigenen Fachzeitschriften, Konferenzen und einer großen Gemeinschaft aktiver Forscher entwickelt. Der Erfolg des Forschungsgebiets lässt sich einerseits durch die Schönheit der untersuchten Probleme und der gefundenen Lösungen erklären, andererseits durch die Vielzahl anwendungsbezogener Bereiche, in denen geometrische Algorithmen eine tragende Rolle einnehmen. Dazu zählen unter anderem die Computergrafik, geografische Informationssysteme (GIS), Robotik und weitere. Die anfänglichen algorithmischen Lösungen für geometrische Probleme wiesen entweder eine geringe Effizienz oder eine eingeschränkte Verständlichkeit und Umsetzbarkeit auf [72].

Die Disziplin befasst sich mit der Entwicklung und Analyse von Algorithmen, welche geometrische Probleme lösen, insbesondere durch die Triangulation von Punktwolken. Ein wesentlicher Bestandteil ist die Anwendung von Algorithmen wie der Delaunay-Triangulation, welche die Erstellung eines Netzwerkes von Dreiecken aus einer Punktwolke ermöglicht und somit eine präzise Erfassung der räumlichen Struktur gewährleistet. Weitere Verfahren wie das Marching Cubes-Verfahren spielen ebenfalls eine entscheidende Rolle bei der Rekonstruktion von 3D-Oberflächen aus volumetrischen Daten. Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Geometry-Algorithmen²⁴, wobei die Effizienz dieser Algorithmen von besonderer Bedeutung ist, um große Punktwolken in einem akzeptablen Zeitrahmen in nützliche 3D-Modelle umzuwandeln [73].

Innerhalb des vorliegenden Projekts erfolgte die Erstellung von Dreiecksnetzen unter Verwendung von drei Softwareprogrammen. Dazu zählen FARO SCENE, CloudCompare und Reality Capture. Das Ergebnis, welches mit FARO SCENE erzielt wurde, erwies sich als akzeptabel. Die genannten Software-Anwendungen nutzen verschiedene Algorithmen, um aus den vorliegenden Punktwolken Dreiecksnetze zu generieren. FARO SCENE verwendet Algorithmen, die auf der **Delaunay-Triangulation** basieren, um Punktwolken effizient zu vernetzen. Die Delaunay-Triangulation stellt eine Form der Triangulation dar, die dem Muster der Zellenverteilung in einem Voronoi-Diagramm entspricht. Hierbei handelt es sich um einen weit verbreiteten Algorithmus zur Triangulation von Punktwolken, dessen Zielsetzung

²⁴ Liste der Algorithmen: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_algorithms#Geometry

in der Erstellung von Dreiecksnetzen mit einer möglichst gleichmäßigen Verteilung der Dreiecke besteht [74]. Bei der Delaunay-Triangulation wird eine Reihe von Eckpunkten als Eingabe verwendet und eine Reihe von Dreiecken als Ausgabe ausgegeben. Die Dreiecke selbst bilden ein Netz; die Kanten von einem Eckpunkt zum anderen kreuzen sich nicht [75].

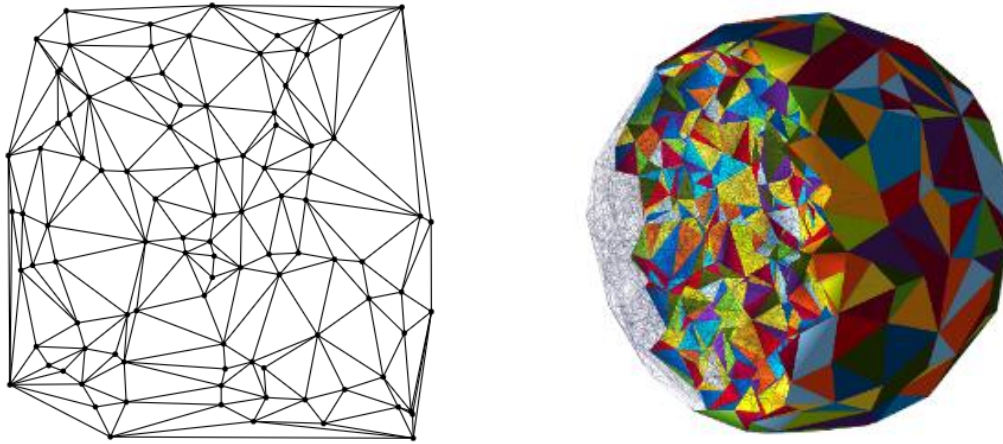
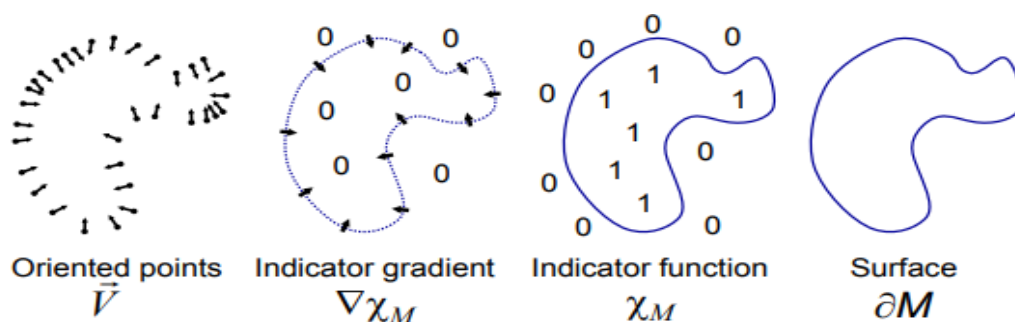


Abbildung 44: Struktur Delaunay-Triangulation 3D – Bild von: <https://straypixels.net/delaunay-triangulation-terrain/>

Abbildung 45: Struktur Delaunay-Triangulation 3D – Bild von: <https://www.comp.nus.edu.sg/~tants/gdel3d.html>

CloudCompare verwendet den **"Poisson Surface Reconstruction"** Algorithmus. Die „Poisson Surface Reconstruction“ erzeugt aus orientierten Punktmengen wasserdichte Oberflächen. Dieser Algorithmus wird häufig zur Rekonstruktion von 3D-Modellen aus Punktwolken verwendet, insbesondere wenn die Punktwolke detaillierte Oberflächeninformationen enthält. Bei der „Poisson Surface Reconstruction“ werden die Punkte verwendet, um eine kontinuierliche Oberfläche zu erstellen, die dann durch ein Netz aus Dreiecken dargestellt wird [76].



$$\Delta\chi \equiv \nabla \cdot \nabla\chi = \nabla \cdot \vec{V}.$$

Abbildung 46: Grafische Darstellung der Poisson-Rekonstruktion in 2D - Bild von: <https://www.cse.iitd.ac.in/~mcs112609/poisson.pdf>

Es wurde versucht, im Zusammenhang mit dieser Masterarbeit kurz auf die „mathematischen Grundlagen von Dreiecksnetzen einzugehen, damit dieses Thema besser nachvollzogen werden kann. Die genauere Beschreibung erfordert tiefere mathematische Kenntnisse.²⁵

5.1.1 FARO SCENE – Ziel: Vermaschung

SCENE stellt eine umfassende Software zur Verarbeitung und Verwaltung von 3D-Punktwolken für professionelle Anwender dar. Die Software wurde speziell für die Arbeit mit umfangreichen 3D-Scandaten entwickelt, welche von hochauflösenden Laserscannern wie dem Focus Laser Scanner stammen. SCENE verfügt über eine Reihe von Funktionen, darunter Filterung, automatische Objekterkennung, Scanregistrierung und automatische Einfärbung. Im Anschluss an die Aufbereitung der Scandaten besteht die Möglichkeit einer weiteren Auswertung, einer Vernetzung sowie eines Exports in verschiedene Formate [70]. Die Lizenz für das Programm "Faro Scene" ist im CIP-Pool des Lehrstuhls für Digitale Denkmaltechnologie für die Nutzung durch Studierende verfügbar. Des Weiteren wurde in diesem Projekt eine Trial-Lizenz als Student beantragt, welche eine 30-tägige Lizenz für den privaten PC beinhaltet.

Der Prozess der Erstellung eines Mesh (Dreiecksnetz) aus Punktwolken in "Faro Scene" umfasste mehrere Schritte. Nach dem Import der Punktwolkendatei im E57-Format, die bereits in Recap bearbeitet worden war, wurde in FARO SCENE die Punktwolke registriert. Dann in nächsten Schritt wurden die relevanten Scanpunkte selektiert. Dies kann manuell erfolgen oder durch die Verwendung einer Clipping-Box, welche die Punktwolke in Segmente unterteilt. Die Clipping-Box erlaubt die Isolierung spezifischer Bereiche der Punktwolke bei gleichzeitiger Ausblendung aller übrigen Scanpunkte²⁶.

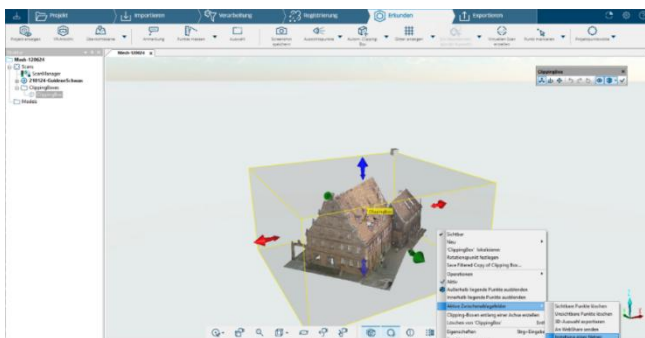


Abbildung 47: Faro SCENE, Punktwolke in Clipping Box

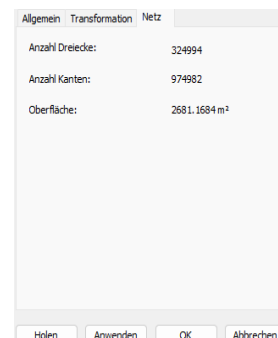


Abbildung 48: Netze Eigenschaften

²⁵ Weitere Informationen zu den mathematischen Grundlagen: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2487228.2487237>, <https://www.cse.iitd.ac.in/~mcs112609/poission.pdf>

²⁶ https://knowledge.faro.com/Software/FARO_SCENE/SCENE/Creating_and_Exporting_Textured_Meshes

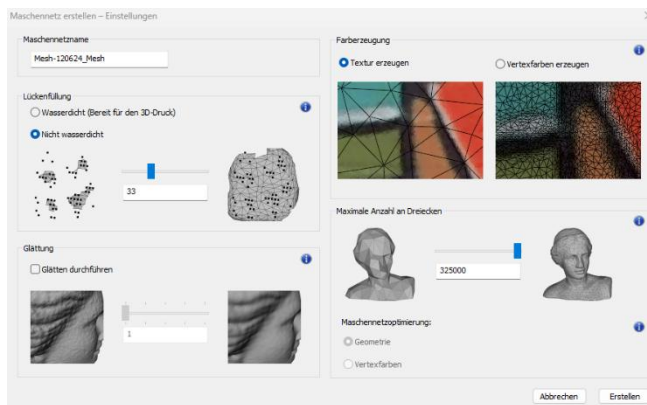


Abbildung 49: Einstellungsoption für die Maschennetzerstellung

Abbildung 50: Das generierte Mesh-Modell

Im Anschluss an die Segmentierung erfolgt die Generierung des Maschennetzes. Der hier beschriebene Prozess ist aufgrund der hohen Rechenintensität darauf angewiesen, die zu verarbeitende Punktwolke in kleinere, handhabbare Segmente zu unterteilen. Das Maschennetz kann mit unterschiedlichen Einstellungen versehen werden, welche den Glättungsgrad, die Lückenfüllung sowie die Anzahl der Dreiecke bestimmen. Während der Generierung des Maschennetzes besteht die Möglichkeit, die Lückenfüllung zu aktivieren, um wasserdichte Modelle zu erzeugen, die sich insbesondere für den 3D-Druck eignen. Alternativ besteht die Möglichkeit, mittels eines Schiebereglers das Ausmaß der Lückenfüllung zu bestimmen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, den Glättungsgrad des Maschennetzes anzupassen.

Für die farbliche Gestaltung des Maschennetzes stehen dem Nutzer zwei Methoden zur Verfügung. Die Einstellungen "Texturen erzeugen" und "Vertexfarben" wurden in diesem Projekt unter der Einstellung "Texturen erzeugen" verwendet. Im nächsten Schritt werden Grafikdateien auf jedes Dreieck des Netzes angewendet. Anschließend besteht die Möglichkeit, die maximale Anzahl an Dreiecken festzulegen, um die Komplexität des Modells zu steuern. Der beschriebene Ablauf wurde mit verschiedenen Einstellungen, darunter die Texturen Einstellung, der Glättungsgrad, die Lückenfüllungseinstellung sowie auch die Anzahl an Dreiecken, wiederholt durchgeführt, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen. In der Folge wurde das Mesh als Objekt im .obj-Format mit Farben und Texturen im .mtl-Format mit insgesamt 85,914 KB exportiert. Die Weiterverwendung in anderen Programmen, wie beispielsweise Blender oder Twinmotion, erlaubt die Erstellung einer Animation. Alternativ kann das Modell auf Online-Plattformen eingebettet werden. Bevor das Modell für die Erstellung von Animationen oder Online-Diensten verwendet wurde, wurden die Netze mit der Software **Geomagic Wrap** nachbearbeitet.

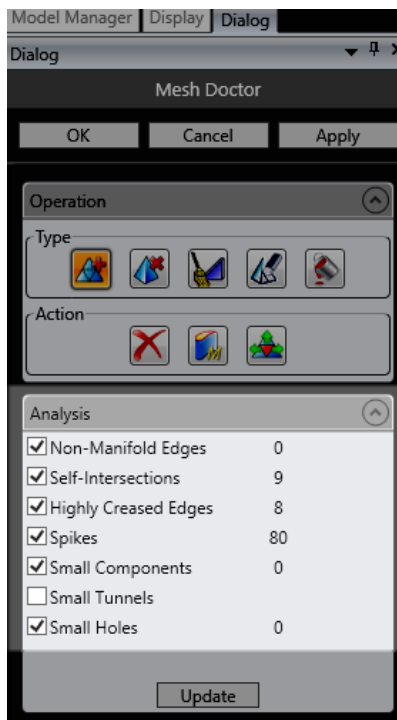


Abbildung 51: Werkzeug Mesh Doctor – Geomagic Wrap

Die Netze wurden mit dem Werkzeug Mesh Doctor analysiert. Das Werkzeug „Mesh Doctor“, das in die Geomagic Wrap Software integriert ist, wurde mit dem Ziel entwickelt, häufige Probleme, die in 3D-Netzmodellen auftreten können, automatisch zu identifizieren und zu reparieren. Es ist in der Lage, eine Reihe problematischer Elemente zu identifizieren und zu korrigieren, darunter Löcher, nicht-mannigfaltige Kanten, sich überschneidende Dreiecke und andere Oberflächenunregelmäßigkeiten. Dieses Tool ist besonders vorteilhaft für die Vorbereitung von Modellen für Anwendungen wie den 3D-Druck, die digitale Archivierung oder die Weiterverarbeitung in Visualisierungen, da es sicherstellt, dass die Meshes wasserdicht sind und den erforderlichen Qualitätsstandards entsprechen [77]. Dann die Lücken im Modell wurden mit dem Werkzeug „Fill

Holes“ geschlossen, um eine vollständigere Visualisierung zu gewährleisten.

5.1.2 CloudCompare – Ziel: Vermaschung

CloudCompare stellt eine leistungsstarke Open-Source-Software dar, die für die Verarbeitung von 3D-Punktwolken und -Netzen konzipiert wurde [78]. CloudCompare wurde im Rahmen dieses Projekts auch zur Erstellung von Netzmodellen verwendet. Zu diesem Zweck wurde die Punktwolke mit dem E57-Format in CloudCompare importiert. Um die importierten Elemente in CloudCompare zu verarbeiten, werden die geladenen Daten im DB Tree ausgewählt, dann kann die gewünschte Verarbeitung durchgeführt werden. Der "DB Tree" ('Datenbank-Baum') ist eine hierarchische Ansicht, die alle geladenen Entitäten wie Punktwolken, Netze und skalare Felder anzeigt. Die importierte Punktwolke wurde ausgewählt und die Farbe in den Eigenschaften auf 'RGB' gesetzt. Das Netz konnte dann in der Menubar unter Übersicht Plugins > PissonRecon erstellt werden. Die Einstellung "Octree Depth" spielt eine entscheidende Rolle bei der Erstellung von Meshes. Diese Einstellung bestimmt den Detailgrad, indem sie die Unterteilung der Punktwolke in kleinere Würfel (Octree-Zellen) steuert. Eine höhere Octree-Tiefe führt zu kleineren Zellen und damit zu einem dichteren Netz mit feineren Details. Dies erhöht jedoch auch die Rechenlast und die Dateigröße. Umgekehrt führt eine geringere Octree-Tiefe zu einem gröberen Netz mit weniger Details. Mit dieser Einstellung können Sie ein Gleichgewicht zwischen der Qualität des Netzes und

der Verarbeitungseffizienz erreichen. Hier wurde die Anzahl der Octree-Depth auf Stufe 11 festgelegt.

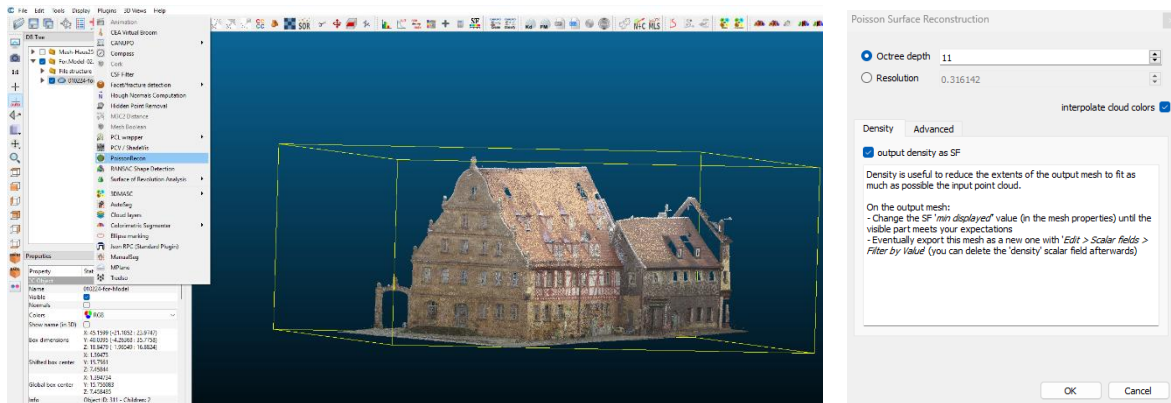


Abbildung 52: CloudCompare - Plugins > PissonRecon

Abbildung 53: CloudCompare – Einstellung Octree Depth

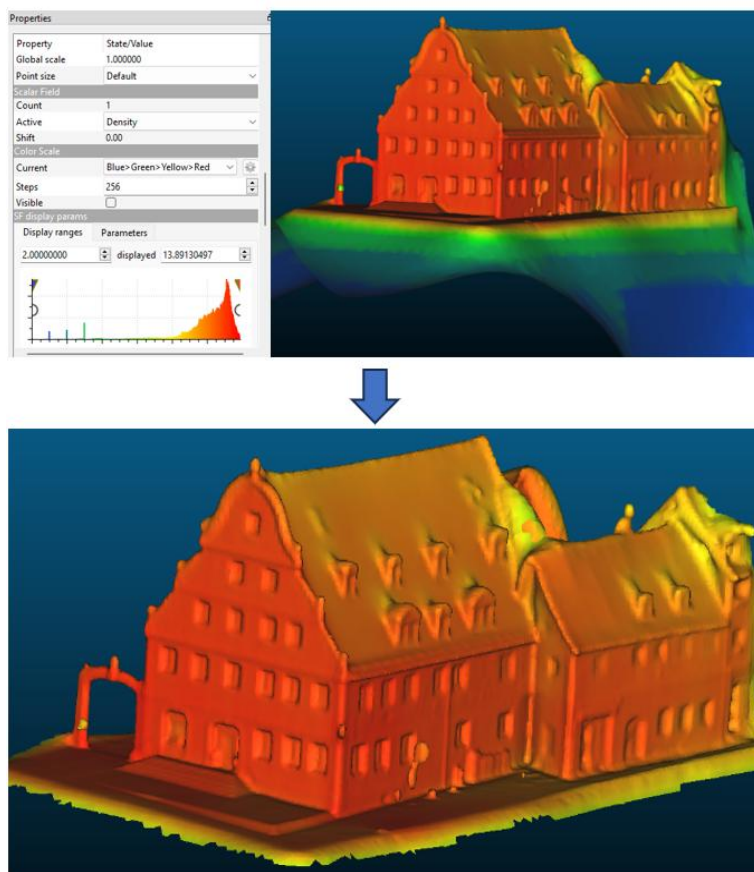


Abbildung 54: Meshes Einstellungen über SF Display Parameters.

Nach der Erstellung eines ersten Meshes, dass mit dem Scalar Field Colour zu sehen ist, im nächsten Schritt wurden die Anzeigeparameter des Skalar Feldes (SF) über die Option "SF Display Params > Display Range" angepasst, um die Farbskala und den Wertebereich feiner abzustimmen. Anschließend wurde über "Edit > Scalar Field > Filter by Value" ein neues Mesh generiert. Dieses neue Mesh zeigte eine deutlich höhere Reinheit und Präzision im Vergleich zum zuvor erstellten Modell, da durch die Filterung uner-

wünschte oder fehlerhafte Punkte ausgeschlossen wurden. Dies führte zu einem qualitativ hochwertigeren und genaueren Mesh, das besser für weitere Anwendungen geeignet war.

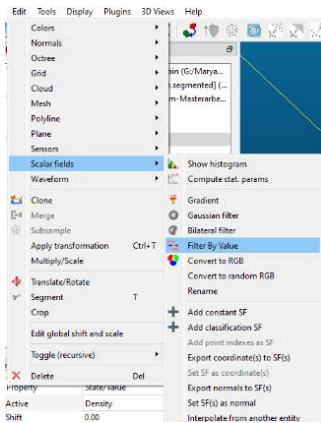


Abbildung 55: Werkzeug Filter by Value

Abbildung 56: Das generierte Mesh mit Texturen und RGB-Farben in CC

In CloudCompare wird die Verwaltung von Farbeinstellungen durch den Scalar Fields and Colour Scales Manager ermöglicht. Dieses Tool ermöglicht die Anwendung von Farbverläufen auf Skalar Felder, d.h. auf numerische Werte, die mit jedem Punkt in einer Punktwolke verbunden sind. Der Benutzer kann aus einer Reihe von vordefinierten Farbskalen auswählen oder eine benutzerdefinierte Skala erstellen, indem er Parameter wie Bereich, Sättigung und Deckkraft anpasst, um Datenpunkte anhand ihrer Skalar Feldwerte zu unterscheiden [79]. Die Farbinformationen aus CloudCompare können theoretisch kopiert und im XML-Format exportiert werden. Das erzeugte Mesh präsentiert sich in CloudCompare in einer vollständigeren und akzeptablen Weise, sodass alle Details und Farben sichtbar sind. Da ein Export der Meshes mit Texturen und Farben nicht möglich ist, wurde das Ziel definiert, diese Daten separat als XML-Format zu exportieren und dann in das Modell in einer anderen Software, wie Blender oder Unity, einzugeben. Diese Methode erwies sich jedoch für das vorliegende Projekt als ineffektiv, was dazu führte, dass lediglich ein Mesh-Modell mit einer Größe von 1,1 GB, also eine umfangreiche Objektdatei, ohne Textur exportiert wurde.

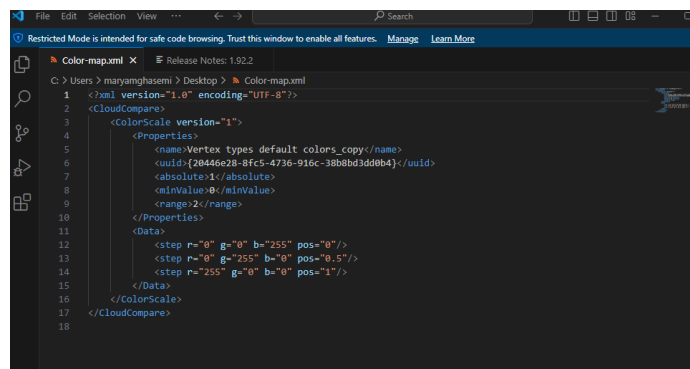
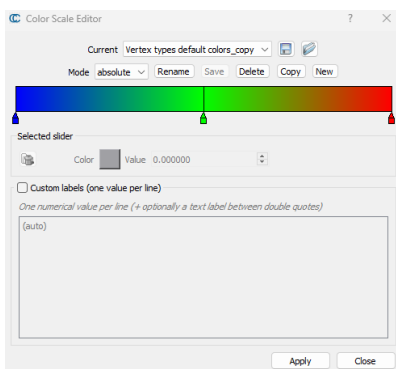


Abbildung 57: Copy Color-Daten als XML

Abbildung 58: Color-Daten als XML in Visual Studio Text Editor

Unter Verwendung der **Shading-Funktion in Blender** wurde versucht, Texturen auf das 3D-Modell zu übertragen, indem Screenshots als Texturvorlagen importiert wurden. Aufgrund der hohen Komplexität des Mesh-Modells, das aus zahlreichen Dreiecksnetzen besteht, war dieser Ansatz jedoch nicht erfolgreich. Die komplexe Geometrie des Modells erschwerte die korrekte Anwendung der Texturen erheblich, sodass alternative Methoden zur Lösung des Problems in Betracht gezogen werden müssen.



Abbildung 59: Blender – Shading - Versuch, die Textur in das Modell zu importieren

Abbildung 60: Blender Edit Modus - Unzählige Dreiecksnetze

In der Folge wurde beschlossen, dass die Texturen von CloudCompare für die weitere Verarbeitung nicht geeignet sind. Das Projekt wurde daher ohne die Verwendung dieser Texturen fortgesetzt. Obwohl die Qualität der Meshes von CloudCompare als hochwertig zu bezeichnen ist, ist deren Verwendung aufgrund des Fehlens von Farb- und Texturinformationen nicht akzeptabel.

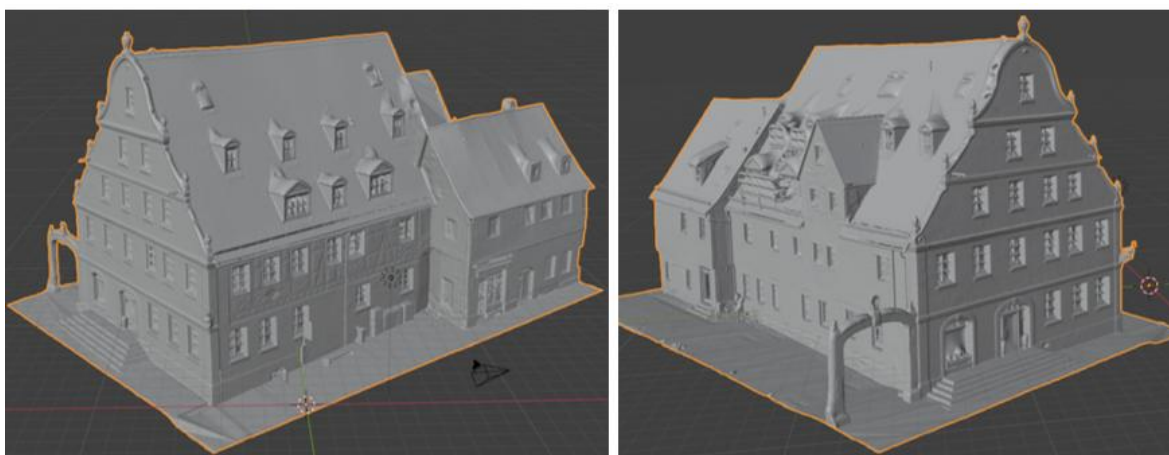


Abbildung 61: Das Mesh-Model ohne Texturen in Blender

5.1.3 Reality Capture – Ziel: Vermaschung

RealityCapture ist eine fortschrittliche Software für die Photogrammetrie, die sich durch eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit auszeichnet und dadurch die Produktivität steigert. Die Software ermöglicht die automatische Erstellung von ultrarealistischen 3D-Modellen, virtuellen Realitätsszenen, orthografischen Projektionen sowie georeferenzierten Karten. Die hierfür erforderlichen Daten werden entweder durch Bilder oder durch Laserscans gewonnen [80].

Eine weitere Methode zur Erzeugung von 3D-Mesh-Daten basierte auf der Nutzung von RealityCapture. Der Prozess startet mit dem Import der Scandaten als Rohdaten in die Software. Diese werden von RealityCapture automatisch verarbeitet und in ein dreidimensionales Mesh transformiert. Der Vorteil dieses Ansatzes besteht in der Verwendung fortschrittlicher Algorithmen durch die Software, welche die Rohdaten analysieren und eine präzise Repräsentation der gescannten Objekte oder Umgebungen erstellen. Im Folgenden wird die Erstellung von Meshes in RealityCapture beschrieben. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass das erzeugte Mesh von RealityCapture nicht den Qualitätsansprüchen genüge und während des Erstellungsprozesses wesentliche Informationen und Details des Scannens verloren gingen.

Nach dem Import der Rohdaten in RealityCapture wurden die Scandaten mit der Funktion "Alignment Images" ausgerichtet. Dieser Schritt ist entscheidend, da die Software die verschiedenen Bild- oder Laserscandaten automatisch analysiert und ausrichtet. Die Ausrichtungsfunktion stellt sicher, dass alle Datenpunkte korrekt positioniert und zueinander in Beziehung gesetzt werden, was die Grundlage für die anschließende Erstellung eines Netzes bildet.

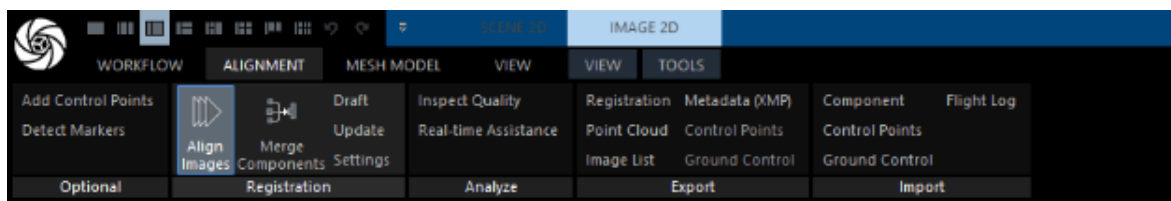


Abbildung 62: RealityCapture – Images Alignment

Als Nächstes wurde auf der Registerkarte "Workflow > Prozess" die "Virtual Reality" erstellt. Anschließend wurde im Registerkarte „Mesh Model“ die Option „High Details“ ausgewählt, um ein 3D-Mesh mit hoher Detailgenauigkeit zu generieren. In der Folge wurde in der Registerkarte "Mesh Model" der Verlauf der "Colorized" und "Texturing" durchgeführt,

wodurch das 3D-Mesh mit Texturen und Farben versehen wurde. Der folgende Schritt umfasste den Export des fertiggestellten Mesh-Modells im OBJ-Format. Die resultierende Objektdatei wies eine Größe von 48,6 GB auf, was auf die große Anzahl an Scandaten sowie die umfangreiche Texturierung des Modells zurückzuführen ist.

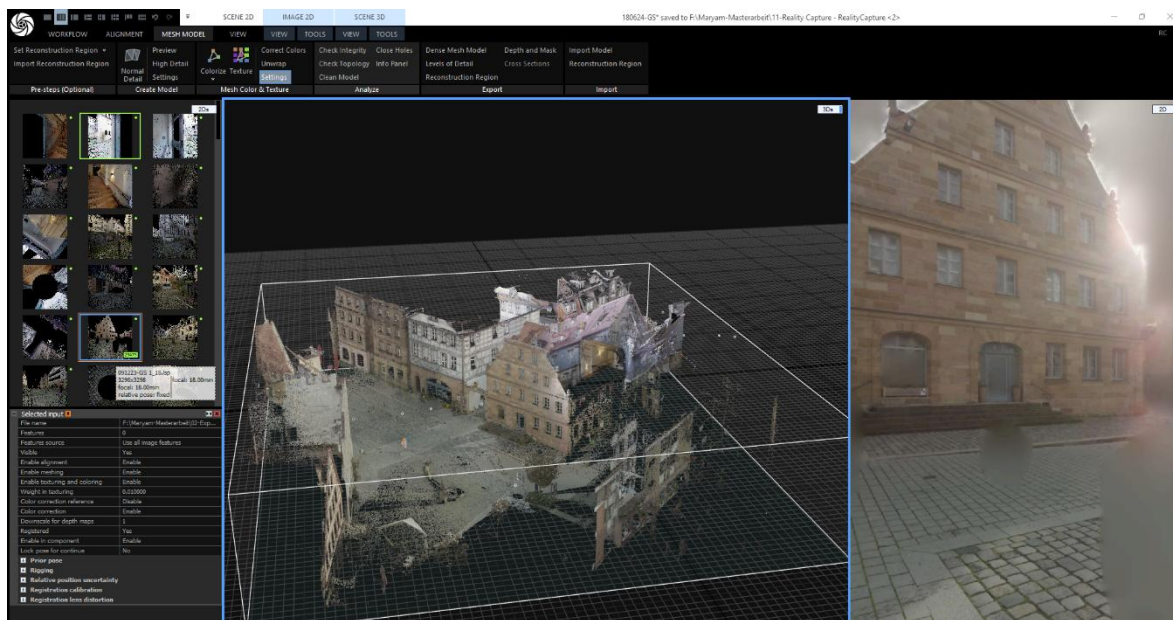


Abbildung 63: Mesh Model mit Textur- und Farbe-Informationen in RealityCapture

Obgleich die Dateigröße als enorm zu bezeichnen ist und die Verarbeitung als komplex, konnte festgestellt werden, dass das generierte Mesh-Modell nicht alle vollständigen Informationen der ursprünglichen Scandaten beinhaltet. Der Verlust an Daten führte zu einer als unzureichend und inakzeptabel eingestuften Ergebnisqualität, da die erforderlichen Kriterien hinsichtlich Genauigkeit und Vollständigkeit nicht erfüllt wurden.

5.2 3D-Modellierung in Autodesk Revit

Ein weiteres Verfahren zur Erstellung des 3D-Modells und zur Implementierung des Scan-to-HBIM-Prozesses umfasst die Modellierung unter Verwendung von Autodesk Revit 2024. Gemäß der Beschreibung auf der Website von Autodesk handelt es sich bei Revit um eine führende Software für Building Information Modeling (BIM). Revit ermöglicht es den Nutzerinnen und Nutzern, detaillierte 3D-Modelle von Gebäuden zu erstellen und bietet ihnen darüber hinaus Werkzeuge zur Zusammenarbeit und Dokumentation. Die Software unterstützt eine Vielzahl von Disziplinen, darunter Architektur, Gebäudetechnik und Strukturplanung. Dies gewährleistet präzise, koordinierte und konsistente Planungen [81].

Innerhalb des vorliegenden Projekts erfolgt eine Konzentration der Modellierung historischer Gebäude auf die Fassade bzw. den Außenbereich. Eine Innenraummodellierung wäre zwar grundsätzlich möglich, jedoch wurde lediglich ein kleiner Teil des Eingangsbereichs und der Treppen der Wohnanlage modelliert, sodass eine repräsentative Darstellung des Innenraums nicht gewährleistet werden kann. Eine weitergehende Innenmodellierung konnte im Zusammenhang mit diesem Projekt nicht durchgeführt werden, da der Zugang von Anwohnern erforderlich war. Der Schwerpunkt liegt auf der Erstellung eines 3D-Modells der Außenseite des Gebäudes, um es in Online-Plattformen einzubinden. Ein größerer Zeitaufwand für die Modellierung der Innenbereiche wäre im Kontext dieser Masterarbeit ineffizient gewesen. Im Folgenden wird das Verfahren zur Erstellung des Modells in Revit beschrieben, wobei die einzelnen Schritte zur Modellierung eines historischen Gebäudes erläutert werden. Zunächst wurde die Punktwolke in Revit importiert und die relevanten Gebäudeelemente wie Wände, Türen, Fenster und Dächer wurden anhand der vorhandenen Punktwolken und Messungen modelliert. Es wurde versucht, die Geometrien und Materialien auf der Grundlage der verfügbaren Daten präzise zu zeichnen, um ein realistisches 3D-Modell zu erstellen. Anschließend wird der Modellierungsgrad (Levels of Development, LOD) evaluiert.

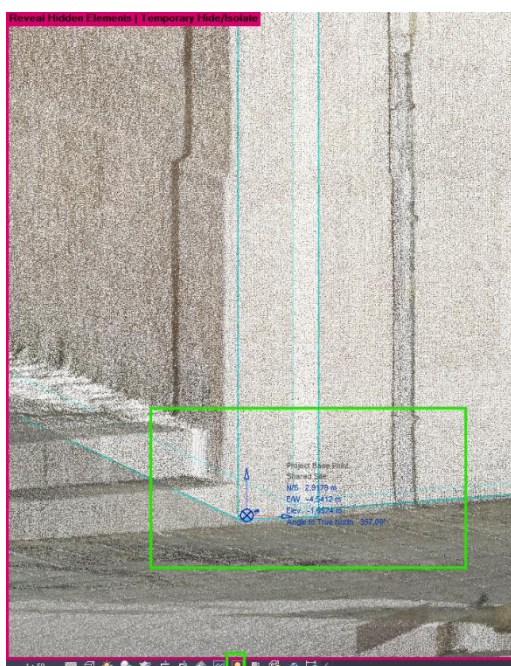
Levels of Development (LOD) beziehen sich auf ein standardisiertes Rahmenwerk zur Definition des Detaillierungsgrads und der Genauigkeit, die in einem Building Information Model (BIM) in den verschiedenen Phasen eines Projekts enthalten sein sollten. Es gibt sechs Levels of Development (LOD). Das American Institute of Architects (AIA) und die Associated General Contractors of America (AGC) haben ein häufig verwendetes LOD-Rahmenwerk etabliert, das das Gebäudemodell in spezifische Stufen unterteilt [82]:

1. **LOD 100 — konzeptioneller Entwurf:** In dieser Phase repräsentiert das Modell die grundlegende Form und Größe der Elemente ohne detaillierte Informationen. Es dient dazu, die allgemeine Entwurfsidee zu vermitteln.
2. **LOD 200 — schematischer Entwurf:** Das Modell wird verfeinert und umfasst ungefähre Mengen, Größen, Formen und Positionen der Elemente. Es hilft bei der Analyse räumlicher Beziehungen und früher Entwurfskonzepte.
3. **LOD 300 — detaillierter Entwurf:** In dieser Phase enthält das Modell geometrische Informationen, spezifische Größen, Formen und detaillierte Objektkomponenten. Es wird zur Erstellung von Bauunterlagen und zur Koordination zwischen verschiedenen Disziplinen verwendet.

4. **LOD 350 — Bauausführungsdokumentation:** Das Modell enthält detaillierte Baugruppen sowie Informationen auf Fertigungs- oder Bauausführungsebene. Es wird zur Erstellung von Bauunterlagen und Werkstattzeichnungen genutzt.
5. **LOD 400 — Fertigung und Montage:** Diese Stufe umfasst die Erstellung detaillierter Modelle mit spezifischen Baugruppen und Verbindungen, die für die Fertigung und Montage geeignet sind.
6. **LOD 500 — As-built oder Facility Management:** Das Modell in dieser Phase enthält Informationen über die eingebauten und funktionsfähigen Elemente des Gebäudes und spiegelt die realen Bedingungen für Wartung und Facility Management wider.

5.2.1 Modellierungsprozess und Projektausrichtung in Revit

Die Projektausrichtung wurde mithilfe von Tutorials von Dr. Maria Chizhova auf Panopto, Schritt bei Schritt, durchgeführt, die im Folgenden beschrieben werden. Zu Beginn des Projekts wurde die Punktwolke im RCP-Format über die Registerkarte Einfügen > Punktwolke > Auto-Ursprung-zu-Ursprung in Revit importiert. Ursprung-zu-Ursprung-Import bedeutet, dass die Punktwolke an ihrem ursprünglichen Koordinatensystem ausgerichtet wird, ohne dass eine Verschiebung oder Anpassung der Position erfolgt. Es ist wichtig, die Punktwolke Ursprung-zu-Ursprung zu importieren, um sicherzustellen, dass sie korrekt im globalen Koordinatensystem platziert wird. Nach dem Import muss die Punktwolke gesperrt werden, damit sich die Position der Punktwolke nicht ändert. Dies kann unter Auswählen der Punktwolke > Modify Punktwolke > Sperren erfolgen.



Dann ist eine Anpassung des Basispunkts des Projekts erforderlich. Dies erfolgt unter "Verdeckte Elemente anzeigen" über das Symbol der Glühbirne, wie in Abb.63 dargestellt, sodass der Basispunkt sichtbar wird. Im Anschluss kann der Basispunkt durch Klicken auf die Büroklammer entsperrt und an seinen neuen Standort innerhalb der Projektstruktur verschoben werden.

Abbildung 64: „Verdeckte Elemente Anzeigen“ – Revit Projekt Basis Punkt

Im nächsten Schritt sollten die standardmäßig von Revit erstellten Ansichten, Draufsichten und Ebenen entfernt werden, da sie möglicherweise nicht den spezifischen Anforderungen und Gegebenheiten des aktuellen Projekts entsprechen. Stattdessen sollten neue Ansichten, Draufsichten und Ebenen angelegt werden, die gezielt auf die besonderen Merkmale und Bedürfnisse des Projekts abgestimmt sind. Die Ebenen können über die Registerkarte Architektur > Ebene erstellt werden. Um die Darstellung jeder Ebene zu optimieren, ist es notwendig, deren Einstellungen entsprechend anzupassen. Dies kann über Eigenschaften > Ansichtsbereich > Bearbeiten erfolgen, wodurch der Ansichtsbereich für jede Ebene individuell definiert wird, um die gewünschte Sichtbarkeit und Genauigkeit der Darstellung zu erreichen.

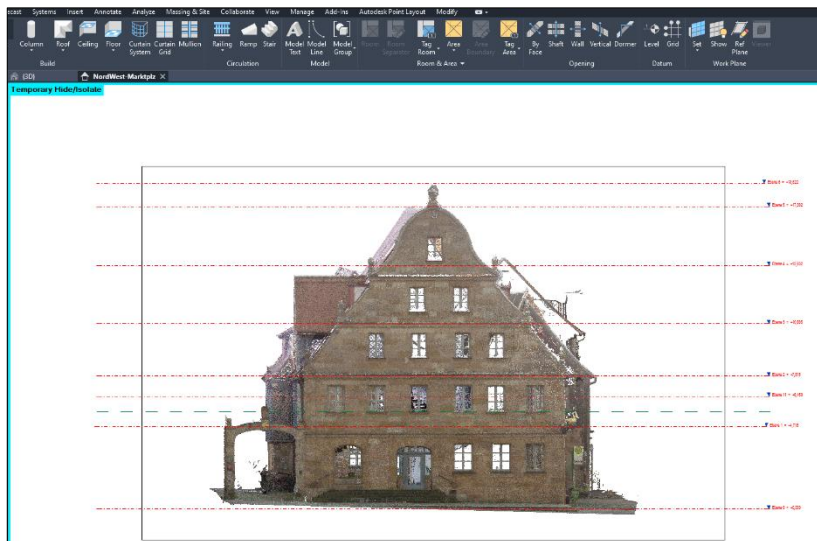


Abbildung 65: Projekt Ebenen

Nach der Erstellung und Konfiguration der Ebenen können neue Ansichten hinzugefügt werden. Dieser Vorgang kann über die Registerkarte Ansicht > Ansicht ausgeführt werden. In Abb. 65 sind die Position und Ausrichtung des Gebäudes dargestellt.

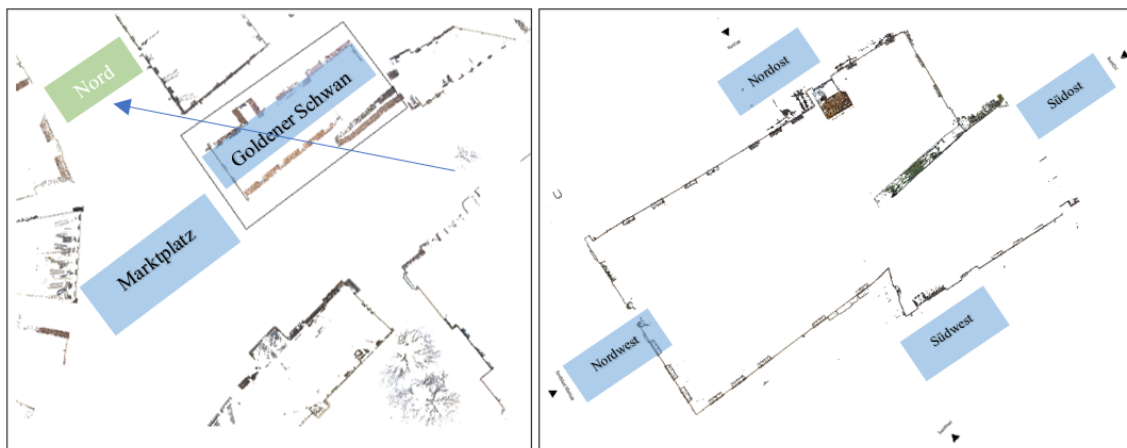


Abbildung 66: Projektlage und Ausrichtungen

Nach der Implementierung der erforderlichen Konfigurationen wurde mit dem Zeichnen der Wände über die Register-karte Architektur > Wand > Nicht tragende Wand begonnen, um das Modell zu verfeinern. Die Konstruktion der Wände erfolgte auf Ebene Null. Über das Eigenschaften-Menü konnte die gewünschte Art von Wand ausgewählt werden. In diesem Projekt wurden die Wandtypen "Basis Wand STB 300" und "Basis Wand STB 250" verwendet. Die Abhängigkeiten der Wände können unter "Eigenschaften > Abhängigkeit Unten/Oben" festgelegt werden, um eine Anpassung der Wände an spezifische Ebenen zu ermöglichen. Aufgrund der Neigung des Bodens wurden die Wände mithilfe des Werkzeugs "Profil bearbeiten" entsprechend der Bodenlinie angepasst (siehe Abb. 69).

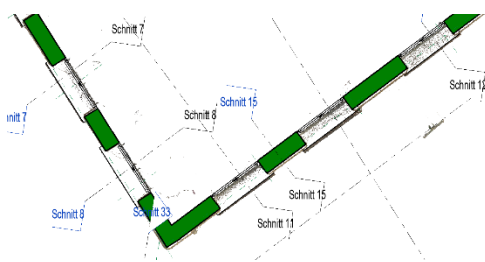


Abbildung 67: Basis Wand STB 300

Abbildung 68: Wand Profil Bearbeiten

Um die Details des Gebäudes präzise zu modellieren, wurden verschiedene Werkzeuge und Funktionen in Revit verwendet. Dazu gehören die "Systemfamilie", die es ermöglicht, grundlegende Gebäudeelemente wie Wände, Decken, Dächer und Böden zu definieren und anzupassen, sowie die "Metrische Bibliothek", die eine umfassende Auswahl an vordefinierten Komponenten und Materialien bietet, die den lokalen Normen und Standards entsprechen. Darüber hinaus wurde das Werkzeug "Komponente (Bauteil)" verwendet, um spezifische Gebäudeelemente wie Türen, Fenster, Profile, Dekoration, Treppen, Fachwerk usw. in das Modell einzufügen.

- **Modellierung mit Familie**

In Revit ein "Familie" zu zeichnen, kann unter Erstellung der "Neue Familie" erfolgen. Registerkarte Datei > Neu > Familie > wählen eine passende Vorlage (z. B. "Generic Model" für allgemeine Modellelemente oder "Profil Sweep" > Öffnen. Dann für Family-Elemente zeichnen kann über Verwenden der Werkzeuge auf der Registerkarte "Erstellen" (z. B. Linien, Rechtecke, Kreise), um die Geometrie der Familie zu erstellen. Dann Familie muss gespeichert werden und in Projekt laden.

Tabelle 6: Modellierung Strategie und LOD von Fassadendekoration


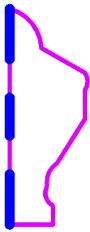
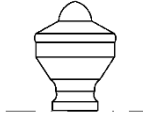


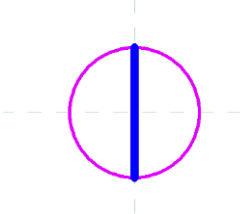
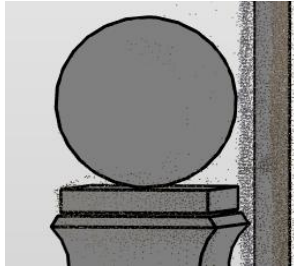
BIM-Objekt: Fassade Dekoration		
Modellierung Strategie: Metric Furniture Familie		
<p>Beschreibung: Das Modellierungsobjekt wurde innerhalb der Metric Furniture-Familie in Revit mit dem Werkzeug "Revolve" erstellt. Bei der Erstellung des Objekts in dieser spezifischen Familie stehen keine Punktwolkendaten zur Verfügung, die als visuelle Referenz oder als Grundlage für die Geometrie genutzt werden könnten. Daher ist es bei der Modellierung entscheidend, besonders sorgfältig auf die korrekten Formen und Maße des Objekts zu achten.</p>		
	 	
<p>Levels of Development: <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 200 <input checked="" type="checkbox"/> 300 <input type="checkbox"/> 350 <input type="checkbox"/> 400 <input type="checkbox"/> 500</p>		

Tabelle 7: Modellierung Strategie und LOD von Kugel in Dekoration

BIM-Objekt: Kugel in Fassade Dekoration		
Modellierung Strategie: Metric Furniture Familie		
<p>Beschreibung: Das Modellierungsobjekt wurde innerhalb der Familie "Metric Furniture" in Revit mit dem Werkzeug "Revolve" erstellt und in Projekt geladen. Mit diesem Werkzeug kann eine zweidimensionale Profilform um eine zentrale Achse gedreht werden, um eine dreidimensionale Geometrie zu erzeugen.</p>		
		
<p>Levels of Development: <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 200 <input type="checkbox"/> 300 <input checked="" type="checkbox"/> 350 <input type="checkbox"/> 400 <input type="checkbox"/> 500</p>		

- **Modellierung mit Komponente**

Die spezifischen Details des Gebäudes wurden über die Registerkarte Architektur > Bauteil > Bauteil modelliert. Um eine solche Komponente zu erstellen, muss zunächst eine "Referenzebene" gezeichnet werden, die als Grundlage für die Platzierung und Ausrichtung der Komponente dient. Diese Referenzebene kann über die Registerkarte Architektur > Referenzebene definiert werden. Danach sollte ein passender "Schnitt" hinzugefügt werden, um die Modellierung aus einer entsprechenden und präzisen Perspektive vorzunehmen. Dies ermöglicht eine genaue Kontrolle der Geometrie und erleichtert die Bearbeitung. Der Schnitt kann über die Registerkarte Ansicht > Schnitt eingefügt werden. Die Definition eines Schnitts stellt sicher, dass die relevanten Details sichtbar sind und dass das Bauteil in der gewünschten Ansicht erstellt und überprüft werden kann. Sobald die Komponente erstellt wurde, kann diese mit der Funktion "Bauteil Bearbeiten" weiter verarbeitet werden, um Modifikationen oder Korrekturen vorzunehmen. Werkzeuge wie "Void Extrusion" und "Cut Geometrie" können verwendet werden, um bestimmte Aussparungen oder Formen innerhalb der Komponente zu erstellen, um die gewünschte geometrische Form und den gewünschten Detailgrad zu erreichen.

Tabella 8: Modellierung Strategie und LOD von Wand Sweep


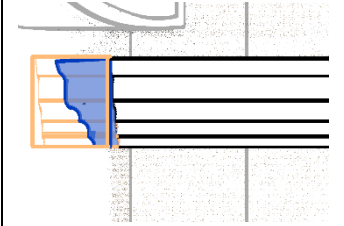
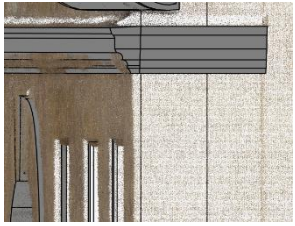
BIM-Objekt: Wand Sweep		
Modellierung Strategie: Komponente > Bauteil		
<p>Beschreibung: Der "Wand Sweep" wurde über die Registerkarte Architektur > Komponente > Bauteil unter Verwendung der Werkzeuge "Extrusion" und "Void" modelliert. Um diese architektonische Detailkomponente präzise zu gestalten, wurde zunächst das Werkzeug "Extrusion" eingesetzt, um die Grundform des Sweeps entlang der Wand zu erstellen. Die "Extrusion" ermöglichte die Definition einer kontinuierlichen Form entlang einer vordefinierten Linie, wodurch die gewünschte Profilierung der Wand erreicht wurde. Anschließend wurde das Werkzeug "Void" verwendet, um gezielte Aussparungen oder Hohlräume in der extrudierten Geometrie zu erzeugen.</p>		
		
<p>Levels of Development: <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 200 <input type="checkbox"/> 300 <input checked="" type="checkbox"/> 350 <input type="checkbox"/> 400 <input type="checkbox"/> 500</p>		

Tabelle 9: Modellierung Strategie und LOD von Fachwerk Struktur




BIM-Objekt: Fachwerk
Modellierung Strategie: Komponente > Bauteil
<p>Beschreibung: Die Fachwerkstruktur der Südwestfassade wurde mit der Funktion Komponente > Bauteil > Extrusion detailliert modelliert. Dabei wurden die einzelnen Elemente der Fachwerkstruktur exakt extrudiert, um eine realistische Darstellung der tragenden Bauteile zu gewährleisten. Aufgrund der umfassenden und detaillierten Modellierung kann festgestellt werden, dass das Modell für diesen Gebäudeteil einen Level of Development (LOD) von 400 erreicht. Dieses LOD-Niveau kennzeichnet einen hohen Detaillierungsgrad, der den Anforderungen der Fertigung und Montage entspricht.</p>



<p>Levels of Development: <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 200 <input type="checkbox"/> 300 <input type="checkbox"/> 350 <input checked="" type="checkbox"/> 400 <input type="checkbox"/> 500</p>

Tabelle 10: Modellierung Strategie und LOD von Goldene Schwan Symbol


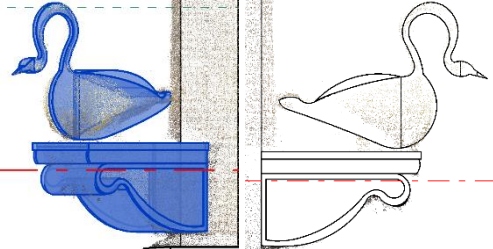

BIM-Objekt: Goldene Schwan Symbol		
Modellierung Strategie: Komponente > Bauteil		
<p>Beschreibung: Der "Goldene Schwan" als Symbol auf Fassade wurde über die Registerkarte Architektur > Komponente > Bauteil unter Verwendung der Werkzeuge "Extrusion" und "Void" auf zwei Referenzebenen modelliert.</p>		
		
<p>Levels of Development: <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 200 <input type="checkbox"/> 300 <input checked="" type="checkbox"/> 350 <input type="checkbox"/> 400 <input type="checkbox"/> 500</p>		



Abbildung 69: Maschenmodell von Goldene Schwan, erstellt mit CloudCompare

In Bezug auf die Modellierung komplexer Formen – beispielsweise von Tieren – zeigt sich im Kontext des Programms Revit eine Einschränkung, die aus der nicht primär auf die Erstellung organischer oder frei förmiger Geometrien ausgerichteten Software resultiert. Die Software Revit bietet lediglich eine limitierte Auswahl an Instrumenten zur Konstruktion komplexer Elemente, was die Kreation detaillierter, unregelmäßiger Formen erschwert. Die Form dieses Modells als BIM-Objekt in Revit lässt sich mit einem "Dreiecksnetz Schwan" vergleichen, welches zuvor mit CloudCompare erstellt wurde. CloudCompare ermöglicht die Erzeugung hochdetaillierter Mesh-Modelle aus Punktwolken. Diese Vorgehensweise erweist sich insbesondere bei Objekten mit komplexer geometrischer Struktur als vorteilhaft, da die Mesh-Technologie eine feinere Auflösung und eine realistischere Darstellung ermöglicht.

Tabelle 11: Modellierung Strategie und LOD von Eingang zum Hinterhof


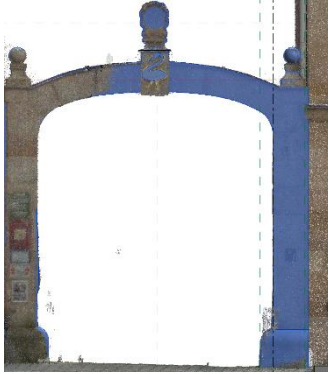
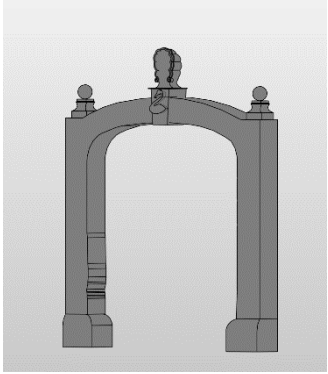
BIM-Objekt: Eingang zum Hinterhof		
Modellierung Strategie: Komponente > Bauteil		
<p>Beschreibung: Die Modellierung des "Eingangs zum Hinterhof" erfolgte durch eine kombinierte Verwendung der "Metric Furniture" und des Werkzeugs "Bauteil". Die Kombination der Software "Bauteil" mit der Produktfamilie "Metric Furniture" führte zu einer Optimierung des Modellierungsprozesses.</p>		
		
<p>Levels of Development: <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 200 <input type="checkbox"/> 300 <input checked="" type="checkbox"/> 350 <input type="checkbox"/> 400 <input type="checkbox"/> 500</p>		

Tabelle 12: Modellierung Strategie und LOD von Fenster und Fensterbank


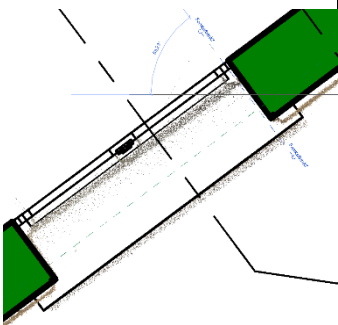
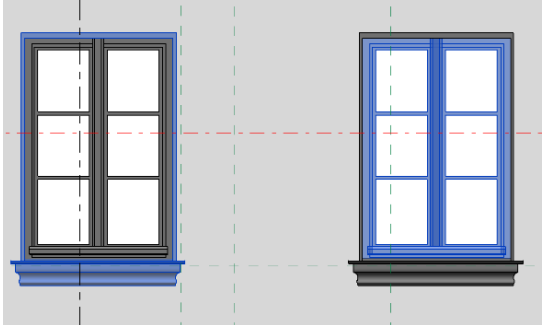
BIM-Objekt: Fenster und Fensterbank		
Modellierung Strategie: Komponente > Bauteil		
<p>Beschreibung: Bauteil > Extrusion (Solid / Void) wurde auch für die Modellierung von Fenstern und Fensterbänken verwendet. Jedes Fenster und jede Fensterbank wurden einzeln modelliert.</p>		
		
<p>Levels of Development: <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 200 <input type="checkbox"/> 300 <input checked="" type="checkbox"/> 350 <input type="checkbox"/> 400 <input type="checkbox"/> 500</p>		

Tabelle 13: Modellierung Strategie und LOD von in Nordost und Südost Fassade


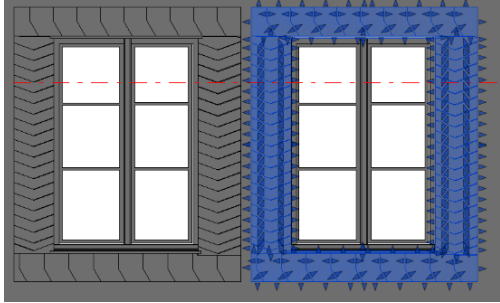
BIM-Objekt: Fenster Dekoration in Nordost und Südost Fassade	
Modellierung Strategie: Komponente > Bauteil	
<p>Beschreibung: Die Fensterdekoration in der Nordost- und Südostfassade hat unterschiedliche Formen, die ebenfalls mit Bauteil > Extrusion modelliert wurden.</p>	
	
<p>Levels of Development: <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 200 <input type="checkbox"/> 300 <input checked="" type="checkbox"/> 350 <input type="checkbox"/> 400 <input type="checkbox"/> 500</p>	

Tabelle 14: Modellierung Strategie und LOD von Türen


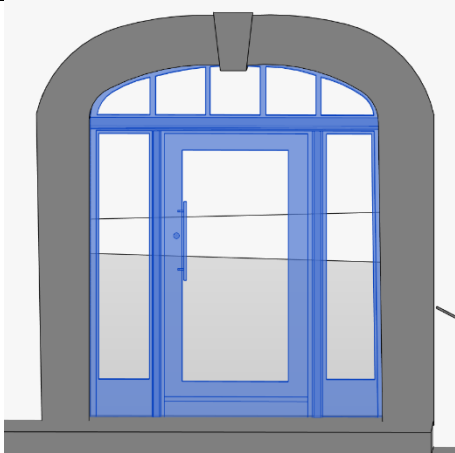
BIM-Objekt: Türen	
Modellierung Strategie: Komponente > Bauteil	
<p>Beschreibung: Für die Modellierung der Türen wurde auch Bauteil > Extrusion (Solid/Void) verwendet. Es gibt vier Türen in diesem Gebäude, darunter das Haupteingangsportal zum Rehabilitationszentrum, eine Tür im Nordosten zu den Wohnanlagen und zwei Türen im Südosten zu Gebäude, die jeweils individuell modelliert wurden. Unten auf dem Foto ist die Tür im Haupteingang des Rehabilitationszentrums zu sehen.</p>	
	
<p>Levels of Development: <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 200 <input type="checkbox"/> 300 <input checked="" type="checkbox"/> 350 <input type="checkbox"/> 400 <input type="checkbox"/> 500</p>	

Tabelle 15: Modellierung Strategie und LOD von Nordost- und Südost-Fassade im Obergeschoss



BIM-Objekt: Nordost- und Südost-Fassade im Obergeschoss	
Modellierung Strategie: Komponente > Bauteil	
<p>Beschreibung: Die Nordost- und die Südost-Fassade des Obergeschosses haben unterschiedliche Oberflächenmaterialien. Um diesen Unterschied darzustellen, wurde die Modellierung mit Bauteil > Extrusion an der Wand durchgeführt.</p>	
	
<p>Levels of Development: <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 200 <input type="checkbox"/> 300 <input checked="" type="checkbox"/> 350 <input type="checkbox"/> 400 <input type="checkbox"/> 500</p>	

Tabelle 16: Modellierung Strategie und LOD von Innenbereich – Treppen




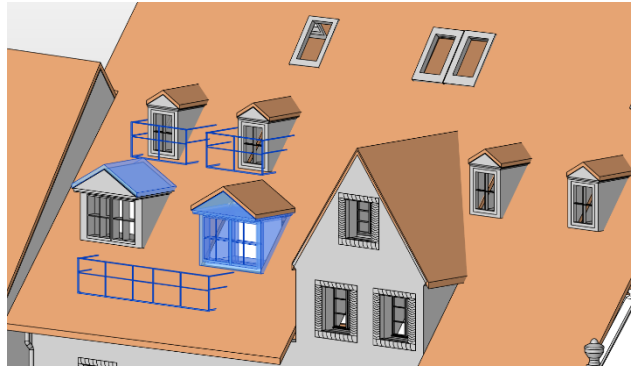
BIM-Objekt: Innenbereich – Treppen	
Modellierung Strategie: Komponente > Bauteil	
<p>Beschreibung: Um zu beweisen, dass Revit auch für die Modellierung von Innenräumen verwendet werden kann, wurde als Beispiel die Treppe am Eingang von Wohnanlagen modelliert.</p>	
	
<p>Levels of Development: <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 200 <input checked="" type="checkbox"/> 300 <input type="checkbox"/> 350 <input type="checkbox"/> 400 <input type="checkbox"/> 500</p>	

Tabelle 17: Modellierung Strategie und LOD von Gauben

BIM-Objekt: Gauben	
Modellierung Strategie: Komponente > Bauteil	
<p>Beschreibung: Die Modellierung von Dachgauben und Details auf dem Dach ist eine Kombination aus Komponente Extrusion und Void and Cut Geometrie on Dach sowie der Dach System Familie.</p>	
	
<p>Levels of Development: <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 200 <input type="checkbox"/> 300 <input checked="" type="checkbox"/> 350 <input type="checkbox"/> 400 <input type="checkbox"/> 500</p>	

- **Modellierung mit System Familie**

Die Modellierung mit Systemfamilien in Revit umfasst die Verwendung vordefinierter, in der Software integrierter Familien, welche grundlegende Bauelemente darstellen und direkt im Projekt bearbeitet werden können. Im Rahmen dieses Projekts erfolgte die Modellierung der Wände, Rohre und Dächer unter der Verwendung der Systemfamilie. Die System Familie sind über Registerkarte Architektur zu finden.

Die Gestaltung der Dächer war eine große Herausforderung im Modellierungsprozess. Wie bereits erwähnt, waren die Scandaten des Dachbereichs nicht vollständig. Außerdem, da die Modellierung in Revit mit Wänden auf der Grundlage von Punktwolkenbögen erfolgte und die Wände aufgrund von Neigung und Senkung von Boden und Gebäude verformt sind, hatte die Modellierung Schwierigkeiten bei der Definition von Dach. Die Kombination aus unvollständigen Scandaten und den Verformungen der Gebäudestruktur führte zu erheblichen Schwierigkeiten bei der genauen Definition der Dachform und deren Integration in das Gesamtmodell. Es war daher notwendig, mit Hilfe von Werkzeugen in Revit, wie „Cut Geometrie“ Bearbeitungen durchzuführen, um die Dachgeometrie möglichst exakt zu rekonstruieren.

Die Dächer wurden über die Registerkarte Architektur > Dach > Dach über Extrusion erstellt. Dazu wurden zunächst die Referenzebenen definiert und dann eine Extrusion auf dieser Referenzebene erstellt. Dann wurde das Dach per Extrusion eingefügt und anschließend die Extrusion gelöscht. Wie bereits erwähnt, mussten die Dächer bearbeitet werden, um die gewünschte Form zu erhalten. Die Erstellung des Daches konnte nicht mit hoher Genauigkeit erfolgen und das Ziel war es, die richtige Form zu erreichen. Dies entspricht einem Level of Development (LOD) von 300.

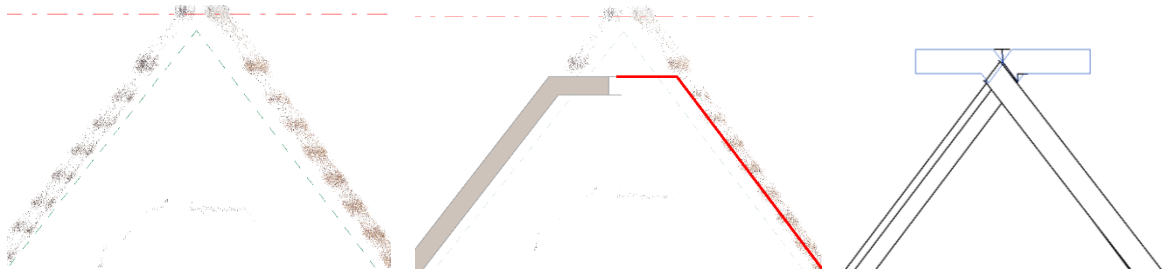


Abbildung 70: Dach Referenzebene

Abbildung 71: Erstellung von Dach über Extrusion

Abbildung 72: Bearbeitung von Dach mit Werkzeug „Cut Geometrie“



Abbildung 73: Das modellierte Gebäude in Revit



Abbildung 74: Das modellierte Gebäude in Revit

5.2.2 Farben und Texturen

Die Farben und Texturen können direkt in Revit erstellt werden. Aber bei diesem Projekt wurde eine andere Methode verwendet, die den Arbeitsprozess optimieren konnte. Hierfür wurde Blender angewendet. In diesem Fall wurde das Modell als FBX-Datei exportiert und in Blender importiert. Das ermöglicht es, jede Komponente in Blender zu bearbeiten und mit Farbe und Textur zu gestalten. Im Blender kann jedes Element ausgewählt und das gewünschte Material oder die gewünschten Farben über die Reiter "Material" festgelegt werden.

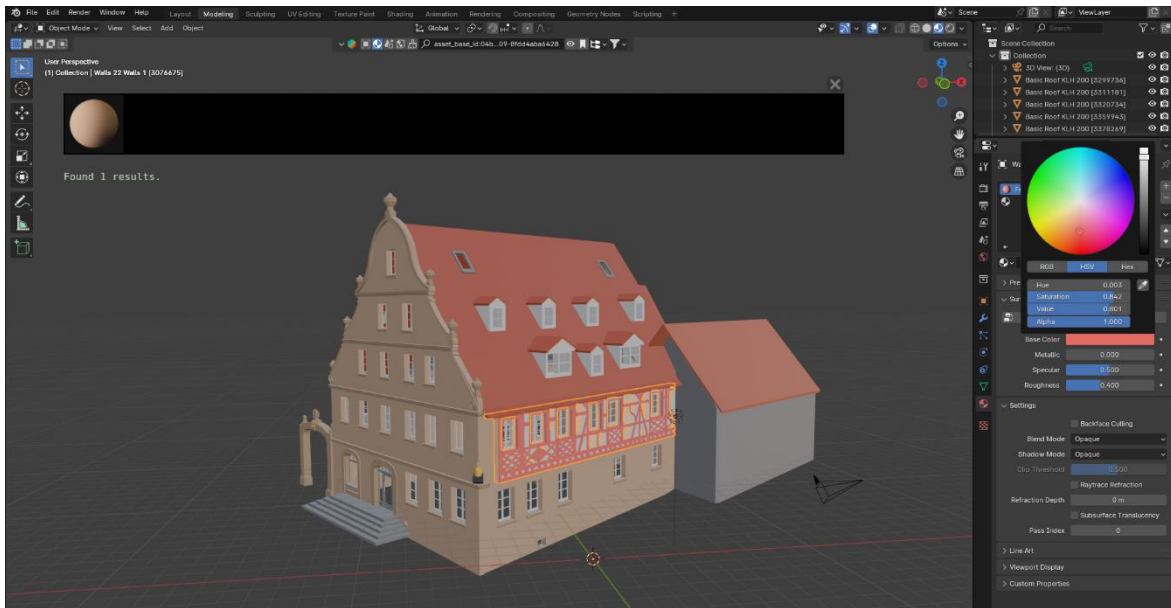


Abbildung 75: Das Modell in Blender und die Verwendung von Werkzeugen in Blender zur Erstellung von Farben für Elemente.

Zum Festlegen der Textur kann auf die Bilder verwiesen werden und die Textur als Bilder über die Reiter Material > Base Color > Image Texture angegeben werden (siehe Abb.75). Alternativ kann das Plugin "BlenderKit" verwendet werden, um den Link der gewünschten Textur zu kopieren und in Blender zu importieren (siehe Abb.76).

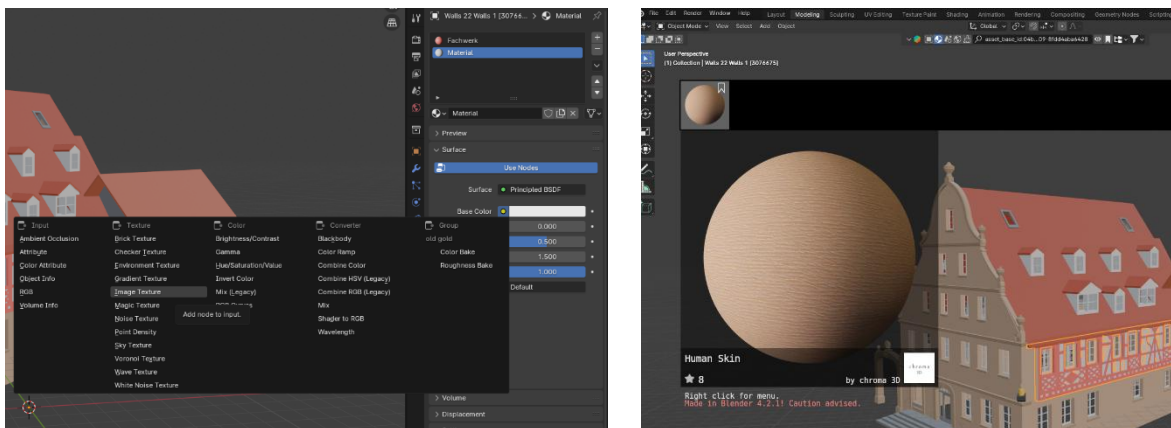


Abbildung 76: Image Texture in Blender

Abbildung 77: Importierte Texture von BlenderKit

Bei diesem Projekt wurden die Texturen beim Export beeinträchtigt und die angegebenen Texturen wurden nicht mit dem Model exportiert. In diesem Fall wurden nur die Farben angegeben und das Model wurde im FBX-Format (.fbx), gltf-Format (.glb) und OBJ-Format (.obj) mit Farben als mtl.datei exportiert, so dass eine weitere Integration auf Online-Plattformen möglich ist.

5.3 2D-Zeichnung in Autodesk AutoCad

Die Erstellung von 2D-Zeichnungen der Grundrisse in AutoCAD stellte sich als nicht relevant für das Thema dieser Masterarbeit heraus und entsprach nicht den Anforderungen von FürthWiki und dem öffentlichen Zugang. Aufgrund des Wunsches der Eigentümer wurde als zusätzliche Aufgabe für die Aufnahme des Innenbereichs sowie die Erstellung der Grundrisse entschieden. Dieser Schritt stellte jedoch eine erhebliche Herausforderung dar, die im vierten Kapitel dieser Arbeit ausführlich beschrieben wurde. Aufgrund von Datenschutz- und Privatsphäre-Bedenken war es nicht möglich, für alle Wohnungen Zugang zu bekommen, was dazu führte, dass die Daten für die Innenräume unzureichend waren, um vollständige Grundrisse zu erstellen. Im Rahmen der Erfassung wurden insgesamt zehn Wohnungen sowie ein Reha-Zentrum berücksichtigt. Allerdings konnte lediglich für vier Wohnungen und das Reha-Zentrum Zugang gewährt werden. Die limitierten Zugangstermine sowie die unzureichende Anzahl an Scann-Stationen erschwerten den Prozess. So wurde beispielsweise lediglich eine oder maximal zwei Scann-Stationen pro Raum eingerichtet, was in einigen Bereichen zu unvollständigen Daten und Schwierigkeiten bei der Registrierung führte. Infolge der beschränkten Zugangszeiten war es erforderlich, die Anzahl der Scann-Stationen zu reduzieren. Für die präzise Erfassung von Gebäuden mit vielen verbundenen Räumen und Korridoren ist eine sorgfältige Planung des Aufnahmeprozesses unerlässlich. Aufgrund der lückenhaften Datenlage hinsichtlich der Innenräume war eine detaillierte und präzise Zeichnung nicht möglich. Daher wurde lediglich der Grundriss des Erdgeschosses des Reha-Zentrums als Beispiel gezeichnet. Dieses Beispiel veranschaulicht die Möglichkeit der Erstellung einer 2D-Zeichnung. Obgleich dieser Zusatzaufgabe für das Projekt keine signifikante Neuerung darstellte und das Projekt mit Herausforderungen konfrontierte, kann sie dennoch als wertvolle Erfahrung betrachtet werden. Sie demonstriert die Notwendigkeit sowohl technischer Erkenntnisse als auch organisatorischer Vorausschau.

Für das Zeichnen in AutoCAD kann die Punktwolke im RCP-Format in AutoCAD importiert werden und der Prozess kann entweder in normalem AutoCAD oder mit dem As-Built Plugin durchgeführt werden. In diesem Projekt wurde das As-Built Plugin des Unternehmens FARO für das Zeichnen verwendet. Für Studentenprojekte wurde eine 30-tägige Testversion dieses Plugins angefordert. Diese ist auch im CIP-Pool des DDT-Lehrstuhls verfügbar.

Nach der Installation wurde die Punktwolke als .rcp-Datei in die Registerkarte „As-Built > Punktwolke Einfügen“ importiert. Beim Import kann die Einheit im Fenster „Eigenschaften der Punktwolke“ definiert werden. In diesem Projekt wurde „Meter“ als Einheit verwendet. Die Punktwolke kann über die Registerkarte „As-Built > Bereiche > Schnitt“ geschnitten werden, und je nach Projektanforderungen können verschiedene horizontale und vertikale Schnitte erstellt werden. Hier wurden verschiedene horizontale Schnitte in unterschiedlichen Höhen und Dicken erstellt, um alle Bereiche sichtbar zu machen.

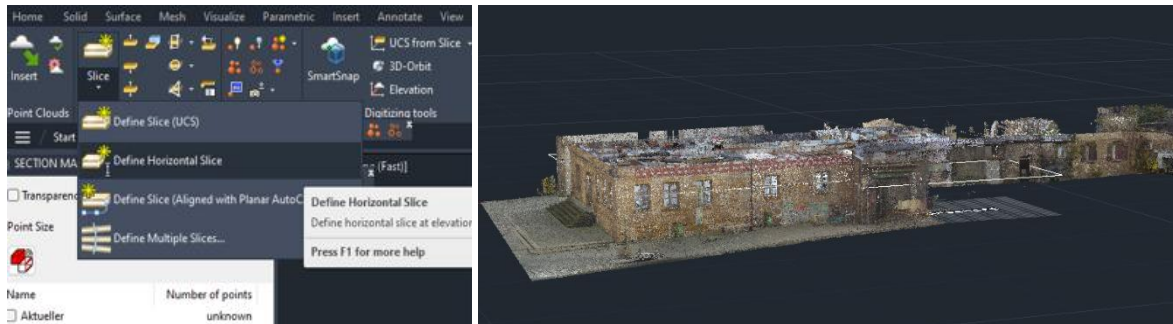


Abbildung 78: Reiter As-Built > Schnitt

Abbildung 79: Horizontalschnitt auf Punktwolke, Höhe ca. 3,9 m

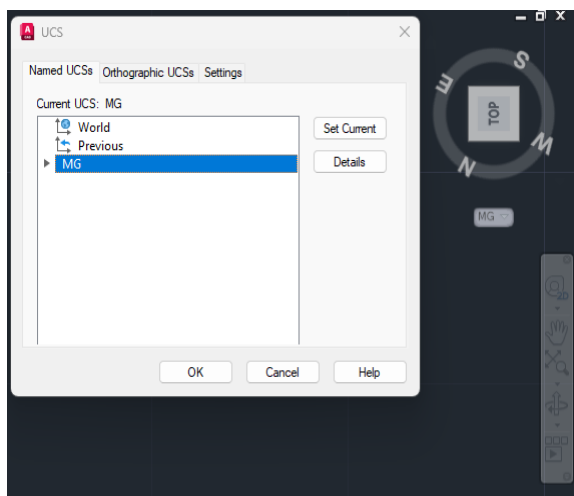


Abbildung 80: Neue BKS mit Namens MG – und die Nord-Ausrichtung in Projekt

In der Folge wurde ein neues BKS (Benutzerkoordinatensystem) definiert. In AutoCAD besteht die Möglichkeit, ein neues Benutzer-Koordinatensystem (BKS) zu erstellen, indem der Befehl "BKS" (bei englischer AutoCAD: "UCS") verwendet wird. Der Befehl ermöglicht die Definition des BKS durch die Auswahl spezifischer Punkte zur Festlegung der X-, Y- und Z-Achsen oder durch Vorgaben wie die Rücksetzung auf Weltkoordinaten oder die Anpassung an die aktuelle Ansicht. Im Anschluss an die Definition besteht die Möglichkeit, das BKS unter einem benutzerdefinierten Namen zu speichern, um es für künftige Projekte erneut zu verwenden. Dann wurde die Ausrichtung von Projektnord angepasst, sodass das ursprüngliche Projektnord im neuen Koordinatensystem referenziert werden kann. Im Anschluss wurden die verschiedenen Layer für die unterschiedlichen Bestandteile über die Registerkarte Home > Layer Properties erstellt. Dann wurde in ausgewählten Schnitt auf die Punktwolke

gezeichnet. Beim Zeichnen auf die Punktwolke befinden sich die Linien auf unterschiedlichen Ebenen. Dies kann mit dem Befehl „KFFLATTEN“ korrigiert werden, und alle Linien werden auf die gleiche Ebene angepasst. Die Berechnung der Raummaße erfolgte unter Anwendung des Befehls "Area". Der Grundriss des Erdgeschosses ist im Anhang beigefügt.

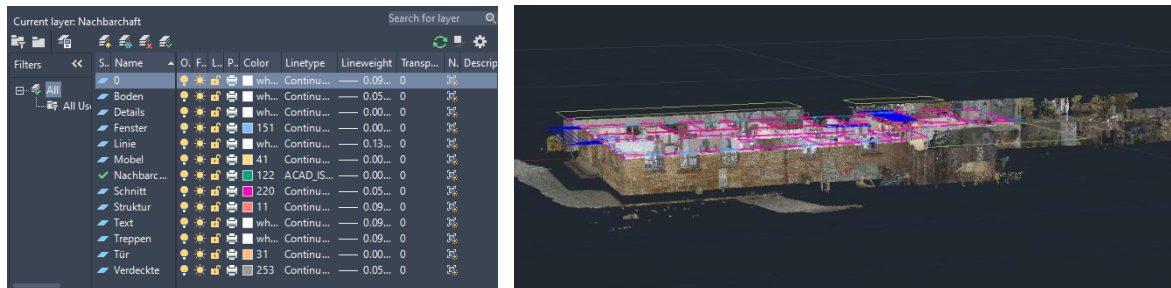


Abbildung 81: Fenster Layer Eigenschaften

Abbildung 82: Zeichnung auf Punktwolke in 3D-Ansicht

5.4 Filmische Visualisierung

Zwei Softwarelösungen wurden verwendet, um filmische Visualisierungen der Modelle zu erstellen: Blender und Twinmotion. Mit beiden Programmen wurden Animationen erstellt, aber Twinmotion von Epic Games präsentiert sich als eine benutzerfreundlichere Software für die Erstellung von Animationen.

5.4.1 Animation in Blender

Blender bietet als Open-Source-Software eine breite Palette von Funktionen für 3D-Modellierung, Animation und Rendering. Als Vorteil kann Blender genannt werden, dass es eine umfassende Kontrolle über die Erstellung und Bearbeitung von 3D-Modellen und Animationen bietet. Es verfügt über verschiedene Rendering-Engines wie EEVEE, Cycles, Workbench, die je nach Projektanforderungen und Computerleistung verwendet werden können. Cycles ist eine leistungsstarke Rendering-Engine, die fotorealistischen Ergebnisse ermöglicht. Sie erfordert jedoch einen leistungsstarken Computer. Für dieses Projekt wurde die Engine EEVEE verwendet. Jedoch ist Blender für die Erstellung von Animationen weniger benutzerfreundlich als Twinmotion und dieser Prozess war zeitaufwendig. Darüber hinaus ist, wie gesagt, für die Erstellung einer realistischen Animation eine leistungsstarke Rendering-Engine (Cycles) erforderlich, was bei diesem Projekt nicht möglich war.

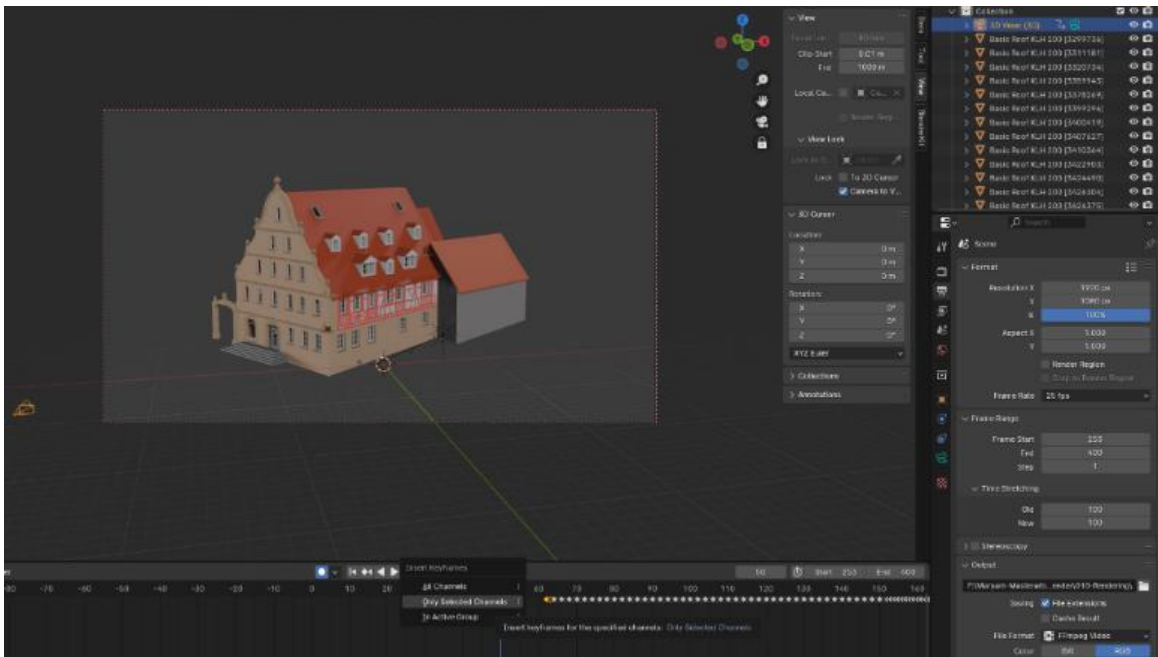


Abbildung 83: Erstellung von Motion in Blender von Revit-Modell

Beide Modelle, Revit-Modell und Mesh-Modell, wurden in Blender gerendert. Zu diesem Zweck wurde das Revit-Modell im FBX-Format und das Mesh-Modell im OBJ-Format in Blender importiert. Nach der Einstellung von Kamera, Licht, Render-Maschine und Output-Format wurde der "Frame Range" über die Registerkarte "Output" definiert. Dann wurde jede Position mit "Insert Keyframes" gespeichert, um eine Bewegung zu erzeugen. Die Bewegung wurde auf der Fläche XY rund um die Z-Achse im Gegenuhrzeigersinn ausgeführt. Anschließend wird die Animation über die Registerkarte Render > Render Animation erstellt und mit dem Format "FFmpeg" gespeichert.



Abbildung 84: Gerendertes Mesh-Modell in Blender – exportiertes Bild im PNG-Format

5.4.2 Animation in Twinmotion

Die Software Twinmotion des Unternehmens Epic Games basiert auf der Unreal Engine. Die Software zeichnet sich durch eine intuitive Benutzeroberfläche aus, welche die Erstellung realistischer Animationen in kurzer Zeit ermöglicht. Die Vorteile von Twinmotion sind seine Benutzerfreundlichkeit und die Möglichkeit, schnell hochwertige Visualisierungen zu erstellen. Als Nachteil kann allerdings gesagt werden, dass es weniger Flexibilität für die detaillierte Modellierung bietet. Aber für die Anforderungen dieses Projekts war es eine gute Wahl für die Erstellung von Animationen.

Zur Erstellung einer Animation in Twinmotion wurde das Revit-Modell im OBJ-Format in Twinmotion importiert. Das Rendering von Fotos, Videos und ähnlichen Medieninhalten erfolgt sodann über die Registerkarte "Media". Dazu ist es erforderlich, die Kamera auf der Registerkarte "Media" an die gewünschte Stelle zu bewegen und die Plus-Schaltfläche in der unteren Leiste zu betätigen. Im Anschluss erfolgt der Export der erstellten Videos oder Fotos über die Registerkarte "Export". Vor dem Exportieren besteht die Möglichkeit, die Ausgabeformate sowie die Qualität der Foto- und Videodateien festzulegen (Siehe Abb.95 - 96).

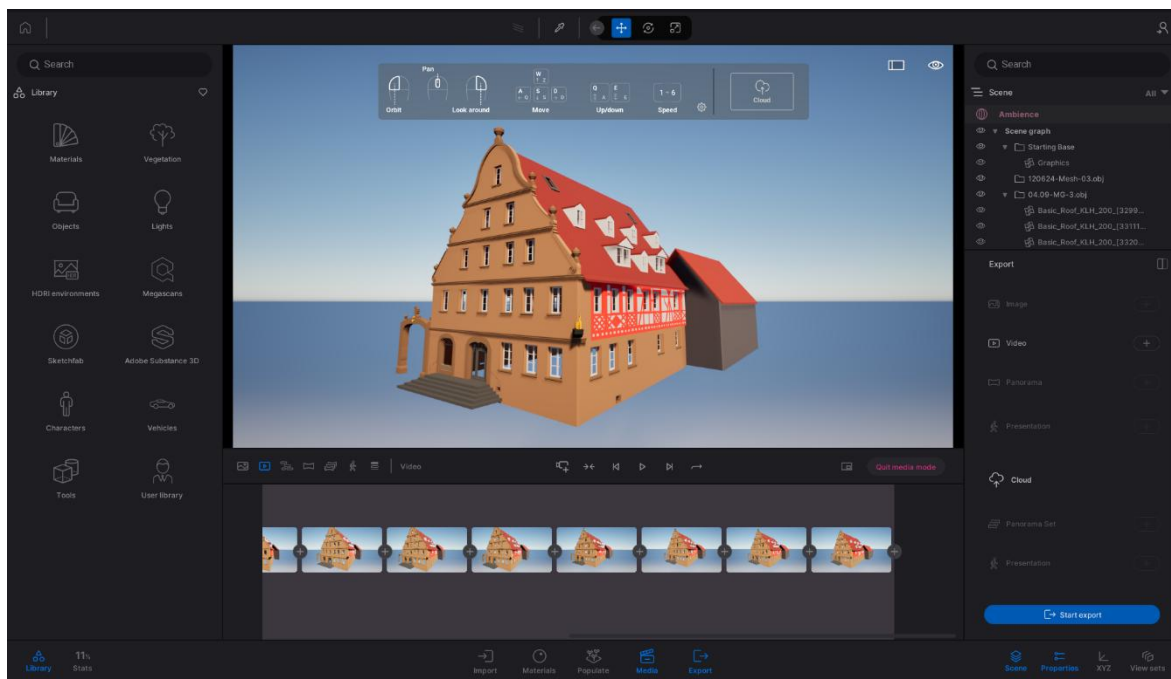
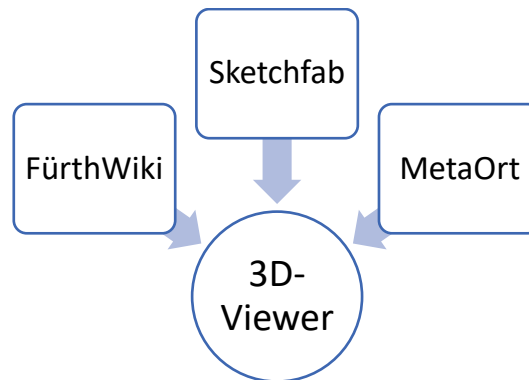


Abbildung 85: Erstellung von Motion in Twinmotion von Revit-Model

6 Integration der Modelle auf Online-Plattformen

Die Modelle wurden auf drei Plattformen publiziert. Zunächst erfolgte die Veröffentlichung direkt auf "Sketchfab". Im Anschluss musste eine Integration auf der FürthWiki-Website erfolgen. Dies wurde mit Hilfe des "Sketchfab-Einbettungscode" durchgeführt. Die dritte Plattform war die MetaOrt-Website²⁷ mit Hilfe des 3D-Viewer-Plugins.



Flowchart 3: Publikation auf Online-Plattformen

6.1 Einbettung auf FürthWiki Website

Wie bereits in Kapitel 2 dargelegt, basiert die Website "FürthWiki" auf der Open-Source-Software MediaWiki, welche in PHP verfasst ist und üblicherweise eine MySQL- oder MariaDB-Datenbank nutzt. Die Website verwendet JavaScript für die Generierung dynamischer Inhalte und CSS für das Design. Die Veröffentlichung der Dateien erfolgt unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-SA 3.0 DE. Diese Lizenz hat zur Folge: Die neue Sache muss unter denselben Bedingungen wie das Original lizenziert werden.



Abbildung 86: Support-Software und Lizenz von FürthWiki

Die Webseiten der Wikimedia Foundation, wie das Fürth Wiki und Wikimedia Commons, bieten in der Regel keine direkte Funktion zur Einbettung von 3D-Modellen. Dazu muss der Administrator der Website ein entsprechendes Plugin installieren. In diesem Projekt war zunächst geplant, das Modell mit Hilfe des Plugins "3D Alloy" einzubinden. Die technischen Mitarbeiter von FürthWiki und MediaWiki versuchen noch die Grundlagen für die Einbettung eines 3D-Modells auf FürthWiki zu entwickeln. Aber bei diesem Projekt sieht es so aus, dass noch die technische Struktur die Integration von 3D-Modellen nicht unterstützen

²⁷ <https://metaort.com/case-studies/>

kann. Alternativ wurde eine andere Methode verwendet, um das 3D-Modell auf FürthWiki zu veröffentlichen. Es ist auch möglich, das Modell auf eine externe Plattform wie Sketchfab hochzuladen und dann den Einbettungscode von Sketchfab mit der FürthWiki-Website zu verknüpfen. Zur Einbettung eines 3D-Modells von Sketchfab auf FürthWiki wurden die folgenden Schritte ausgeführt:

In einem ersten Schritt wurde das Modell auf der Plattform Sketchfab hochgeladen. Unter der Schaltfläche "</>Embed" befindet sich der Einbettungscode, welcher als HTML-Code formatiert ist und kopiert werden muss.

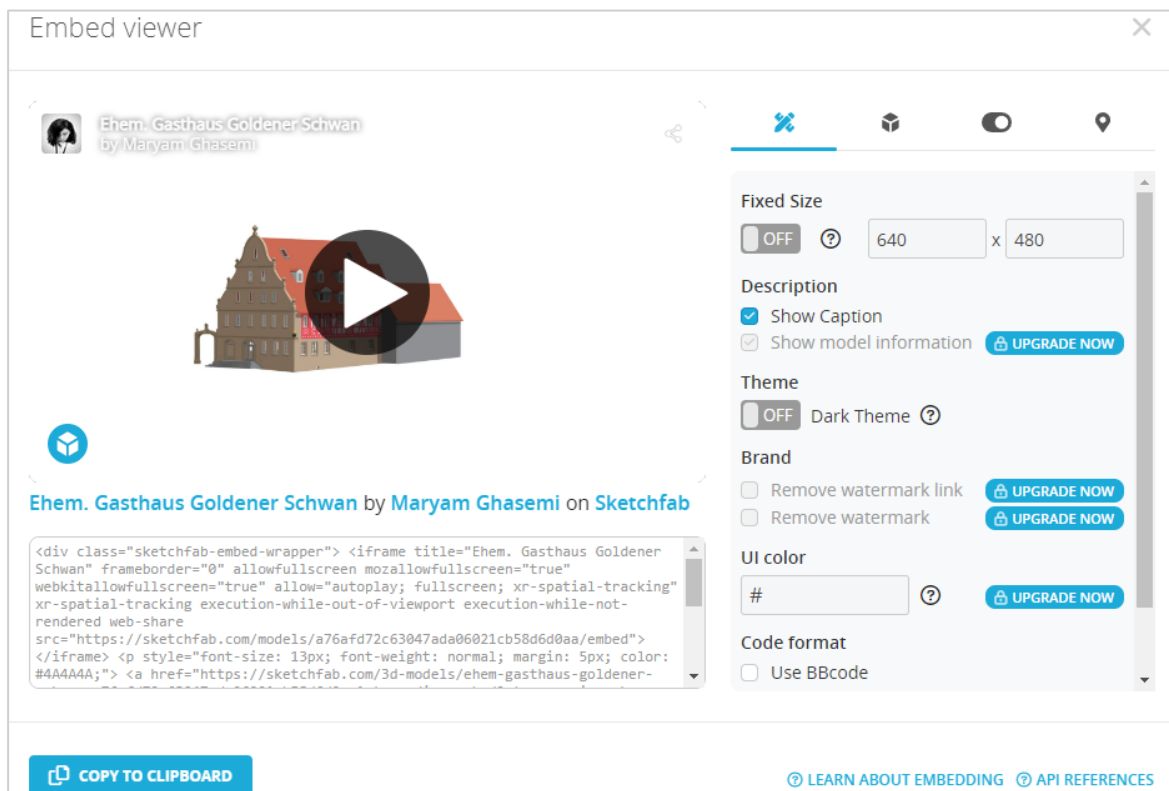


Abbildung 87: Embed Viewer auf Sketchfab

Im nächsten Schritt wurde die gewünschte Seite, konkret der Artikel "Zum Goldenen Schwan", in FürthWiki bearbeitet. Dies kann entweder mittels Erstellung eines FürthWiki-Kontos oder mit Unterstützung des Administrators erfolgen. Anschließend wurde ein neuer Abschnitt mit dem Titel "3D-Modelle" für den Artikel angelegt und der kopierte Einbettungscode in den Bearbeitungsbereich eingefügt. Zusätzlich wurde die filmische Visualisierung im 3d.webm-Format hochgeladen. Schließlich wurden die Änderungen gespeichert.

Link zu Artikel „Zum Goldenen Schwan“:

https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Zum_Goldenen_Schwan

Die 3D-Modelle und Animationen sind im Abschnitt „3D-Modelle“ zu finden. Diese können auf der Website angesehen, aber nicht über FürthWiki heruntergeladen werden (das Herunterladen der Modelle über Sketchfab ist möglich). Durch Einbettung eines 3D-Modells über den Einbettungscode von Sketchfab bleibt das Modell unter der vom Ersteller auf Sketchfab festgelegten Lizenz. Die am häufigsten verwendeten Lizenzen sind die Standardlizenz sowie die Editorial-Lizenz. Die genannten Lizenzen legen fest, ob eine kommerzielle Nutzung des Modells zulässig ist oder lediglich eine Verwendung zu redaktionellen Zwecken erfolgen darf. Die Nutzung des Einbettungscode ermöglicht die Betrachtung des Modells, jedoch keine direkte Weiterverwendung oder Bearbeitung. Im Folgenden werden die Berechtigungen näher erläutert, die vom Ersteller des Modells während des Uploads festgelegt wurden. Dabei wird auch auf die verschiedenen Formate der hochgeladenen Modelle eingegangen.

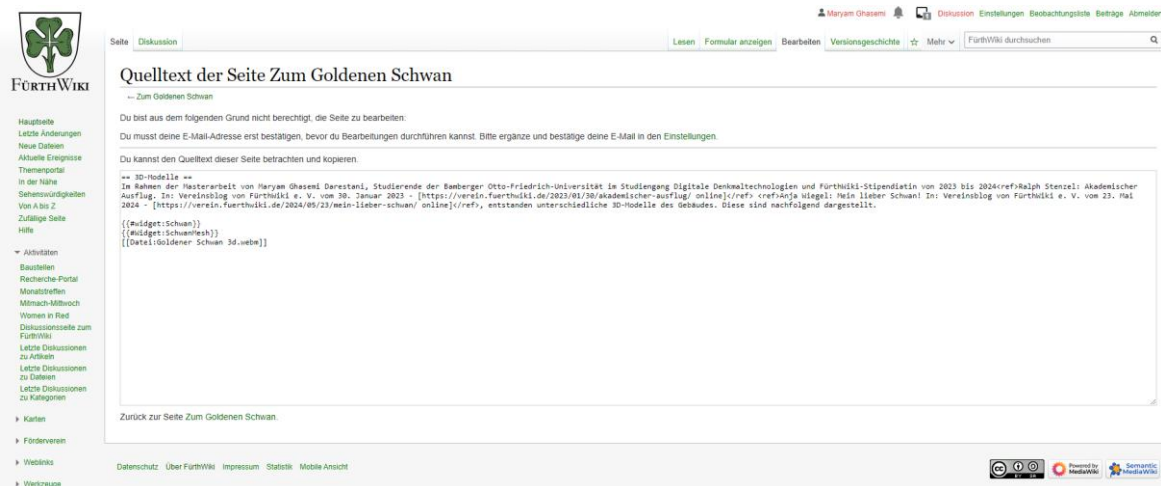


Abbildung 88: Bearbeitung de Artikel "Zum Goldener Schwan" und Einbettung die Modelle auf FürthWiki

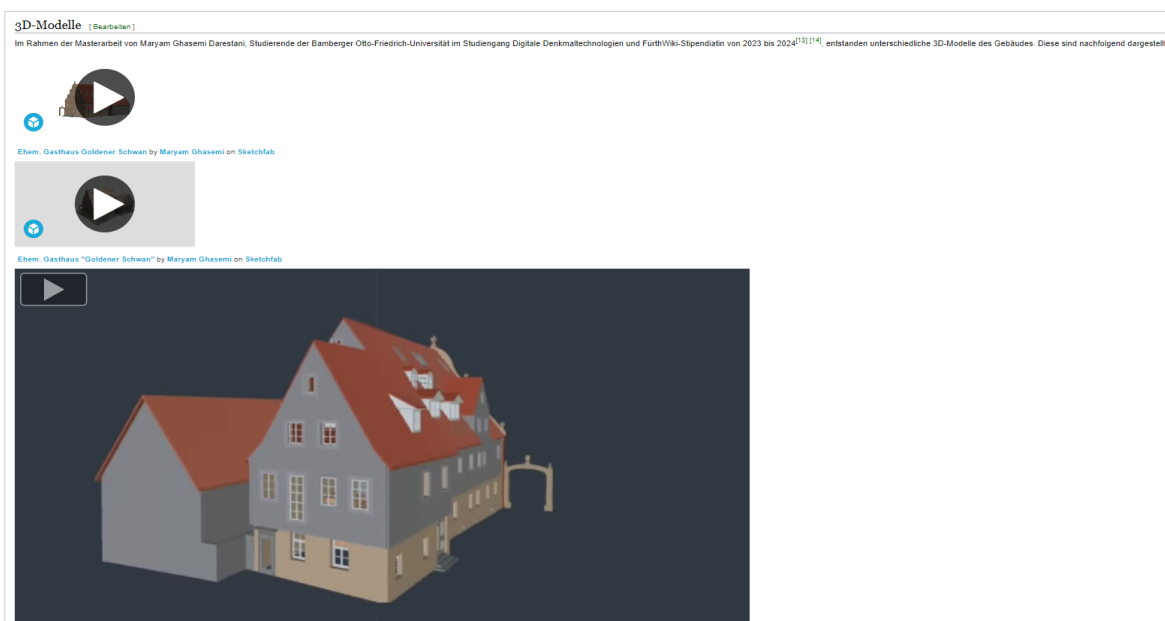


Abbildung 89: Abschnitt "3D-Modelle" in Artikel „Zum Goldenen Schwan“ auf FürthWiki

6.2 Einbettung auf Sketchfab

Sketchfab ist eine bekannte Online-3D-Plattform, die in Kapitel 2 erläutert wurde. Sketchfab bietet eine benutzerfreundliche Umgebung und die Funktion, Modelle in einen Online-Dienst einzubetten und so die Kollaboration und Erweiterung des Modells zu ermöglichen.

Um ein 3D-Modell auf Sketchfab einzubetten, muss der folgende Schritt ausgeführt werden:

- Alle Benutzer können ein Konto bei Sketchfab erstellen. Sketchfab bietet „Free“- und „Pro“-Konten an. Das kostenlose Konto ist auf grundlegende Funktionen beschränkt, mit einer maximalen Upload-Größe von 50 MB pro Modell und auf öffentliche Modelle begrenzt. Es bietet auch grundlegende Einbettungsoptionen. Mit dem Pro-Konto können Benutzer Daten mit einer höheren Kapazität (bis zu 200 MB pro Modell) übertragen. Darüber hinaus können die Daten in Archivdateien in den Formaten .zip, .rar oder .7z mit einer maximalen Größe von 2 GB hochgeladen werden. Außerdem stehen den Benutzern detailliertere Analysen und weitere Anpassungsoptionen zur Verfügung, und es besteht auch die Möglichkeit, Daten zu konvertieren und in andere Software zu importieren. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass bei einem kostenlosen Konto die Anzahl der Uploads pro Monat auf zwölf Modelle begrenzt ist. Im Gegensatz dazu ist diese Begrenzung bei einem Pro-Account aufgehoben. Für dieses Projekt verwendete der Ersteller ein kostenloses Konto.
- Dann kann das gewünschte 3D-Modell im entsprechenden Format hochgeladen werden. Sketchfab unterstützt eine Vielfalt an Dateiformaten, darunter FBX, OBJ, DAE, BLEND, STL und weitere. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, ein Archiv wie ZIP, RAR oder 7z hochzuladen, welches die betreffenden Texturen, Materialien und Netze beinhaltet. In diesem Projekt wurden die Objekte, Revit-Model und Mesh-Model, im OBJ-Format mit mtl.file hochgeladen. Für Mesh-Model wurde ein PNG-Bild mit mtl.file für Texturen zusammengeführt.
- Sobald das Modell hochgeladen wurde, können die Modelleinstellungen angepasst werden. Dazu gehört das Zuweisen eines Titels, einer Beschreibung, das Definieren von Tags und das Anpassen der Anzeigeeinstellungen (z.B. Beleuchtung und Materialien usw.). Wenn alle Einstellungen vorgenommen worden sind, kann das Modell veröffentlicht werden.
- Außerdem müssen die Einstellungen für Berechtigungen festgelegt werden. Diese Einstellungen sind unter „Eigenschaften bearbeiten“ (Edit Properties) zu finden. Z. B. „Sichtbarkeitseinstellungen“ (Visibility Settings) und die "Lizenzen". Auf Sketchfab

sind die 3D-Modelle unter verschiedenen Lizenzen verfügbar. Es gibt die „Standardlizenz“, die eine kommerzielle Nutzung erlaubt, und die „redaktionelle Lizenz“, die nur für redaktionelle Zwecke (keine kommerzielle Nutzung) verwendet werden darf. Anwender können auch eigene Lizenzen zuweisen, wie z. B. Creative Commons.

- Beim Hochladen eines Modells auf Sketchfab besteht die Möglichkeit, verschiedene Berechtigungen einzustellen. Die Sichtbarkeit definiert, ob das Modell öffentlich, privat oder passwortgeschützt ist. Zudem kann festgelegt werden, ob das Modell heruntergeladen werden darf und unter welcher Lizenz.
- Um die Einstellungen für die Lizenzen festzulegen, wurde die Download-Option auf Kostenlos (Download > Free) gesetzt. Da die Inhalte auf FürthWiki unter der Creative Commons-Lizenz „Share Alike“ stehen, wurde diese Lizenz auch hier gewählt. Unter dieser Lizenz können andere die Inhalte neu mischen, verändern und darauf aufbauen, solange die neuen Kreationen unter den gleichen Bedingungen lizenziert werden.

The screenshot shows the 'Settings' interface for a 3D model on Sketchfab. On the left, under 'Who can see?', the visibility is set to 'PUBLIC' for 'Anyone on Sketchfab.com'. Below this are toggle switches for 'Allow comments' (ON), 'Allow texture inspection' (ON), 'Age-restricted content' (OFF), and 'Promotional content' (OFF). Under 'Download', the 'Free' option is selected. A tip indicates that setting the model to downloadable or for sale earns 1 credit for the current month. The current license is 'CC Attribution-ShareAlike'. On the right, a 'Choose a Free License' dialog is open, showing 'Standard' and 'Creative Commons' options. Under 'Creative Commons', 'Share alike' is selected, while 'Attribution', 'Non Commercial', and 'No derivatives' are unselected.

Abbildung 90: Sichtbarkeit und Lizenzen Einstellungen

Abbildung 91: Auswahl von Lizenz

- Das Modell kann über die Schaltfläche </>Embed auf andere Websites erweitert werden.

Link zu Modellen auf Sketchfab:

Mesh-Modell: <https://skfb.ly/pqDZK>

Revit-Modell: <https://skfb.ly/pqzpn>

6.3 Einbettung auf MetaOrt

MetaOrt ist eine Website, die die Autorin als ihr eigenes Portfolio erstellt. Um das 3D-Modell auf der Metaort-Website hochzuladen, werden die folgenden Schritte durchgeführt:

- Die Sicherung eines Hosts und einer Domain erfolgte über Ionos.com, wobei ebenfalls WordPress-Dienste in Anspruch genommen werden. In WordPress wird das Plugin "3D Viewer – WP 3D Model Viewer Plugin" (Version 1.4.2) von bPlugins installiert und aktiviert.
- Nach der Aktivierung des Plugins kann ein neues 3D-Modell hinzugefügt werden. Für dieses Modell wird der Name „Golden Swan“ gewählt. Der Anzeigemodus wird auf „Erweitert“ eingestellt, um sowohl .obj- als auch .glb-Dateiformate zu unterstützen.
- Der Modelltyp wird auf „Einfach“ gesetzt, und der Modellausgangstyp wird auf „Upload“ eingestellt. Im Abschnitt „3D Source“ wird das 3D-Modell im .glb-Format hochgeladen.
- Die Breite wird auf 100 % eingestellt, und die Höhe auf 320 Pixel gesetzt. Die Option „Bewegungssteuerung“ wird aktiviert, um eine interaktive Ansicht zu ermöglichen, und die Ausrichtung wird auf „Mitte“ gesetzt.
- Nach dem Speichern des Uploads wird der bereitgestellte Shortcode in WordPress verwendet, um das Modell mithilfe der Shortcut-Gadgets von WordPress in einen Container auf der Website einzubetten.
- Das Modell wird dann erfolgreich auf die Website hochgeladen, indem diese Schritte befolgt werden.
- Hinsichtlich des Modells auf MetaOrt ist festzuhalten, dass dieses nicht lizenziert ist und nicht heruntergeladen werden kann. Lediglich ein 3D-Viewer wird zur Dissemination bereitgestellt.

Link zu Model: <https://metaort.com/case-studies/>

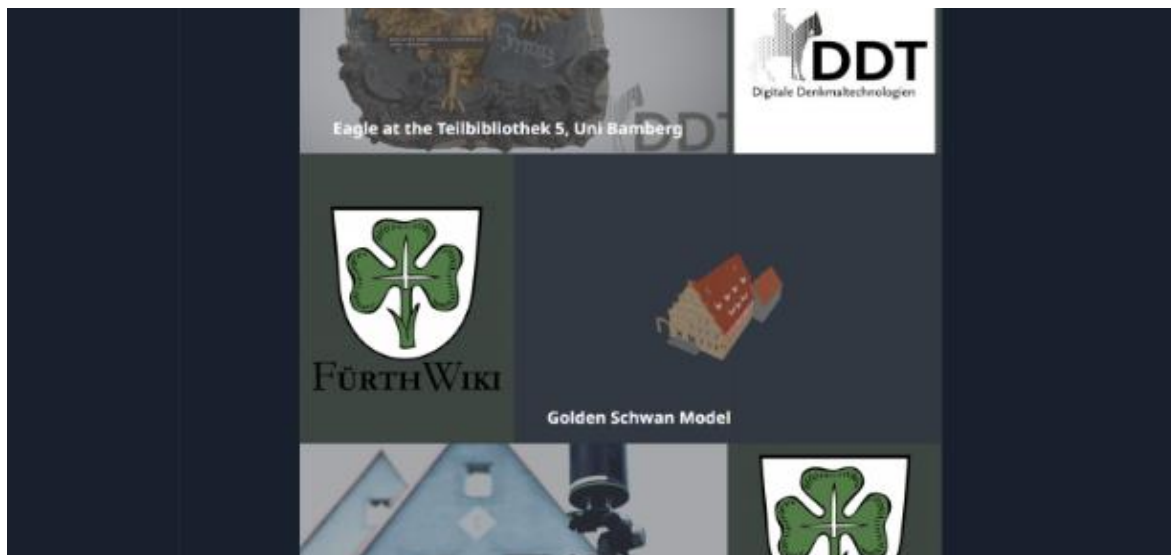


Abbildung 92: Model auf Website MetaOrt

Zudem wurde das Modell auf Sketchfab hochgeladen. Durch die Verwendung des von Sketchfab bereitgestellten Einbettungscodes in Kombination mit dem WordPress-Container und den Shortcut-Funktionen wird das Modell in die Website integriert. Der Einbettungscod von Sketchfab wird als URL-Adresse im Shortcut verwendet, wodurch das Modell auf der Website wie folgt angezeigt wird. Dies war ein weiterer Versuch zu zeigen, wie das Modell von Sketchfab über MetaOrt eingebettet werden kann. Außerdem ermöglichte es den Herunterladen des lizenzierten Modells mittels Sketchfab auf MetaOrt.



Abbildung 93: Verlinkte Model von Sketchfab auf MetaOrt

7 Diskussion und Fazit

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Nutzung des erheblichen Potenzials digitaler Technologien und 3D-Modelle zur Vermittlung und Bewahrung von kulturellem und historischem Erbe. Die Resultate demonstrieren, dass der Einsatz solcher Technologien, insbesondere in Verbindung mit Open-Access-Plattformen wie Wikimedia, eine erweiterte Zugänglichkeit und Sichtbarkeit historischer Objekte und Stätten ermöglicht. Die digitale Erfassung und Archivierung des historischen Gebäudes "Goldener Schwan" in Fürth

veranschaulicht, neben den Schwächen und Stärken, die Möglichkeiten der Dokumentation des kulturellen Erbes durch moderne digitale Technologien.

Die Verwendung von Technologien wie H-BIM (Historic Building Information Modeling) und terrestrischem Laserscanning (TLS) bietet wesentliche Vorteile hinsichtlich der Genauigkeit, der Effizienz der Datenverarbeitung sowie der Benutzerfreundlichkeit im Vergleich zu herkömmlichen Vermessungs- und Dokumentationsmethoden. Gleichwohl bestehen weiterhin technische und organisatorische Herausforderungen, die im Rahmen der künftigen technologischen Entwicklung voraussichtlich überwunden werden können.

Wie bereits dargelegt, war die Ausführung der vorliegenden Arbeit mit diversen Herausforderungen verbunden. Dazu gehören die organisatorischen und technischen Hindernisse, welche im Folgenden näher diskutiert werden, und die Vorschläge zu ihrer Bewältigung und Optimierung:

- Das erste grundlegende Problem bei der Arbeit war der Kontakt und die Organisation mit den Eigentümern und Bewohnern und das Einholen von Berechtigungen. Die Privatsphäre der Bewohner war wichtig. Da sich in den historischen Städten viele Baudenkmäler in Privatbesitz befinden und sowohl zu Wohnzwecken als auch für gewerbliche Zwecke genutzt werden, sollten künftige Projekte den Eigentümern und Bewohnern die Sicherheit geben, dass ihre Daten und ihre Privatsphäre in sicheren Händen sind. Außerdem wollen die Bewohner wissen, welchen Nutzen und welche Vorteile solche Projekte für sie haben. Bei künftigen Untersuchungen und Projekten sollte ihr Einverständnis mit einer Definition der Vorteile für sie eingeholt werden. Dazu gehört z.B. die Verfassung eines Berichts über die aktuelle Situation des Gebäudes oder die Hervorhebung der Stärken des Gebäudes, wie z.B. die Ästhetik und die historischen Werte.
- Die nächsten zu berücksichtigenden Punkte sind die optimale Nutzung von Digitalisierungsmethoden. Die Auswahl passender Methoden und Werkzeuge beeinflusst den Arbeitsprozess. Der Einsatz von Methoden und Instrumenten, die die finanziellen und zeitlichen Kosten reduzieren und die Arbeit effizienter gestalten können, ist ein wesentlicher Aspekt, der bei zukünftigen Projekten berücksichtigt werden muss. Bei dieser Arbeit wurde die terrestrischem Laserscanning -Methode verwendet. Mit dieser Methode wurde das zentrale Ziel des Projekts erreicht und das Modell auf Online-Plattformen zugänglich gemacht. Allerdings bestanden neben allen positiven Aspekten auch technische Herausforderungen, insbesondere bei der Erfassung der Bereiche des Gebäudes, bei denen ein

scannen nicht möglich war, wie z.B. dem Dach. Hier könnte es sinnvoll sein, die Methoden zu kombinieren, um hochpräzise Daten zu erhalten, aber gleichzeitig das Gleichgewicht zwischen Qualität und Zeit und Kosten zu berücksichtigen. Außerdem ist bei der Modellierung die Auswahl der geeigneten Software und Modellierungsmethode entsprechend den Projektanforderungen ein wesentlicher Schritt. Das Thema dieser Arbeit war nicht ein Vergleich zwischen Methoden und Software zu erstellen, daher keine eindeutige Bewertung abgegeben werden. Dennoch kann die Erfahrung aus dem Projekt zeigen, dass die Modellierung in Revit einige Einschränkungen aufweist, insbesondere bei der Übertragung von Texturen. Insgesamt ist zu den Texturen in beiden Modellierungsmethoden, Mesh-Modell und Revit-Modell, zu sagen, dass die Komplexität dieses Schritts mehr Kenntnisse und Zeit erfordert, um eine realistische Textur auf dem Modell zu erzielen und diese mit dem Modell zu exportieren.

- Aktuell werden auf MediaWiki-basierten Websites wie Wikimedia Commons oder dem FürthWiki lediglich einfache, texturlose 3D-Modelle im nativen MediaViewer unterstützt. In der initialen Projektplanung war vorgesehen, die Extension "3D-Alloy" (eine Implementierung der populären three.js-Bibliothek zum webbasierten 3D-Rendering) zur Integration texturierter Modelle zu nutzen. Allerdings steht der Support für wichtige 3D-Formate bei 3D-Alloy derzeit noch aus. Als Überbrückung wurden die Modelle bei der kommerziellen 3D-Plattform Sketchfab hochgeladen und mittels iFrame in die Website des FürthWikis eingebettet. Im Vergleich zu Wikimedia-Plattformen ist Sketchfab besonders benutzerfreundlich, da jeder Benutzer seine gewünschten Modelle in verschiedenen Formaten einbetten kann. Dieser Ansatz kann die Kollaboration erleichtern und fördern. Die Entwicklung von Plattformen in Richtung Benutzerfreundlichkeit hat daher einen positiven Einfluss auf die Realisierung solcher Projekte.

Die Resultate demonstrieren, dass es essenziell ist, bestehende technische und organisatorische Hindernisse zu überwinden, um das volle Potenzial der Digitalisierung des Kulturerbes zu erschließen. In der Konsequenz sollten künftige Projekte darauf abzielen, die Interoperabilität zwischen verschiedenen digitalen Formaten und Plattformen zu stärken sowie die Optimierung der Datenverarbeitung in den Vordergrund zu stellen. Diesbezüglich ist zudem eine Optimierung der Benutzerfreundlichkeit der Plattformen erforderlich, um eine breitere Öffentlichkeit zu erreichen.

In diesem Kontext ist zudem die Rolle von Open-Access-Initiativen in der digitalen Vermittlung von Kulturerbe zu beleuchten. Eine Intensivierung der Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen, kulturellen Institutionen und Open-Access-Plattformen wie Wikimedia ist erforderlich, um die Verfügbarkeit und Nutzbarkeit digitaler Ressourcen zu erhöhen. Des Weiteren wird empfohlen, die Einbindung der Gemeinschaft und die Förderung der Partizipation von Nutzerinnen und Nutzern zu intensivieren, um eine nachhaltige Nutzung digitaler Kulturgüter sicherzustellen.

In Summe kann festgehalten werden, dass die Integration digitaler Technologien in die Sicherung und Vermittlung kulturellen Erbes einen zukunftsweisenden Schritt darstellt. Dennoch besteht die Notwendigkeit, die technischen und organisatorischen Herausforderungen weiterhin zu bewältigen und innovative Lösungen zu entwickeln, um die vollständige Nutzung und das Potenzial dieser Technologien zu realisieren.

8 Ausblick

Die Nutzung digitaler Technologien zur Bewahrung und Übertragung des kulturellen Erbes bietet nicht nur technologische Vorteile, sondern kann auch erhebliche soziale Auswirkungen haben. Die Digitalisierung eröffnet die Möglichkeit, historische Gebäude und Kulturgüter breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen, wodurch das Verständnis und das Interesse für das kulturelle Erbe gefördert werden. Die Stadt Fürth stellt als Fallstudie dieser Arbeit ein exemplarisches Beispiel für das Potenzial digitaler Technologien zur Verwaltung von Kulturgütern dar und unterstreicht die Bedeutung solcher Initiativen in einer digitalen Welt. Die Untersuchung der sozialen Auswirkungen solcher Projekte kann ein wesentliches Thema für zukünftige Forschungsarbeiten darstellen.

Die Einführung und Weiterentwicklung digitaler Modelle bieten der Stadt Fürth ein beträchtliches Potenzial. Diesbezüglich kann festgestellt werden, dass die genannten Technologien dazu beitragen können, historische Gebäude effizient zu verwalten, während gleichzeitig die Stadtplanung smarter und nachhaltiger gestaltet wird. In diesem Kontext sei auf die Verfahren des terrestrischen Laserscannings sowie des H-BIM verwiesen. Die Implementierung solcher Technologien unterstützt die Stadt Fürth nicht nur als Denkmalstadt, sondern ermöglicht es ihr zudem, sich als aktiver und innovativer Partner in der digitalen Stadtentwicklung zu positionieren. Die digitale Transformation könnte dazu beitragen, die Attraktivität der Stadt sowohl für die Bewohner als auch für die Besucher zu erhöhen. Gleichzeitig kann sie

einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung und zum Erhalt des kulturellen Erbes leisten. Die kontinuierliche Forschung zur weiteren Entwicklung digitaler Technologien im Kontext des Kulturerbes stellt eine wesentliche Aufgabe dar. In diesem Kontext ist eine kontinuierliche Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen dieser Technologien erforderlich, um eine optimale Effektivität und einen maximalen Nutzen zu gewährleisten.

Ebenfalls ist die erweiterte Einbindung der lokalen Gemeinschaft von zentraler Bedeutung. Durch die Intensivierung der Zusammenarbeit mit den lokalen Menschen kann das Bewusstsein für die Bedeutung des kulturellen Erbes geschärft und eine aktive Teilnahme gefördert werden. Durch diese Maßnahmen wird die Digitalisierung neue Möglichkeiten für Partizipation, Lernen und kulturellen Austausch eröffnen – ein wichtiger Schritt in Richtung einer zukunftsfähigen und digital vernetzten Gesellschaft.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Förderung von Open-Access-Plattformen. Das bedeutet, dass diese Ressourcen nicht nur für die Forschung, sondern auch für die Bildung und den kulturellen Austausch genutzt werden können. Schließlich ist die Verfasserin überzeugt, dass Open Access eine wichtige Rolle dabei spielt, die Monopolisierung digitaler Archive zu durchbrechen und den Zugang zu kulturellen und wissenschaftlichen Schätzen für ein breites Publikum zu öffnen. Einige Institutionen und Archive glauben, dass der freie Zugang und die öffentliche Bereitstellung von Dokumenten den Wert ihrer Sammlungen schmälern könnte. Diese Ansicht übersieht jedoch das Potenzial von Open Access, wonach die kontinuierliche Nutzung und Sichtbarkeit von Inhalten verhindert, dass wertvolle Informationen in Vergessenheit geraten. Insgesamt ist klar, dass die Ausweitung von Open Access ein entscheidender Schritt zur Demokratisierung und nachhaltigen Sicherung des Zugangs zu digitalen Dokumenten ist. Eine offene und zugängliche Wissenskultur stärkt die Gemeinschaft, fördert den interkulturellen Dialog und trägt dazu bei, kulturelle und wissenschaftliche Inhalte für zukünftige Generationen zu konservieren. Dies verdeutlicht die herausragende Bedeutung des Themas "Open Access zu historischen Schätzen".

9 Anhang

9.1 Metadaten

Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Außenbereich						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	11.11.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	Bewölkt, 9°C (der Scanner zeigt draußen eine Fehlermeldung an, weil es kalt ist)						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 1	Leica BLK 360	11.11.23	13:53	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib32	
Station 2	Leica BLK 360	11.11.23	14:02	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib33	
Station 3	Leica BLK 360	11.11.23	14:18	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib35	
Station 4	Leica BLK 360	11.11.23	14:31	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib36	
Station 5	Leica BLK 360	11.11.23	14:42	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib37	
Station 6	Leica BLK 360	11.11.23	14:58	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib38	
Station 7	Leica BLK 360	11.11.23	15:19	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib40	
Station 8	Leica BLK 360	11.11.23	15:33	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib41	
Station 9	Leica BLK 360	11.11.23	15:48	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib42	
Station 10	Leica BLK 360	11.11.23	15:57	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib43	
Station 11	Leica BLK 360	11.11.23	16:09	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bi44	

Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Außenbereich						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	12.11.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	sonnig und bewölkt, 8°C						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 12	Leica BLK 360	12.11.23	?	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib53	
Station 13	Leica BLK 360	12.11.23	?	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib54	
Station 14	Leica BLK 360	12.11.23	13:34	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib55	
Station 15	Leica BLK 360	12.11.23	13:46	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib56	
Station 16	Leica BLK 360	12.11.23	13:57	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib57	
Station 17	Leica BLK 360	12.11.23	14:06	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib58	
Station 18	Leica BLK 360	12.11.23	14:18	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib59	
Station 19	Leica BLK 360	12.11.23	14:35	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib61	
Station 21	Leica BLK 360	12.11.23	15:16	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib64	
Station 22	Leica BLK 360	12.11.23	15:27	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bi65	
Station 23	Leica BLK 360	12.11.23	15:46	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	111123.MP2.Außen01	Bib67	

Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Innenbereich - Erdgeschoss						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	10.11.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	sonnig und bewölkt, 9°C						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 1	Leica BLK 360	10.11.23	10:00	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib6	
Station 2	Leica BLK 360	10.11.23	?	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib7	
Station 3	Leica BLK 360	10.11.23	10:35	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib8	
Station 4	Leica BLK 360	10.11.23	10:50	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib9	
Station 5	Leica BLK 360	10.11.23	11:11	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib11	
Station 6	Leica BLK 360	10.11.23	11:20	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib12	
Station 7	Leica BLK 360	10.11.23	11:35	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib13	
Station 8	Leica BLK 360	10.11.23	12:13	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib14	
Station 9	Leica BLK 360	10.11.23	12:30	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib15	
Station 10	Leica BLK 360	10.11.23	12:40	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib16	
Station 11	Leica BLK 360	10.11.23	12:55	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib17	

Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Innenbereich - Erdgeschoss						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	10.11.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	sonnig und bewölkt, 9°C						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 12	Leica BLK 360	10.11.23	13:06	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib18	
Station 13	Leica BLK 360	10.11.23	13:53	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib19	
Station 14	Leica BLK 360	10.11.23	14:07	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib20	
Station 15	Leica BLK 360	10.11.23	14:17	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib21	
Station 16	Leica BLK 360	10.11.23	?	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib22	
Station 17	Leica BLK 360	10.11.23	14:32	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib23	
Station 18	Leica BLK 360	10.11.23	14:50	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib25	
Station 19	Leica BLK 360	10.11.23	14:57	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib26	
Station 20	Leica BLK 360	10.11.23	15:05	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib27	
Station 21	Leica BLK 360	10.11.23	15:16	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	101123.MP2.re	Bib28	

Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Innenbereich - Wohnung 1						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	12.11.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	sonnig und bewölkt/ bei der Registrierung ist zu beachten, die Reflexion von Spiegeln						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 1	Leica BLK 360	12.11.23	08:27	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib45	
Station 2	Leica BLK 360	12.11.23	08:37	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib46	
Station 3	Leica BLK 360	12.11.23	08:47	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib47	
Station 4	Leica BLK 360	12.11.23	09:00	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib48	
Station 5	Leica BLK 360	12.11.23	09:10	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib49	
Station 6	Leica BLK 360	12.11.23	09:21	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib50	
Station 7	Leica BLK 360	12.11.23	09:32	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib51	
Station 8	Leica BLK 360	12.11.23	09:44	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib52	

Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Innenbereich - Wohnung 2						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	13.11.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	sonnig, 9°C						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 1	Leica BLK 360	13.11.23	10:02	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib68	
Station 2	Leica BLK 360	13.11.23	10:11	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib69	
Station 3	Leica BLK 360	13.11.23	10:21	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib70	
Station 4	Leica BLK 360	13.11.23	10:34	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib71	
Station 5	Leica BLK 360	13.11.23	10:43	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib72	
Station 6	Leica BLK 360	13.11.23	10:59	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	121123.MP2.WG	Bib73	

Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Außenbereich						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	24.11.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	sonnig, bewölkt, Regnet/ 2°C - 7°C						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 1	Leica BLK 360	24.11.23	10:19	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS001	
Station 2	Leica BLK 360	24.11.23	10:30	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS002	
Station 3	Leica BLK 360	24.11.23	10:41	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS003	
Station 4	Leica BLK 360	24.11.23	12:16	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS004	
Station 5	Leica BLK 360	24.11.23	12:26	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS005	
Station 6	Leica BLK 360	24.11.23	12:37	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS006	
Station 7	Leica BLK 360	24.11.23	12:54	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS007	
Station 8	Leica BLK 360	24.11.23	13:05	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS008	
Station 9	Leica BLK 360	24.11.23	13:59	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS009	
Station 10	Leica BLK 360	24.11.23	14:13	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS010	
Station 11	Leica BLK 360	24.11.23	14:23	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS0011	

Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Außenbereich						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	25.11.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	bewölkt, Regnet/ 2°C - 7°C						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 12	Leica BLK 360	24.11.23	09:58	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS012	
Station 13	Leica BLK 360	24.11.23	10:08	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS013	
Station 14	Leica BLK 360	24.11.23	10:18	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS014	
Station 15	Leica BLK 360	24.11.23	10:28	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS015	
Station 16	Leica BLK 360	24.11.23	10:43	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS016	
Station 17	Leica BLK 360	24.11.23	10:55	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS017	
Station 18	Leica BLK 360	24.11.23	11:09	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS018	
Station 19	Leica BLK 360	24.11.23	11:26	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS019	
Station 20	Leica BLK 360	24.11.23	11:36	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	241123.MP.Außen02	GS020	

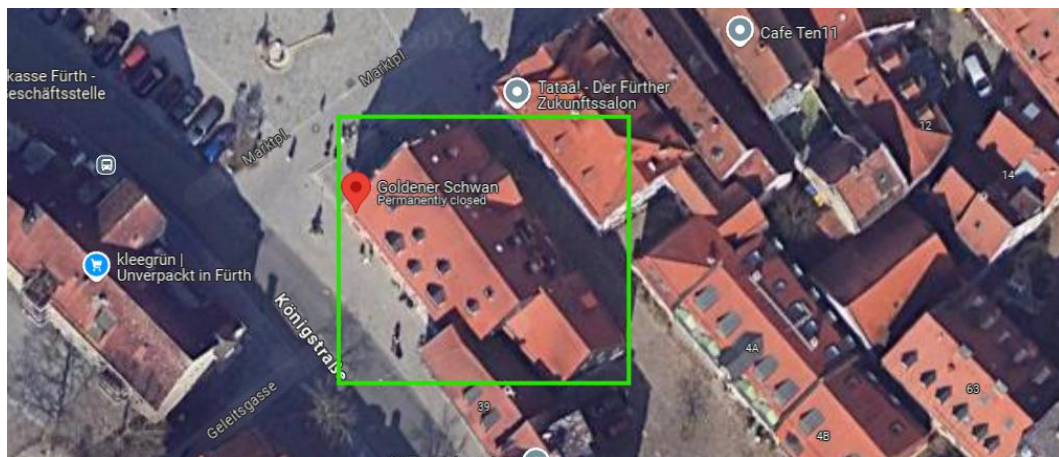
Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Treppenhaus und Diele						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	25.11.2023 und 26.11.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	sonnig, bewölkt, Regnet/ 2°C - 8°C						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 1	Leica BLK 360	25.11.23	12:23	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	251123.MP.Treppenhaus	GS021	
Station 2	Leica BLK 360	25.11.23	12:35	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	251123.MP.Treppenhaus	GS022	
Station 3	Leica BLK 360	25.11.23	12:45	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	251123.MP.Treppenhaus	GS023	
Station 4	Leica BLK 360	25.11.23	12:54	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	251123.MP.Treppenhaus	GS024	
Station 5	Leica BLK 360	25.11.23	?	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	251123.MP.Treppenhaus	GS025	
Station 6	Leica BLK 360	25.11.23	13:28	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	251123.MP.Treppenhaus	GS026	
Station 7	Leica BLK 360	25.11.23	13:38	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	251123.MP.Treppenhaus	GS027	
Station 8	Leica BLK 360	25.11.23	13:50	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	251123.MP.Treppenhaus	GS028	
Station 9	Leica BLK 360	26.11.23	13:04	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	251123.MP.Treppenhaus	GS037	

Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Dachgeschoss						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	26.11.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	bewölkt / Am Abend kein Licht						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 1	Leica BLK 360	24.11.23	16:33	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	261123.MP2.DG	GS038	
Station 2	Leica BLK 360	24.11.23	?	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	261123.MP2.DG	GS039	
Station 3	Leica BLK 360	24.11.23	16:50	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	261123.MP2.DG	GS040	
Station 4	Leica BLK 360	24.11.23	17:00	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	261123.MP2.DG	GS041	

Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Wohnung 3						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	26.11.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	bewölkt, Regnet/ 2°C - 8°C						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 1	Leica BLK 360	26.11.23	11:39	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	261123.MP.WG	GS030	
Station 2	Leica BLK 360	26.11.23	11:48	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	261123.MP.WG	GS031	
Station 3	Leica BLK 360	26.11.23	11:58	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	261123.MP.WG	GS032	
Station 4	Leica BLK 360	26.11.23	12:08	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	261123.MP.WG	GS033	
Station 5	Leica BLK 360	26.11.23	12:21	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	261123.MP.WG	GS034	
Station 6	Leica BLK 360	26.11.23	12:31	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	261123.MP.WG	GS035	
Station 7	Leica BLK 360	26.11.23	12:47	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	261123.MP.WG	GS036	

Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Keller						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	27.11.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	sonnig, bewölkt, Regnet/ 2°C - 8°C						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 1	Leica BLK 360	27.11.23	10:00	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS042	
Station 2	Leica BLK 360	27.11.23	10:11	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS043	
Station 3	Leica BLK 360	27.11.23	10:27	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS044	
Station 4	Leica BLK 360	27.11.23	10:38	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS046	
Station 5	Leica BLK 360	27.11.23	10:47	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS047	
Station 6	Leica BLK 360	27.11.23	?	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS048	
Station 7	Leica BLK 360	27.11.23	?	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS049	
Station 8	Leica BLK 360	27.11.23	11:33	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS050	
Station 9	Leica BLK 360	27.11.23	11:45	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS051	
Station 10	Leica BLK 360	27.11.23	12:03	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS052	
Station 11	Leica BLK 360	27.11.23	12:09	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS053	
Station 12	Leica BLK 360	27.11.23	12:20	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS054	
Station 13	Leica BLK 360	27.11.23	12:37	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	271123.MP2.WG	GS055	


Project Name	Masterarbeit - Goldener Schwan - Wohnung 4						Terrestrial Laser Scanning
Project Dates	08.12.2023						
Name	Maryam Ghasemi						
Location	Description						
Marktplatz 2, Fürth	bewölkt / 2°C - 6°C						
Location	Scanner	Date	Time	Scan Setting	Filename	Scanname	
Station 1	Leica BLK 360	08.12.23	15:04	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	81223.MP2.WG	WGH	
Station 2	Leica BLK 360	08.12.23	15:11	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	81223.MP2.WG	WGH001	
Station 3	Leica BLK 360	08.12.23	15:23	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	81223.MP2.WG	WGH002	
Station 4	Leica BLK 360	08.12.23	15:42	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	81223.MP2.WG	WGH003	
Station 5	Leica BLK 360	08.12.23	15:51	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	81223.MP2.WG	WGH004	
Station 6	Leica BLK 360	08.12.23	16:08	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	81223.MP2.WG	WGH005	
Station 7	Leica BLK 360	08.12.23	?	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	81223.MP2.WG	WGH006	
Station 8	Leica BLK 360	08.12.23	?	Mit Bild/HDR / Dichte Punktwolke / Scanzeit 06:10 min	81223.MP2.WG	WGH007	



9.2 Cyclone Register 360 Registerbericht

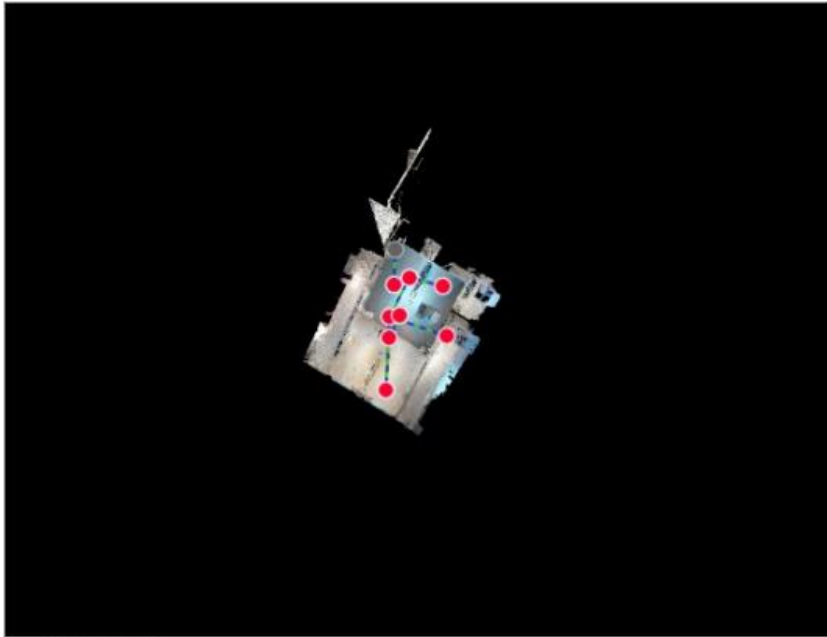
Cyclone REGISTER 360 PLUS

Registrierungsbericht



Feb 14, 2024

Erstellt von:
Maryam Ghasemi
 Student
 Universität Bamberg



081223.WG.Haigis

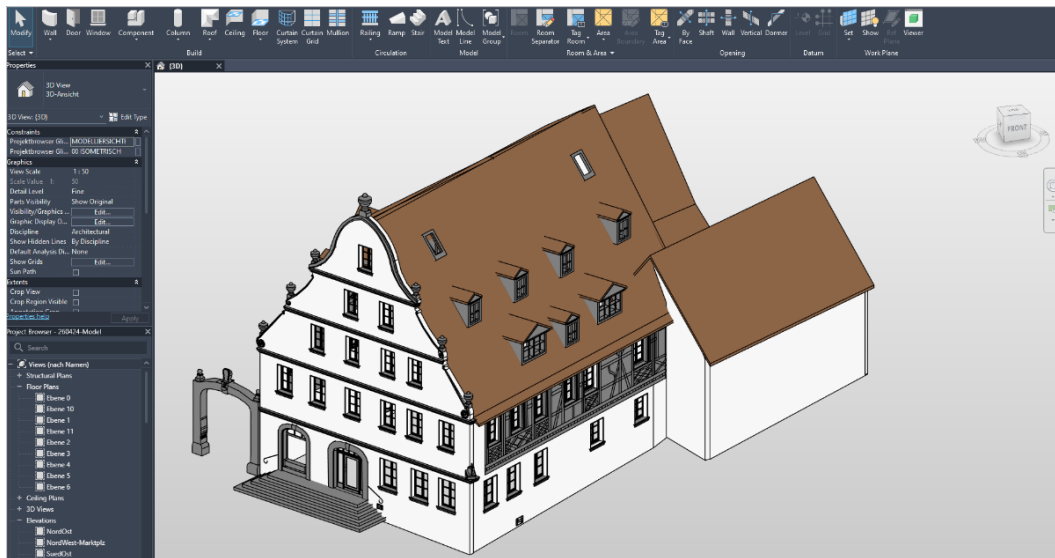
Qualität insgesamt

Ergebnisse der Abweichungen für Gruppe 1

<p>Anzahl Standpunkte: 120</p> <p>Anzahl: 227</p> <p>Verknüpfungen:</p> <p>Stabilität: 80 %</p> <p>Überlappung: 53 %</p>	<p>Fehler Gruppe 0.005 m ✓</p>		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: #00b050; color: white; padding: 5px;">Überlappung 53 % ✓</td> <td style="background-color: #00b050; color: white; padding: 5px;">Stabilität 80 % ✓</td> </tr> </table>	Überlappung 53 % ✓	Stabilität 80 % ✓
Überlappung 53 % ✓	Stabilität 80 % ✓		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: #00b050; color: white; padding: 5px;">Cloud-to-Cloud 0.005 m ✓</td> <td style="background-color: #00b050; color: white; padding: 5px;">Fehler Zielmarke 0.005 m ✓</td> </tr> </table>	Cloud-to-Cloud 0.005 m ✓	Fehler Zielmarke 0.005 m ✓
Cloud-to-Cloud 0.005 m ✓	Fehler Zielmarke 0.005 m ✓		

<div style="background-color: #00b050; width: 15px; height: 15px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></div> <p>Max. Abweichung beträgt 0.015 m.</p>	<div style="background-color: #d4c03d; width: 15px; height: 15px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></div> <p>Max. Abweichung beträgt 0.020 m.</p>	<div style="background-color: #c00000; width: 15px; height: 15px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></div> <p>Abweichung größer als 0.020 m.</p>
---	---	---

9.3 Screenshot von Modellierung in Revit



9.4 Grundriss Erdgeschoss – 2D Zeichnung AutoCAD

(Grundriss Erdgeschoss in Standarddruckgröße beigefügt)

9.5 Gerenderte Modelle aus Blender und Twinmotion



Abbildung 94: Gerenderte Mesh-Model aus Blender



Abbildung 95: Gerenderte Revit-Model aus Blender



Abbildung 96: Gerenderte Revit-Model aus Twinmotion

9.6 Twinmotion Einstellungen

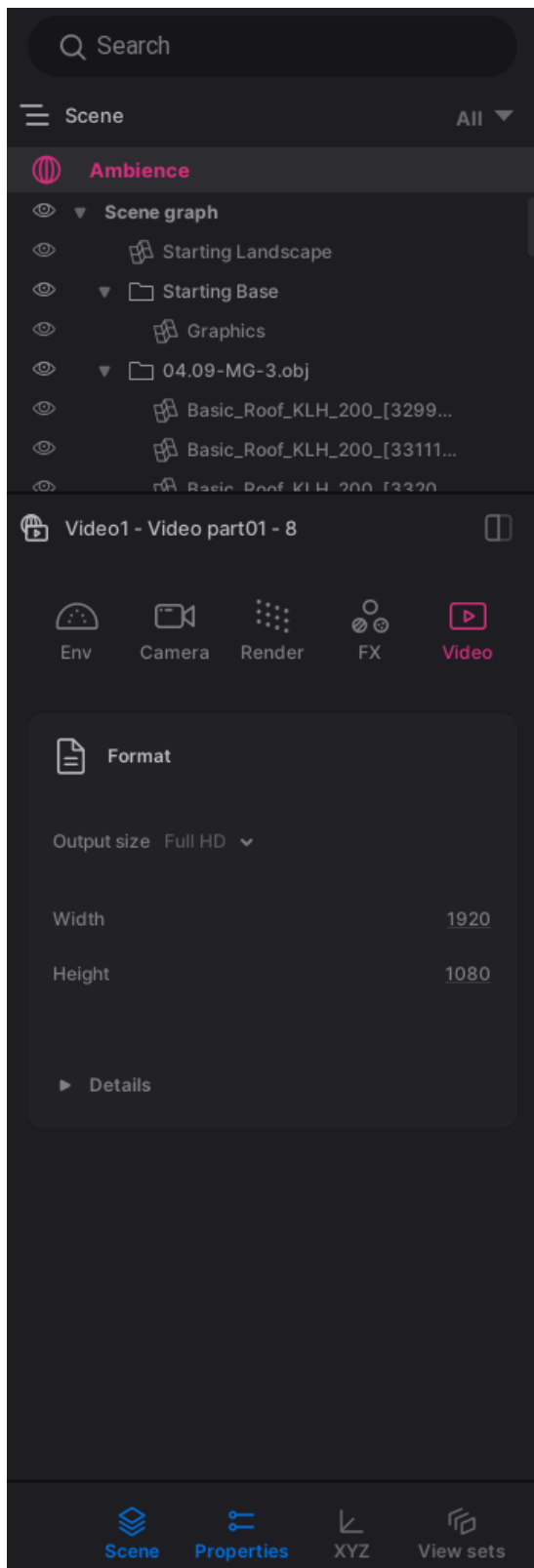


Abbildung 97: Kamera Einstellungen - Im Fenster neben der Scene

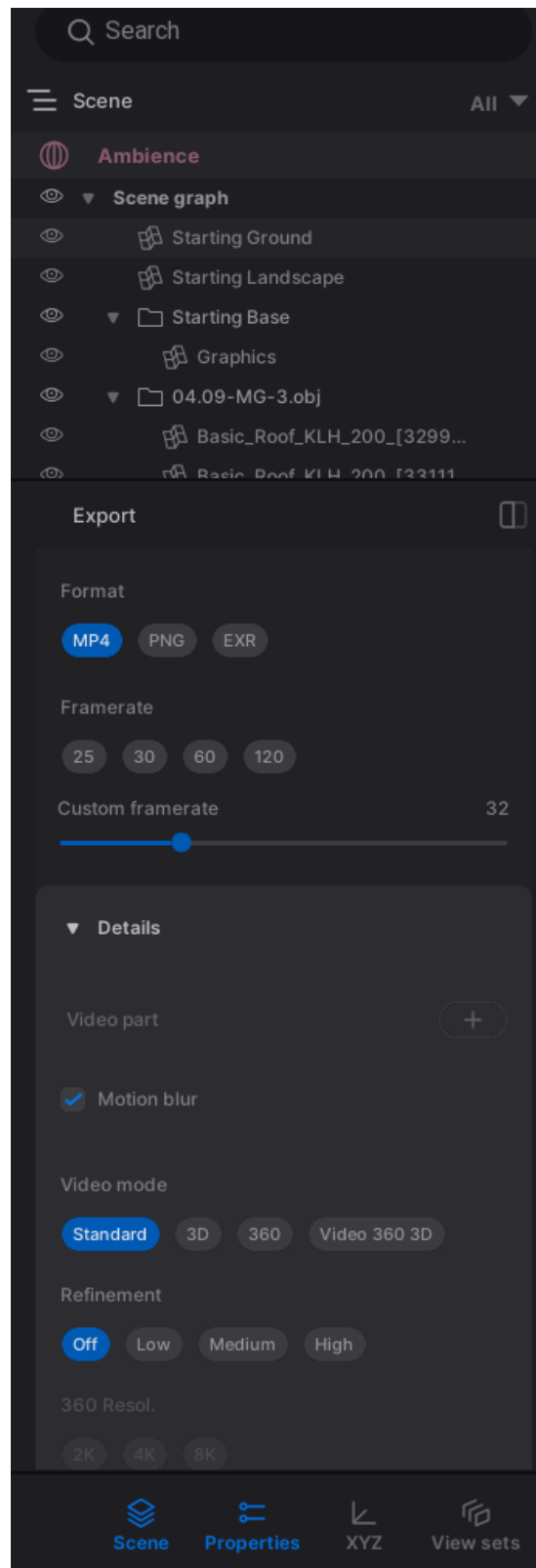
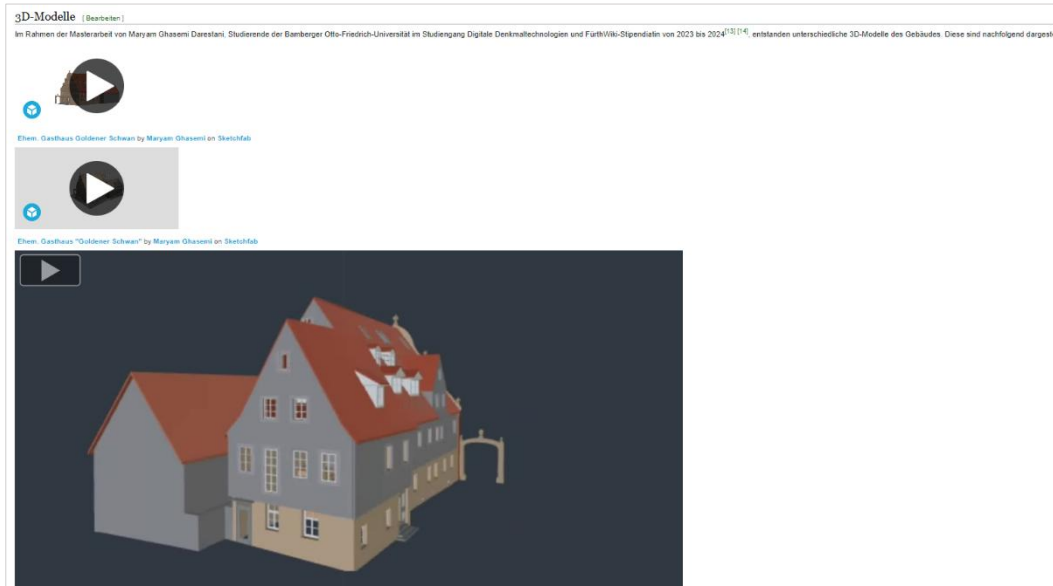


Abbildung 98: Export Einstellungen - Im Fenster neben der Scene

9.7 Die relevanten Links

- Link zu 3D-Modelle auf FürthWiki:

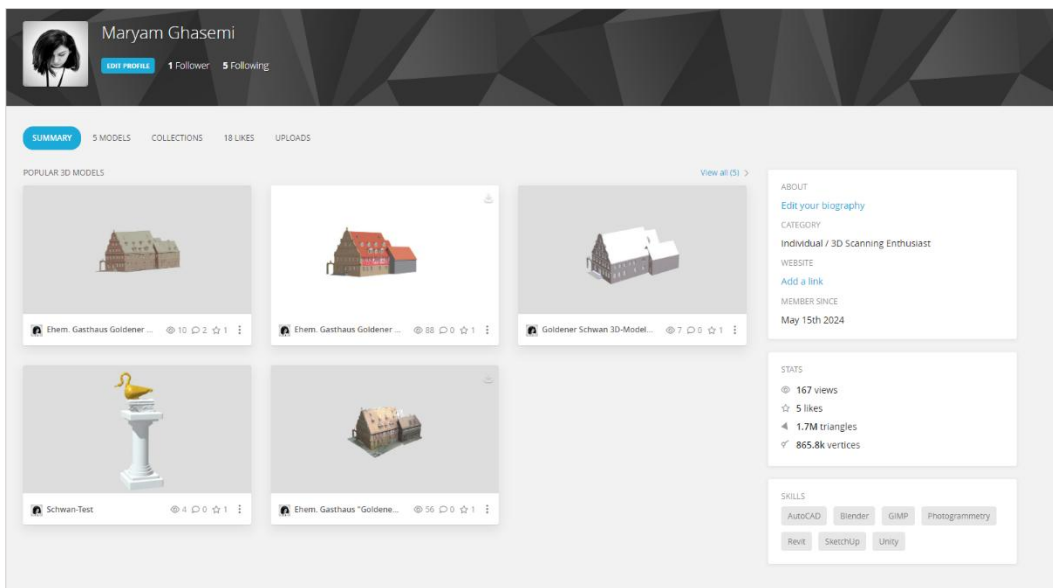
https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Zum_Goldenen_Schwan#3D-Modelle



- Link zu 3D-Modelle auf Sketchfab:

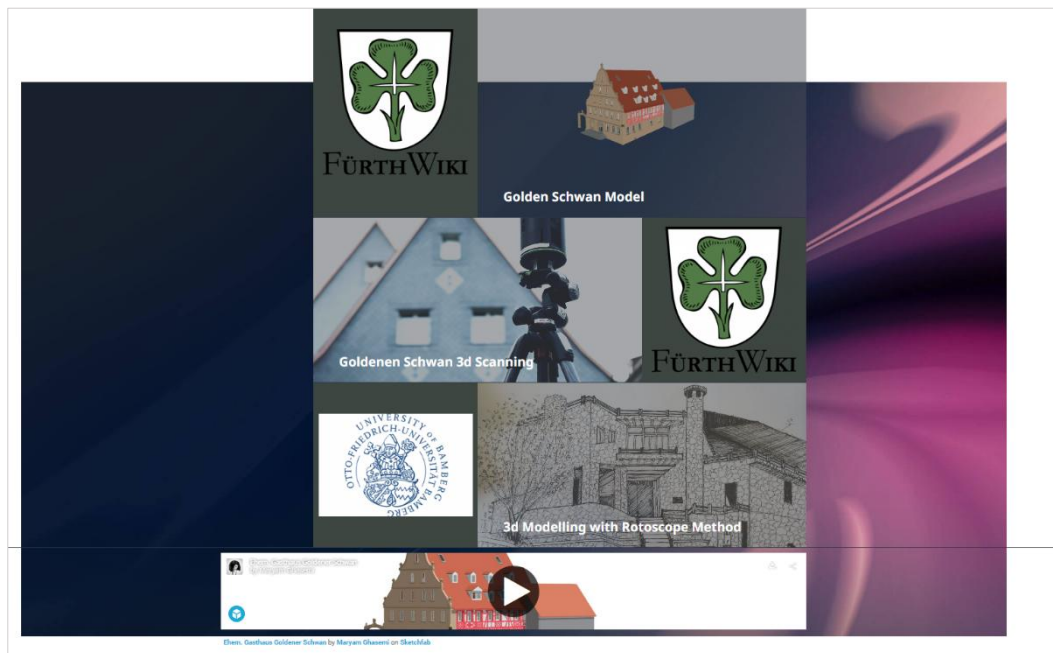
<https://skfb.ly/pqzpn>

<https://skfb.ly/pqDZK>



- Link zu MetaOrt:

<https://metaort.com/case-studies/>



- Zwischenpräsentation in FürthWiki

<https://verein.fuerthwiki.de/2024/05/23/mein-lieber-schwan/>

Mein lieber Schwan!
Publiziert am 23. Mai 2024 von Anja Wiegel

Kürzlich fand eine kleine Zwischenpräsentation unserer Stipendiatin *Maryam Ghasemi Darestani* statt, die derzeit ihre Masterarbeit zum Goldenen Schwan verfasst. Sie studiert Digitale Denkmaltechnologien an der Universität Bamberg und arbeitet daran, ein 3D-Modell des Gebäudes auf FürthWiki einzustellen. Die Spender*innen waren eingeladen und konnten so einen Eindruck bekommen, was genau mit ihrem Geld geschieht.

Es konnten bereits großartige Fortschritte bestaunt werden – das 3D-Modell ist schon vorhanden und bildet den Goldenen Schwan detailreich und verformungsgerecht ab. Nun geht es in die nächste Runde und viele technische Fragen müssen noch geklärt werden. Dafür haben wir in unserem Forschungscollegium qualifizierte Leute, die der Stipendiatin dabei helfen können. Auch aus München bekommen wir Unterstützung, denn das Projekt hat die Begeisterung des einschlägig fachkundigen *Maximilian Kristen* geweckt, der extra angereist war, um uns technische Tipps zu geben. Wir profitieren hier von unserer guten Vernetzung mit dem Team des WikMUC.



TV-Reportage der Medien PRAXIS
Lizenz: CC BY-SA 4.0

Gemeinsam wachsen
Unser Förderverein hat aktuell 129 Mitglieder. Informieren Sie sich:

- Kontakt
- Satzung
- Monatstreffen
- Aufnahmeantrag
- FürthWiki-Laden
- Handbibliothek

Rubriken

- Allgemeines
- Grundsatzfragen
- Internes
- Maschinenraum

Neueste Beiträge

- Übergabe des 1. FürthWiki-Stipendiums
- Sicherheit geht vor Gemütlichkeit
- Expedition ins Stadtarchiv
- Sammeln ist gut, Auffinden ist



- Übergabe des 1. FürthWiki-Stipendiums

<https://verein.fuerthwiki.de/2024/09/22/uebergabe-des-ersten-fuerthwiki-stipendiums/>



10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 10 Gründe für Open Access, Bild von https://open-access.network/en/information/subject-specific-open-access/media-studies	10
Abbildung 2: Open-Access-Logo der Public Library of Science	11
Abbildung 3: Fünf Gründe, Creative Commons zu nutzen, https://doi.org/10.5281/zenodo.4068291 , (CC BY 4.0 International), [19]	16
Abbildung 4: Goldener Schwan, Ansicht Marktplatz	40
Abbildung 5: Historische Ansicht: Der Goldene Schwan (ganz rechts im Bild) am Grünen Mark, Bild von [55].....	41
Abbildung 6: Marktplatz um 1980, rechts Goldener Schwan, Bild von Fürth Wiki Website, https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:Marktplatz_Straßenbahn.jpg - /media/Datei:Marktplatz_Straßenbahn.jpg	41
Abbildung 7: Blick von der Marktplatz, nach der Renovierung der Fassade, https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:20230514_Marktplatz_2.jpg - /media/Datei:20230514_Marktplatz_2.jpg	42

Abbildung 8: Blick von der Königstraße, nach der Renovierung der Fassade, Bild von Website FürthWiki, https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:Zum_Goldenen_Schwan_2020.jpg - /media/Datei:Zum_Goldenen_Schwan_2020.jpg	42
Abbildung 9: Original Wahrzeichen Goldene Schwan, vor der Renovierung, Bild von Website FürthWiki, https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:Goldener_Schwan_IMG_1757.jpg - /media/Datei:Goldener_Schwan_IMG_1757.jpg	43
Abbildung 10: Erstellung der originalgetreuen Kopie bei Schmiedewerkstatt Weber und Hermann, Bild von https://weberundhermann.de/goldener-schwan/	43
Abbildung 11: Enthüllung der Replik des Goldenen Schwans an der Gaststätte am Marktplatz, Nov. 2019, Bild von Website FürthWiki https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:Goldener_Schwan_Enthüllung_Nov_2019_2.jpg - /media/Datei:Goldener_Schwan_Enthüllung_Nov_2019_2.jpg	43
Abbildung 12: Das Gebäude am Marktplatz2 vor der Renovierung der Fassade, Bild von Website FürthWiki, https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:Goldener_Schwan.jpg - /media/Datei:Goldener_Schwan.jpg	44
Abbildung 13: Hermann-Weigmann-Gedenktafel, Bilder von Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, https://geoportal.bayern.de/denkmalatlas/searchResult.html?koid=78077&objtyp=bau&top=1	44
Abbildung 14: Tor zum Hof der ehemaligen Gaststätte Zum Goldenen Schwan, Mai 2023, Bild von Website FürthWiki, https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Datei:20230514_Marktplatz_2_Hoftor.jpg - /media/Datei:20230514_Marktplatz_2_Hoftor.jpg	44
Abbildung 15: Messprinzip TLS, Bild von Vorlesungsfolien „Digitale Objekterfassung“ von Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.....	49
Abbildung 16: Genauigkeit von 3D-Messverfahren, Bild von Vorlesungsfolien „Digitale Objekterfassung“ von Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.....	50
Abbildung 17: Impulslaufzeitverfahren, Messverfahren von Leica BLK 360; Bild von: https://www.laserscanning-europe.com/de/unsere-leistungenhardware/terrestrische-laserscanner	51

Abbildung 18: Messverfahren ToF (Impuls); Bild von Vorlesungsfolien „Digitale Objekterfassung“ von Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.	51
Abbildung 19: Laserscanner - Aufbau; Bild von Vorlesungsfolien „Digitale Objekterfassung“ von Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova.	52
Abbildung 20: Einstellungen der Scanner auf Cyclone Field	56
Abbildung 21: Kommunikationsfluss des Leica BLK360 Scanners mit Cyclone Software; Bild von https://grupoacre.com.pt/es/catalogo-productos/software-de-processamento-de-nuvens-leica-cyclone-field-360/	57
Abbildung 22: Aufnahme, Goldener Schwan Rückgebäude	59
Abbildung 23: Aufnahme, Goldener Schwan, Ansicht Königstrasse	59
Abbildung 24: Aufnahme, Marktplatz	59
Abbildung 25: Arbeitsschritte im Cyclone Register 360	60
Abbildung 26: Daten vom Scanner geladen	60
Abbildung 27: Visuelle Registrierung und Verbindung von Standpunkten aus zwei Gruppen	61
Abbildung 28: Ausreichende Überlappung von Scanflächen	61
Abbildung 29: Scan-Gruppen-Außenbereich	62
Abbildung 30: Verknüpfungsvorschläge in der Gruppe	62
Abbildung 31: Alle Sichtbare Verknüpfungsvorschläge	62
Abbildung 32: Punktwolke, Verlinkte Scannen	63
Abbildung 33: Punktwolke, Goldener Schwan	63
Abbildung 34: Eigenschaften der Registrierungsgruppe	63
Abbildung 35: Registrierungsbericht	64
Abbildung 36: Ausgewählte Export-Formate	64
Abbildung 37: Registrierung von Übersichtskarten der Außenbereiche	64
Abbildung 38: Aufnahme des engen Durchgangs im Hinterhof	66
Abbildung 39: Inakzeptable Dach-Punktwolke	66
Abbildung 40: Diagramm eines Building Information Modeling (BIM)-Workprozesses; Bild von https://doi.org/10.3390/heritage3010004)	69
Abbildung 41: Punktwolken, die im rcp-Format exportiert wurden	75
Abbildung 42: Import Scandaten in ReCap – Einstellung – mit Standardfilter	76
Abbildung 43: Import Scandaten in ReCap zur Registrierung	76
Abbildung 44: Struktur Delaunay-Triangulation 3D – Bild von: https://straypixels.net/delaunay-triangulation-terrain/	79

Abbildung 45: Struktur Delaunay-Triangulation 3D – Bild von: https://www.comp.nus.edu.sg/~tants/gdel3d.html	79
Abbildung 46: Grafische Darstellung der Poisson-Rekonstruktion in 2D - Bild von: https://www.cse.iitd.ac.in/~mcs112609/poission.pdf	79
Abbildung 47: Faro SCENE, Punktwolke in Clipping Box.....	80
Abbildung 48: Netze Eigenschaften.....	80
Abbildung 49: Einstellungsoption für die Maschennetzerstellung	81
Abbildung 50: Das generierte Mesh-Modell.....	81
Abbildung 51: Werkzeug Mesh Doctor – Geomagic Wrap.....	82
Abbildung 52: CloudCompare - Plugins > PissonRecon.....	83
Abbildung 53: CloudCompare – Einstellung Octree Depth.....	83
Abbildung 54: Meshes Einstellungen über SF Display Parameters.....	83
Abbildung 55: Werkzeug Filter by Value	84
Abbildung 56: Das generierte Mesh mit Texturen und RGB-Farben in CC.....	84
Abbildung 57: Copy Color-Daten als XML.....	84
Abbildung 58: Color-Daten als XLM in Visual Studio Text Editor	84
Abbildung 59: Blender – Shading - Versuch, die Textur in das Modell zu importieren	85
Abbildung 60: Blender Edit Modus - Unzählige Dreiecksnetze.....	85
Abbildung 61: Das Mesh-Model ohne Texturen in Blender.....	85
Abbildung 62: RealityCapture – Images Alignment.....	86
Abbildung 63: Mesh Model mit Textur- und Farbe-Informationen in RealityCapture	87
Abbildung 64: „Verdeckte Elemente Anzeigen“ – Revit Projekt Basis Punkt	89
Abbildung 65: Projekt Ebenen	90
Abbildung 66: Projektlage und Ausrichtungen	90
Abbildung 67: Basis Wand STB 300	91
Abbildung 68: Wand Profil Bearbeiten.....	91
Abbildung 69: Maschenmodell von Goldene Schwan, erstellt mit CloudCompare	95
Abbildung 70: Dach Referenzebene	100
Abbildung 71: Erstellung von Dach über Extrusion	100
Abbildung 72: Bearbeitung von Dach mit Werkzeug „Cut Geometrie“	100
Abbildung 73: Das modellierte Gebäude in Revit	100
Abbildung 74: Das modellierte Gebäude in Revit	100
Abbildung 75: Das Modell in Blender und die Verwendung von Werkzeugen in Blender zur Erstellung von Farben für Elemente.	101

Abbildung 76: Image Texture in Blender	101
Abbildung 77: Importierte Texture von BlenderKit	101
Abbildung 78: Reiter As-Built > Schnitt.....	103
Abbildung 79: Horizontalschnitt auf Punktwolke, Höhe ca. 3,9 m	103
Abbildung 80: Neue BKS mit Namens MG – und die Nord-Ausrichtung in Projekt.....	103
Abbildung 81: Fenster Layer Eigenschaften	104
Abbildung 82: Zeichnung auf Punktwolke in 3D-Ansicht.....	104
Abbildung 83:Erstellung von Motion in Blender von Revit-Model	105
Abbildung 84: Gerendertes Mesh-Modell in Blender – exportiertes Bild im PNG-Format	105
Abbildung 85: Erstellung von Motion in Twinmotion von Revit-Model	106
Abbildung 86: Support-Software und Lizenz von FürthWiki.....	107
Abbildung 87: Embed Viewer auf Sketchfab	108
Abbildung 88: Bearbeitung de Artikel "Zum Goldener Schwan" und Einbettung die Modelle auf FürthWiki.....	109
Abbildung 89: Abschnitt “3D-Modelle” in Artikel „Zum Goldenen Schwan“ auf FürthWiki	109
Abbildung 90: Sichtbarkeit und Lizenzen Einstellungen.....	111
Abbildung 91: Auswahl von Lizenz.....	111
Abbildung 92: Model auf Website MetaOrt	113
Abbildung 93: Verlinkte Model von Sketchfab auf MetaOrt	113
Abbildung 94: Gerenderte Mesh-Model aus Blender	125
Abbildung 95: Gerenderte Revit-Model aus Blender	125
Abbildung 96: Gerenderte Revit-Model aus Twinmotion	125
Abbildung 97: Kamera Einstellungen - Im Fenster neben der Scene	126
Abbildung 98: Export Einstellungen - Im Fenster neben der Scene	126

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Creative-Commons-Lizenzen, aus Vorlesungsvertrag Digitale Archivierung, Dr. John Hindmarch	16
Tabelle 2: Laserscanner Aufstellungsorte, Anzahl und Datum.....	54
Tabelle 3: Einstellungen der Scanner auf Cyclone Field	56
Tabelle 4: Export-Dateien Formate.....	65
Tabelle 5: Eingesetzte Software für den Scan-to-H-BIM-Prozess.....	72

Tabelle 6: Modellierung Strategie und LOD von Fassadendekoration.....	92
Tabelle 7: Modellierung Strategie und LOD von Kugel in Dekoration.....	92
Tabelle 8: Modellierung Strategie und LOD von Wand Sweep	93
Tabelle 9: Modellierung Strategie und LOD von Fachwerk Struktur.....	94
Tabelle 10: Modellierung Strategie und LOD von Goldene Schwan Symbol.....	95
Tabelle 11: Modellierung Strategie und LOD von Eingang zum Hinterhof.....	96
Tabelle 12: Modellierung Strategie und LOD von Fenster und Fensterbank	96
Tabelle 13: Modellierung Strategie und LOD von in Nordost und Südost Fassade	97
Tabelle 14: Modellierung Strategie und LOD von Türen	97
Tabelle 15: Modellierung Strategie und LOD von Nordost- und Südost-Fassade im Obergeschoss.....	98
Tabelle 16: Modellierung Strategie und LOD von Innenbereich – Treppen	98
Tabelle 17: Modellierung Strategie und LOD von Gauben	99

12 Flowchart-Verzeichnis

Flowchart 1: Projektphasen – Scan to Publication.....	72
Flowchart 2: Ablaufdiagramm „von Objekt bis zu Model auf Online-Plattformen“	74
Flowchart 3: Publikation auf Online-Plattformen	107

13 Literaturverzeichnis

1. Hess M, Schlieder C, Schnier V, Troi A, Huth O (2021) M.Sc. in Digital Technologies in Heritage Conservation. Sustainable mission for education in heritage. IOP Conf Ser: Earth Environ Sci 863:012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/863/1/012035>
2. FürthWiki (2024) FürthWiki - Hauptseite. <https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Hauptseite>. Accessed 21 Jul 2024
3. Wikipedia (2024) FürthWiki. Wikipedia
4. UNESCO (2021) UNESCO Science Report: the Race Against Time for Smarter Development. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
5. Open Access Network (2021) UNESCO Science Report 2021: The Time for Open Science is Now. <https://open-access.network/services/news/artikel/unesco-science-report-2021-the-time-for-open-science-is-now>. Accessed 18 Jul 2024
6. Wikipedia (2024) History of open access. Wikipedia
7. Heise C, Pearce JM (2020) From Open Access to Open Science: The Path From Scientific Reality to Open Scientific Communication. Sage Open 10:2158244020915900. <https://doi.org/10.1177/2158244020915900>
8. Bertzky M, Stoll-Kleemann S (2009) Multi-level discrepancies with sharing data on protected areas: What we have and what we need for the global village. Journal of Environmental Management 90:8–24. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.11.001>
9. KALAY YE (2007) INTRODUCTION: Preserving cultural heritage through digital media. In: New Heritage. Routledge
10. Wikipedia (2024) Open access. Wikipedia
11. Wikipedia (2024) Open Access. Wikipedia
12. Wikipedia (2024) arXiv. Wikipedia
13. Open Access Network (2024) History of the Open Access Movement. <https://open-access.network/en/information/open-access-primers/history-of-the-open-access-movement>. Accessed 19 Jul 2024
14. UNESCO (2024) Open Access | UNESCO. <https://www.unesco.org/en/open-access>. Accessed 18 Jul 2024
15. BERLINER ERKLÄRUNG (2003) Berliner Erklärung. <https://openaccess.mpg.de/Berliner-Erklaerung>. Accessed 19 Jul 2024
16. Suber P (2012) Open Access. The MIT Press
17. Open Knowledge Foundation (2024) What is open? <https://okfn.org>. Accessed 19 Jul 2024

18. Open Definition (2024) Open Definition 2.1 - Open Definition - Defining Open in Open Data, Open Content and Open Knowledge. <https://opendefinition.org/od/2.1/en/>. Accessed 19 Jul 2024
19. Open Access Network (2024) Open Access Licences. <https://open-access.network/en/information/legal-issues/licences>. Accessed 19 Jul 2024
20. Creative Common (2024) Licenses List - Creative Commons. <https://creativecommons.org/licenses/>. Accessed 19 Jul 2024
21. Creative Common (2024) 5.1 Open Culture: Open Access to Cultural Heritage | Creative Commons Certificate for Educators, Academic Librarians, and Open Culture. <https://certificates.creativecommons.org/cccertedu/chapter/5-1-open-glam-open-access-to-cultural-heritage/>. Accessed 19 Jul 2024
22. Arendt A (2022) How to Commit a Legal Rip-off: Creative Commons. Anne M Arendt
23. UNESCO OER Dynamic Coalition (2023) Open Solutions: A lever to achieve access to information and knowledge | UNESCO
24. UNESCO CHARTA (2003) Charter on the Preservation of Digital Heritage - Legal Affairs. <https://www.unesco.org/en/legal-affairs/charter-preservation-digital-heritage>. Accessed 21 Jul 2024
25. Habel H, Glasow G, Lübbecke HW (1994) Denkmäler in Bayern. 61: 5, Mittelfranken, Kreisfreie Städte: Kreisfreie Städte und Landkreise in Bayern Stadt Fürth / Heinrich Habel. Unter Mitarb. von Hans-Wolfram Lübbecke... Aufnahmen von Gertrud Glasow. Lipp, München
26. FürthWiki (2024) Fürth – FürthWiki. In: Fürth. https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php?title=F%C3%BCrth&mobileaction=toggle_view_desktop. Accessed 21 Jul 2024
27. FürthWiki (2024) Zweiter Weltkrieg – FürthWiki. In: Zweiter Weltkrieg. https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Zweiter_Weltkrieg. Accessed 21 Jul 2024
28. FürthWiki (2024) FürthWiki:Über FürthWiki – FürthWiki. https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/F%C3%BCrthWiki:%C3%9Cber_F%C3%BCrthWiki. Accessed 21 Jul 2024
29. MediaWiki (2024) Die Unterschiede zwischen Wikipedia, Wikimedia, MediaWiki und einem Wiki. In: MediaWiki. https://www.mediawiki.org/wiki/Differences_between_Wikipedia,_Wikimedia,_MediaWiki,_and_wiki/de. Accessed 21 Jul 2024
30. Wikimedia Foundation (2024) Wikimedia Foundation | Home Page. In: Wikimedia Foundation. <https://wikimediafoundation.org/>. Accessed 21 Jul 2024
31. Wikimedia Commons (2024) Commons:Welcome - Wikimedia Commons. In: Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/Commons:Welcome>. Accessed 21 Jul 2024

32. Wikipedia (2024) Hypertext. Wikipedia
33. Semantic MediaWiki (2024) Semantic MediaWiki - semantic-mediawiki.org. In: Semantic MediaWiki. https://www.semantic-mediawiki.org/wiki/Semantic_MediaWiki/de. Accessed 21 Jul 2024
34. Scopigno R, Callieri M, Dellepiane M, Ponchio F, Potenziani M (2017) Delivering and using 3D models on the web: are we ready? *Virtual Archaeology Review* 8:1–9. <https://doi.org/10.4995/var.2017.6405>
35. Sketchfab (2024) About Us. In: Sketchfab. <https://sketchfab.com/about>. Accessed 21 Jul 2024
36. Korkmaz M (2023) The Leading 3D Model Platforms: A Comparative Analysis. In: Daminion Blog. <https://daminion.net/articles/tips/the-leading-3d-model-platforms/>. Accessed 21 Jul 2024
37. KOMPAKKT (2024) Kompakkt – 'cause the world is multidimensional. <https://kompakkt.de/home?locale=en>. Accessed 21 Jul 2024
38. Google Arts & Culture (2024) About Google Cultural Institute. <https://about.artsandculture.google.com/>. Accessed 21 Jul 2024
39. King D (2012) Digital content demand rising as more Americans use mobile devices. In: Brafton. <https://www.brafton.com/blog/news/content-demand-rising-as-more-americans-use-mobile-devices/>. Accessed 21 Jul 2024
40. Messaoudi T, Manuel A, Gattet E, De Luca L, Veron P (2014) Laying the foundations for an information system dedicated to heritage building degradation monitoring based on the 2D/3D semantic annotation of photographs. In: EUROGRAPHICS Workshops on Graphics and Cultural Heritage. eurographics, Darmstadt, Germany, pp 1–4
41. Wikipedia (2024) Wikimedia Foundation. Wikipedia
42. Heracleous L, Gößwein J, Beaudette P (2018) Open Strategy-Making at the Wikimedia Foundation: A Dialogic Perspective. *The Journal of Applied Behavioral Science* 54:5–35. <https://doi.org/10.1177/0021886317712665>
43. Peplinski J, Velis E, Pearce JM (2022) Towards open source patents: Semi-automated open hardware certification from MediaWiki websites. *World Patent Information* 71:102150. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2022.102150>
44. Wikipedia (2024) MediaWiki. Wikipedia
45. Bollier D, Helfrich S (2015) Patterns of Commoning. Commons Strategy Group and Off the Common Press
46. Wikipedia (2024) Commons. Wikipedia
47. Dulong de Rosnay M, Stalder F (2020) Digital commons. *Internet Policy Review* 9:15 p. <https://doi.org/10.14763/2020.4.1530>

48. Wikimedia Commons (2024) Hauptseite - Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/Hauptseite>. Accessed 22 Jul 2024
49. Wikipedia (2024) Free license. Wikipedia
50. Kelly E (2019) Assessing Impact of Medium-Sized Institution Digital Cultural Heritage on Wikimedia Projects. *Journal of Contemporary Archival Studies* 6:
51. Danesh MM, Rajabi A (2022) Importance of Digital Techniques of Documentation for the Conservation of Cultural Heritage. In: Versaci A, Bougdah H, Akagawa N, Cavalagli N (eds) *Conservation of Architectural Heritage*. Springer International Publishing, Cham, pp 415–425
52. Versaci A, Bougdah H, Akagawa N, Cavalagli N (2022) *Conservation of architectural heritage*, Second edition. Springer Nature, Cham, Switzerland
53. Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (2024) Ehem. Gasthaus (Goldener Schwan). <https://geoportal.bayern.de/denkmalatlas/searchResult.html?koid=78077&objtyp=bau&top=1>. Accessed 18 Jul 2024
54. FürthWiki (2024) Zum Goldenen Schwan – FürthWiki. https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Zum_Goldenen_Schwan. Accessed 23 Jul 2024
55. Stadtarchiv Fürth (2024) Stadtarchiv Fürth. https://stadtarchiv-fuerth.f Faust-iser-ver.de/objekt_start.fau?prj=fuerth&dm=Stadtarchiv&ref=1719. Accessed 24 Jul 2024
56. Weber und Hermann Werkstatt (2024) Goldener Schwan, Fürth – Weber und Hermann Metallgestaltung. <https://weberundhermann.de/goldener-schwan/>. Accessed 24 Jul 2024
57. Bedal K (2014) *Fachwerkkunst in Franken 1600 - 1750: eine Bestandsaufnahme ; mit Nachträgen zu Fachwerk vor 1600 in Franken*. Verl. Fränkisches Freilandmuseum, Bad Windsheim
58. Banfi F (2019) The integration of a scan-To-hbim process in bim application: The development of an add-in to guide users in autodesk revit. <https://doi.org/10.5194/isprs-Archives-XLII-2-W11-141-2019>
59. Rocha G, Mateus L, Fernández J, Ferreira V (2020) A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings. *Heritage* 3:47–67. <https://doi.org/10.3390/heritage3010004>
60. Macher H, Landes T, Grussenmeyer P (2017) From Point Clouds to Building Information Models: 3D Semi-Automatic Reconstruction of Indoors of Existing Buildings. *Applied Sciences* 7:1030. <https://doi.org/10.3390/app7101030>
61. Laserscanning-Europe (2024) Terrestrische Laserscanner | Laserscanning Europe. <https://www.laserscanning-europe.com/de/unsere-leistungenhardware/terrestrische-laserscanner>. Accessed 26 Jul 2024

62. Holst C (2019) Terrestrisches Laserscanning 2019: Von großen Chancen, großen Herausforderungen und großen Radioteleskopen. *ZfV - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*. <https://doi.org/10.12902/zfv-0256-2019>
63. Leica Geosystem (2024) Leica BLK360 Imaging Laser Scanner. <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360>. Accessed 26 Jul 2024
64. Leica Geosystem (2024) Leica Cyclone FIELD 360. <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-field-360>. Accessed 29 Jul 2024
65. Leica Geosystem Shop (2024) Leica Cyclone REGISTER 360 PLUS (BLK Edition). <https://shop.leica-geosystems.com/de/de-DE/leica-blk/software/leica-cyclone-register-360-plus-blk-edition/buy>. Accessed 29 Jul 2024
66. Murphy M, McGovern E, Pavia S (2013) Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 76:89–102. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006>
67. Autodesk (2024) Autodesk ReCap Pro-Software | Preise ansehen und offizielle Version von ReCap Pro 2025 kaufen. <https://www.autodesk.com/de/products/recap/overview>. Accessed 16 Aug 2024
68. Kersten T, Sternberg H, Mechelke K, Lindstaedt M (2008) Datenfluss im terrestrischen Laserscanning - Von der Datenerfassung bis zur Visualisierung
69. Albertz J, Wiggenhagen M (2009) Taschenbuch zur Photogrammetrie und Fernerkundung, 5., völlig neu bearbeitete und erweiterte Aufl. Wichmann, Heidelberg
70. FARO (2023) Benutzerhandbuch für SCENE. In: FARO. <https://downloads.faro.com/index.php/s/mZHJSJqj6JLzok4>. Accessed 18 Aug 2024
71. Stallmann D, Kersten T (2012) Automatisches Texture Mapping von 3D-Modellen in Architektur und Archäologie
72. Mark de Berg, Otfried Cheong, Marc van Kreveld, Mark Overmars (2008) Computational Geometry. In: *Computational Geometry: Algorithms and Applications*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 1–17
73. Wikipedia (2024) Computational geometry. Wikipedia
74. Weisstein EW (2024) Delaunay Triangulation. <https://mathworld.wolfram.com/>. Accessed 16 Sep 2024
75. Stray Pixels (2024) Delaunay Triangulation for Terrain Generation in Unity. In: Stray Pixels. <https://straypixels.net/delaunay-triangulation-terrain/>. Accessed 16 Sep 2024
76. Michael Kazhdan, Hugues Hoppe (2013) Screened poisson surface reconstruction. *ACM Trans Graph* 32:29:1-29:13. <https://doi.org/10.1145/2487228.2487237>

77. 3dsystems (2024) What is the Mesh Doctor. https://support.3dsystems.com/s/article/What-is-the-Mesh-Doctor?language=en_US. Accessed 19 Aug 2024
78. CloudCompare (2024) CloudCompare - Open Source project. In: CloudCompare. <https://www.cloudcompare.org/>. Accessed 20 Aug 2024
79. CloudCompare Wiki (2024) Scalar fields\Color Scales Manager - CloudCompareWiki. https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Scalar_fields%5CColor_Scales_Manager. Accessed 21 Aug 2024
80. RealityCapture (2024) RealityCapture - Photogrammetry Software. <https://www.capturingreality.com/realitycapture>. Accessed 21 Aug 2024
81. Autodesk (2024) Autodesk Revit | Get Prices & Buy Official Revit Software. <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>. Accessed 5 Sep 2024
82. Autodesk (2024) Levels of Development (LOD) in BIM | Autodesk. <https://www.autodesk.com/solutions/bim-levels-of-development>. Accessed 5 Sep 2024