

Angewandte Computer- und Biowissenschaften

Professur Medieninformatik

Masterarbeit

Erstellung und Evaluierung eines Systems zur Erstellung digitaler Gebäudemodelle mit bildlichen Charakteristika historischer Vorlagen.

Roman Schulz

Mittweida, den 15.03.2023

Erstprüfer: Prof. Dr. Marc Ritter

Zweitprüfer: Dipl.-Inf. Robert Manthey

Schulz, Roman

Erstellung und Evaluierung eines Systems zur Erstellung digitaler Gebäudemodelle mit bildlichen Charakteristika historischer Vorlagen.

Masterarbeit, Angewandte Computer- und Biowissenschaften

Hochschule Mittweida– University of Applied Sciences, Mai 2023

Name: Schulz, Roman

Studiengang: Medieninformatik und Interaktives Entertainment

Seminargruppe: MI19w1-M

English Title: Development and evaluation of a system for the creation of digital building models with visual features of historical templates.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
2	Grundlagen	5
2.1	3D-Rekonstruktion	5
2.1.1	Klassifikation der Methoden	6
2.1.2	Photogrammetrie	9
2.1.3	Prozessverlauf der Photogrammetrie	11
2.2	Stiltransfer	14
2.2.1	Entwicklung der Stiltransfer-Methoden	15
2.2.2	Ansatz und Funktion des neuronalen Stiltransfers	17
2.2.3	Funktion und Architektur des Convolutional Neural Network	19
2.3	3D-Stilübertragung	23
2.3.1	Repräsentationsformen und Einsatzgebiete	24
3	Ansatz und Implementierung	29
3.1	Anforderungen und problemorientierte Zielsetzung	29
3.1.1	Wahl des Arbeitsverlaufes	32
3.1.2	Richtlinien und Faktoren der Aufnahme	36
3.1.3	Softwareinsatz und Daten	40
4	Evaluation	47
4.1	Visueller Vergleich	47
5	Zusammenfassung	73
	Literaturverzeichnis	V

A Anhang	XI
A.1 Analysedokumente	XI
A.2 Konzeptionsdokumente	XIV

1 Einleitung und Motivation

Für Visualisierungszwecke sind digitale dreidimensionale (3D) Modelle ein wichtiger Aspekt in einer Vielzahl von Bereichen. Insbesondere die Nachbildung der Form und des Aussehens realer Objekte, auch 3D-Rekonstruktionen genannt, ist ein weit verbreitetes Verfahren. Unter anderem werden 3D-Rekonstruktionen für die digitale Konservierung von Kunstgegenständen und historischen Stätten, für Produktvisualisierungen und interaktive Produktkonfiguratoren, für den Einsatz in Animationen oder Spielwelten als auch in der Architektur und im Bauwesen eingesetzt. Einschließlich, aber nicht beschränkt auf diese Bereiche, besteht ein Bedarf an realitätsnahen und bearbeitbaren 3D-Rekonstruktionen von diversen Objekten, sowie die Möglichkeit an den jeweiligen 3D-Rekonstruktionen stilistische Änderungen vorzunehmen, idealerweise in einer flexibel austauschbaren, beispielbasierten, und automatisierten Weise. Spezifische Beispiele sind dabei: die Prototypenentwicklung von Produkten, die Erstellung historischer Gegebenheiten aus Bild-Referenzen oder bei der künstlerischen Erforschung.

Gewünschte stilistische Änderungen sind an rekonstruierten 3D-Objekten, je nach Art der Änderung und der verwendeten Software unterschiedlich, werden aber oft mit Modellierungsmethoden von einem Nutzer aktiv durchgeführt. Dabei gibt es viele möglichen Probleme, wie Verzerrungen, Detailverlust und hohen Zeit- und Arbeitsaufwand, der bei komplexeren und hochauflösenden Modellen und bei umfangreichen Änderungen viel erheblicher wird. Besonders für Bereiche, die auf die schnelle verschiedene Stilrichtungen ausprobieren wollen, ist eine direkte Bearbeitung oft nicht praktikabel. Zum anderen ist ein gezielter, beispielbasierter Stilwechsel an einem realistischen Rekonstruktionsmodell eine Aufgabe, die wohl lange Erfahrung und handwerkliches Geschick erfordert. [BBL+16]

Auch die 3D-Rekonstruktion selbst ist ein Prozess, der mit verschiedenen Herausforderungen verbunden ist. Zum einen kann eine realistische Rekonstruktion mit Kosten- und Zeitaufwand, Ausrüstungsbedarf sowie Nachbearbeitungsaufwand verbunden sein, die mit der Komplexität und Größe des zu rekonstruierenden Ob-

jekts zunehmen. Andererseits erfordern technische Verfahren in der Regel tiefgreifende Kenntnisse, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Andererseits sind bildbasierte Rekonstruktionen, insbesondere photogrammetrische Verfahren, derzeit eine der effizientesten Möglichkeiten, realistische 3D-Rekonstruktionen zu erzeugen. Die Photogrammetrie lässt sich größtenteils in klar definierten Schritten beschreiben, mit einem hohen Automatisierungsgrad bei der Verarbeitung der Daten, sodass zu erwarten ist, dass eine systematische Umsetzung realistische und konsistente Ergebnisse liefern sollte. Neben der 3D-Rekonstruktion sind auch 2D-Bilder verfügbar. [Rah21]

Parallel dazu zeigen junge Fortschritte im Bereich des maschinellen Lernens, besonders bei *tiefen neuronalen Netzwerken (Deep Neural Networks)*, in Bilddaten, eine sehr hohe Qualität in der Unterscheidung zwischen Stil und Inhalt. Die Übertragung der Stileigenschaften eines Bildes auf ein anderes kann automatisch in visuell ansprechenden Ergebnissen durchgeführt werden. [GEB15]

Aufgrund der datenspezifischen Eigenschaften, zum einen durch die Bilddaten der Aufnahme und zum anderen durch die leistungsfähigen Stilübertragungen der Deep-Learning-Methoden, auch Neural Style Transfer (NST) genannt, die auf diese Bilddaten angewendet werden können, wird ein Mehrwert aufgezeigt. Eine angegangene Überlegung ist, dass die Aufnahmebilder der Rekonstruktion als Träger eines Stils verwendet werden können, wobei der Stil automatisch auf den Datensatz angewandt und mit unterschiedlichen Mitteln auf die Geometrie übertragen wird. Diese Kombination verschiedener Bereiche, Methoden und Datenstrukturen mag es möglicherweise schwer, exakt Untersuchungen vorzunehmen, da sehr viele Faktoren, diese Methoden der Photogrammetrie und des Stiltransfers allgemein beeinflussen. Die Methoden der Photogrammetrie, der Stilwahrnehmung sowie auch der Deep Learning Architekturen sind in einer rasanten Entwicklung, und haben höchstwahrscheinlich auch heute noch eine Reihe von möglichen Nischen für Problemlösungen zu besetzen.

Darüber hinaus kann der Prozess der digitalen Rekonstruktion, insbesondere bei großen Objekten, sehr komplex erscheinen. Die Komplexität der Ausführung stellt oft eine Barriere für Nicht-Experten dar. Eine möglichst automatisierte Ausführung mit standardmäßigen Kameras an Gebäuden soll diese Barrieren abbauen. Die Anwendung photogrammetrischer Methoden kann zeit- und rechenintensiv sein, und es kann an professioneller Ausrüstung mangeln. Die Automatisierung des Prozesses

kann die Abläufe vereinfachen und die Genauigkeit der Ergebnisse erhöhen, um den damit verbundenen Zeit- und Kostenaufwand zu kompensieren.

Ein automatisiertes und effizientes Verfahren für die 3D-Rekonstruktion von großen und komplexen Objekten, mit einem System zur indirekten neuronalen Stilübertragung, kann potenziell Anwendung in verschiedenen Bereichen finden, sowie verschiedene Probleme anzielen. Beispielsweise, um in kurzer Zeit verschiedene Stilisierungen von beliebigen Realobjekten für testweise Visualisierungen zu erhalten.

Ein praktisches Problem ist die Rekonstruktion von realen Gebäuden, deren digitale Nachbildungen in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt werden können. Bei historischen Gebäuden erfordert die Erstellung dieser digitalen Rekonstruktionen jedoch in der Regel erhebliche Investitionen, wie in Personalzeit, Vermessungs- und Bearbeitungsarbeiten. Nach einer Rekonstruktion kann es erforderlich sein, den Stil des digitalen Modells zu Bildungs-, Denkmalschutz- oder anderen Zwecken in ein älteres Aussehen zu verwandeln, was mit historischem Bildmaterial als Referenz durchgeführt wurde, aber auch dies erfordert Aufwand und Zeit. Am Beispiel historisch relevanter Gebäude in Mittweida werden diese Methoden der Rekonstruktion und der automatischen, bildbasierten Stilveränderung u.a. auf ihre Genauigkeit und mögliche Effizienz hin untersucht.

Der Prozess der digitalen Rekonstruktion, vor allem bei großen Objekten, kann sehr komplex erscheinen, auch bei unkonventionellem Einsatz von Algorithmen. Für Nicht-Experten besteht oft eine Barriere aufgrund der Komplexität der Durchführung. Die automatisierte Durchführung mit standardmäßigem Equipment, sowie auch der effizient eingesetzte Stiltransfer, soll diese Barrieren reduzieren.

Der Einsatz photogrammetrischer Methoden kann zeit- und rechenintensiv sein, und es mag an professioneller Ausrüstung fehlen. Die Automatisierung des Prozesses kann die Prozesse erleichtern und Genauigkeit der Ergebnisse erhöhen, um den damit verbundenen Zeit- und Kostenaufwand entgegenzukommen.

2 Grundlagen

Dieser Abschnitt befasst sich mit den kontextbezogenen Aspekten dieser Arbeit. Die Grundlagen der Problemstellung sind in der Reihenfolge des praktischen Ablaufes skizziert. Zunächst wird die Erzeugung von 3D-Rekonstruktionen in den Kontext gestellt, mit besonderem Augenmerk auf eingesetzte Methoden der bildbasierten Rekonstruktion. Anschließend erfolgt ein Überblick über die Architektur der neuronalen Stilübertragung, mit einem Einblick in die Anfänge, sowie in die Architektur.

2.1 3D-Rekonstruktion

Die 3D-Rekonstruktion bezieht sich auf die Erfassung und Wiederherstellung der Form und des Aussehens eines beliebigen Objektes oder einer beliebigen Szene anhand von Tiefen- und Farbinformationen. Allgemein formuliert, werden darunter Methoden und Arbeitsprozesse verstanden, die in der Regel eine digitale Nachbildung realer Objekte erzielen. [GRS14]

Dieser Prozess sondert sich von anderen 3D-Modellierungsmethoden dadurch ab, dass von vorhandenen physischen Objekten ausgegangen wird. Daraus gewinnt der Nutzer einen Satz von 3D-Daten, aus denen in mehreren Schritten ein digitales Modell erstellt wird, welches für verschiedene Zwecke genutzt, umgestaltet oder archiviert werden können. [BB19]

Heutzutage ist die 3D-Rekonstruktion ein breites Forschungsgebiet, bei denen sich die Methoden und Arbeitsabläufe im Einsatzgebiet unterscheiden, um die jeweiligen Anforderungen zu erfüllen. Allgemein wird dies mithilfe von Bildern oder aktiven Sensoren (wie Laserscanner oder strukturierte Lichtprojektoren) durchgeführt, welche nach projektspezifischen Eigenschaften, unter anderem die Art der Objektoberfläche, erforderliche Modellgenauigkeit, Maß- und Lage des Objektes und verfügbarem Budget. [RM09]

Diese Methoden finden Verwendung in vielen Bereichen, unter anderem in Filmen,

Videospielen, Kunstwerken, medizinischer Bildgebung, für die 3D-Kartierung sowie auch für die Erhaltung von Denkmälern und archäologischen Funden. Der zuletzt aufgeführte Anwendungsbereich ist besonders anspruchsvoll, für den Einsatz mit der 3D-Rekonstruktion. Zurückzuführen lässt sich dies auf die potenziell hohen Unterschiede zwischen relevanten Objekten und Stätten der Kulturerben, verknüpft mit der zentralen Anforderung, eine möglichst hohe Originaltreue und Auflösung in der 3D-Rekonstruktion zu erzielen. [BB19, GRS14]

Der üblicherweise bildbasierte Ansatz, die Anforderungen an die Genauigkeit und Flexibilität, sowie auch die physischen Ähnlichkeiten zwischen Kulturerbe und Architektur sind relevante Schnittpunkte zur vorliegenden Arbeit, sodass dieser Forschungsbereich folgend als vorrangiger Kontext dient.

2.1.1 Klassifikation der Methoden

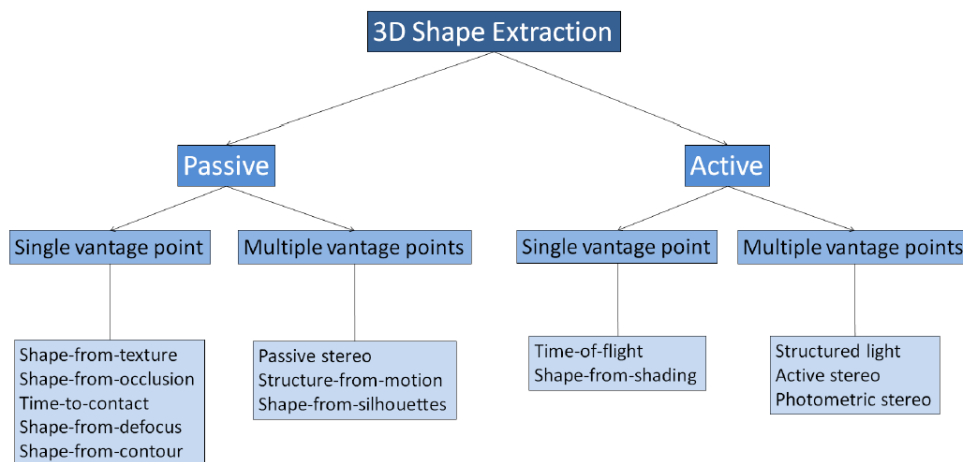


Abbildung 2.1: Klassifizierung von grundlegenden bildbasierten Methoden zur Erfassung von Informationen über 3D-Formen. [MVG09]

Übergeordnet betrachtet variieren Methoden der 3D-Rekonstruktion in diversen Weisen, grundsätzlich lässt sich jedoch eine Unterscheidung zwischen sogenannten aktiven- und passiven Methoden treffen, wie in Abbildung 2.1 aufgeführt. Bei *aktiven Methoden* werden die Leuchtmittel speziell gesteuert, um die 3D-Informationen zu erhalten. Die aktive Beleuchtung umfasst eine Form der zeitlichen oder räumlichen Modulation, beispielsweise bei einem projiziertem Muster oder einer Laserquelle. *Passive Methoden* hingegen geben keine Beleuchtung aus, sondern arbeiten in der

Regel mit dem verfügbaren Umgebungslicht, wie etwa bei mit dem Einsatz einer Kamera. [MVG09]

Eine weitere Untergliederung aktiver und passiver Methoden kann in Methoden mit einem Blickpunkt, und in mit Methoden mit mehreren Blickpunkten erfolgen, in Abbildung 2.1 ist dies gekennzeichnet als *Single vantage point* und *Multiple vantage point*. Diese klassifizieren die Anzahl der verwendeten Blickpunkte des eingesetzten Aufnahmegerätes. Bei Ein-Blickpunkt Methoden wird nur eine Ansicht verwendet, beispielsweise werden 3D-Informationen durch Eigenschaften wie Beleuchtung, Textur, Kontur oder durch Berechnung der Reisedauer zeitmodulierter Signale. Ein-Blickpunkt Methoden sind vergleichsweise kompakt im Einsatz, jedoch begrenzen sich die gelieferten Daten überwiegend auf Ausrichtungen einer Oberfläche. [MVG09]

Bei Mehr-Blickpunkt Methoden wird das Objekt aus mindestens zwei verschiedenen Blickwinkeln gemessen, wobei eine höhere Anzahl an Bildern generell zur Vollständigkeit des resultierenden Modells beiträgt. Mehrere dieser Ansätze verwenden dabei das Prinzip der *Triangulation*. Dies bezieht sich auf den Prozess der Bestimmung eines Punktes im 3D-Raum durch Berechnung des Schnittpunktes von Strahlen aus mindestens zwei Winkeln. Bei der Kenntnis der jeweiligen Kameraposition- und Orientation können die Werte der Strahlen zu einem Punkt als Dreieck berechnet werden, was die Entfernung zum Punkt liefert. Zum Beispiel kann der Schnittpunkt zwischen dem Objekt und zwei Sensoren erfasst werden, etwa wie in Abbildung 2.2 dargestellt. Zusammengefasst wird bei zwei Projektionen desselben Punktes auf die beiden Bilder, die 3D-Position als Schnittpunkt der beiden Projektionsstrahlen ermittelt. Wiederholt man diesen Vorgang für mehrere Punkte, erhält man die 3D-Form der aufgenommenen Szene. [MVG09, BB14]

Es ist zu beachten, dass in der praktischen Nutzung diverse Faktoren die Genauigkeit berechneter Koordinaten beeinflussen. Vor einer Triangulation muss der Punkt im zweiten Bild gefunden werden, der einem bestimmten Punkt im ersten Bild entspricht, oder andersherum, dies wird in der Bildverarbeitung als Korrespondenzproblem beschrieben. In einem Objekt muss üblicherweise die Findung von markanten Punkten und dessen Korrespondenz für viele Punkte gelöst werden, was potenziell unpräzise verlaufen kann, beispielsweise aufgrund ungünstiger geometrischer Eigenschaften oder Bildrausch aus Umgebungseffekten und Kamerafaktoren. [MVG09, BR02]

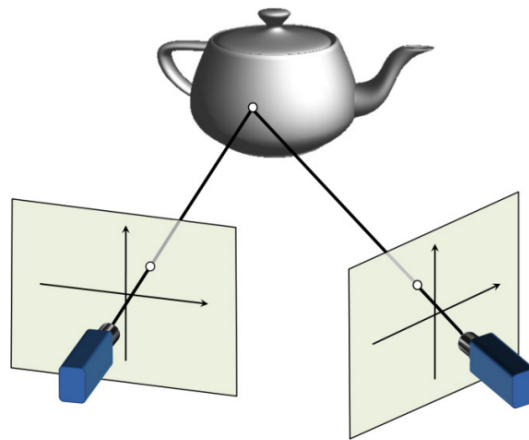


Abbildung 2.2: Prinzip der Triangulation anhand des Sternsehens: Die 3D-Position eines Punktes kann als Schnittpunkt der Projektionsstrahlen in zwei Bildern zum Punkt ermittelt werden. Zum Beispiel durch zwei Kameras, die horizontal zueinander versetzt sind und aus verschiedenen Blickwinkeln das Objekt aufnehmen. [MVG09]

Im vorliegenden Kontext ist die Gegenüberstellung der Methoden für die Eignung jeweiliger praktischer Anforderungen von Vorteil, da einige Anwendungsfälle nicht optimal durch gewisse Methoden gelöst werden. Beispielsweise sind aktive Methoden, welche mit Laserscannern und strukturierten Licht arbeiten, wie beispielsweise Lidar¹ einer der besten Lösungen für genaue 3D-Rekonstruktionen. Jedoch sind diese Systeme oft teuer, erfordern ein hohes Niveau an Fachwissen, und sind begrenzt flexibel bei ungünstigen Umgebungs- und Lichtfaktoren. Insbesondere für digitale 3D-Dokumentation und Visualisierung des kulturellen Erbes besteht ein Bedarf an Mitteln, die es auch Laien ermöglicht effizient und bequeme 3D-Rekonstruktionsmodelle zu erstellen. Um diese Nachfrage zu decken, sind zahlreiche Softwarepakete auf der Grundlage von bildbasierter Modellierung aufgetaucht. [Rah21]

Diese bildbasierten Modellierungstechniken, vor allem die Photogrammetrie, werden im Allgemeinen bevorzugt, wenn es sich um verlorene Objekte, Denkmäler oder Architekturen mit regelmäßigen geometrischen Formen, geringen Budgets, praktischer Erfahrung, zeitlichen oder räumlichen Beschränkungen für die Datenerfassung und -verarbeitung handelt. [RM09]

¹Lidar, auch 3D-Laserscanning genannt, misst Entfernungen (Ranging), indem das Ziel mit Laserlicht beleuchtet und die Reflexion mit einem Sensor gemessen wird.

2.1.2 Photogrammetrie

Die Photogrammetrie ist eine breit eingesetzte Rekonstruktionsmethode beziehungsweise ein Arbeitsablauf mit variierenden Definitionen, grundsätzlich umfasst dies Methoden der Datenakquise, sowie Bildmessung und -interpretation, um die Form und Lage eines Objekts aus einem oder mehreren Bildern dieses Objekts abzuleiten. Die Fotos oder Bilder stellen dabei einen Informationsspeicher dar, auf den jederzeit wieder zurückgegriffen werden kann. [LRKB20]

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff überwiegend in einem konkreteren Fall betrachtet, nämlich als eingesetzte Methode für die digitale 3D-Rekonstruktionen mittels einer terrestrischen digitalen Kamera als Messinstrument, mit dem Ziel der möglichst genauen 3D-Darstellung des aufzunehmenden Objektes.

Wie einleitend erwähnt ist die 3D-Erfassung durch digitale Photogrammetrie heute einer der Standardmethoden für verschiedene Zwecke, beispielsweise für den Erhalt von Kulturerbe, vorwiegend, da die Form, Geometrie und Lage diverser Objekte erfasst werden kann, ohne mit diesen in Berührung kommen zu müssen. Die Gründe dafür sind unter anderem die Digitalisierung des Verfahrens, sowie die aufgekommene Verfügbarkeit von hochauflösenden Digitalkameras, leistungsfähiger Rechentechnik und Softwarelösungen. Dies bietet Endnutzern heutzutage flexible und kosteneffiziente Systeme zur 3D-Rekonstruktion von Objekten. [RM09, NBSR20]

Im Vergleich zu anderen automatisierten 3D-Erfassungsmethoden, grenzen sich photogrammetrische Methoden unter anderem durch weitere Merkmale ab.

1. Die gewonnenen Bilddaten erlauben neben geometrischen Auswertungen auch inhaltliche Auswertungen, jederzeitigen Zugriff durch Speicherung und Weiterverwertung bei der Bildinterpretation
2. Die fotografische Aufnahme erlaubt eine hohe Informationsdichte, sodass eine potenziell hohe geometrische Auflösung möglich ist
3. Diskrete Objektmerkmale können in den hochauflösenden Bildern meist direkt gemessen werden
4. Durch digitale Amateurkameras können flexibel und kostengünstig Aufnahmesysteme realisiert werden

5. Bei Bedarf ermöglichen die automatisierte Messverfahren eine hohe Messgenauigkeit sowohl für natürliche Punkte als auch vom Nutzer signalisierte Punkte
6. Die Aufnahmekonfiguration ist größtenteils skalierbar, und ist begrenzt durch die verfügbaren Aufnahmesysteme, sodass oft Objekte unterschiedlichster Größe erfasst werden können.

[SVBMM15]

Zusammenfassend kann der Prozess in die digitale Bildaufnahme und die photogrammetrische Verarbeitung der Bilder aufgeteilt werden. Die Aufnahme der Bilder ist wesentlich für die Berechnung der Objektkoordinaten und somit auch für Genauigkeit der Rekonstruktion. Die relevanten Eigenschaften der Aufnahme, sowie die Arbeitsprozesse, sind daher in Anbetracht der spezifischen Verarbeitung wichtig. Abbildung 2.3 schildert die Elemente des optischen Prozesses, durch den ein Bild erzeugt wird. Grundlegend wird das vom Objekt reflektierte Licht, welches sich hier durch die Luft bewegt, in einem Sensor aufgenommen, welches auf das Objekt ausgerichtet ist. Diese Bilder können je nach Kamertechnik entwickelt oder direkt digital gespeichert und für digitale Photogrammetrie weiterverwendet werden. Der Einfluss der Elemente, nämlich Lichtquellen, Eigenschaften der Objektoberfläche, das Medium in dem sich das Licht bewegt, Kamertechnik und eventuelle Bildbearbeitungen ist daher im Aufnahmeprozess zu berücksichtigen. [LRKB20]

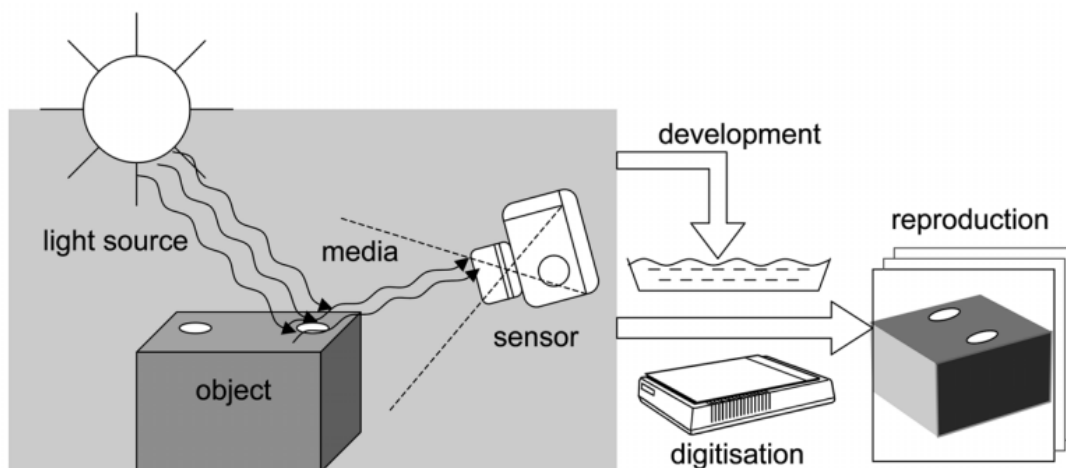


Abbildung 2.3: Darstellung der Eigenschaften der Bilderfassung: Vom Objekt zum Bild [LRKB20]

Nach einer Aufnahme folgt die Prozessierung der Bilder, was in der Regel mit dem Einsatz photogrammetrischer Software geschieht. Als Beispiel eines photogrammetrischen erstellten 3D-Modells in der Software, ist dies in Abbildung 2.4 rechts dargestellt, dessen berechneten Positionen und Ausrichtungen der aufgenommenen Bilder einer Kamera sind in Abbildung 2.4 links zu sehen. In diesem Beispiel wird ein Drohnen-Kamera-System eingesetzt, um mehrere teils überlappende Bilder aus allen Blickwinkeln zu erstellen, wodurch eine vollständige 3D-Rekonstruktion, einschließlich des Daches einer großen Kirche, entsteht. Die Schritte werden von der Software ausgeführt, wobei die Qualität und Genauigkeit nach jedem Schritt idealerweise vom Nutzer kontrolliert wird. Folgend werden praktische photogrammetrische Aufnahmeschritte in der Implementierung, zur Erstellung eines detaillierten 3D-Modells, aus der Sicht des Nutzers erläutert. [SVBMM15] [NBSR20]

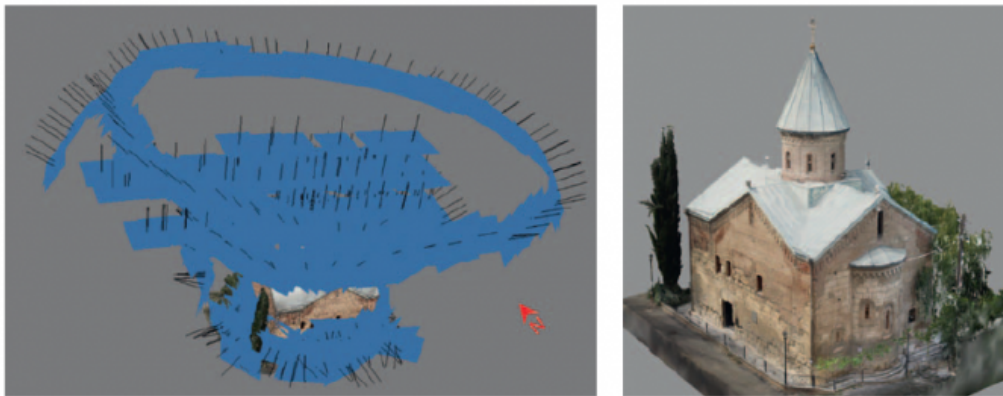


Abbildung 2.4: Links wird die Kamera-Konfiguration mit Drohnenflug für die photogrammetrische Rekonstruktion repräsentiert, sowie rechts eine daraus resultierende Rekonstruktion. [Luh19]

2.1.3 Prozessverlauf der Photogrammetrie

Der praktische Verlauf der Bildaufnahme kann im Kontext von aufzunehmenden Objekten, wie Kulturerbe und Architektur betrachtet werden, können jedoch auch für andere Objekte eingesetzt werden

1. *Vorbereitungen*: Zu den Vorbereitungen gehören weitgehend die Kompositions- und Verdeckungsanalyse des Objekts, Wahl der einzusetzenden Ausrüstung/-

Kamera, Erstellung eines Aufnahmeplans mit Festlegung oder Auswahl von Kontrollpunkten und Aufnahmewinkel sowie die Wetterplanung.

2. *Aufnahmeplanung*: Vor dem Fotografieren werden im Idealfall die besten Blickwinkel und Positionen für die Aufnahme des Gebäudes bestimmt. Dazu kann es erforderlich sein, das Gebäude zu umkreisen und Fotos aus verschiedenen Blickwinkeln aufzunehmen sowie Nahaufnahmen von bestimmten Merkmalen zu machen.
3. *Einrichten der Ausrüstung*: Es ist eine Kamera mit guter Auflösung und ein Stativ erforderlich, um die Stabilität während des Fotografierens zu gewährleisten. Gegebenenfalls auch die Kalibrierung der Kamera überprüfen, als auch horizontal ausrichten.
4. *Fotografische Aufnahme*: Vorerst testweise Qualität der Aufnahmen überprüfen. Mit der Kamera und einem Stativ werden, nach dem Aufnahmeplan, eine Reihe von Fotos des Gebäudes, in möglichst gleichen Abständen aus verschiedenen Ansichten aufgenommen. Im Idealfall zeigt sich eine Überlappung der einzelnen Fotos um mindestens 60 Prozent, damit die Photogrammetrie-Software die Bilder genau ausrichten kann.
5. *Verarbeitung der Fotos*: Nach Beendigung der Aufnahme, folgt das Prozessieren in der gewählten Photogrammetrie Software. Diese Software verwendet die überlappenden Fotos, um eine Punktwolke zu erstellen, d. h. eine Reihe von Punkten im 3D-Raum, die die Geometrie des Gebäudes darstellen. Anhand dieser Punktwolke erstellt die Software dann ein 3D-Netz, eine aus Dreiecken bestehende Fläche, die die Form des Gebäudes darstellt. Schließlich texturiert die Software das Netz, indem sie die Fotos verwendet, um dem Modell realistische Farben und Details zu verleihen. Anschließend erfolgt die Anpassung der Geometrie, basierend auf den jeweiligen Ergebnisanforderungen.

Im ersten Schritt wird die Bildaufzeichnung des Objekts unternommen, üblicherweise mit einer Kamera. Zum einen können nicht-sichtbare Bereiche des Objektes im Bild nicht rekonstruiert werden, dazu gehören Bereiche, welche durch mangelnden Kontrast oder Größenlimitationen softwaretechnisch nicht interpretierbar sind. Für die Rekonstruktion ist daher die Beschreibung der optischen Prozesse von Vorteil, welche alle beteiligten Elemente der Bilderstellung beinhaltet. Dazu gehören bei-

spielsweise Lichtquellen, Oberflächeneigenschaften des Objektes und Kameratechnologie. [LRKB20]

In der photogrammetrischen Bildberechnung kommen Methoden der Optik und der projektiven Geometrie zum Einsatz, wie etwa die bereits erwähnte Triangulation. Das allgemeine technische Verfahren lässt sich wie folgt zusammenfassend beschreiben: Der photogrammetrische Prozess kann eine digitale 3D-Rekonstruktion aus gegebenen Bildern erzeugen, wenn die Position jedes Oberflächenpunktes, sowie dessen Eigenschaften, wie etwa die Farbe, gemessen sind. Um die Positionen zu erhalten, sind mehrere Abbildungen des Objektes aus verschiedenen Blickrichtungen erforderlich. Die Algorithmen vergleichen von Bild zu Bild verschiedene Bildsegmente und deren relative Bewegungen zueinander. Dieser Prozess ähnelt der Bewegungsparallaxe, die es dem Menschen ermöglicht, die Tiefe anhand der Bewegung in seinem Sichtfeld zu beurteilen, bei dem sich weit entfernte Objekte langsamer bewegen als nahe Objekte, wodurch die Bestimmung der relativen Positionen erfolgt. [NBSR20]

Der zweite Schritt ist die Erstellung eines 3D-Modells durch Berechnung der Kamera- und Objektpunktkoordinaten aus den Bildern mithilfe von Software für die photogrammetrische Rekonstruktion. Hinter allen photogrammetrischen Messungen stehen dabei grundlegend die geometrisch-mathematische Rekonstruktion des Strahlenspfades vom Objekt zu dem Sensor zum Zeitpunkt der Aufnahme. Daher ist die Erkenntnis der geometrischen Eigenschaften eines Bildes ein kritisches Element. Dabei wird zunächst eine Bildausrichtung ausgeführt, bei der die Software Methoden des Merkmalsabgleichs verwendet, um Schlüsselpunkte oder Merkmale in den Bildern zu identifizieren, die zur Bestimmung der relativen Ausrichtung und Position der Kameras verwendet werden können. Zu diesen Merkmalen können Kanten, Ecken und andere charakteristische Muster in den Bildern gehören.

Sobald die Merkmale identifiziert sind, berechnet die Software anhand dieser Merkmale die Ausrichtung und Position der Kameras, sowie die Lage der Merkmale im 3D-Raum. Sobald die Bilder ausgerichtet sind, kann die Software daraus eine 3D-Punktwolke erstellen. Dazu werden die 2D-Merkmale in den Bildern auf ein gemeinsames 3D-Koordinatensystem projiziert und für jedes Merkmal ein Punkt erstellt. Die resultierende Punktwolke stellt die Oberfläche des Objekts dar und kann zur Extraktion von Messungen und anderen Geodaten verwendet werden.

Aus der Punktwolke kann die Software ein 3D-Netz erstellen. Dies geschieht in der Regel durch Anpassung einer Oberfläche an die Punkte in der Punktwolke. Es

gibt mehrere Algorithmen, die zu diesem Zweck verwendet werden können, z. B. die Delaunay-Triangulation und die Poisson-Oberflächenrekonstruktion. Das daraus resultierende Netz stellt die Form und Topologie des Objekts dar und kann für eine Vielzahl von Zwecken verwendet werden, z. B. zur Visualisierung und Analyse. Um dem Mesh eine Textur zuzuweisen, projiziert die Software die Bilder mithilfe von Textur-Mapping-Techniken auf das Mesh. Dabei werden die Bilder um das Netz herumgewickelt und die Pixelwerte der Bilder den Scheitelpunkten des Netzes zugewiesen.

2.2 Stiltransfer

Der Begriff Stiltransfer, welcher heutzutage oft synonym mit dem neuronalen Ansatz verwendet wird, fachlich oft *Neural Style Transfer (NST)* bezeichnet, beschreibt vorwiegend Methoden zur Übertragung des Stils von einem Bild auf ein anderes Bild, was oft darauf zielgerichtet ist, automatisiert synthetische Kunstwerke oder Texturen zu erstellen. Ansätze zum Stiltransfer sind in der Informatik bereits grob um die Mitte 1990 behandelt worden, jedoch hat die Stilübertragung in letzten Jahren, in der Forschung und in der Öffentlichkeit eine hohe Aufmerksamkeit erfahren. Zurückzuführen ist dies zum Teil auf die ersten erfolgreichen Verknüpfungen neuronaler Netze mit dem Stiltransfer, was Ergebnisse ermöglichte, die im Allgemeinen als viel realistischer und qualitativ hochwertiger empfunden werden als vorherige Methoden. Seitdem sind zahlreiche weitere Methoden entwickelt worden, die auf diesem grundlegenden Ansatz aufbauen. [JYF⁺17, LWLH17]

In dieser Arbeit aus dem Jahr 2015 wird eine Methode zur Übertragung des künstlerischen Stils, beispielsweise eines Gemäldes, auf ein Foto mithilfe von einem sogenannten *Convolutional Neural Network (CNN)*, zu Deutsch etwa faltendes neuronales Netzwerk, vorgestellt. [GEB15]

Um die Anwendung von CNNs in den Kontext des Stiltransfers einzuordnen, ist es hilfreich, zunächst auf frühere Methoden und zentrale Herausforderungen einzugehen, auf denen der NST aufbaut.

2.2.1 Entwicklung der Stiltransfer-Methoden

Zu den frühen Methoden der Bildstilisierung gehören Algorithmen, welche auf direkte Weise einen bestimmten Bildeffekt erzielen, beispielsweise einen Unschärfefeffer oder prozedurale Filter, um definierte Pixel und dessen Farbwerte zu manipulieren. Dies führte zu sehr gut kontrollierbaren Algorithmen, jedoch ist es schwer, etwa die komplexen Nuancen des Stils eines Künstlers zu erfassen. Um diese Herausforderung anzugehen, wurden unter anderem beispielbasierte Methoden entwickelt, die mit einer Art Stilreferenz arbeiten, welche als Grundlage für vorgenommene Stiländerungen andient. Beispielsweise kann ein Bildpaar, etwa ein vorhandenes Foto und eine handgezeichnete Version dieses Fotos, als Analogie für andere Fotos dienen. [Her18, GEB15]

Das Übertragen des Stils von einem Bild auf ein anderes kann auch als ein Problem der Texturübertragung betrachtet werden, welches auf dem Gebiet der Computer Vision normalerweise als generelle Problemstellung untersucht wird, um grundsätzlich die Textur aus einer Bildquelle zu extrahieren und zu einem Ziel zu transferieren. [JYF⁺17]

Um dies zu erreichen, ist es erforderlich, dass der Computer erkennen kann, welche Textur in einem gegebenen Bild dargestellt ist, beispielsweise kann bei dem Foto eines Holztisches wahrgenommen werden, dass es sich um Holzmaserungen handelt. Die menschliche Texturwahrnehmung ist hier sehr wirksam, auch wenn das spezifische Muster zum ersten Mal betrachtet wird, da es sich eher auf Gesamtverteilungen als auf die Erkennung spezifischer Anordnungen von Pixeln stützt. Diese Bildstatistiken sind im weiteren Verlauf in Methoden der Texturwahrnehmung modelliert. Dies begannen mit Zählstatistiken für benachbarte Pixelwerte, welche jedoch auf unerwünschte Weise sensitiv auf Lichtverhältnisse reagieren. Verbesserungen dieser Modelle führte dazu, dass in Verbindung mit kanten- und orientierungsselektiven Filtern größere Reichweiten und Strukturen erfasst werden, ohne stark von der Beleuchtung abzuhängen. Um diese Modelle zu testen, werden neue Texturen anhand der Modellstatistiken synthetisiert und visuell evaluiert, was in Abbildung 2.5 dargestellt wird. Im Jahr 2000 wurde eine Methode der Texturwahrnehmung vorgestellt, [PS00] die eine gemeinsame Statistik der Ausgaben vieler verschiedener Bildfilter beinhaltet, welche von der menschlichen Texturwahrnehmung inspiriert ist. Das Modells ist grundlegend in zwei Schichten aufgebaut und zeigt prinzipiell Ähnlichkeit zum NST. Die erzeugten Ergebnisse sehen den nachgeahmten Textu-

ren allgemein ähnlich und können verschieden großflächige Strukturen erfassen. Bei näherer Betrachtung fügt dieses Modell die Strukturen manchmal auf unnatürliche Weise zusammen, wie in Abbildung 2.5 dargestellt. [Her18, PS00]

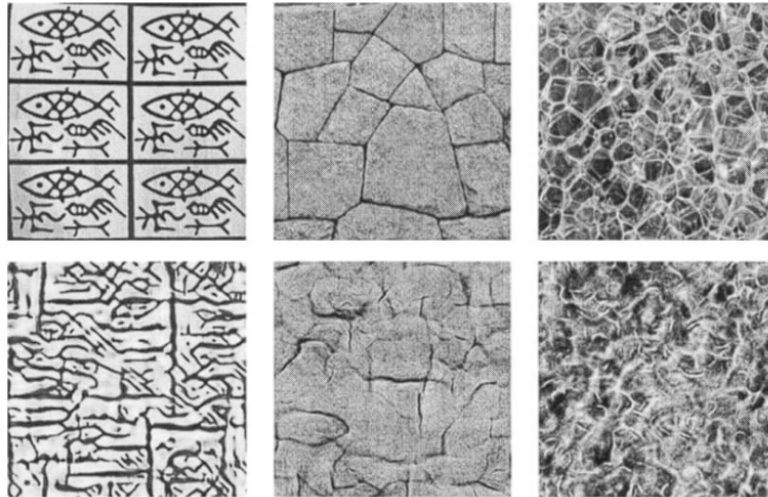


Abbildung 2.5: Syntheseergebnisse von [PS00] für künstliche Texturen. Für jedes Paar von Texturen ist das obere Bild die Originaltextur und das untere Bild ist die synthetisierte Textur.

Parallel dazu wurde 1999 ein anderer Ansatz entwickelt [EL99], mit dem Ziel Texturen basierend auf Bildfeldern (Patches) zu synthetisieren. Ein Bildfeld kann als ein quadratisches Raster von Pixeln in einem Bild beschrieben werden, etwa ein 5×5 - oder 19×19 großes Quadrat, welches aus Ausschnitt des Bildes betrachtet. Allgemein beschrieben, funktioniert das Modell nach dem Prinzip, dass zwei Bilder die gleiche Textur haben, wenn jedes Bildfeld in einem Bild wie ein Bildfeld im anderen Bild aussieht. Aus dieser Sichtweise ist eine Textur alles, was man neu anordnen kann, ohne den Inhalt des Bildes zu verändern. Ausgehend von einem leeren Bild füllt der Algorithmus Pixel für Pixel aus, wobei dieser zufällig neue Pixel aus der Eingabetextur auswählt, sodass jedes neue Bildfeld immer möglichst einem Bildfeld aus dem Eingabebild entspricht. Seitdem sind zahlreiche Verbesserungen an diesem Algorithmus unternommen. In Abbildung 2.6 ist ein Auszug der Ergebnisse der Synthese dargestellt, was ein übergreifendes Strukturverständnis aufweist, jedoch werden ausstechende und irreguläre Muster für die Synthese eher mit potenziellen Artefakten dargestellt oder weisen nur geringe Variation auf. Der nächste Meilenstein für Methoden der Texturwahrnehmung sowie NST folgte wenige Jahre nach dem Er-

folg von Aufgaben, der autonomen Bildklassifizierung, mit dem Einsatz maschineller Lernmethoden. [EL99, Her18]

Solche Methoden werden schon länger entwickelt, dessen plötzliche Popularität für den Einsatz von Bildern ist zum Teil durch die Veröffentlichung des sogenannten *ImageNet classification datasets* [KSH12] ermöglicht. Aus diesem riesigen Datensatz von klassifizierten Bildern können Modelle potenziell umfangreiche Merkmale lernen und zielgerichtet einzusetzen.

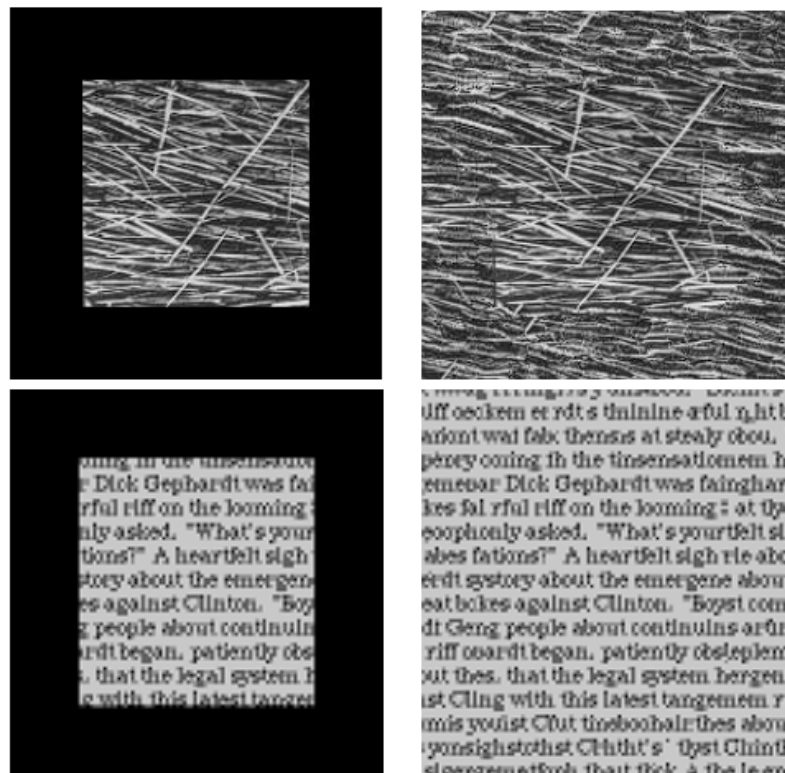


Abbildung 2.6: Auszug der Synthesergebnisse von Texturen basierend auf Bildfeldern. Bei der Synthese von Texturen werden die schwarzen Bereiche in den beiden linken Bildern ausgefüllt. Das Ergebnis ist jeweils rechts zu sehen.

2.2.2 Ansatz und Funktion des neuronalen Stiltransfers

Vorerst wird überblickend die Terminologie und der rapide wachsende Forschungskontext des neuronalen Lernaspektes gegeben, bevor kurz auf den Ansatz und die

Funktion eines NSTs eingegangen wird, worauf dann die spezifische Modellarchitektur der eingesetzten DL-Netzwerke erläutert wird. In letzter Zeit ist maschinelles Lernen (ML) sehr weit verbreitet in der Forschung und wurde in verschiedensten Anwendungen, mitunter auch Bildklassifizierung und Stiltransfer, integriert. Unter den verschiedenen ML-Algorithmen wird Deep Learning (DL) sehr häufig in diesen Anwendungen eingesetzt. Ein weiterer Begriff für DL ist repräsentatives Lernen (RL). DL leitet sich von dem konventionellen neuronalen Netzwerk ab, übertrifft diese jedoch in verschiedenen Aspekten. [AZH⁺21]

Der NST, kann als eine Methode des Stiltransfers beschrieben werden, welcher auf Techniken des *Deep Learning* (DL) basiert, mit dem Ziel bei zwei gegebenen Bildern, also einem Inhalts- und einem Stilbild, ein drittes Bild zu generieren, welches den Inhalt des Inhaltsbildes beibehält, aber den Stil des Stilbildes trägt. [GEB15]

Diese neuronalen Netze zeigten sich als ein vielseitig einsetzbares Werkzeug für eine Vielzahl von Bildverarbeitungsproblemen. Dies mündete in die ersten Arbeiten der bereits zuvor eingeführten NST, die das Stiltransferproblem auf einem ähnlichen Ansatz, wie das zuvor umrissene Modell der Texturwahrnehmung [PS00] bearbeitet. Vergleichsweise ist die statistische Repräsentation im NST weniger komplex, welche jedoch in einem weitaus weiterentwickelten Netzwerk mit komplexeren Interaktionsmöglichkeiten eingesetzt wird. [Her18]

Der originale NST-Algorithmus wird grundlegend daraus ausgelegt, den Stil von Bildern zu trennen und neu zu kombinieren. Grundsätzlich werden dabei Bildrepräsentationen verwendet, die von Methoden abgeleitet sind, welche vorerst für die Bildklassifikation optimiert wurden. Bildinformationen hohen Niveaus können dadurch explizit gemacht werden, was die Trennung von Bildinhalt und Stil ermöglicht. [GEB15] Seitdem sind zahlreiche variierende oder für verschiedene Anwendungen optimierte NST-Algorithmen entstanden. Obwohl es verschiedene Ansätze zur Implementierung von NST-Algorithmen gibt, existieren einige Merkmale, die in ihrer Funktionsweise in vielen Fällen ähneln:

1. *Merkmalsextraktion*: Nach der Auswahl eines Stil- und Inhaltbildes, werden diese in ein neuronales Netzwerk eingespeist, um Merkmale auf verschiedenen Schichten (z.B. Farbe, Form, Textur) zu extrahieren. Hierfür werden oft vortrainierte Netze eingesetzt.

2. *Bestimmung von Stil- und Inhaltsgewichten*: Die NST-Algorithmen berechnen darauf meist die Korrelationen zwischen den Merkmalen der beiden Bilder. Dabei werden Stil- und Inhaltsgewichte bestimmt, die später verwendet werden, um die übertragenen Merkmale zu mischen.
3. *Stiltransfer*: Der Algorithmus wendet nun den Stil des Referenzbildes auf das Zielbild an, indem er die Merkmale des Zielbildes mit den Stilgewichten des Referenzbildes mischt. Dies geschieht normalerweise durch das Minimieren einer Verlustfunktion, die den Abstand statistisch zwischen den Merkmalen des gemischten Bildes und denen des Referenzbildes minimiert, was in der Generierung des neuen Bildes folgt.
4. *Feinabstimmung*: Zum Schluss wird das Ergebnis des Stiltransfers eventuell durch weitere Feinabstimmungen verbessert. Dabei wird oft noch einmal die Verlustfunktion minimiert, um das Ausgangsbild weiter anzupassen.

[GEB16, SJJ+21]

2.2.3 Funktion und Architektur des Convolutional Neural Network

Ein *Convolutional Neural Network* (CNN), deutsch etwa faltendes neuronales Netz, ist eine Klasse der DL-Architekturen, welches häufig bei der Bilderkennung und bei Aufgaben der Computer Vision eingesetzt werden. Grob ausgedrückt ist ein CNN eine Art künstliches neuronales Netz, welches sich für die Verarbeitung von Daten mit einer einheitlichen Rasterstruktur eignet, etwa bei der Pixel-Struktur in einem Bild. Einer der Hauptvorteile im Vergleich zu vorangegangenen Algorithmen besteht darin, dass es relevante Merkmale automatisch und ohne menschliche Aufsicht identifiziert. [AZH+21]

Die Architektur der CNN besteht dabei aus mehreren Schichten, welche darauf ausgelegt sind, visuelle Informationen auf hierarchische Weise zu verarbeiten, ein beispielhafter Aufbau ist in Abbildung 2.7 geschildert. Wenn die Daten, die Schichten des CNN durchlaufen, werden in der Regel komplexere Filter und somit abstraktere oder übergeordnete Muster erkannt. Folgend werden die einzelnen Bestandteile und Schichten, sowie knapp der Datenfluss geschildert, welcher dem Verlauf in Abbildung 2.7 von links nach rechts folgt. [AZH+21]

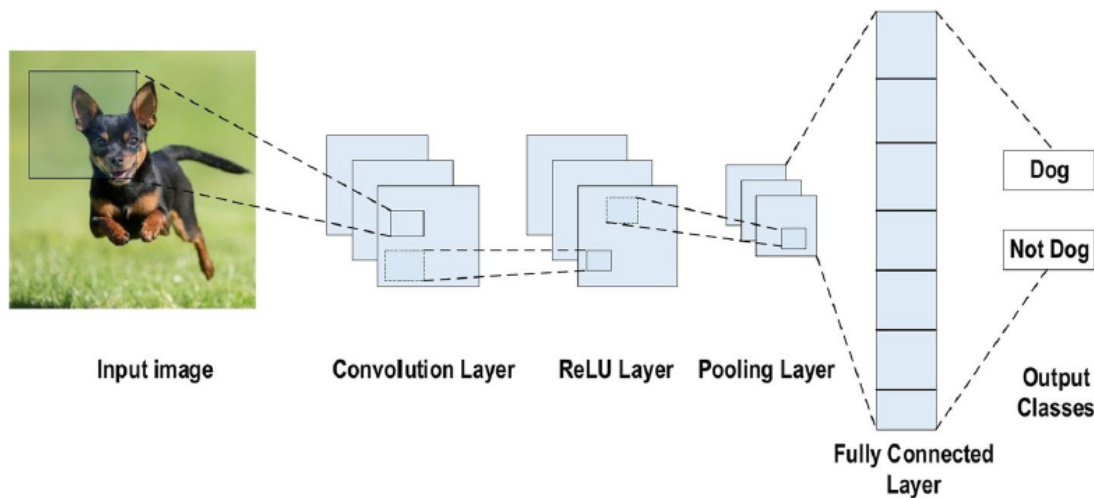


Abbildung 2.7: Beispiel eines möglichen Aufbaus einer CNN für Aufgaben der Bildklassifizierung, was hier in einer möglichen Klassifizierung eines erkannten Hundes im Bild resultiert. [AZH+21]

Zusammenfassend fließen Bilddaten durch ein CNN, indem sie einer Reihe von Schritten folgen. Bei einem Bildeingang folgt grundsätzlich zuerst ein *Convolutional Layer*, deutsch etwa Faltungsschicht, darauf folgt ein *Pooling-Layer*, auch Subsampling-Layer genannt. Diese beiden Schichten können beliebig oft hintereinander wiederholt werden. Am Ende des Netzes folgt in der Regel eine *Fully Connected Layer*, welches jedes Neuron miteinander verbindet, und mit der Ausgabe endet. [AZH+21]

Bei einem kompletten beispielhaften Datendurchlauf, etwa für die jeweilige Merkmalsextraktion vom Inhalt eines Bildes für einen Stiltransfer oder einer gewünschten Klassifizierung eines Hundes. Zunächst wird das Eingangsbild in das CNN eingespeist. Das Bild wird dann durch eine *Convolution Layer* geleitet, welche durch Filter vorerst rudimentäre Merkmale im Bild, wie Kanten und simple Formen, extrahiert. Diese Filter gleiten über das Eingangsbild und führen meist eine elementweise Multiplikation mit den überlappenden Pixeln durch. Die Ausgabe dieser, als auch anderen Schichten wird in sogenannten *Feature Maps*, deutsch etwa Merkmalskarten repräsentiert, welches prinzipiell ein mehrdimensionales Feld mit numerischen Werten repräsentiert, die bestimmte Muster hervorheben. Die Merkmalskarten werden dann durch Aktivierungsfunktionen geleitet, in Abbildung 2.7

ist dies als ReLu Layer bezeichnet, dies fügt dem Netzwerk Nichtlinearität hinzu. [AZH+21, GEB15] Als Nächstes werden die Merkmalskarten durch Pooling Layer geleitet, die die Merkmalskarten verkleinern und die Translationsinvarianz erhöhen. Die Ausgabe des letzten Convolution Layers wird zu einem Vektor zusammengeführt und in die *Fully Connected Layer*, deutsch etwa vollständig verbundene Schicht, eingespeist, bei der eine lineare Transformation auf die Merkmale angewendet wird. Die Ausgabe der vollständig verbundenen Schicht wird zur Berechnung der endgültigen Ausgabe verwendet, die in diesem Fall bei der Stilübertragung das stilisierte Bild wäre, oder im Abbildungsbeispiel 2.7 die eventuelle Klassifikation des Hundes im Bild. [AZH+21, SJJ+21, GEB16]

Folgend soll noch die Funktionsweise der Operationen in den Schichten, und dessen relevanten Aspekte einzelner CNN-Elemente angerissen werden:

Oberflächlich beschrieben, kann die *Convolution*, die Operation nach dem die Schicht benannt ist, als Matrixmultiplikation gesehen werden. Sie wendet einen Filter, auch Kernel genannt, für ein bestimmtes Merkmal auf einen bestimmten Bereich des Bildes an. Zum Beispiel eine 5x5-Matrix, die das Eingangsbild darstellt, und eine 3x3-Matrix, die den Filter, darstellt. Nun wird diese Filter-Matrix zeilenweise auf einen gleich großen Bereich des Bildes gesetzt und die Werte miteinander verrechnet. Das erhaltene Ergebnis wird darauf in eine neue Merkmalskarte geschrieben, welche als Ergebnis an die folgende Schicht weitergegeben wird. Die Zahlen in der Ergebnismatrix geben dabei an, wie stark das Merkmal oder Feature in dem bestimmten Bereich vorkommt. Eine hohe Zahl weist dabei auf eine hohe Übereinstimmung mit dem vorgegebenen Feature hin, während eine niedrige Zahl darauf hinweist, dass das Feature nur sehr schwach oder gar nicht in diesen Bereich vorkommt. Das Bild wird dabei im ersten Convolutional Layer nicht nur auf einen, sondern auf viele verschiedene Filter angewandt, wodurch das Bild auf verschiedene Strukturen untersucht wird, welche mit jedem weiteren Convolution Layer komplexer werden. [AZH+21]

Merkmalskarten, oder Feature Maps ermöglicht die Extraktion von nützlichen Merkmalen aus dem Eingabebild im CNN, die dann etwa für die Bildklassifizierung verwendet werden können. Verschiedene Visualisierungen extrahierter Merkmale im Verlauf der Schichten werden in Abbildung 2.8 dargestellt. Wenn ein CNN etwa darauf trainiert wird, Bilder von Tieren zu klassifizieren, können die, von den Convolution Layer erzeugten Merkmalskarten, Muster enthalten, die für bestimmte Tiermerkmale, wie Fell oder Federn charakteristisch sind. Diese Muster werden

dann an die vollständig verknüpften Schichten des Netzwerks weitergegeben, die sie verwenden, um eine endgültige Vorhersage über die Klasse des Eingabebildes zu treffen. Durch *Pooling* oder Sub-Sampling wird sichergestellt, dass nur die relevanten Daten berücksichtigt werden. Die Eingabe-Merkmalskarte wird in eine feste Anzahl von sich nicht überlappenden Unterregionen unterteilt, welche in der Regel gleich viele Neuronen enthalten. Dabei existieren verschiedene Subsampling Methoden, um die gewünschten Werte zu erhalten, indem z.B. der größte, kleinste oder mittlere Wert einer Teilregion genommen und in einer neuen Feature Map gespeichert wird. [AZH⁺21, JYF⁺17]

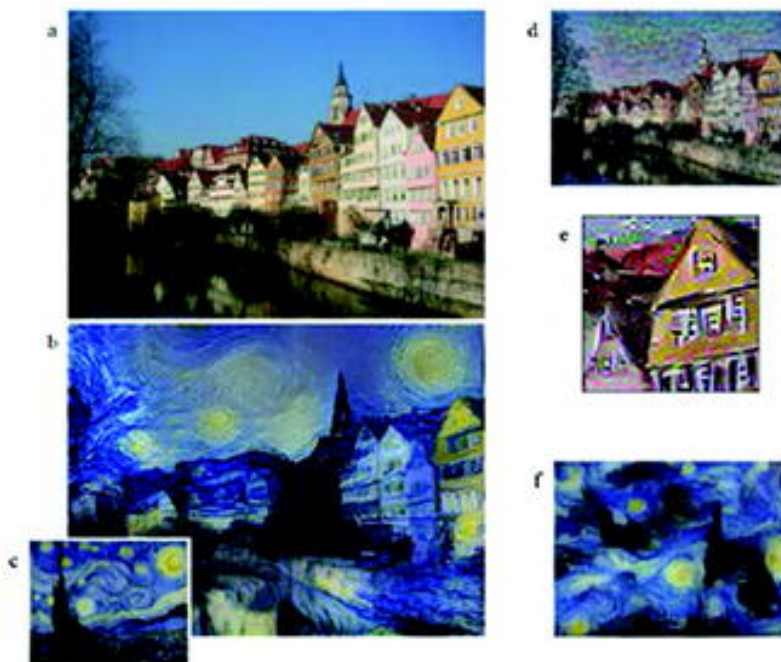


Abbildung 2.8: Stil-Transfer-Ergebnis sowie vorläufige Rekonstruktionstestergebnisse; Ergebnis basierend auf Style-Loss-Funktion, (a) inhaltliches Ziel; (b) Stil-Transfer-Ergebnis; (c) stilistisches Ziel; (d) und (e) inhaltliche Rekonstruktionsergebnisse einer höheren neuronalen Netzschicht; (f) Stil-Rekonstruktionsergebnis bei Verwendung mehrerer Schichten für die Verlustfunktion [GEB16]

2.3 3D-Stilübertragung

3D-Daten können unterschiedliche Darstellungen haben, bei denen die Struktur und die geometrischen Eigenschaften von einer Darstellung zur anderen variieren. Die 3D-Stilübertragung bezieht sich meist, aber nicht ausschließlich, auf den Prozess der Übertragung des Stils eines 3D-Objekts oder einer Szene auf ein anderes. Dies kann anhand der spezifischen Übertragung der Geometrie, beispielsweise bei spezifisch gelernten Formstilen von Stühlen in einer Epoche, sowie Textur, Farbe oder anderer visueller Merkmale erzielt werden.

Bei Deep Learning Methoden wird häufig ein neuronales Netz auf einem großen Datensatz von 3D-Objekten oder -Szenen trainiert und dieses Netz zur Erzeugung des übertragenen Stils verwendet. Bei traditionellen Computergrafiktechniken hingegen werden die Oberflächeneigenschaften der Objekte oder Szenen oft direkt bearbeitet, beispielsweise durch Texture Mapping, eine Methode zur Abbildung einer Textur auf einer computergenerierten Grafik oder Vertex Coloring, eine Zuordnung von Bezeichnungen, die traditionell Farben genannt werden, zu Vertices, was Elemente eines (3D-)Graphen sind. Ein Stiltransfer von dreidimensionalen Daten kann auf verschiedene Weisen erfolgen, und kann nicht so einfach generalisiert eingesetzt werden. Eine der wesentlichen Vorteile des 3D-Stiltransfers ist die Möglichkeit, Stile auf und von 3D-Objekten und -Szenen auf realistischere und glaubwürdigere Weise zu übertragen. Dies kann besonders in Anwendungen wie der Computergrafik nützlich sein, wo die Fähigkeit, 3D-Objekte und -Szenen zu manipulieren, wichtig ist. Der 3D-Stiltransfer kann auch dazu verwendet werden, Stile zwischen verschiedenen 3D-Objekten oder -Szenen zu übertragen, was eine breite Palette an kreativen Möglichkeiten eröffnet. Eine Herausforderung der Stilübertragung von und zu 3D-Daten kann die Komplexität der Arbeit mit 3D-Daten sein. Modelle des 3D-Stiltransfers erfordern oft mehr Daten und Rechenressourcen als bei 2D-Daten und können schwieriger zu trainieren und zu optimieren sein. Darüber hinaus sind 3D-Stilübertragungsmodelle im Vergleich zu 2D-Ansätzen empfindlicher auf Schwankungen in den Eingabedaten reagieren, was es schwieriger macht, konsistente Ergebnisse zu erzielen. Eine weitere Herausforderung bei der Übertragung von 3D-Stilen ist der Mangel an hochwertigen 3D-Datensätzen. Zwar gibt es einige öffentlich zugängliche 3D-Datensätze, doch sind diese häufig in ihrer Größe oder Komplexität begrenzt, was das Trainieren hochwertiger meist erschwert. In diesem Bereich ist weitere Forschung erforderlich,

um die Verfügbarkeit und Qualität von 3D-Datensätzen für die Stilübertragung zu verbessern. [FAM19]

2.3.1 Repräsentationsformen und Einsatzgebiete

Folgender Abschnitt befasst sich mit den Arten der 3D-Repräsentation, auch bezeichnet als 3D-Datendarstellung, ist sehr flexibel, und jede Darstellung dient unterschiedlichen Verwendungszwecken besser; je nach der betrachteten Datendarstellung, können bei der Verwendung bestehender Deep Learning Architekturen unterschiedliche Herausforderungen zu erwarten sein.

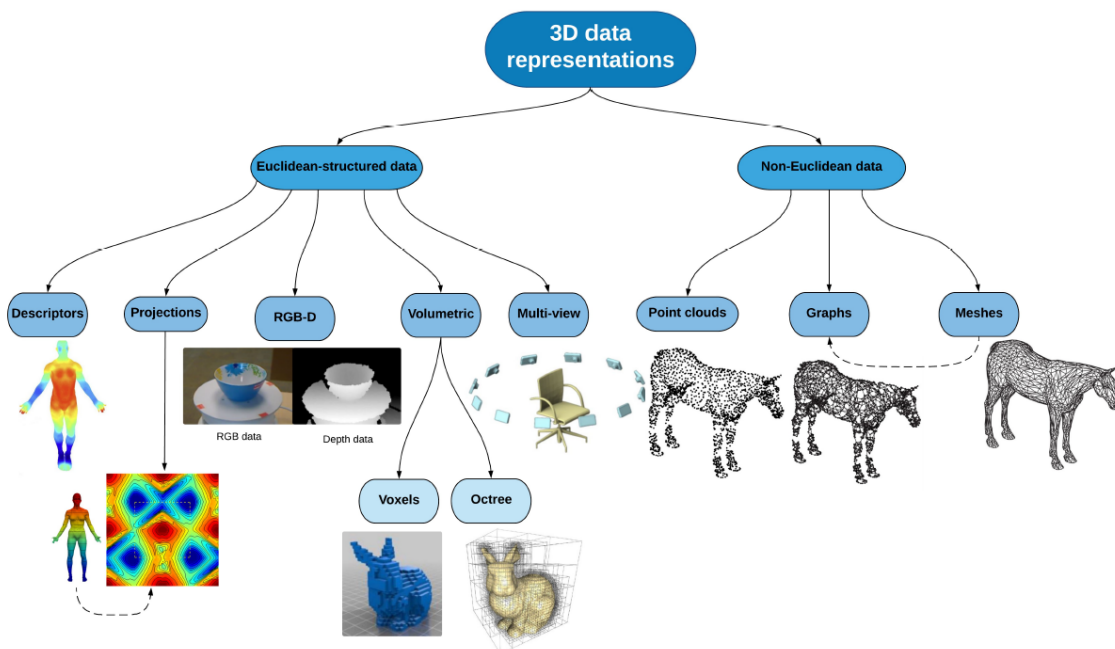


Abbildung 2.9: Verschiedene Darstellungen für 3D-Daten von links nach rechts: Euklidische Darstellungen (Deskriptoren, Projektionen, RGB-D, volumetrisch; Voxel und Octree und Multi-View) und nicht-euklidische Darstellungen (Punktwolken, Graphen und Netze). [ASS⁺18]

Die Wahl einer Datenstruktur zur Darstellung der 3D-Geometrie ist daher von entscheidender Bedeutung, da sie die Art des Arbeitsverfahrens bestimmt. Aus diesem Grund ist es vor der Betrachtung von Modellarchitekturen für maschinelles Lernen für 3D-Daten wichtig, die Vor- und Nachteile der einzelnen 3D-Datendarstellungen

zu verstehen. Grob können 3D-Repräsentationen in ihrer Struktur in euklidisch und nicht-euklidisch unterschieden werden, dessen grundsätzliche Strukturen in Abbildung 2.9 verdeutlicht wird. Die wesentlichen 3D-Datendarstellungen werden folgend kategorisiert vorgestellt und dessen Vor- und Nachteile im Zusammenhang mit:

Euklidische 3D-Daten haben simpel ausgedrückt eine grundlegende Gitterstruktur, wobei die Eigenschaften dessen strukturierten Datenpunkte erhalten bleiben, nämlich dem einheitlichen Koordinatensystem. Diese Eigenschaften machen die Ausweitung der bereits bestehenden Deep Learning Ansätze, welche erfolgreich in 2D eingesetzt werden, eine unkomplizierte Aufgabe, bei der die grundlegenden Operationen der Konvolution bleibt. Die überwiegende Mehrheit des Deep Learning wird mit euklidischen Daten durchgeführt. Hierunter fallen auch Datentypen im ein- und zweidimensionalen Bereich, unter anderem Bilder, Texte und Audiodaten. Die wesentlichen 3D-Datendarstellungen werden folgend grob vorgestellt und sukzessiv die zentralen Vor- und Nachteile erläutert, die bei der Erweiterung etablierter Deep Learning Architekturen auf diese 3D-Repräsentationen unter Umständen mit sich bringen: [ASS⁺18]

(Form-)Deskriptoren sind prägnante und kompakte Repräsentationen, die die geometrische Essenz eines 3D-Objekts erfasst, und dem Objekt eine Identifikation als Mitglied definierter Kategorien verschafft. Beispielsweise haben sich Deskriptoren, die auf Wärmediffusion basieren, bei der Erfassung der Geometrie von 3D-Formen als sehr effektiv erwiesen, was in Abbildung 2.9 links dargestellt wird. Eng damit verknüpft sind 3D-Signaturen, was meist tabellarisch ausgelegte Werte sind, die Punkte oder Eigenschaften quantifizieren, die Art und Bedeutung dieser Signatur hängt von den Eigenschaften verwendeter Formdeskriptoren und seiner Definition ab. Durch Erfassung von Schlüsseleigenschaften kann die Verarbeitung und Berechnung reduziert und der Datentransfer erleichtert werden, jedoch ist die Darstellung implizit und alleinstehend visuell nicht aussagekräftig. [FXD⁺15]

RGB-D sind Bilddaten, die neben der Farbinformation an jedem Pixel Tiefeninformationen enthält. Indem die Tiefenkarte² mit den Farbinformationen (RGB) eines Bilds verknüpft werden, kann wie in Abbildung 2.9 eine einfache, effektive und Ressourcen-günstige Repräsentation erfolgen. Dies trägt dazu bei, dass die Anzahl

²Ein Bild, bei dem die Farbe der Pixel den Abstand zur Kamera angibt, mittels Farbcodierung auf einem Kanal mit Intensitätswerten. Helle Pixel haben dann den höchsten Wert und dunkle Pixel den niedrigsten.

der verfügbaren RGB-D-Datensätze im Vergleich zu anderen 3D-Datensätzen riesig ist. RGB-D wird für Deep Learning Aufgaben, wie Identitätsschätzung, Szenenrekonstruktion und Korrespondenz verwendet. [ASS⁺18]

3D-Datenprojektionen Bei einer Projektion von 3D-Daten in einen anderen 2D-Raum wird das 3D-Objekt in ein 2D-Gitter mit bestimmten Merkmalen umgewandelt. Die projizierten Daten kapseln einige der wichtigsten Eigenschaften der ursprünglichen 3D-Form ein. Die Art der erhaltenen Merkmale ist abhängig von der Art der Projektion. Beispielsweise ist eine sphärische Projektion von 3D-Daten, die in Abbildung 2.9 visualisiert wird, sehr verbreitet angewendet, da die Darstellung in 2D erfolgt und dabei invariant gegenüber Rotationen um die Hauptachse der Projektion sind. Solche Darstellungen sind jedoch für komplizierte Aufgaben nicht immer optimal aufgrund des Informationsverlustes bei der Projektion. [ASS⁺18]

Volumetrische Daten (Voxel und Octree) sind durch regelmäßiges Gitter im dreidimensionalen Raum charakterisiert. Voxel werden beispielsweise verwendet, um 3D-Daten zu modellieren, indem beschrieben wird, wie das 3D-Objekt in der Szene verteilt ist. Ein Voxel kann als kubische 3D-Basiseinheit betrachtet werden, die zur Darstellung von 3D-Modellen verwendet werden kann. Ein voxelbasiertes Modell kann man sich eine diskretisierte Anordnung von '3D-Pixeln' vorstellen, was in der Abbildung 2.9 deutlich wird. Die Voxel-basierte Darstellung ist nicht immer effizient, da sowohl belegte als auch nicht belegte Teile der Szene repräsentiert werden, was einen hohen unnötigen Bedarf an Speicherkapazität mit sich bringt. Aus diesem Grund ist die voxelbasierte Darstellung nicht für die Darstellung hochauflösender Daten geeignet.

Bei octreebasierten Repräsentationen handelt es sich grob um unterschiedlich große Voxel. Das 3D-Objekt wird dabei in einer hierarchischen Datenstruktur ab, die die Raumbelegung in der Szene repräsentiert. Die Octree-Darstellung basiert auf einer rekursiven Zerlegung der Voxel-einheiten, wodurch eine relativ effiziente Darstellung feinerer Details möglich ist. Sowohl Voxel als auch Octree-Darstellungen bewahren jedoch nicht die Geometrie von 3D-Objekten in Bezug auf die wesentlichen Eigenschaften der Formen und die Glätte der Oberfläche. [MS15]

Multi-View Daten eine Multiview-Darstellung einer 3D-Form ist ein Satz von mehreren 2D-Bildern, die Ansichten einer bestimmten 3D-Form aus verschiedenen Blickwinkeln enthalten. Das Lernen von 3D-Daten aus den 2D Multiview-Bildern desselben Objekts zielt oft darauf ab, eine Funktion zu lernen, die jede Ansicht separat

modelliert und dann alle Funktionen gemeinsam zu optimieren, um die gesamte 3D-Form darzustellen. Die Frage, wie viele Ansichten ausreichen, um die 3D-Form zu modellieren, ist jedoch nach wie vor offen und hängt mit der Aufnahmemethode für photogrammetrische Rekonstruktionen zusammen: Ein 3D-Objekt mit einer unzureichend kleinen Anzahl von Ansichten erfasst möglicherweise nicht die Eigenschaften der gesamten 3D-Form (insbesondere bei 3D-Szenen) und kann ein Problem der Überanpassung verursachen. Allerdings erwies sich die Verwendung von gut repräsentierten Multiview-Daten für das Lernen als effektiver als das Lernen von volumetrischen 3D-Daten, zumindest für Aufgaben der Formerkennung. [SMKL15,]

Nicht-euklidische 3D-Daten hingegen haben meist keine gitterartige Array-Struktur, sondern eine Struktur die als ungleichmäßig oder komplex beschrieben werden kann. Das bedeutet, dass verwendete Parameter zur Beschreibung eines Punktes lokal im Rahmen des jeweiligen Modells beschrieben wird. Die eher relevanten Arten von nicht-euklidischen Daten sind Punktwolken, 3D-Netze und Graphen. Es ist wichtig zu beachten, dass sowohl Punktwolken als auch Netze sowohl als euklidische als auch als nicht-euklidische Daten betrachtet werden können, je nachdem, auf welchen Maßstab die Verarbeitung erfolgt. Auch wenn diese Daten lokal euklidisch aussehen, leiden sie in der Praxis oft beispielsweise unter unendlicher Krümmung und Selbstüberschneidungen. [BBL⁺16]

1. *Punktwolken(Point Clouds)*: Eine Punktwolke kann grob als eine Menge von unstrukturierten 3D-Punkten beschrieben werden, die die Geometrie von 3D-Objekten annähernd widerspiegeln. Punktwolken können auch als eine Menge kleiner euklidischer Teilmengen mit einer globalen Parametrisierung und einem gemeinsamen Koordinatensystem realisiert werden, die invariant gegenüber Transformationen wie z.B. Translation und Rotation. Aus diesem Grund hängt die Definition der Struktur der Punktwolke davon ab, ob man die globale oder die lokale Struktur des Objekts betrachtet. Der Großteil an Deep-Learning Techniken zielen jedoch darauf ab, die globalen Merkmale des Objekts zu erfassen, um komplexe Probleme wie Erkennung, oder Korrespondenz, können Punktwolken im Kontext dieser Arbeit als nicht-euklidische Daten klassifiziert werden. Trotz der relativen Einfachheit der Erfassung von Punktwolken ist die Verarbeitung eine anspruchsvolle Aufgabe, da einige Probleme aufgrund des Fehlens von Konnektivitätsinformationen in Punktwolken auftreten, was in der Regel zu Unklarheiten über die Oberflächeninformationen führt.

2. *3D-Netz und Graphen* 3D-Netze (engl.: 3D-Mesh) sind eine der meistverbreiteten 3D-Darstellungen, und ist eine geometrische Datenstruktur, die die Darstellung von Oberflächenunterteilungen durch einen Satz von Polygonen ermöglicht. Ein 3D-Netz besteht aus Eckpunkten, sogenannten Vertices³, welche beschreiben, wie die Netzkoordinaten im 3D-Raum liegen. Diese Vertices sind in einer Konnektivitätsliste verknüpft, die beschreibt, wie diese miteinander verbunden sind. Die dadurch eingegrenzten Flächen bilden die Polygone, welche gemeinsam wiederum die Oberfläche bilden. Die Netz-Repräsentation können die Form eines Objekts sehr genau erfassen, sind leicht zu modifizieren und sind relativ effizient. In globaler Hinsicht handelt es sich bei den 3D-Netzen um nicht-euklidische Daten, bei denen die genannten Eigenschaften des euklidischen Raums in der Regel nicht genau definiert sind. Außerdem leiden solche 3D-Netze oft unter variierenden Ausprägungen an Rauschfehlern, fehlenden Daten und Auflösungsproblemen. 3D-Netze können auch als Graph-strukturierte Daten dargestellt werden, wobei die Knoten des Graphen den Vertices des 3D-Netzes entsprechen und die Kanten die Konnektivität zwischen diesen Eckpunkten darstellen. Graphen können dabei gerichtet oder ungerichtet sein. [BBL⁺16]

³Ein Vertex ist ein Punkt auf einem Polygon, an dem sich die Seiten oder Kanten des Objekts treffen oder an dem sich zwei Strahlen oder Liniensegmente treffen. Der Plural von Vertex ist Vertices.

3 Ansatz und Implementierung

Ziel dieses Kapitels ist es, die Ansätze und Implementierung für die jeweiligen Arbeitsschritte im Tandem vorzustellen, da mehrere Methoden und Ebenen der Planung und Umsetzung verwirrend sein können, folgt der Aufbau grob dem Ablauf der Arbeitsschritte. Details und Herausforderungen werden in den relevanten Gebieten mit beschrieben.

Zunächst wird, zurückgreifend auf die Problemstellung, eine übergreifende Rahmenauswahl und der prinzipielle Datenfluss erläutert wird, worauf grob Schritte der Photogrammetrie, der Rekonstruktion und des NST folgt.

3.1 Anforderungen und problemorientierte Zielsetzung

Nachfolgend werden die *Herausforderungen* und im Anschluss die sich daraus ergebenden Anforderungen beschrieben, die sich bei der Planung und ersten Anläufen ergaben, wobei einige Punkte sich überschneiden und ähnliche Ansätze haben können.

1. *Hohes Personal- und Zeitbedarf*: 3D-Rekonstruktionen, vor allem bei größeren Gebäuden erfordern je nach Bedarf, für eine exakte, oder für eine realistische Nachbildung oft teures Equipment, ein Team mit viel Erfahrung, Durchführung der Photogrammetrie und Nachbereitung. Bei weiteren Nachbearbeitungen durch beispielsweise Stilanpassungen, kann ohne automatisierte Wege viel an Zeit und Kosten verloren gehen
2. *Begrenzte Genauigkeit*: Die Genauigkeit der Photogrammetrie kann sehr hoch sein, ist aber in der Regel etwas anfälliger für verschiedene Faktoren, wie Lichtverhältnisse, Kameraeinstellungen und die Qualität der Bilder, die eine

Bildaufnahme beeinflussen. Dies kann zu Fehlern im endgültigen 3D-Modell führen.

3. *Datentyp-Problematik und Nachbearbeitungsaufwand*: Stilistische Anpassungen an das äußere Erscheinungsbild photogrammetrischer 3D-Modelle können ebenfalls mit hohem Zeit- und Personalaufwand verbunden sein, u.a. aufgrund einer hohen Größe und Auflösung des Modells und, je nach Handhabung der Methoden mit vorhandenen Daten, abgebildeten Artefakten aus der Umgebung.
4. *Hohe Anforderungen an Rechenleistung und Speicherbedarf*: NST erfordert oft viele Rechenressourcen, und benötigen in vielen Fällen auch eine CUDA-Grafikkarte, was vielen Leuten nicht zugänglich ist. Dies kann zeit- und ressourcenaufwendig sein und daher hohe Personal- und Zeitkosten verursachen. Bei der Photogrammetrie wird auch eine große Menge an Daten erzeugt, die unter Umständen verarbeitet und optimiert werden müssen, um ein brauchbares 3D-Modell zu erstellen. Dies kann zeitaufwendig sein und erfordert Software und Hardware, in dem der Preis mit einer höheren Wiederherstellungsgenauigkeit korreliert
5. *Begrenzte Abdeckung*: Photogrammetrie basiert darauf, mehrere Bilder desselben Objekts aus verschiedenen Blickwinkeln aufzunehmen, um ein 3D-Modell zu generieren. Diese Methode hat jedoch Einschränkungen hinsichtlich der Abdeckung, insbesondere für große oder komplexe Objekte. Spezielles Equipment ist schwer zu finden und mit hohen Kosten verbunden, sodass damit zu rechnen ist, dass eventuelle, nicht sichtbare Bereiche, zu unvollständigen Modellen führt
6. *Ausgewogene Berücksichtigung von Inhalt und Stil*: Die richtige Balance zwischen dem Inhalt des Originalbildes und dem Stil des Referenzbildes zu finden, kann bei dem Einsatz mit NST schwierig sein und erfordert möglicherweise eine Änderung, viele Iterationen und Anpassungen. Gleichzeitig können wichtige Merkmale im Originalbild verloren gehen

Mit den zusammengefassten und zentralen Herausforderungen, werden nun davon ableitende, darauf zielgerichtete Anforderungen aufgeführt, die den Großteil der Herausforderungen möglichst bearbeitet:

1. *Möglichst realitätsnahe 3D-Rekonstruktion*: Zentral ist, dass die Rekonstruktion, mit den verfügbaren Mitteln, möglichst realitätsnah, qualitativ hochwertig, abgeschlossen und hochauflösend sein
2. *Sorgfältige Planung*: Eine sorgfältige Planung und Vorbereitung kann die Genauigkeit der Photogrammetrie in vielen Fällen gewährleisten. Dazu gehört die Verwendung geeigneter Kameraeinstellungen, Lichtverhältnisse und die Aufnahme mehrerer Bilder aus verschiedenen Blickwinkeln. Dies kann Personal- und Zeitkosten einsparen
3. *Optimierung der Hardware*: Hardware, wie eine DSLR-Kamera, mit Stativ, mit korrekten Kameraeinstellungen, sowie auch der Einsatz von passenden Grafikkarten beziehungsweise cloudbasierten Angeboten kann beispielsweise Zeit- und Personalkosten sparen
4. Mögliche Automatisierung oder Streamlining von Prozessen: Die Aufnahme soll in direkten Schritten erfolgen, der Stiltransfer soll automatisiert ganze Bilddatensätze bearbeiten, um eine effiziente Arbeitsweise mit den großen Datenmengen zu erreichen
5. Änderung der Äußeren-Erscheinung anhand von historischem Bildmaterial: Es sollen Methoden des Deep Learning eingesetzt werden, um Stileigenschaften automatisch aus etwa gewählten Referenzbildern zu extrahieren, welche nach bestimmten Kriterien gewählt sind

Diese Anforderungen sind zum Teil spezifisch für den jeweiligen Arbeitsschritt, aber die Auswahl der Methoden wird auf der Grundlage übergreifender Anforderungen gestaltet. Zum einen soll gegeben sein, dass der Workflow wiederholbare, qualitativ und visuell nachvollziehbare Stiländerungen des Erscheinungsbildes der 3D-Modelle liefert, und zum anderen, dass es einen hoch automatisierten, rechnerisch effizienten und zeitlich effektiven Workflow für die Erfassung der Daten, für die Rekonstruktion des 3D-Modells aus den Daten und die Stilübertragung der 3D-Modelle gibt. Mit den zur Verfügung stehenden Primärdaten, nämlich den photogrammetrischen Bilddaten und beliebigen Stilzielbildern, wäre es zudem von großem Vorteil, dass in einem realistischen Rahmen, unabhängig von der Menge und Komplexität der Datensatzgröße, ein reibungsloser und schneller Stiltransfer erreicht werden kann. Die stilistischen Änderungen sollten nach einer Änderung ab der 3D-Rekonstruktion möglichst leicht

zwischen den Stilen als Basisobjekt umstellbar sein, sowie auch digital vorliegend weiter bearbeitbar sein.

Die Anforderungen der Qualitätssicherung stehen in einem umgekehrten Verhältnis zu den Anforderungen der Kosten- und Zeitersparnis. Hier muss subjektiv auf beiden Seiten ein gewisser Kompromiss eingegangen werden, damit die Prozesse zeit- und kosteneffizient sind, aber dennoch die Qualität der Bilder, der 3D-Rekonstruktion und der Stilübertragung so hoch wie möglich bleibt. Zu den vielen Faktoren wie dem großen Modellmaßstab und der anschließenden Stiländerung durch Deep-Learning-Algorithmen gehören auch begrenzte Aufnahmegерäte und Rechenleistung, die als gängig und erschwinglich bezeichnet werden können. Diese Faktoren können die Interessenten verunsichern und ihnen Bedenken hinsichtlich des Prozesses und der zu erwartenden Probleme bei den Ergebnissen am Ende machen. Ein Aspekt, der idealerweise demonstriert wird, ist, dass die hier vorgestellten Prozesse eine gewisse Erschwinglichkeit, Effizienz und Zugänglichkeit haben können, die mit qualitativ hochwertigen Ergebnissen in den Modellen und dreidimensionalen Stiländerungen einhergeht.

3.1.1 Wahl des Arbeitsverlaufes

Nachfolgend wird die Herangehensweise an die Auswahl des Arbeitsverlaufes¹ skizziert, um möglichst den definierten Anforderungen entgegenzukommen, und vorteilhaft Effizienz oder Qualität zu erhöhen. etwa durch das Verstehen von Methoden und deren Grenzen, Möglichkeiten der Abstraktion schwieriger Probleme oder verfügbare Ausrüstung, fachliche Beratung und Vorbereitung. Weiter spezifizierte Zielbestimmungen aufgrund dessen sind folgend aufgeführt.

Die Konzipierung, Implementation und qualifizierten Bewertung eines Systems, zur Erfüllung von:

1. Die Erstellung von 3D-Repräsentation ausgewählter realer Gebäude, die in *möglichst automatisierten Arbeitsabläufen realitätsnah, bearbeitbar und digital* dargestellt wird

¹auch bezeichnet als Verfahrenskette, Projektrahmen, Framework oder Workflow

2. Die *automatisierte Anpassung* der äußeren Erscheinung der 3D-Modelle in andere Stile, beispielsweise kann der Stil anhand von externen Bilddaten vorgegeben werden, idealerweise möglichst automatisiert, etwa mit Deep Learning Ansätzen
3. Mögliche Behandlung weiterer Faktoren und *idealerweise Optimierung, wie kosteneffiziente Anwendungen, was Zeit-, Arbeit-, sowie Aufnahme- und Berechnungsfaktoren betrifft*

Im Hinblick auf die Ziele ist es von entscheidender Bedeutung, im Voraus zu planen und zu recherchieren und Werkzeuge und Methoden zu finden, die in Bezug auf Qualität und Auflösung gut, effizient und kostengünstig sind. Die hochwertigsten Methoden, die effizientesten Werkzeuge und Hilfsmittel.

Für die Erstellung von 3D-Rekonstruktionen fällt die Wahl der Methode der Photogrammetrie einfach, was vor allem an der Zugänglichkeit, den leistungsfähigen Aufnahmesystemen, unter anderem ausleihbaren DSLR-Kameras, den effizienten photogrammetrischen Algorithmen sowie an den möglichen hochauflösenden Rekonstruktionsmodellen liegt. Darüber hinaus können Aufnahmeschritte und Vorbereitungen klar definiert und effizient als Richtlinien umgesetzt werden, sodass etwaige Einflussfaktoren bei der Aufnahme minimiert werden, was gleichzeitig eine begrenzte Automatisierung ermöglicht, die etwa mangelnde Erfahrung entgegenkommen kann. Damit einher geht auch, dass die Rekonstruktion zu 3D-Mesh als Daten gewählt ist, die sich aufgrund der hohen Bildinformation gut für den Einsatz von Photogrammetrie eignet und durch die unterstützende Texturkarte eine der realistischeren Rekonstruktionsmethoden darstellt. Bei der Konzeption wurden auch die Eigenschaften der Textur und das Vorhandensein der Bilddaten berücksichtigt, um effiziente Verbindungsmöglichkeiten zu finden, die Stileigenschaften mit dem neuronalen Stiltransfer automatisiert zu übertragen. Bevor jedoch spezifische Erfassungsfaktoren in Betracht gezogen werden, erfolgt die Entwicklung spezifischerer Ansätze für den gesamten Arbeitsablauf, um potenziellen Anforderungen gerecht zu werden, die beispielsweise bei der Stilübertragung entstehen können, wenn sie mit photogrammetrischen Erfassungsmethoden in Verbindung gebracht werden können.

Die erstellte Übersicht des Arbeitsverlaufes, geschildert in Abbildung 3.1 oder im Anhang A.9 zeigt eine Art Flussdiagramm eines konzipierten Arbeitsprozesses, in

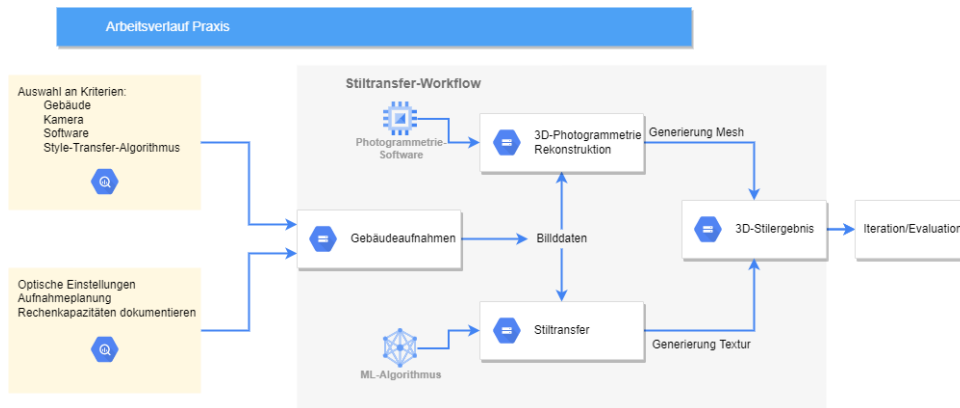


Abbildung 3.1: Grobe Übersicht über den Arbeitsverlauf: Ablaufschritte von links nach rechts aufgeführt. Eine gelbe Hintergrundfarbe beschreibt vorbereitende Aufgaben. Eine graue Hinterlegung beschreibt den eigentlichen Arbeitsverlauf. Verdeutlichung der Mehrzwecknutzung von photogrammetrischen Bildern, sowie der Trennung in der Datenprozessierung und anschließender Zusammenführung von Daten im Ergebnis-Objekt.

der übergeordnet von links nach rechts verlaufen wird, um Abhängigkeiten in aufbauenden Arbeitsschritten darzustellen. Die in der Abbildung 3.1 links gelblich unterlegte Bereich beschreibt vorbereitende Schritte, wie Auswahl an Kriterien, wie auch vorbereitende Planungen für die Gebäudeaufnahmen. Die darauf erhaltenen Bilddaten werden dann für die jeweilige Prozessierung getrennt behandelt. Die Photogrammetrie-Software verarbeitet die Bilder und rekonstruiert das 3D-Netz mit der zugehörigen Basistextur. Derselbe Bilddatensatz des Gebäudes wird parallel auf den Stil übertragen. Am Ende wird der Stilbild-Datensatz auf das 3D-Netz projiziert. Die Nutzung des Bilddatensatzes für zwei Wege, sowie die Verknüpfung der vorteilhaften Eigenschaften der Bilddaten, als auch der 3D-Daten zeigt sich als vielversprechend für eine qualitativ hochwertige und effiziente Methode des 3D-Stiltransfers.

Der übergreifende Plan des Arbeitsablaufs mit den spezifischen Datenströmen, und wie diese implementiert und eingesetzt werden, ist auf Abbildung 3.2 und im Anhang A.8 größer dargestellt. Der Verlauf zeigt den Strom für einen Bildsatz der Gebäudeaufnahme, beginnend von oben nach unten. Die jeweiligen Schritte sind an der Seite beschriftet. Beginnend mit der Aufnahme des Objekts wird der Bilddatensatz, hier gelb markiert, aufgelistet. Der Datensatz enthält die einzelnen RAW-Bilder des aufgenommenen Objekts und kann diese als Input für die Stilübertragung als auch in

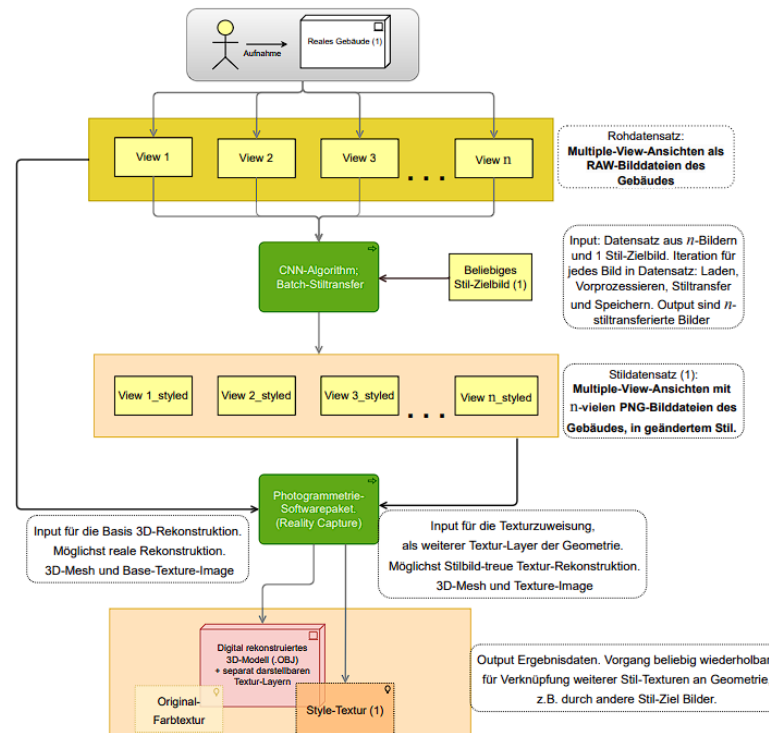


Abbildung 3.2: Framework-Übersicht in einem Ablaufdiagramm: mit Fokus auf Handhabung von Datenströmen und Strukturen. Der Prozess wird grob von oben nach unten aufgeführt, wird jeweils in dem weißen Bereich kurz beschrieben und endet unten nach der Erstellung des Basis-Modells mit Basis-Textur-Layer, sowie einem stilverändertem Textur-Layer. Verschiedene Datensätze haben einen farbigen unterlegt, Prozessierverfahren sind grün dargestellt.

der Photogrammetrie-Software verwendet werden. Anschließend wird mit einer Codezeile in Python der Ordner definiert, in dem sich der Datensatz befindet, sowie ein ausgewähltes Stilzielbild mit. Nach dem Stiltransfer wird ein zweiter, zahlenmäßig gleicher Datensatz ausgegeben, der die jeweiligen Ansichten des Gebäudes aufweist. Bei der Verarbeitung werden die Bilder komprimiert als PNG-Datei ausgegeben. Der gelb hinterlegte Basisdatensatz ist der Input für die 3D-Rekonstruktion und für den Stiltransfer, der orange hinterlegte Stildatensatz ist der stilisierte Datensatz, also Input für die Stiländerungen der Textur an der Geometrie.

3.1.2 Richtlinien und Faktoren der Aufnahme

Die Planung der Belichtung dient dem Zweck, die sich negativ auswirkenden Qualitätseinflüsse, wie erreichbare Objekterkennung, Mangel an markanten Objektpunkten und Bildqualität, zu minimieren. Diese kann durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden, meist durch die verwendete Aufnahmetechnik, menschliche und umweltbedingte Fehlereinflüsse. Folgend werden Vorbereitungen und folgend die Aufnahmeplanung für die Erstellung eines photogrammetrischen Datensatzes zur digitalen Rekonstruktion beschrieben und begründet, welcher prinzipiell für diverse Objekte einsetzbar ist, aber für Gebäude ausgelegt ist. Für jeden Punkt wird auch jeweils die Umsetzung der Aufnahmeplanung in dieser Arbeit geschildert.

Um ein photogrammetrisches Modell eines Gebäudes zu erreichen, können vielen Richtlinien und Forschungsarbeiten gefolgt werden. Im Falle der photogrammetrischen Erfassung des kulturellen Erbes wurde ein umfassendes Verzeichnis bewährter Verfahren erstellt, in dem wichtige Konzepte beschrieben werden. [SM17] Viele Aufnahmeentscheidungen sind abhängig von den eigenen Zielen, Objekteigenschaften, verfügbarer Technik und Zeit. Die Systeme sind also in großen Rahmen skalierbar. Als Erstes muss eine geeignete Kamera angeschafft werden und eingestellt beziehungsweise kalibriert werden. Die Wahl des Equipments hängt im großen Maße vom Budget des Nutzers ab. Grundlegend ist die Rekonstruktion besser, wenn höhere Auflösungen erreicht werden und die Details vom Objekt gut einzufangen sind.

Die Wahl der Kamera dieser Arbeit war beschränkt auf ausleihbare DSLR-Kameras, welche gute Aufnahmen erzielen, welche aber in diesem Fall an einem Stativ bodengebunden sind und höhere Orte mit einer begrenzten Überlappung erfassen. Die Auswahl ist im Anhang in Abbildung A.2 beigefügt, und fiel auf die *Nikon EOS 70D DSLR-Body mit festgestelltem Zoom-Objektiv auf 40 mm (EF 24-105 mm)*.

Die Kameraeinstellungen lassen sich aus zahlreichen Tabellen und Werken ableiten und setzen ein wenig Einarbeitung vor. In dieser Arbeit wurde dabei, das im Anhang befindliche Flowchart verwendet, um auf ideale Einstellungen zu kommen, welche beispielsweise aus Abbildung A.3 referenziert sind. [SM17]

Bei der Wahl des Aufnahmeortes und der Aufnahmezeit ist idealerweise möglichst wenig Schatten vorhanden, von allen Seiten möglichst frei stehend und gut sichtbar. Idealerweise ist die Aufnahme für einen Tag mit klarem Wetter und geringem Luftfeuchtigkeitsgrad geplant.

Speziell in dieser Arbeit sind zusätzliche Kriterien bei der Vorauswahl der aufzunehmenden Gebäude, zu sehen im Anhang, A.1 dass sich diese in der Stadt Mittweida befinden, eine gewisse historische Relevanz besitzen und welche begrenzt eine 3D-Rekonstruktion im lokalen Forschungsrahmen erfahren haben. Auch die Beachtung weiterer Details und Struktur in der Außenwand sowie die eine Begrenzung der Höhe der Gebäude, um Fehler, Problematiken bei der Rekonstruktion zu verhindern, die aufgrund einer zu geringen Abdeckung des Gebäudes entstehen könnten. Für die Aufnahme sind vier Gebäude ausgewählt, welche in Abbildung 3.3 dargestellt sind.



Abbildung 3.3: Finale Auswahl der Gebäudekandidaten: Altes Rathaus Mittweida (oben links), HSMW Alfred Udo Holz-Bau (oben rechts), Roch'Sches Haus Mittweida (unten links), Museum Alte Pfarrhäuser (unten rechts)

Die Planung der Bildaufnahme ist in mehreren Schritten erfolgt. Nachdem die Auswahl der aufzunehmenden Gebäude durchgeführt wurde, ist eine vorläufige Skizze der Aufnahmepositionen und -entfernungen erstellt, dabei wird ein genauerer Blick auf die Satellitenbilder geworfen, und einer Planung mit markierten Kamerapositio-

nen und eventuellen Ausrichtungen. Erstellte Aufnahmeplanungen des Alten Rathauses 3.4 und des Pfarrhaus-Museums 3.5 sind folgend abgebildet, und weiterer Gebäude im Anhang ergänzt. Hierbei sind ebenfalls Photogrammetrie-Richtlinien beachtet worden. Die Planungen dienen mehr als Richtlinien und können bei der Ausführung täuschen. Beispielsweise Bäume, die sich mit den Jahreszeiten ändern sowie nicht erkennbare Höhenunterschiede können am Aufnahmetag überraschen, und nur eine begrenzte Befolgung des Aufnahmeplans garantieren. Grundsätzlich lässt sich mit einer Kamera als Equipment, das Umkreisen des Gebäudes realisieren, wobei verschiedene Reihen an Aufnahmen entstehen. Bei der örtlichen Aufnahmeplanung sind jedoch mehrere Aspekte mit einbegriffen, welche in der Praxis Wichtigkeit haben, um eine problemlose Implementation in Photogrammetrie-Auswertesysteme zu gewährleisten. Darunter gehören:

1. Die höchstmögliche Auflösung zu benutzen.
2. Jeder Punkt der Objektoberfläche sollte in mindestens zwei qualitativ hochwertigen Bildern deutlich sichtbar sein.
3. Wechseln der Aufnahmeposition. Von nur einer Position aus, entsteht nur ein Panorama, das nicht zur Erstellung eines 3D-Modells beiträgt. Es ist vielmehr eine kreisförmige Bewegung um das Objekt herum. Spezifisch für Gebäudeaufnahmen wurde grob 1 Meter je Position geplant, dabei keine Änderung des Blickwinkels um mehr als 30 Grad.
4. Aufnahme des gesamten Objekts und bei Bedarf spezielle Aufnahmen von Details. Dabei beachten, nicht zu nah heranzugehen, sondern schrittweise vorgehen.
5. Nach Möglichkeit Schleifen abschließen. Also bei Objekten wie Statuen und Gebäuden soll bewegen und an der Stelle landen, an der angefangen wurde.

[SM17]

Über die Planung hinaus, sollte der jetzige Zustand festgestellt werden, indem um das Gebäude gegangen wird, um mögliche Arbeiten am Gebäude oder unerwartete Objekte auszuschließen. In der Planung können nicht alle gegebenen Variablen berücksichtigt werden, wodurch ein Abweichen von der topografischen Planung manchmal notwendig ist, diese Faktoren sind beispielsweise durch Höhenunterschiede zum Gebäude, Störobjekte zwischen Kamera und Gebäude, sowie Wettereffekte gegeben.

Eine solche Dokumentation ist jedoch von Vorteil, um Entscheidungen zu treffen, beispielsweise damit nicht geeignete Gebäude frühzeitig ausgeschlossen werden können oder die Datenmenge einzuschätzen. Es ist wichtig zu berücksichtigen, wie die allgemeine Form und die Merkmale des Gebäudes zum Aufnahmetag sind, auch wie alle besonderen Gebäudeornamente aussehen, und ob diese weiteren Nahaufnahmen erfordern, um eine hochauflösende Darstellung in der Rekonstruktion zu erzielen. Wenn vorhanden, werden Kameradrohnen oder nahe Gebäude verwendet, um Fotos aus verschiedenen Höhen zu erstellen, wenn sichergestellt werden soll, dass das Gebäude von allen Seiten fotografiert wird, um ein abgeschlossenes 3D-Modell zu erstellen.

Stützend auf der Planungserstellung folgt die eigentliche Aufnahme der gewählten Objekte. Der Aufnahmeprozess hängt von den vorbereitenden Schritten ab und soll sich möglichst an die orthografische Planung stützen. Mit den möglichst festgestellten und gleichbleibenden Einstellungen der Kamera, wird von den gewählten Positionen aus aufgenommen, prinzipiell beachtet werden soll, wenn kein detaillierter Plan existiert, dass sich die Fotos um mindestens 60% vom vorigen Bild überlappen sollten. Wenn das Fotografieren abgeschlossen ist, wird geprüft, ob eine ausreichende Anzahl und Vielfalt von Bildern aufgenommen sind. Die Fotos werden in einer logischen Reihenfolge, entweder nach Ort oder nach Zeit geordnet.

Insgesamt ist es wichtig, bei der Aufnahme von Fotos für die Photogrammetrie methodisch vorzugehen, da sich die Qualität und Abdeckung der Bilder direkt auf die Auflösung und Detailgenauigkeit des resultierenden 3D-Modells auswirkt.

1. Hohe Detailgenauigkeit und Auflösung und akkurate Dimensionen der Objektnachbildung.
2. Reproduzierbarkeit gewährleisten, mit definierten Aufnahmebedingungen und Ablaufschritten.
3. Minimaler Nachbearbeitungsaufwand der Gebäudeerstellung sowie stilistische Eingriffe des Nutzers.
4. Möglichkeit zur flexiblen Erstellung mehrerer 3D-Repräsentationen wie Punktwolken und 3D-Mesh. Texturbilder als Inputdaten bieten Möglichkeiten
5. Flexibel erweiterbar und Arbeitsverlauf leicht auf andere Objekte übertragbar.

Folgend werden die Aufnahmepositionen bestimmt. Hierzu wird einer topografischen Planung soweit möglich gefolgt, die beispielsweise an öffentlichen Satellitenbildern skizziert werden kann. Dies wurde anhand von Satellitenbildern aus der öffentlichen Datenbank von Google Maps extrahiert, und folgend Distanzen bemessen und der ideale Pfad der Kamerapositionen markiert. Die Aufnahmeplanung der ausgewählten Gebäude sind in Abbildung 3.4 bis 3.5 aufgeführt. In dieser Abbildung sind potenzielle Pfade markiert, um die größtmögliche Objektabbildung auf der Kamera zu ermöglichen, zum Beispiel durch die Bestimmung der Abstände zu anderen Gebäuden und mögliche Aufnahmewinkel. Positionen werden anhand des Maßstabes bestimmt und grob aufgeteilt, um anschließend eine Prognose der ungefähren Anzahl der Bilder zu erhalten. Wenn möglich, werden markante Punkte ausgesucht für die Bestimmung der Aufnahmepositionen, wie etwa am Bordstein entlang. Detailaufnahmen von komplexeren Details sind von Fall zu Fall zu beschließen.

Die Wahl der Stilzielbilder wurde anhand von Gebäuden gewählt, welche jedoch in Differenzen von Kriterien belaufen, wie distinkt unterschiedlichen Stileigenschaften, unterschiedliche Farbgebungen, Kontrast, künstlerischen Merkmalen und Lokalität der Architektur, um Unterschiede erfasst und transferierten Stileigenschaften festzuhalten in den Abbildungen festzustellen.

3.1.3 Softwareeinsatz und Daten

Für die photogrammetrische Auswertung wird der Einsatz mit dem Softwarepaket RealityCapture gewählt, das durch hohe Modellqualitäten, kostenlose Studentenversionen, und wegen Funktionen, wie einer automatisiert zuweisbaren Mehrfachtextur, ausgewählt wurde. Für den automatisierten Einsatz können zum Beispiel mehrere Stilbilsätze als zusätzliche auswählbare Texturen beigefügt werden. RealityCapture wird häufig professionell zum Scannen von Oberflächentexturen bei der Photogrammetrie eingesetzt und ist auch für textuelle Bilder gut geeignet. Darüber hinaus ermöglicht RealityCapture die automatische Bestimmung von Texturpositionen unter Verwendung von Bilsätzen, die dieselbe Anzahl von Bildern mit demselben Dateinamen, aber anderem Inhalt als der zur Erstellung der Geometrie verwendete Bilsatz enthalten. Dies ermöglicht die effiziente Erstellung einer großen Anzahl von Texturebenen zu einem 3D-Modell mit bereits berechneten Korrespondenzen. Die besprochenen Methoden der Photogrammetrieberechnung werden dabei eingesetzt, dem Nutzer ist jedoch kaum an den Berechnungsprozessen beteiligt.

Aus Gründen der Wiederholbarkeit erfolgt keine manuelle Vor- oder Nachbearbeitung des Modells, abgesehen von eventuellen Korrekturen der rekonstruierten Bereiche zur Entfernung störender Umgebungsobjekte. Die automatische Erstellung in Realitycapture wird ansonsten ohne weitere Optionen erstellt:

Die meisten Funktionen werden automatisch nach jedem ausgewählten Berechnungsschritt ausgeführt. Importieren der Fotos: Klicken Sie in RealityCapture auf die Registerkarte Import und wählen Sie die Fotos (idealerweise RAW) aus, die Sie für das Modell verwenden möchten. Die Software wird die Fotos automatisch erkennen und ausrichten. Erzeugen Sie die Punktwolke: Wählen Sie auf der Registerkarte Verarbeiten die Option Punktwolke generieren, um eine 3D-Punktwolke aus den ausgerichteten Fotos zu erstellen. Die Punktwolke wird in der 3D-Ansicht angezeigt. 3D-Netz erstellen: Wählen Sie auf der Registerkarte Prozess die Option Netz erstellen, um ein 3D-Netz aus der Punktwolke zu erstellen. Das Netz wird in der 3D-Ansicht angezeigt. Optional können Sie das Objekt bei Bedarf nachbearbeiten. Textur hinzufügen: Drücken Sie die Auswahl auf der Registerkarte Textur und wählen Sie die Option Textur erstellen. Wählen Sie nun die Fotos aus, die als Textur-Maps verwendet werden sollen. Dieser Schritt ist nützlich für Texturänderungen auf Basis von Bildern, um Stiländerungen zu implementieren. Danach kann das Modell in verschiedenen Formaten exportiert werden.

Die gewählte Programmierumgebung ist das webbasierte (Google Colab), das wegen der Nutzerfreundlichkeit und eingesetzten nvidia-Grafikkarten gewählt wurde, welche aufgrund des teilweise kostenlosen Einsatz auch preisgünstig ausfiel. Der vortrainierte Algorithmus ist in Tensorflow implementiert und kann als Modul verwendet werden. Der vorliegende vortrainierte Algorithmus [GLK⁺17] ist darauf ausgelegt, sehr schnell und generalisiert, eine Großzahl an verschiedene Stilen zu extrahieren und zu synthetisieren. Die leichte Verfügbarkeit und Einsetzbarkeit, sowie die Zeitersparnis passt den Anforderungen der Arbeit, trotz Verbesserungsfähigkeit der Spezialisierung eines NST-Algorithmus.

Die automatische Durchführung wird durch iterativen Durchlauf aller Bilder in einem definierten Pfad konzipiert. Nacheinander werden die Bilder durch Befehle, eventuell vorprozessiert und vom Stiltransfer Algorithmus berechnet. Im Endeffekt existiert ein zweiter Bildsatz der Ausgangsbilder, lediglich abgegrenzt von unterschiedlichen Stileigenschaften und dem Speicherort. Variablen wie Bilder, angegebenen Ordner, Merkmalsausprägungen sowie Nachprozessierungen, wie Dateinamenän-

derung nach Quellenbild, und sicherer Speicherung, bevor automatisch das nächste Bild im Ordner durchläuft.

Bei der Durchführung des Algorithmus wird nacheinander zunächst der Cloud-Speicher an Google Colab gekoppelt, in der sich der Datenordner und der Bildpfad des Stilbildes befinden. Anschließend werden die Bilder sukzessive geladen, in der Größe verändert, also bei eventueller Übergröße auf 1200 x 1200 Pixel reduziert. Wenn das Stilbild und der Datenordner referenziert sind, läuft eine for-Schleife, die für jede Datei in einem Pfad sukzessive das Bild lädt, preprozessiert, stiliert, dynamisch umnennt, und in einem anderen definiertem Ordner gespeichert. Dadurch kann der Stil-Datensatz direkt als Textur in RealityCapture eingegeben werden.

Daten durchschnittliche Berechnungszeit bei dem eingesetzten Stiltransfer Algorithmus mit cloudbasierter bereitgestellter Tesla T4 Grafikkarte und etwa 4.21 GB Arbeitsspeicher, wobei Zeiten des Laden, etwaigen Vorprozessierungen und Hochladen der Bilder in den Cloud-Speichernicht mit eingerechnet sind. Ein kompletter Datensatz-Durchlauf mit etwa 80 Bildern beläuft sich trotz Cloud-Umgebung ungefähr zwischen 5 und 10 Minuten.

1. Museum = 0.29s pro Bild (Bei 1200x2000p)
2. UdoHolztBau = 0.28s pro Bild (Bei 1200x2000p)
3. RochschesHaus = 0.28 pro Bild (Bei 1200x2000p)
4. Rathaus = 0.24 pro Bild (Bei 1200x2000p)

Berechnungszeiten für die Rekonstruktionen und Erstellung der Texturen wurde nicht aufgenommen und variiert im Prozess. Bei 80 Bildern dauert der Prozess durchschnittlich von 20 bis 50 Minuten. Eine Textur wird unter 5 Minuten generiert, wenn die Bilder dieselben Ansichten und Dateinamen vorweisen.

Zusammenfassend sind vier distinkte Gebäude ausgewählt und dessen photogrammetrische Daten aufgenommen. Nach Aussortierung ergab dies je Datensatz 50 Bilder, 222 Bilder, 51 Bilder und 82 Bilder, insgesamt 405 Aufnahmen. Aus diesen vier Rohbilddatensätzen, sind 4 nachgebildete hochauflösende, realistisch aussehende, jedoch nicht komplett geschlossene Gebäudemodelle als 3D-Mesh mit jeweils Textur entstanden.

Die insgesamt 405 Bilder werden durch 6 gewählte, verschiedene Stilzielbilder im Stiltransfer berechnet. Dies wird für die 4 Gebäude durchgeführt. Insgesamt sind über 24 Stiltransfer-Bildsätze entstanden, mit insgesamt über 1700 individuellen Bildern. Für jedes Gebäude wurde neben der originalen Rekonstruktion, 6 Texturen erstellt.



Abbildung 3.4: Satellitenbild Museum 'Altes Rathaus Mittweida' mit geplantem, abgemessenem Aufnahmepfad und Aufnahmepositionen entlang des Pfades mit roten Punkten markiert (gelber Punkt für wahrscheinlich stark verdeckte Bereiche). Notiztext oben rechts beschreibt u.A., dass Aufnahmepositionen etwa alle 1,2 m entlang des Pfades aufgenommen werden. Hier sind 71 Meter Aufnahmedistanz und etwa 110 aufgenommene Bilder mit eingeplant.

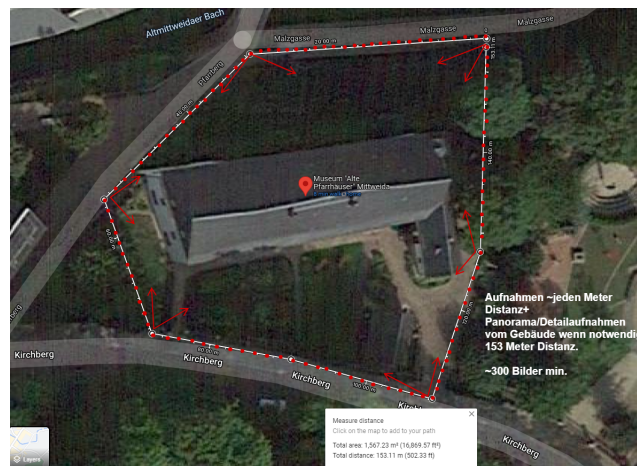


Abbildung 3.5: Satellitenbild Museum Alte Pfarrhäuser Mittweida mit geplantem, abgemessenem Aufnahmepfad und Aufnahmepositionen entlang des Pfades mit roten Punkten markiert (gelber Punkt für wahrscheinlich stark verdeckte Bereiche). Notiztext oben rechts beschreibt u.A., dass Aufnahmepositionen etwa alle 1,2 m entlang des Pfades aufgenommen werden. Hier sind 153 Meter Aufnahmedistanz und etwa 300 aufgenommene Bilder mit eingeplant.



(a) Stilzielbild BeigeFoto (b) Stilzielbild HügelGemälde (c) Stilzielbild FassadenFoto



(d) Stilzielbild HistorischKachelung (e) Stilzielbild Weiß-Haus (f) Stilzielbild SchlossGarten



(g) Stilzielbild Gemälde

Abbildung 3.6: Referenz und Reihenfolge umgesetzter Stilzielbilder, dessen Stil auf die jeweiligen Gebäude übertragen wird, dabei wird Bild (g) als abweichende Stilvariante auf dem Rathaus-Gebäude getestet.

4 Evaluation

Folgend soll eine Auseinandersetzung mit der entstandenen Werkzeugkette erfolgen, sowie eine Diskussion der Ergebnisse. Betrachtet wird hauptsächlich das visuelle Erscheinungsbild der jeweiligen Gebäuderekonstruktionen, der Stiltransferbilder und Stiltransfer-3D-Modelle in Verbindung mit der Repräsentationsgenauigkeit.

4.1 Visueller Vergleich

Folgend werden die Ergebnisse des implementierten Systems, für jedes der vier bearbeiteten Gebäude dargestellt, welche sukzessiv vom alten Rathaus über das Museum Alte Pfarrhäuser, gefolgt von Rochsches Haus und abschließend mit dem Alfred-Udo-Holz Bau präsentiert wird. Wobei zuerst eine Ansicht der photogrammetrischen Input-Bilder verbunden einer Ansicht der resultierenden 3D-Rekonstruktion darstellt wird. Zuerst wird für das jeweilige Gebäude die Rekonstruktion mit der Photogrammetrie vorgestellt und anhand visueller Eigenschaften kurz diskutiert. Dies dient darüber hinaus als vergleichbarer Ausgangspunkt, um die darauf folgenden, geänderten Stil-Eigenschaften abgrenzend zu beschreiben. Im Anschluss an das jeweilige Rekonstruktionsergebnis sind je Gebäude, sechs verschiedene Stiltransfer-Ergebnisse präsentiert und diskutiert. Diese werden jeweils zusammenhängend als Auszug aus dem jeweiligen stilisierten Bilddatensatz, mit einem Screenshot des stilisierten 3D-Modells mit der entsprechend erstellten Textur, aufgeführt. Um mehrfach wiederholte Beschreibungen zu reduzieren, sind in darauffolgenden Ergebnissen weniger spezifisch beziehungsweise mehr auf andere Aspekte eingegangen, vor allem bei sehr ähnlichen visuell ausgeprägten Gegebenheiten. Des Weiteren werden die Ergebnisse der ersten beiden Gebäude in der Gesamtheit betrachtet, und für die folgenden zwei Gebäuden wird spezifisch auf die Übersetzung der Textur-Variationen an dem jeweiligen 3D-Modell eingegangen.

Die betrachteten Ergebnisse der Stilübertragungen sind anhand der jeweiligen Stilzielbilder definiert, und in der Abbildung referenziert. Nach der Betrachtung der Basis-Daten, wird die Reihenfolge der eingesetzten Stilziel-Bilder, in Abbildung 3.6 aufgeführt, und für jedes Gebäude verwendet. Die Darstellung der Ergebnisse bleibt in Bezug auf die Reihenfolge der Stilziel-Bildern 3.6(a) - (f) bleibt für jeweils alle Gebäude, in Bezug auf Reihenfolge und Gebäudeansicht, konsistent. Stilzielbild 3.6(g) wird nur bei den Ergebnissen des Rathaus-Gebäudes verbildlicht und wird als Test für eine abweichende Ziel-Richtung beziehungsweise für etwaige Limitationen gesehen.



(a) 2D-Aufnahme

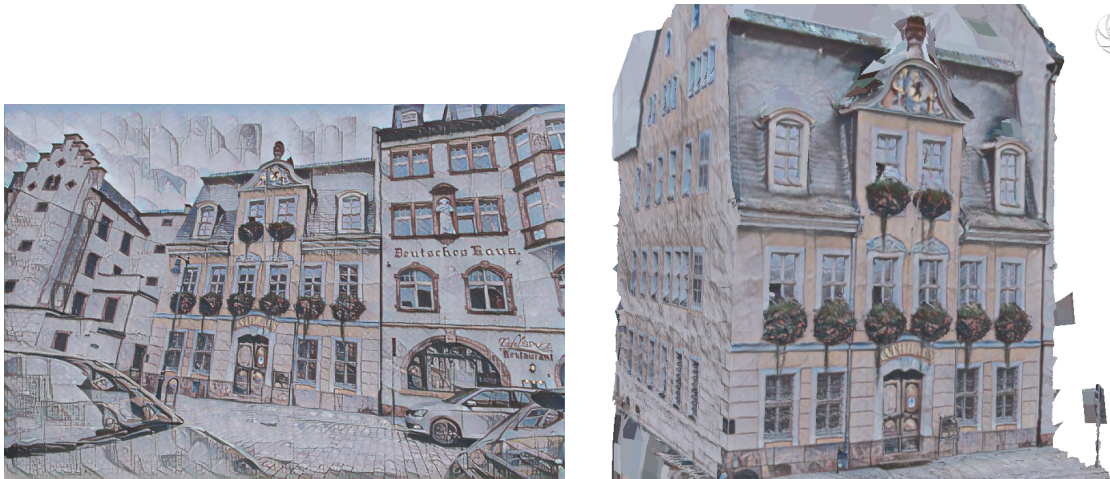


(b) 3D-Rekonstruktion

Abbildung 4.1: Altes Rathaus Mittweida: Darstellung der Ergebnisse vor dem Stiltransfer (a) als Auszug der Aufnahme-Daten und (b) als Render-Bild einer 3D-Ansicht in RealityCapture

Die photogrammetrische Rekonstruktion 4.1(b) zeigt eine visuell nachvollziehbare Darstellung von Form und visuellen Merkmalen, anhand dessen Input-Bildes 4.1(a). Insgesamt werden die Positionen und Unterschiede in Tiefe und Farbe der Bilder in dem Modell erfasst. Bei näherer Betrachtung sind Verzerrungen in einigen Fenstern und im Dach zu erkennen, was bis zu einem gewissen Grad auf die Verdeckung beziehungsweise auf die hohe Position zurückzuführen ist, in der die Kamera keine gute Sicht auf das Gebäude einfangen konnte. Außerdem gibt es einige eingefangene Reste des kombinierten Nebengebäudes, Straßenschilder und des Gehweges. Diese Eigenschaften sind wahrscheinlich auf das photogrammetrische Verfahren zurückzuführen. Die Umgebung wird mit aufgenommen, die Höhe des Gebäudes, als

auch die reflexiven Eigenschaften der Fenster führt üblicherweise zu den Einflüssen in der Rekonstruktion. Um nachbearbeitende Eingriffe minimal zu halten und keine potenzielle Gebäudegeometrie zu gefährden, wurde für die Rekonstruktion ausschließlich eine approximierten Begrenzungsbox verwendet, was zu den rechts vom weißen Gebäude sichtbaren scharfkantigen Relikten führt.



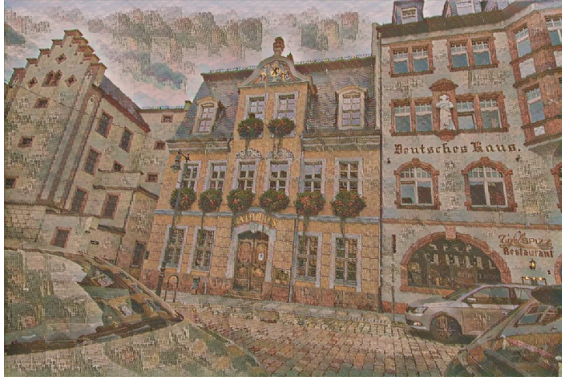
(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.2: Stiltransferergebnis von Stilziel-Bild 1 auf 4.1(a) auf einem Bild, sowie (b) als angewandte Textur auf dem 3D-Netz.

Die Stiländerung des Eingabebildes 4.1(b) ist in 4.2(a) dargestellt. Bezogen auf das hier verwendete Stilbild 3.6(a) ist grob ein übertragener Stil mit einem blassen grau-orangefarbenen Ton, wenig Kontrast und etwas unförmigen und geschwungenen Formen im gesamten Bild zu beobachten. Dies ist besonders ausgeprägt auf gleichmäßigen Oberflächen wie dem Himmel oder dem Fahrzeug unten links. Die Details und Komponenten des Gebäudes sind gut erkennbar und farblich differenziert.

Die Darstellung des Stils in 3D, Abbildung 4.2(b), weist eine korrekte Texturposition an der gleichbleibenden Geometrie auf und bildet die in den Eingabebildern angezeigten Eigenschaften ab. Zu sehen sind auch die wellenartige Texturierung, die ,aufgrund der relativ gleichmäßigen Oberfläche, auf der linken Seitenwand deutlicher erkennt. Die Färbung wird gut abgebildet. Die Verzerrungen der Geometrie wird in der Umgebung und die Unregelmäßigkeiten den Fenstern sind auch in 4.1(b) aufgeführt.



(a) Stil in 2D



(b) Stil in 3D

Abbildung 4.3: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(b) auf 4.3(a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die Stildarstellung 4.3(a), welcher den Stil in 3.6(b) repräsentiert, zeigt eine insgesamt deutlich raue und körnige Texturierung im Bild, der sich in orange-grünen Strukturen präsentiert. Die malerischen Aspekte des Stilbildes zeigen sich deutlich, wobei der Inhalt des Bildes, wie Details und Komponenten des Gebäudes, noch klar besteht.

Die Darstellung des Stils in 3D in Abbildung 4.3(b) besitzt die wesentlichen Eigenschaften aus 4.3(a), inhaltliche und stilistische Elemente sind korrekt an der Geometrie positioniert. Die farblichen Zustände sind gut sichtbar, jedoch zeigt sich die raue und körnige Textur in einer weniger scharfen Auflösung.



(a) Stil in 2D



(b) Stil in 3D

Abbildung 4.4: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(c): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die Stildarstellung 4.4(a), welcher den Stil in 3.6(c) repräsentiert, zeigt den Inhalt in einem matten, gedämpften weiß-beige Ton, mit Textureigenschaften wie, horizontal-angeordneten Linien und teils gepunkteten Bereichen. Die Charakteristika des Stils weichen teils von dem Stilziel-Bild 3.6(c) ab, bei der eine kontrastreichere und farblich abwechslungsreichere Stildarstellung für den Nutzer wohl verständlicher wäre. Eine stilistische Extraktion war angesichts des fotografischen Inhalts und der Komplexität der verschiedenen Fassaden, Farben und Formen möglicherweise nicht optimal.

Die Darstellung des Stils in 3D in Abbildung 4.4(b) zeigt die aufgeführten Eigenschaften aus 4.4(a) in stilistischen und farblichen Aspekten, auch sind diese Eigenschaften übereinstimmend an der Geometrie positioniert. Die farblichen Zustände sind gut sichtbar, der eigentliche Stil wird überwiegend übernommen.



(a) Stil in 2D



(b) Stil in 3D

Abbildung 4.5: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(d): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die Stildarstellung 4.5(a), welcher den Stil in 3.6(d) repräsentiert, weist insgesamt einen gedämpft-grauen Farbton mit einer geringeren Farbvariation und weichen Übergängen zwischen den Elementen auf. Die Grundfarben des Gebäudes sind leicht zu erkennen und nicht komplett schwarz-weiß, wie auf dem Stilziel-Bild. Zu den strukturellen Merkmalen gehören subtile, bleistiftartige Streifen.

Stilistische Merkmale in der 3D-Abbildung, abgebildet in 4.5(b) sind sichtlich anhand von Abbildung 4.5(a) erfasst. Inhaltliche und stilistische Elemente sind visuell betrachtet ordnungsgemäß an der Geometrie positioniert und repräsentiert.



(a) Stil in 2D

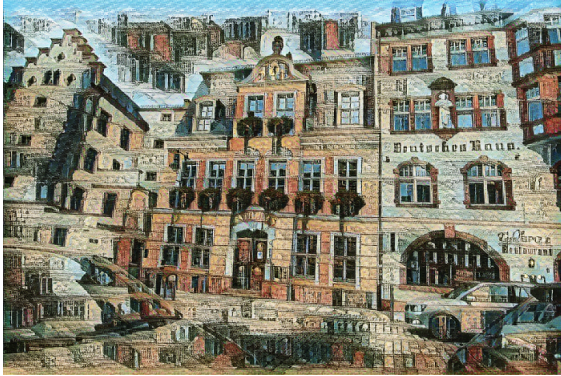


(b) Stil in 3D

Abbildung 4.6: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(e): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Bei der Stildarstellung 4.6(a), welcher den Stil in 3.6(e) repräsentiert, hat einen Gesamtstil, der mit einer Skizzenzeichnung verglichen werden kann. Die Kontraste und Übergänge sind meist hart oder deutlich. Es scheint, wie im Stilziel-Bild, monochrom zu sein. Strukturelemente sind nicht so allgegenwärtig im Bild, wie bei den anderen Stilbildern, sondern erscheinen subtil als Bleistift-erstellte Texturierungen.

Stilistische Merkmale in der 3D-Abbildung, Abbildung 4.6(b) sind sichtlich anhand von 4.6(a) erfasst. Inhaltliche und stilistische Elemente sind visuell betrachtet ordnungsgemäß an der Geometrie positioniert und repräsentiert. Die Skizzenartigen Strukturen können an der Vorderwand und Seitenwand beobachtet werden. Der Gesamtstil hat Qualitäten, die ähnlich zu historischen Zeichnungen oder frühen Fotografien sind.



(a) Stil in 2D



(b) Stil in 3D

Abbildung 4.7: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(b): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die Stildarstellung 4.7(a), welcher den Stil in 3.6(f) repräsentiert, zeigt hohe Farbvariationen und ausgeprägte strukturelle Muster, die als unregelmäßig geformte, grün-orangefarbene Quadrate, die im Bild verteilt sind, beschreiben werden können. Die Kontraste und Übergänge sind meist scharf. Strukturelemente sind in gleichmäßigen Oberflächen deutlicher, und in komplexeren Bereichen subtiler.

Stilistische Merkmale in der 3D-Abbildung, Abbildung 4.7(b), sind größtenteils sichtbar aus (a) erfasst. Inhaltliche Elemente sind visuell betrachtet ordnungsgemäß an der Geometrie positioniert und repräsentiert. Es besteht eine geringfügig andere Färbung an einigen Stellen der Vorderseite, wo die Sättigung niedriger erscheint, als in 4.7(a). Womöglich, weil sich der strukturelle Stil deutlich auf den Oberflächen ausprägt, und in leichten Variationen über die Bilder im Datensatz platziert.



(a) Stil in 2D



(b) Stil in 3D

Abbildung 4.8: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(g): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Bei der testweisen Stildarstellung 4.8(a), vom malerischen Stilziel-Bild 3.6(g), ist ein übergreifender Stil deutlich. Dies kann als malerisch beschrieben werden kann, mit fließenden und losen Farbübergängen zwischen den Objekten, kleinen wellenförmigen Texturmerkmalen, die überall zu sehen sind. Die Farben sind dabei durchgehend bläulich-gelblich. Die Testeigenschaften des Stilziel-Bildes, nämlich: eine malerische Struktur ohne Gebäude, weist im Vergleich zu den anderen Stilziel-Bildern gewisse Unterschiede in Struktur und Stil auf. Erstens einen einheitlicheren Stil, bei dem sich die Farben mehr vermischen. Zweitens sind die strukturellen Eigenschaften des Stils kleiner dargestellt und über das gesamte Bild verteilt und nicht so stark auf einheitliche Oberflächen ausgerichtet.

Stilistische Merkmale in der 3D-Abbildung, Abbildung 4.8(b) sind sichtlich anhand von 4.8(a) erfasst. Inhaltliche und stilistische Elemente sind visuell betrachtet teilweise an der Geometrie positioniert und repräsentiert. Die farbliche Eigenschaften in 4.8(a) sind abgebildet, die strukturellen Formen sind subtil sichtbar, jedoch weniger deutlich beziehungsweise unscharf dargestellt.



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.9: Museum Alte Pfarrhäuser: Darstellung der Ergebnisse vor dem Stiltransfer (a) als Auszug der Aufnahme-Daten und (b) als Render-Bild einer 3D-Ansicht in RealityCapture

Die photogrammetrische Rekonstruktion 4.9(b) zeigt eine visuell nachvollziehbare 3D-Darstellung von Form und visuellen Merkmalen in Bereichen, die aufgenommen sind. Insgesamt werden die Positionen, Maße und Unterschiede in Tiefe und Farbe der Bilder in dem Modell in detaillierter Weise erfasst.

Die Rekonstruktion enthält auch Teile der unmittelbaren Umgebung, wie eine Hütte, den Vorgarten, Bäume und einige Artefakte, die über dem Gebäude zu sehen sind. Für bestimmte Anwendungen könnte ein isoliertes und bereinigtes Modell vorteilhaft sein, aber um die Ergebnisse eines automatisierten Arbeitsablaufs ohne zusätzliche Nachbearbeitungsschritte zu zeigen, werden diese Elemente nicht entfernt, sind jedoch verfügbar.



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.10: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(a): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Neben den bereits besprochenen Eigenschaften ist in der 2D-Darstellung 4.10(a) mittels Stilziel 3.6(a) ein differenzierter farblicher Ausdruck, wie etwa auf dem Rasen und über dem Gebäude zu sehen. Die strukturellen Stileigenschaften sind ebenfalls stark über dem Gebäude zu sehen, mit scheinbar ungleichmäßiger Verteilung im Dach.

Stilistische Merkmale in der 3D-Abbildung 4.10(b) stimmen mit denen aus 4.10(a) weitgehend überein. Die Stil-Strukturen werden sehr subtil am Dach dargestellt, ohne sehr ausgeprägte Merkmale, wie in 4.10(a).



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.11: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(b): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

2D-Darstellung 4.11(a) mittels Stilziel 3.6(b) zeigt matte Farben jedoch mit starken Akzenten, wie dem Schornstein oder der Tür. Die 3D-Abbildung 4.11(b) mit Stileigenschaften aus 4.11(a), weist subtilere Stil-Strukturen auf, hingegen jedoch akkurate farbliche Repräsentation.



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.12: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(c): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

2D-Darstellung 4.12(a) mittels Stilziel 3.6(c) zeigt matte Farben jedoch mit starken Akzenten, wie an der Schornstein oder der Tür. Die 3D-Abbildung 4.12(b), mit Stileigenschaften aus 4.12(a), weist subtilere Stil-Strukturen auf, hingegen jedoch akkurate farbliche Repräsentation.



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.13: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(d): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

2D-Darstellung 4.13(a) mittels Stilziel 3.6(d) zeigt eine gedämpfte Farbpalette, nahezu schwarz-weiß, mit dunkleren Strukturlinien, die vor allem unterhalb und oberhalb des Gebäudes zu sehen sind. Die dazugehörige 3D-Abbildung 4.13(b), zeigt eine größtenteils übereinstimmende Repräsentation zu 4.13(a) mit geringerer Ausprägung der linienförmigen Strukturen.



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.14: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(e): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die 2D-Darstellung 4.14(a) mittels Stilziel 3.6(e) zeigt deutlicher die groben Strukturelemente, die Bleistift-Zeichnungen ähneln. Die 3D-Abbildung 4.14(b), mit Stileigenschaften aus 3.6(e), weist diese Stil-Strukturen sichtlich erfolgreich auf, die groben und kontrastreichen textuellen Eigenschaften werden zu einem gewissen Grad übernommen. Beispielsweise ist der untere linke Dachbereich selektiv und konsistent heller, was speziell in den Input-Bildern hervorgeht.



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.15: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(f): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die 2D-Darstellung der Merkmale 4.15(a) mittels Stilziel 3.6(f) wird hier ebenfalls in einer, als aggressiv beschreibbaren Weise, repräsentiert. Die 3D-Abbildung 4.15(b) behält dabei die grundlegenden Inhaltskomponenten, die Variationen in Farbe werden ähnlich dargestellt, die stark abweichenden Strukturelemente werden jedoch weniger definiert, in einer Art Rauschmuster dargestellt, was bei dem Dachbereich ersichtlich ist.



(a) 2D-Aufnahme

(b) 3D-Rekonstruktion

Abbildung 4.16: Rochsches Haus: Darstellung der Ergebnisse vor dem Stiltransfer (a) als Auszug der Aufnahme-Daten und (b) als Render-Bild einer 3D-Ansicht in RealityCapture

Die photogrammetrische Rekonstruktion 4.16(b) zeigt, anhand dessen Input-Bilder 4.16(a), in aufgenommenen Bereichen eine visuell nachvollziehbare und akkurate Repräsentation der Form und Merkmalen. Insgesamt werden die Positionen und

Unterschiede in Tiefe und Farbe in dem Modell erfasst. Die verschiedenen, sich wiederholenden geometrischen Formen der Gebäudeteile, wie die Fenster, sind horizontal mit gleichem Abstand ausgerichtet, markant und einheitlich in der Farbe. Dies ist eine geeignete Grundlage für den Vergleich mit Texturunterschieden und möglichen Ausrichtungsfehlern.

Unregelmäßigkeiten sind auf dem Dach, in den Fenstern oben- und unten rechts und geringfügig an der rechten Wand zu erkennen, wo aufgrund des engen Weges beziehungsweise der Höhe und Tiefe nur eine begrenzte Anzahl von Ansichten erfasst werden konnte. Auch hinter der Pforte konnten ein Gatter und der offene Raum nicht ausreichend erfasst werden, wodurch die weiße Lücke Zustande kommt. Außerdem gibt es einige eingefangene Reste der Umwelt, wie Straßenschilder, Wolken und des Gehweges.

Die Verwendung von Stilübertragungsbildern mit denselben Stilzielen auf andere Gebäude zeigt im weiteren Verlauf visuell geringfügige Unterschiede. Für die letzten beiden aufgenommenen Gebäude wird kein Gesamtüberblick gegeben. Stattdessen liegt der Fokus ausschließlich auf einer näheren Betrachtung der Übersetzung der Textur-Variation aus dem entsprechenden Stiltransfer-Bildern.



(a) Stil in 2D

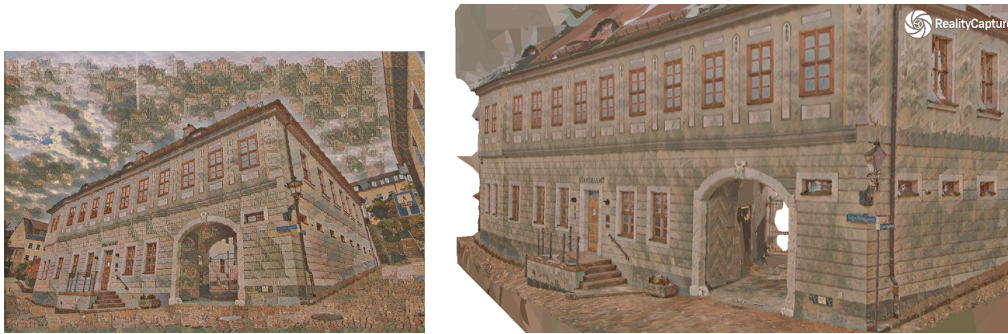


(b) Stil in 3D

Abbildung 4.17: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(a): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die erste Stil-Textur auf der 3D-Abbildung 4.17(b) präsentiert sich mit gezielten Farbgebungen, zum Beispiel sind die Fenster hell in Blau mit braunen Rahmen akzentuiert. Im Gegensatz zur einheitlichen Farbe der einzelnen Fassadenteile der Basis 4.16(b), ist die Gesamtfassade hier etwas einheitlich gefärbt, zeigt aber örtliche Unterschiede, mit steinartigen Texturen. Kleinere Bestandteile der Fassade wie die

Formen zwischen den Fenstern oder die horizontalen Linien in der unteren Hälfte verlieren an Deutlichkeit und gehen etwas in der Textur unter. In Bezug auf das Input-Bild 4.17(a) ist das gesamte äußere Erscheinungsbild nicht so verzerrt und die kleinen aber scharfen Textur-Strukturen werden in 3D geglättet.



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.18: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(b): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die zweite Stil-Textur auf der 3D-Abbildung 4.18(b) zeigt eine übergreifende grüne und orangefarbene Tönung, die ungleichmäßig über die gesamte Fläche verteilt ist und an der Fassade gemischt werden, während die anderen Komponenten weitgehend einheitlich bleiben. Die Fassade zeigt eine etwas geringere Auflösung und teilweise eine etwas andere Körnigkeit der Textur, zum Beispiel an den beiden Seiten des Eckpunktes. Kleinere Bestandteile, wie etwa die Formen zwischen den Fenstern, verlieren geringfügig an Unterscheidbarkeit. In Bezug auf das Input-Bild 4.18(a) ist hier ebenfalls eine etwas spürbare Glättung, jedoch mehr Robustheit bei Positionsdetails und Form.



(a) Stil in 2D



(b) Stil in 3D

Abbildung 4.19: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(c): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die dritte Stil-Textur auf der 3D-Abbildung 4.19(b) zeigt eine insgesamt beige- fast weißliche Farbe, mit noch deutlich akzentuierten Komponenten wie den Fenstern. Die Texturqualitäten, meist vertikal ausgerichtete Strukturen, sind auf den Oberflächen einigermaßen gut zu erkennen, werden aber in verschiedenen Teilen des Gebäudes leicht unterschiedlich ausgestellt. Die Fassade zeigt eine etwas geringere Auflösung und teilweise eine etwas andere Körnigkeit der Textur, zum Beispiel an den beiden Seiten des Eckpunktes. Kleinere Bestandteile, wie etwa die Formen zwischen den Fenstern, verlieren geringfügig an Unterscheidbarkeit. Alles in allem zeigt sich in Bezug auf das Input-Bild 4.19(a) derselbe Kompromiss wie bei den vorherigen Stilen: Die Textur wird weniger deutlich, aber auch weniger verzerrt dargestellt.



(a) Stil in 2D



(b) Stil in 3D

Abbildung 4.20: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(d): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die vierte Stil-Textur auf der 3D-Abbildung 4.20(b) zeigt eine matte Färbung mit erkennbaren strukturellen Stileigenschaften an der Fassade, welches zum Teil horizontal verlaufende Linien und Bereiche sind, die etwas dunkler abgebildet sind. Die bestehenden Details sind vorhanden, durch niedrigen Kontrast sind aber diese weniger deutlich. Mit Blick auf das Input-Bild 4.20(a) wird der etwas wellenförmige, abstrakte Stil, der die Position von Details leicht zu verändern scheint, in 3D auf eine einfachere Weise dargestellt.



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.21: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(e): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die fünfte Stil-Textur auf der 3D-Abbildung 4.21(b) ist mit einem schwarz-weißen, zeichnungsähnlichen Stil, etwa mit starken Kontrasten angelegt. Die Komponenten sind gut abgegrenzt, und die hier ausgeprägte Stilstruktur ist relativ gleichmäßig angeordnet, außer in kleinen Bereichen, wie über den unteren Fenstern, wo der weiße Bereich die horizontalen Linien der Fassade etwas überlagert. Alles in allem ist die stilistische 3D-Darstellung in Bezug auf das Input-Bild 4.21(a) bis auf leichte Abweichungen in der Texturqualität sehr ähnlich, aber mit einer besseren Erhaltung der Gebäude-Komponenten.



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.22: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(f): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die sechste Stil-Textur auf der 3D-Abbildung 4.22(b) trägt einen gelblichen Stil mit unregelmäßig geformten und platzierten grünen Merkmalen, die auch in Komponenten, wie den Gatter-Rahmen oder die fensternen Formen übergehen. Einige Gebäudekomponenten verlieren an Klarheit und gehen in den Texturmerkmalen etwas unter. Im Hinblick auf das Input-Bild 4.22(a) verliert die 3D-Ansicht die fast abstrakt scharfen Texturqualitäten zu einem guten Teil, und durch die scheinbar unstrukturierte Platzierung dunkler Texturfelder verlieren einige der Komponenten an Klarheit.



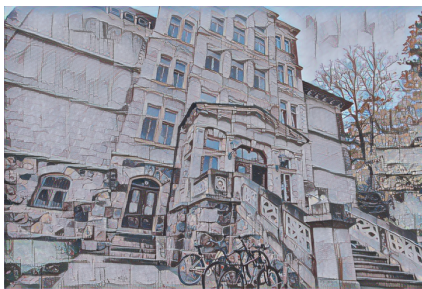
(a) 2D-Aufnahme

(b) 3D-Rekonstruktion

Abbildung 4.23: Alfred-Udo-Holz Bau: Darstellung der Ergebnisse vor dem Stiltransfer (a) als Auszug der Aufnahme-Daten und (b) als Render-Bild einer 3D-Ansicht in RealityCapture

Die photogrammetrische Rekonstruktion 4.23(b) zeigt, basierend auf dem beispielhaften Input-Bild 4.23(a), etwa eine visuell nachvollziehbare und größtenteils detail-

getreue Darstellung der Form und der allgemeinen Merkmale, wie Farbgebung und Tiefe, in den erfassten Bereichen, erzielt ist. Das Modell ist aufgrund problematischer Erfassungsansichten in der Umgebung nicht vollständig kombiniert. Die 3D-Fassaden sind jedoch detaillierte Darstellungen und können so für die Auswertung verwendet werden. Artefakte sind in einigen Fenstern zu sehen, insbesondere hinter dem Eingang, wo ein Teil der Geometrie nicht rekonstruiert ist. Die Lage hinter dem vorspringenden und erhöhten Eingangsbereich erlaubte da nur sehr eingeschränkt Blickwinkel für eine Aufnahme.



(a) Stil in 2D



(b) Stil in 3D

Abbildung 4.24: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(a): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die erste Stil-Textur auf der 3D-Abbildung 4.24(b), zeigt eine insgesamt gedämpfte beige Farbgebung mit starken Akzenten, vor allem an den Fenstern, den Steinwänden unten links und an den Türen. Einige der originalen Texturen aus 4.23(b) sind leicht verwaschen, größtenteils im linken-mittleren Teil der Fassade. In Bezug auf das Input-Bild 4.24(a) sind einige Strukturelemente des Stils teils akkurat dargestellt, wie am Eingang sichtbar, nur schwächer ausgeprägt und die strukturellen Details der Basis werden teils überlagert. Das Stilmuster verliert etwas an Schärfe, aber insgesamt ist die Ähnlichkeit im Stil vorhanden.

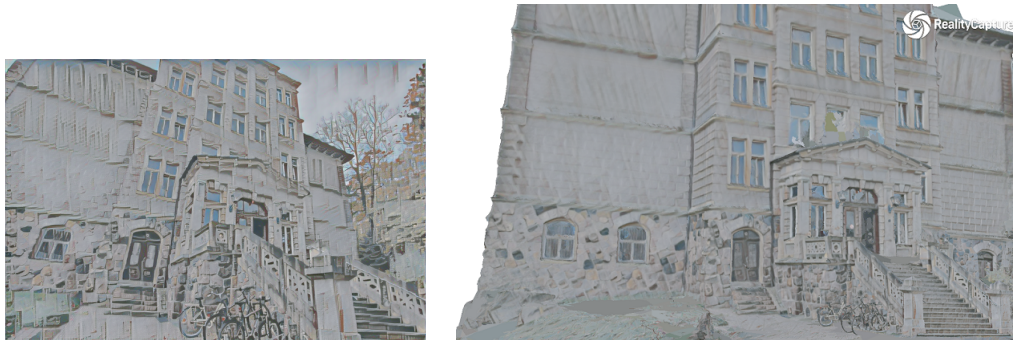


(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.25: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(b): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die zweite Stil-Textur auf der 3D-Abbildung 4.25(b) zeigt eine überwiegend orange-tönung mit grünen Akzentbereichen. Die strukturellen Details der Rekonstruktions-Grundlage 4.23(b) sind größtenteils gut erhalten, mit leichten strukturellen Veränderungen durch den Stil. Mit Vergleich auf das Input-Bild 4.25(a) ist eine leichte Glättung der stilistischen Strukturelemente deutlich, vor allem oben links an der Fassade zu beobachten, jedoch ist die Form des gesamten Gebäudes und der einzelnen Elemente klarer und weniger verzerrt.



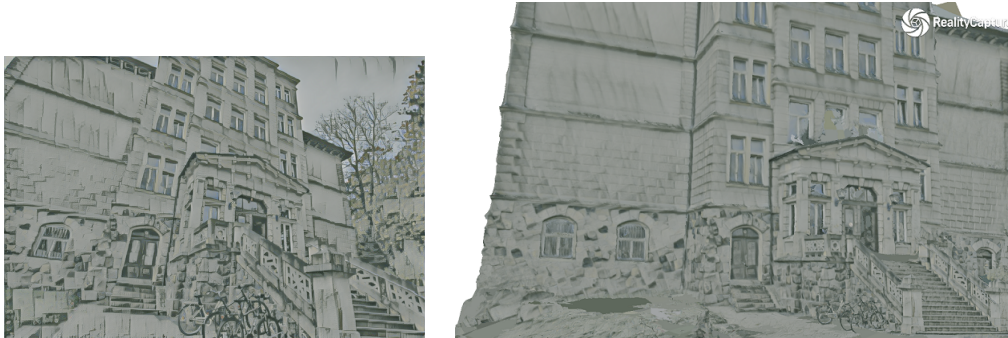
(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.26: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(c): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die dritte Stil-Textur auf der 3D-Abbildung 4.26(b) zeigt eine gedämpfte beige Färbung mit subtilen strukturellen Stileigenschaften, ungefähr horizontale Linien, die einige der feineren Details der Fassade überdecken. Mit Blick auf das Input-Bild

4.26(a) wird der etwas wellenförmige, abstrakte Stil, der die Position von Details leicht zu verändern scheint, wird in dem 3D-Modell in einer abgeschwächten Weise dargestellt.



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.27: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(d): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die vierte Stil-Textur auf der 3D-Abbildung 4.27(b) zeigt eine gedämpfte beige Färbung mit subtilen strukturellen Stileigenschaften, ungefähr horizontale Linien, die einige der feineren Details der Fassade überdecken. Mit Blick auf das Input-Bild 4.27(a), wird der etwas wellenförmige, abstrakte Stil, der die Position von Details leicht zu verändern scheint, in 3D auf eine einfachere Art dargestellt.



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.28: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(e): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die fünfte Stil-Textur auf der 3D-Abbildung 4.28(b) zeigt einen schwarz-weißen-Stil mit unterschiedlichen Kontrasten, über das Gebäude verteilt, insbesondere die obere

linke und obere rechte Seite der Fassade sind in fast einheitlichem Weiß gehalten, was von dem Input-Bild 4.28(a) übernommen wird. In anderen Teilen des Gebäudes weist der Stil komplexere Strukturmerkmale auf, in denen eine grobe skizzenartige Struktur beschrieben werden kann. Diese Struktur und ein höherer Kontrast sind im Input-Bild stärker ausgeprägt. Die allgemeinen stilistischen Merkmale werden ziemlich präzise in das 3D-Modell umgesetzt.



(a) Stil in 2D

(b) Stil in 3D

Abbildung 4.29: Stiltransferergebnis mit Stilbild 3.6(f): (a) als Bilddatei, sowie (b) als 3D-Textur.

Die sechste Stiltextur auf der 3D-Abbildung 4.29(b) bildet eine hektische und abwechslungsreiche Farbpalette mit unterschiedlich gesetzten Akzenten. Auf bereits abwechslungsreichen Flächen, wie dem Eingangsbereich, werden stärker variierende Farbgebungen platziert, auf Ebenen und großen Flächen entsteht eher eine rauschartige Stilstruktur. Der Stil des Eingangsbildes 4.29(a) kann als abstrakt beschrieben werden, mit starken Verzerrungen der Inhalte und blockartigen, stark variierten Einfärbungen. Dadurch erfolgt eine suboptimale Übersetzung in das 3D-Modell, teils aufgrund des Verwaschens von Strukturen und Details, sowie variierten Detailgenauigkeiten.

Insgesamt ist die Erstellung eines photogrammetrischen 3D-Modells eines realen Gebäudes ein relativ zeitaufwändiger Prozess, der sorgfältige Planung, Detailgenauigkeit und idealerweise den Einsatz spezieller Technik, wie Drohnen, erfordert, um gleichmäßig genau und abgeschlossen abgebildet zu werden. Die resultierenden Modelle sind in den größten Teil der Bereiche detailliert dargestellt, trotz unerwarteten Bereichsabdeckungen bei der Aufnahme.

Mit photogrammetrischen Prozessen, sowie mit einem definierten Arbeitsablauf, der auf die meisten Objekte anwendbar ist, kann ein gewisses Maß an Automatisierung des gesamten Prozesses erreicht werden. Außerdem können die verschiedenen Details digital mit genauen Verhältnissen und mit einer Auflösung und Präzision nachgebildet werden, der für eine referenzierte Rekonstruktion einen größeren Aufwand an Zeit, mit weniger Detail, erfordern würde.

Die allgemeinen Merkmale bei den Rekonstruktionen der realen Gebäude, mittels der automatisiert-ausgelegten Photogrammetrie-Aufnahme, zeigen eine hohe Detailgenauigkeit und haben oft eine akkurate Form,- und Textur-Repräsentation. Farben und Kontraste der originalen Bilddaten werden akkurat dargestellt.

Zu beachten ist dabei auch, dass die Verfügbarkeit an Aufnahmewinkel jedoch nicht überall planmäßig optimal verlief, einige Bereiche in der orthografischen Planung waren zur bei der Aufnahme unzugänglich oder erlaubten keine unverspernte Sicht auf das Gebäude, wodurch die Geschlossenheit der Gebäude teils nicht gegeben ist, und aus den Bilddaten eher als mehrere Fassaden rekonstruiert sind. Für die Evaluation des Arbeits-Frameworks ist dies jedoch wenig erheblich, da die erfassten Objektdetails präzise rekonstruiert werden und die jeweiligen Stile auf vorhersehbare und unveränderliche Weise angewendet werden. Die Ergebnisse der Stiländerungen lassen sich gut von 2D auf 3D übertragen, wobei die spezifischen Eigenschaften der Rekonstruktion keine Rolle spielen. Die Schwierigkeit liegt eher in der photogrammetrischen Anwendung für Gebäude, wo Drohnenkameras oder isolierte und ebene Gebäude stark mit dem kompletten Abschließen der Rekonstruktions-Geometrie korrelieren. Eigenschaften der Geometrie werden in allen Stil-Ergebnissen durchgehend präsent sein.

Kurz zusammengefasst sind die allgemeinen Stiländerungen etwas gedämpfter, vor Allem bei körnigen und kleinen Textur-Eigenschaften. Die lokalen und globalen Färbungen werden in unterschiedlicher Weise in 3D übertragen.

Eine Diskrepanz der Umsetzung zur Rekonstruktionsplanung durch bestimmte Gebäudeeigenschaften oder Fehlereinflüssen des Nutzers können sich im Rekonstruktionsobjekt widerspiegeln, sollen aber unabhängig davon und wie viele Gebäudedaten aufgenommen sind, soll der Stiltransfer in gleichem Maße stattfinden können, und spiegelt im Ergebnis die Rekonstruktionsqualität des Basisobjekts wider. Gebäude sind in Ihrer Variabilität und Komplexität hoch. Zu fast jedem Zeitalter sind Gebäude verschieden alt, eventuell bereits oftmals restauriert und abhängig des spezifischen

Nutzens. Des Weiteren sind die äußeren Gegebenheiten nicht zu jedem Zeitpunkt dokumentiert beziehungsweise ist die Qualität der Aufnahmen entsprechen der derzeitigen Kamertechnik. Hier wird entschieden, wie unterschiedlich der Stil von der Basis sein kann und in welcher Generalisierung der Stil aus dem Stilbild abgeleitet wird.

5 Zusammenfassung

Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein komplettes System, das die Konzeption, Implementierung und Evaluierung eines Arbeitsablaufs umfasst, der es ermöglicht, auf effiziente und weitgehend automatisierte Weise photogrammetrische Bilder aufzunehmen, daraus 3D-Rekonstruktionen zu erstellen und durch neuronale Stilübertragungen andere Stile auf die Oberfläche der 3D-Rekonstruktion anzuwenden. Die Rekonstruktionen haben eine starke Ausprägung an Detail und kann als einigermaßen realistisch beschrieben werden, unter anderem durch die hohe Auflösung und planmäßiger Aufnahmen. Eine Herausforderung ist, dass die Rekonstruktionen einige Unebenheiten und nicht immer vollständig zusammenhängende Gebäudemodelle erstellt sind, da die Kamera nicht die erforderlichen Ansichten erreichen konnte, um die Oberflächen vollständig zu entsprechen. Die Rekonstruktionen zeigen in den gut sichtbaren Bereichen eine realistische Geometrie und Textur an.

Der automatisierte Stiltransfer zeigt ein interessantes Zusammenspiel von Stil und Struktur auf den Bildern sowie den Gebäuden, der etwas geringerer Stilausdruck, jedoch höhere strukturelle Integrität ist im 3D-Modell aufzuweisen, und zeigt eine gute Korrespondenz der Punktkoordinaten in der Textur. Der automatisch einsetzbare Stiltransfer-Algorithmus weist schnelle Verarbeitungszeiten auf und wendet den, durch ein Bild vorgegebenen Stil iterativ auf den gesamten Datensatz an. Einige der angewandten Stile weisen eine Ähnlichkeit mit historischen Gebäudeeigenschaften auf, die bei schwarz-weißen und weicheren Stilstrukturen ausgeprägter sind, aber die Gebäude in den Stilvorgaben können sich als Stilstrukturen im Stilbild und in 3D-Rekonstruktionen zeigen.

Der gesamte Arbeitsablauf ist kosten- und zeiteffizient und verursacht nur minimale Rechenkosten, unter anderem, durch die indirekte Stilübertragung, ohne direkten Eingriff in die Geometrie der 3D-Rekonstruktion, sowie auch die möglichst nutzerfreundliche und skalierbare Gestaltung.

Es wurde sichergestellt, dass der komplette Arbeitsablauf wiederholbare, qualitativ hochwertige und visuell nachvollziehbare Stiländerungen an den 3D-Modellen liefern kann, dass Änderungen in Equipment, Objekteigenschaften, Bildreferenzen und Algorithmen verwendbar sind, und dass ein begrenztes Equipment und weniger als herausfordernde Bedingungen Arbeitsweisen, wie Vorbereitungen, Abstraktionen von Daten und effizienten Arbeitsweisen gelöst werden kann. Das Prinzip dieser Arbeitsweise könnte in der Zukunft vielversprechend sein, da der Stiltransfer meist gute Abbildungen liefert, und der Stiltransfer-Prozess nach der Entwicklung zeitlich sehr effizient stilistische Texturen für Photogrammetrie-Modelle liefert, was mit speziell angepassten und breiter verfügbaren Algorithmen schnell und potenziell optisch hochwertige Texturen für 3D-Modelle liefert.

Literaturverzeichnis

- [ASS⁺18] Eman Ahmed, Alexandre Saint, Abd El Rahman Shabayek, Kseniya Cherenkova, Rig Das, Gleb Gusev, Djamila Aouada und Bjorn Ottersten: *A survey on Deep Learning Advances on Different 3D Data Representations*, 2018.
URL <https://arxiv.org/abs/1808.01462>
- [AZH⁺21] Laith Alzubaidi, Jinglan Zhang, Amjad J. Humaidi, Ayad Al-dujaili, Ye Duan, Omran Al-Shamma, Jesus Santamaría, Mohammed Abdulraheem Fadhel, Muthana Al-Amidie und Laith Farhan: *Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions*, *Journal of Big Data*, Bd. 8, 2021.
- [BB14] Diana Beltran und Luis Basañez: *A Comparison between Active and Passive 3D Vision Sensors: BumblebeeXB3 and Microsoft Kinect*, S. 725–734, 01 2014, ISBN 978-3-319-03412-6.
- [BB19] Caterina Balletti und Martina Ballarin: *An Application of Integrated 3D Technologies for Replicas in Cultural Heritage*, *ISPRS Int. J. Geo Inf.*, Bd. 8:S. 285, 2019.
- [BBL⁺16] Michael M. Bronstein, Joan Bruna, Yann LeCun, Arthur Szlam und Pierre Vandergheynst: *Geometric deep learning: going beyond Euclidean data*, *CoRR*, Bd. abs/1611.08097, 2016.
URL <http://arxiv.org/abs/1611.08097>
- [BR02] Fausto Bernardini und Holly Rushmeier: *The 3D Model Acquisition Pipeline*, *Comput. Graph. Forum*, Bd. 21:S. 149–172, 06 2002.
- [EL99] Alexei A. Efros und Thomas K. Leung: *Texture Synthesis by Non-Parametric Sampling*, in *Proceedings of the International Conference on Computer Vision-Volume 2 - Volume 2*, ICCV '99, S. 1033, IEEE Computer Society, USA, 1999, ISBN 0769501648.

- [FAM19] Timo Friedrich, Nikola Aulig und Stefan Menzel: *On the Potential and Challenges of Neural Style Transfer for Three-Dimensional Shape Data*, S. 581–592, 01 2019.
- [FXD⁺15] Yi Fang, Jin Xie, Guoxian Dai, Meng Wang, Fan Zhu, Tiantian Xu und Edward Wong: *3D deep shape descriptor*, in *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, S. 2319–2328, 2015.
- [GEB15] Leon A. Gatys, Alexander S. Ecker und Matthias Bethge: *A Neural Algorithm of Artistic Style*, *CoRR*, Bd. abs/1508.06576, 2015.
URL <http://arxiv.org/abs/1508.06576>
- [GEB16] Leon A. Gatys, Alexander S. Ecker und Matthias Bethge: *Image Style Transfer Using Convolutional Neural Networks*, in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, June 2016.
- [GLK⁺17] Golnaz Ghiasi, Honglak Lee, Manjunath Kudlur, Vincent Dumoulin und Jonathon Shlens: *Exploring the structure of a real-time, arbitrary neural artistic stylization network*, *CoRR*, Bd. abs/1705.06830, 2017.
URL <http://arxiv.org/abs/1705.06830>
- [GRS14] Leonardo Gomes, Olga Regina Pereira Bellon und Luciano Silva: *3D reconstruction methods for digital preservation of cultural heritage: A survey*, *Pattern Recognition Letters*, Bd. 50:S. 3–14, 2014, ISSN 0167-8655, depth Image Analysis.
URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167865514001032>
- [Her18] Aaron Hertzmann: *Image Stylization: History and Future*, 2018, adobe Research Article.
URL <https://research.adobe.com/news/image-stylization-history-and-future-part-2/>
- [JYF⁺17] Yongcheng Jing, Yezhou Yang, Zunlei Feng, Jingwen Ye und Mingli Song: *Neural Style Transfer: A Review*, *CoRR*, Bd. abs/1705.04058, 2017.
URL <http://arxiv.org/abs/1705.04058>

- [KSH12] Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever und Geoffrey E Hinton: *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks*, in *Advances in Neural Information Processing Systems* (herausgegeben von F. Pereira, C.J. Burges, L. Bottou und K.Q. Weinberger), Bd. 25, Curran Associates, Inc., 2012.
URL <https://proceedings.neurips.cc/paper/2012/file/c399862d3b9d6b76c8436e924a68c45b-Paper.pdf>
- [LRKB20] Thomas Luhmann, Stuart Robson, Stephen Kyle und Jan Boehm: *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging*, De Gruyter, Berlin, Boston, 2020, ISBN 9783110607253.
URL <https://doi.org/10.1515/9783110607253>
- [Luh19] Thomas Luhmann: *Recent Developments in Close-range Photogrammetry*, 2019, blog post.
URL <https://www.gim-international.com/content/article/recent-developments-in-close-range-photogrammetry>
- [LWLH17] Yanghao Li, Naiyan Wang, Jiaying Liu und Xiaodi Hou: *Demystifying Neural Style Transfer*, 2017.
URL <https://arxiv.org/abs/1701.01036>
- [MS15] Daniel Maturana und Sebastian A. Scherer: *VoxNet: A 3D Convolutional Neural Network for real-time object recognition*, 2015 *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, S. 922–928, 2015.
- [MVG09] Theo Moons, Luc Van Gool und Maarten Vergauwen: *3D Reconstruction from Multiple Images: Part 1 - Principles.*, *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*, Bd. 4:S. 287–404, 01 2009.
- [NBSR20] Steve Nebel, Maik Beege, Sascha Schneider und Günter Daniel Rey: *A Review of Photogrammetry and Photorealistic 3D Models in Education From a Psychological Perspective*, *Frontiers in Education*, Bd. 5, 2020, ISSN 2504-284X.
URL <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/educ.2020.00144>

- [PS00] Javier Portilla und Eero Simoncelli: *A Parametric Texture Model Based on Joint Statistics of Complex Wavelet Coefficients*, *International Journal of Computer Vision*, Bd. 40, 10 2000.
- [Rah21] Hafizur Rahaman: *Photogrammetry: What, How, and Where, Virtual Heritage: A Concise Guide*, 2021.
- [RM09] Fabio Remondino und Fabio Menna: *Image-based surface measurement for close-range heritage documentation*, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Bd. 37, 10 2009.
- [SJJ+21] Akhil Singh, Vaibhav Jaiswal, Gaurav Joshi, Adith Sanjeeve, Shilpa Gite und Ketan Kotecha: *Neural Style Transfer: A Critical Review*, *IEEE Access*, Bd. 9:S. 131583–131613, 2021.
- [SM17] Philip Sapirstein und Sarah Murray: *Establishing Best Practices for Photogrammetric Recording During Archaeological Fieldwork*, *Journal of Field Archaeology*, Bd. 42:S. 1–14, 06 2017.
- [SMKL15] Hang Su, Subhransu Maji, Evangelos Kalogerakis und Erik G. Learned-Miller: *Multi-view Convolutional Neural Networks for 3D Shape Recognition*, *CoRR*, Bd. abs/1505.00880, 2015.
URL <http://arxiv.org/abs/1505.00880>
- [SVBMM15] Jūratė Sužiedelytė-Visockienė, Renata Bagdžiūnaitė, Naglis Malys und Vida Maliene: *Close-range photogrammetry enables documentation of environment-induced deformation of architectural heritage*, *Environmental engineering and management journal*, Bd. 14:S. 1371–1381, 07 2015.

Anhang

A Anhang

A.1 Analysedokumente

pot. Gebäude	Kriterien							Priorisierung	
	Freistehend	Gut beobachtbar	Baujahr	Aufnahmeberechtigung	Stuck/ Detail	historische Relevanz	potentielle vertikale Problematik		
Altes Rathaus	gelb	grün	1750	grün	grün	grün	gelb		1
Alfred-Udo-Holz Bau	grün	grün	1888	grün	grün	grün	rot		1
Roch'sches Haus Mittweida	grün	grün	1800	grün	gelb	gelb	grün		2
Emmerich'sches Haus Mittweida	gelb	grün	1800	grün	gelb	grün	rot		3
Museum Altes Pfarrhaus	grün	grün	1624	grün	gelb	grün	grün		1

Abbildung A.1: Potenzielle Gebäudeauswahl in Mittweida mit gewählten Kriterien und teilweisen persönlicher Einschätzungen dessen aus lokaler Recherche, Erfahrungen und Satellitenbilder (grün beschreibt voraussichtlich unproblematisch, gelb beschreibt wahrscheinliche und einzuplanende Einflüsse oder Problematik, rot beschreibt voraussichtliche Problematik in Aufnahme oder Ergebnisqualität)

Technik	Kriterien		
Kamera	Qualität / Zugänglichkeit	Brennweite (Am Besten ~40mm) + Größe)	Art der Linse/ Flexibilität nach Testaufnahmen
70D + Tripod	Bereits Erfahrung + bessere Batterielaufzeit		
5D Mark 2 + Tripod			
Objektiv			
Canon Zoom Lens EF 17-40mm / 1:4 USM			
Canon Zoom Lens EF 24-105mm / 1:4 IS USM			
Canon Zoom Lens EF 70-200mm			
Canon Lens EF 50mm			

Abbildung A.2: Relevante und voraussichtlich verfügbare Kamera- und Objektivoptionen mit gewählten Kriterien für photogrammetrische Aufnahme. Einschätzungen aus Recherche, und vorhandener Erfahrungen (grün beschreibt voraussichtlich unproblematisch, gelb beschreibt wahrscheinliche und einzuplanende Einflüsse oder Problematik, rot beschreibt voraussichtliche Problematik in Aufnahme oder Ergebnisqualität)

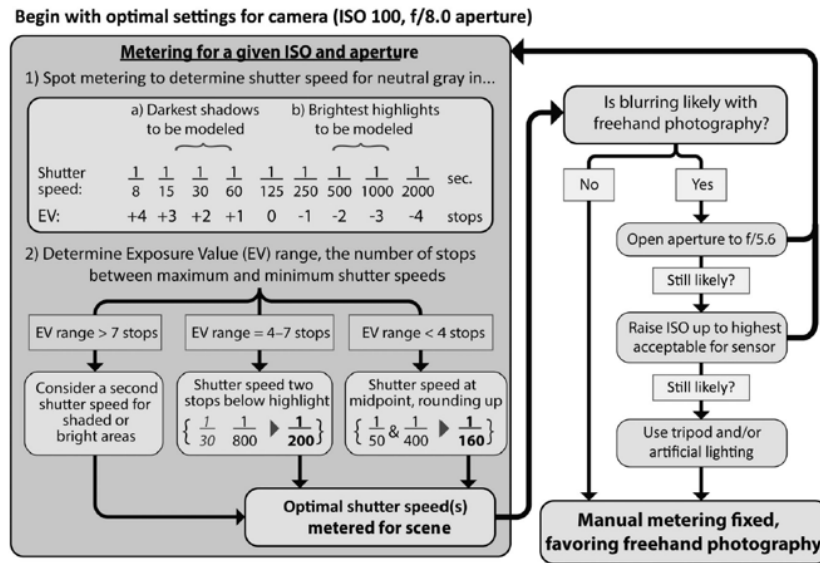


Abbildung A.3: Schritte zur Belichtungsmessung einer Kamera in der archäologischen Photogrammetrie. ISO = International Standards Organization (Internationale Normungsorganisation) Filmeempfindlichkeit/-Digitalsensoreinstellung; EV = Belichtungswert; Blende = f/stop [SM17]

A.2 Konzeptionsdokumente

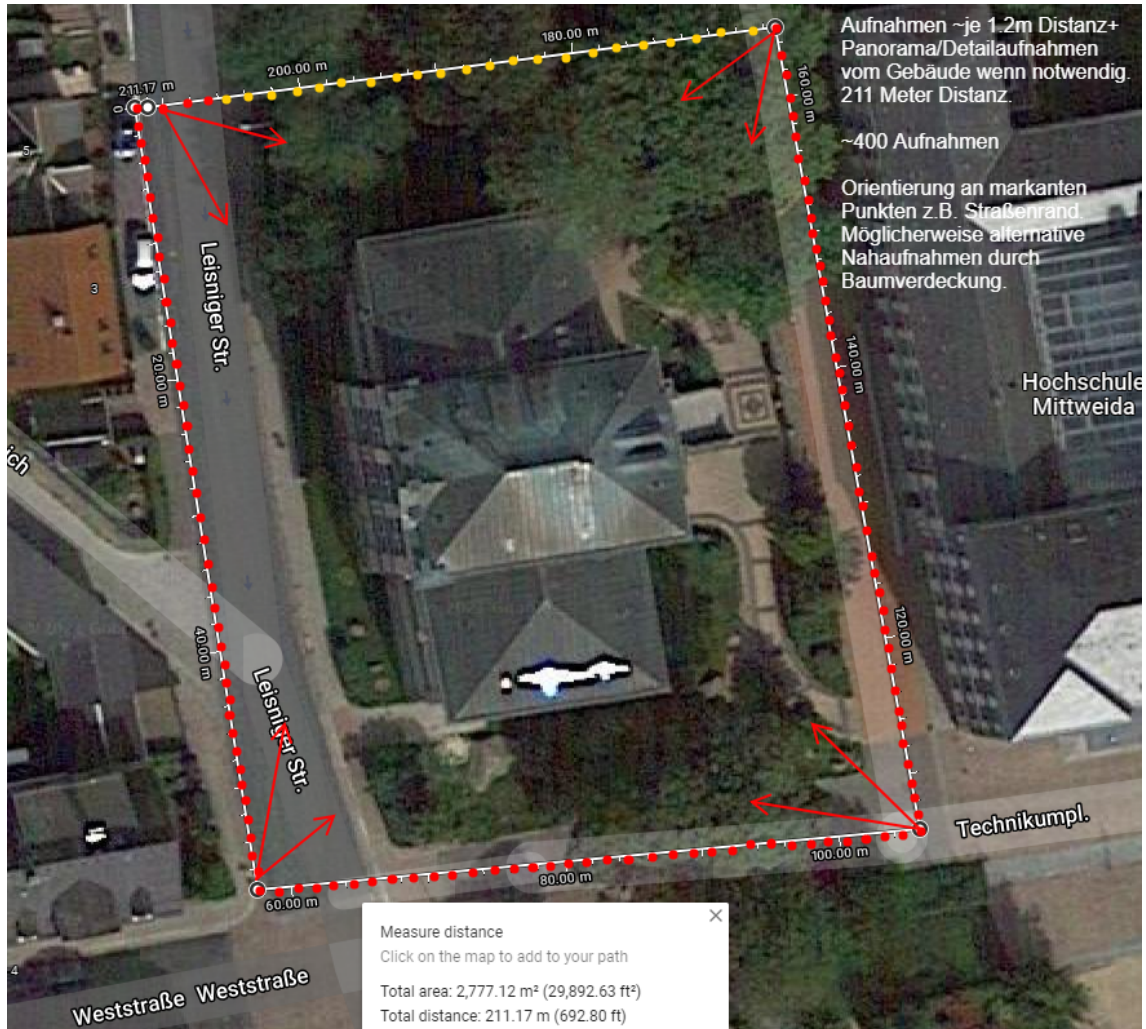


Abbildung A.4: Bei der Aufnahme verwendete Planung bzw. Richtlinien idealer Aufnahmeeigenschaften mittels Informationen aus Sattelitenbilder für das Alfred-Udo-Holz Bau in Mittweida



Abbildung A.5: Bei der Aufnahme verwendete Planung bzw. Richtlinien idealer Aufnahmeeigenschaften mittels Informationen aus Sattelitenbilder für das Alte Rathaus in Mittweida)



Abbildung A.6: Bei der Aufnahme verwendete Planung bzw. Richtlinien idealer Aufnahmeeigenschaften mittels Informationen aus Sattelitenbilder für das Roch'sche Haus in Mittweida

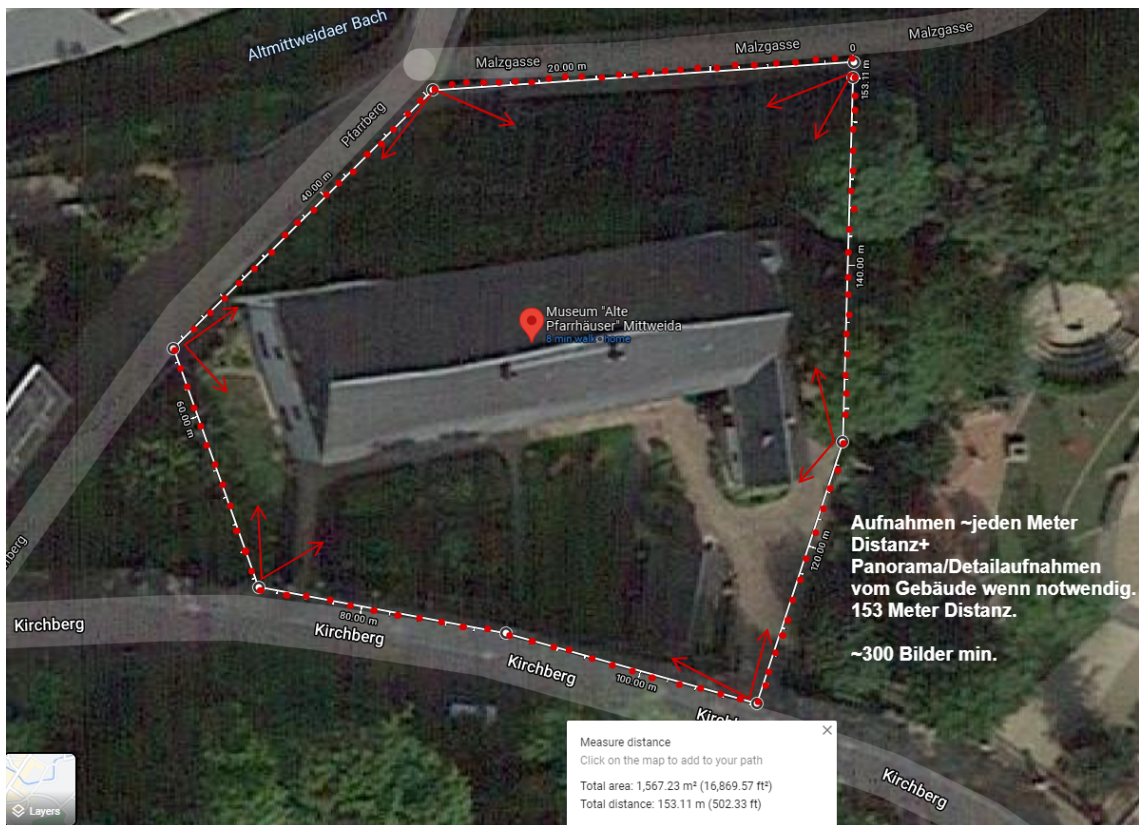


Abbildung A.7: Bei der Aufnahme erstellte Planung mit Richtlinien idealer Aufnahmeeigenschaften mittels Informationen aus Sattelitenbilder für das Museum Alte Pfarrhäuser in Mittweida

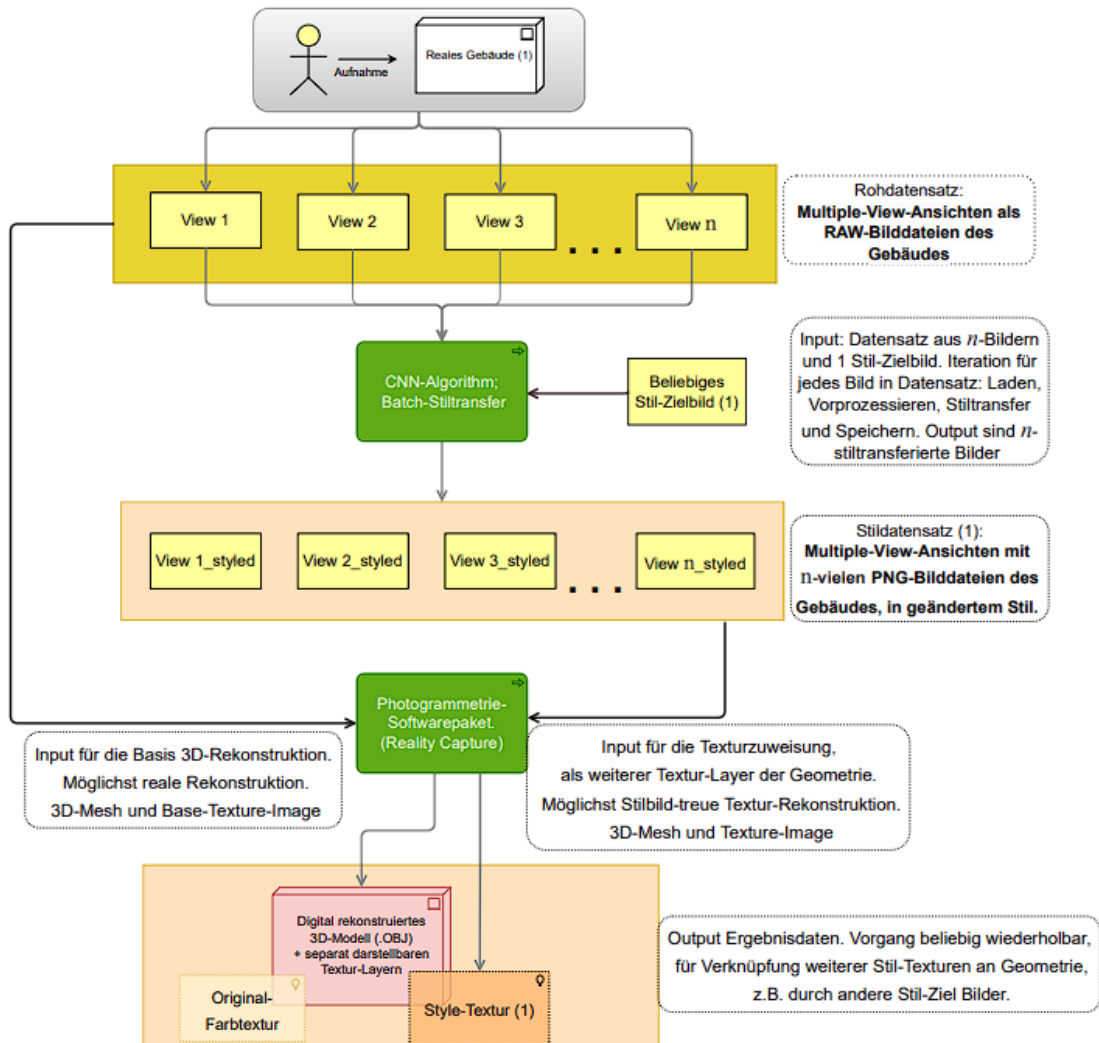


Abbildung A.8: Framework-Übersicht in einem Ablaufdiagramm: mit Fokus auf Handhabung von Datenströmen und Strukturen. Der Prozess wird grob von oben nach unten aufgeführt, wird jeweils in dem weißen Bereich kurz beschrieben und endet unten nach der Erstellung des Basis-Modells mit Basis-Textur-Layer, sowie einem stilverändertem Textur-Layer. Verschiedene Datensätze haben einen farbigen unterlegt, Prozessierverfahren sind grün dargestellt.

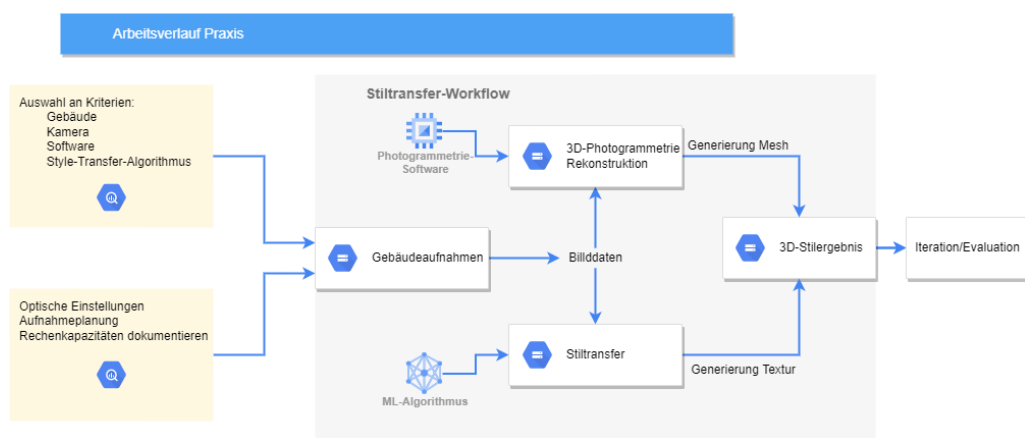


Abbildung A.9: Grobe Übersicht über den Arbeitsverlauf: Ablaufschritte von links nach rechts aufgeführt. Eine gelbe Hintergrundfarbe beschreibt vorbereitende Aufgaben. Eine graue Hinterlegung beschreibt den eigentlichen Arbeitsverlauf. Verdeutlichung der Mehrzwecknutzung von photogrammetrischen Bildern, sowie der Trennung in der Datenprozessierung und anschließender Zusammenführung von Daten im Ergebnis-Objekt.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche wissentlich verwendete Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Mittweida, den 15.03.2023

Roman Schulz