

# Capturing Reality

---

## Projektbericht

Yannick Drost, Florian Herrmann, Pascal Schardt

---



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Fachbereich Informatik

Fachgebiet Graphisch-Interaktive  
Systeme  
Prof. Dr.-Ing. Michael Goesele

---

**Capturing Reality**  
**Projektbericht**

Eingereicht von Yannick Drost, Florian Herrmann, Pascal Schardt  
Tag der Einreichung: 31. März 2015

Gutachter: Dr.-Ing. Michael Goesele  
Betreuer: M.Sc. Simon Fuhrmann

Technische Universität Darmstadt  
Fachbereich Informatik

Fachgebiet Graphisch-Interaktive Systeme  
Prof. Dr.-Ing. Michael Goesele

---

### **Ehrenwörtliche Erklärung**

---

Hiermit versichere ich, den vorliegenden Projektbericht ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in dieser oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Darmstadt, den 31. März 2015

Yannick Drost, Florian Herrmann, Pascal Schardt

---

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>1 Einführung</b>	<b>2</b>
<b>2 Das verwendete Framework</b>	<b>4</b>
2.1 Multi-View Environment . . . . .	4
2.1.1 Qt und die Benutzeroberfläche . . . . .	4
2.1.2 Plugin-Integration . . . . .	4
<b>3 Problembeschreibung</b>	<b>6</b>
3.1 Aktueller Matchingansatz . . . . .	6
3.2 Einschränkungen und Problematik . . . . .	6
3.3 Lösungsansatz und geplantes Vorgehen . . . . .	7
3.3.1 Bedeutung der Regionsabgrenzung . . . . .	7
<b>4 Regionenbasiertes Matching</b>	<b>8</b>
4.1 Regionierung des Datensatzes . . . . .	8
4.1.1 Schnitttest einer Region . . . . .	8
4.2 Das RGN-Dateiformat . . . . .	8
4.3 Matchingansatz . . . . .	9
<b>5 Evaluation</b>	<b>10</b>
5.1 Genauigkeit der Regionsabgrenzung . . . . .	10
5.2 Auswertung regionierter Rekonstruktionen . . . . .	11
5.2.1 AfE-Turm . . . . .	11
5.2.2 Arc de Triomphe . . . . .	13
5.3 Performanz . . . . .	15
<b>6 Benutzerhandbuch</b>	<b>17</b>
6.1 Übersicht . . . . .	17
6.2 Die Bildanzeige . . . . .	17
6.3 Werkzeuge und Arbeitsschritte . . . . .	18
6.4 Automatische Speicherfunktion . . . . .	20
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>21</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>22</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>23</b>

---

## 1 Einführung

---

In Bezug auf die Steigerung der Rechenleistung von Computern werden auch die Anwendungsgebiete und Verfahren der Photogrammetrie<sup>1</sup> immer leistungsfähiger. Mittels Auswerteverfahren werden aus Fotografien eines Objektes die jeweils geometrische Beschaffenheit als auch Lage bestimmt. Die Möglichkeit reale Objekte zu digitalisieren ermöglicht eine interaktive Betrachtung der Modelle.

Eine Reihe an Fotografien des Frankfurter AfE-Turms kurz vor seiner Sprengung am 02.02.2014 soll für eine fehlerfreie grafische Rekonstruktion analysiert und aufbereitet werden. Die Herausforderung dieses Projektes zeigt sich anhand der gleichmäßigen Struktur und der sich wiederholenden Textur des zu untersuchenden Objektes. Für eine Zuordnung einzelner Bildpaare werden, in beiden Bildern vorkommende gleiche Merkmale gesucht. Bereiche des einen Fotos werden jedoch, auf Grund der Ähnlichkeit nichtzugehörigen Bildbereichen des anderen Fotos zugeteilt, weshalb eine Registrierung des Datensatzes fehlschlägt und letztlich kein verwendbares Ergebnis entsteht. Aufgabe ist eine qualitativ bessere Rekonstruktion des Frankfurter AfE-Turms. Um die Problematik mit der unzulänglichen Rekonstruktionsqualität zu beheben, wird ein Ansatz zur Regionierung des Datensatzes implementiert um eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Nachbildung zu liefern. Zu diesem Zweck werden die Bilder durch Abgrenzungen inhaltlich unterteilt, sodass den anschließend extrahierten Bildmerkmalen zusätzliche Informationen zur relativen Lage zur Verfügung stehen. Damit werden nur korrespondierende Bereiche innerhalb der Bilder für den Registrierungsansatz in Betracht gezogen. Die Fotos des Turms, welche hierfür aus hinreichenden Winkeln akquiriert wurden, werden unter Berücksichtigung der Regionierung zueinander geometrisch erfasst. Durch diese entstehende Korrektur der Aufnahmepositionen einzelner Fotografien soll schließlich aus einer, zuvor undefinierbaren Punktwolke eine detailgetreue Nachbildung des Turms entstehen und ein qualitativ hochwertigeres Resultat erzielt werden.



**Abbildung 1.1:** AfE-Turm

---

<sup>1</sup> Auswerteverfahren zur Bestimmung der dreidimensionalen Form eines Objektes mittels Fotografien oder Messbildern.

---

Zunächst beginnt eine übersicht der verwendeten MVE-Software (Multi-View Environment) als auch der aktuellen Verfahren zur Registrierung von Bilddatensätzen. Anschließend erfolgt ein Lösungsansatz zur interaktiven Aufteilung von Bildinhalten, welcher den späteren Rekonstruktionsansatz beschleunigen und dessen Qualität maximieren soll. Dazu gliedert sich das Vorgehen wie folgt:

Kapitel 2 beschäftigt sich einführend mit Grundlagen der verwendeten Programme und deren Verfahren um Bilddatensätze geometrisch zu registrieren.

Kapitel 3 beschreibt das aktuelle Verfahren zum Erstellen einer 3D-Rekonstruktion und dessen Probleme, dessen Einschränkungen und den in diesem Projekt verfolgten Lösungsansatz.

Kapitel 4 behandelt die Merkmalsextraktion (engl.: Feature Extraction) der Fotografien mittels Regionsabgrenzungen als auch dessen Einfluss auf die verwendeten Algorithmen der Software.

Kapitel 5 zeigt schließlich die Auswertung der Arbeit als auch eine Beurteilung der Rekonstruktionsergebnisse unter Berücksichtigung eines weiteren Datensatzes. Dabei liegt der Fokus auf der Qualität und der Richtigkeit der Rekonstruktion.

Im Anschluss der vorgestellten Arbeit folgt ein Benutzerhandbuch in Bezug auf die resultierende Implementierung.

---

## 2 Das verwendete Framework

---

Zur Umsetzung der Aufgabe muss zunächst die Funktionsweise des aktuell verwendeten Verfahrens zur Auswertung und Rekonstruktion eines Bilddatensatzes analysiert werden. Dadurch soll eine Struktur für die anstehende Implementierung festgelegt werden, die in den existierenden Programmcode nur minimal eingreift. So muss der Code dahingehend modifiziert werden, dass die normale Funktionsweise nicht beeinträchtigt wird und das Programm bei Bedarf auch ohne die geplante Erweiterung funktionsfähig bleibt.

---

### 2.1 Multi-View Environment

---

Das Multi-View Environment (MVE)[2] dient zur geometrische Oberflächenrekonstruktion aus zuvor erfassten Bilddaten. Es implementiert eine end-to-end Pipeline dessen einzelne Abschnitte individuell ansprechbar sind. Fundament für jede Anwendung ist ein Datensatz an Fotografien eines Objektes, welche aus ausreichend vielen Winkeln akquiriert sein müssen, damit eine lückenlose 3D-Rekonstruktion erfolgen kann. Im ersten Abschnitt Structure-from-Motion (SfM) werden Bilder zu einander registriert indem jedes Foto eine Merkmalsextraktion durchläuft, die anschließend dazu dienen die eigentlichen Kamerapositionen zurückzurechnen. Bilder werden samt ihrer detektierten Merkmale (engl.: Features) und anderer Parameter als Views zusammengefasst. Daraufhin ist es mittels Triangulation möglich, über korrespondierende Bildbereiche auf Tiefenwerte zu schließen und zweidimensionale Bildpunkte (x,y) in ein dreidimensionales Koordinatensystem (x,y,z) zu übertragen, was den Vorgang des Multi-View Stereo (MVS) Abschnitts beschreibt. Als letztes erfolgt die Oberflächentexturierung, die sich aus den Eingabebildern ergibt.

---

#### 2.1.1 Qt und die Benutzeroberfläche

---

Die einzelnen Schritte der MVE-Pipeline sind via Kommandozeile zugänglich, sodass zur leichteren Zugänglichkeit für Nutzer eine hauseigene, auf der Qt<sup>1</sup> Bibliothek basierende Anwendung „Ultimate MVE“ (UMVE) entworfen wurde. Jene soll in dieser Arbeit als Grundlage genutzt und um Funktionalitäten erweitert werden.

Die plattformübergreifende C++ Klassenbibliothek Qt 4.0 bietet, anstelle des zuvor simuliertem Aussehens verschiedener Plattformen, native Schnittstellen an, um betriebssystemeigene Routinen zum Zeichnen der Oberflächenelemente zu nutzen. Somit soll im Sinne der Aufgabenstellung eine Nutzerschnittstelle entworfen werden, die es ermöglicht einzelne Bildmerkmale mit inhaltlichem Bildkontext in Relation zu setzen. Die Möglichkeit Fotografien vorab manuell zu unterteilen erscheint notwendig um eine Relation zwischen Bildpunkten und ihrer zugehörigen Gebäudeseite zu erstellen. Eine Anforderungsanalyse an die Nutzerschnittstelle ergibt ein Minimum an Funktionalitäten, die durch die Implementierung gewährleistet sein müssen - die Möglichkeit Bildbereiche zu markieren, zu editieren und für das weitere Vorgehen verfügbar zu machen.

---

#### 2.1.2 Plugin-Integration

---

Die zuvor genannte Qt Bibliothek soll verwendet werden um für die bereits bestehende Software eine Erweiterung zu implementieren. Die Möglichkeit die zugrundeliegende Software um Funktionalitäten zu erweitern, ist im Vergleich zu einem individuellen Programm vorteilhafter. Durch Implementierung einer externen Software entstünde die Notwendigkeit des Ein- und Auslesens notwendiger Daten. Damit die in MVE verwendeten Views nicht importiert und Ergebnisse des später genauer beschriebenen Verfahrens

---

<sup>1</sup> <http://qt-project.org>

---

nicht exportiert werden müssen soll dieser Schritt in die MVE Pipeline integriert werden. Daher wurde sich auf eine modale Umsetzung in Form eines Plugins geeinigt, welches sich später leicht in UMVE integrieren lassen soll. Zu den bereits bestehenden Darstellungen von UMVE kommt ein zusätzlicher Reiter hinzu, der trotz der Eingliederung die neuen Funktionalitäten getrennt anzeigt. Der Aufbau des geplanten Plugins orientiert sich dabei an bereits existierenden Ansichten der Software, sodass für den Nutzer eine gewohnte Arbeitsumgebung erhalten bleibt.

---

### 3 Problembeschreibung

---

Die Problembehandlung beschreibt in diesem Abschnitt einen Ansatz, die anfangs fehlgeschlagene Rekonstruktion des AfE-Turms durch Typisierung der Bildmerkmale zu optimieren.

---

#### 3.1 Aktueller Matchingansatz

---

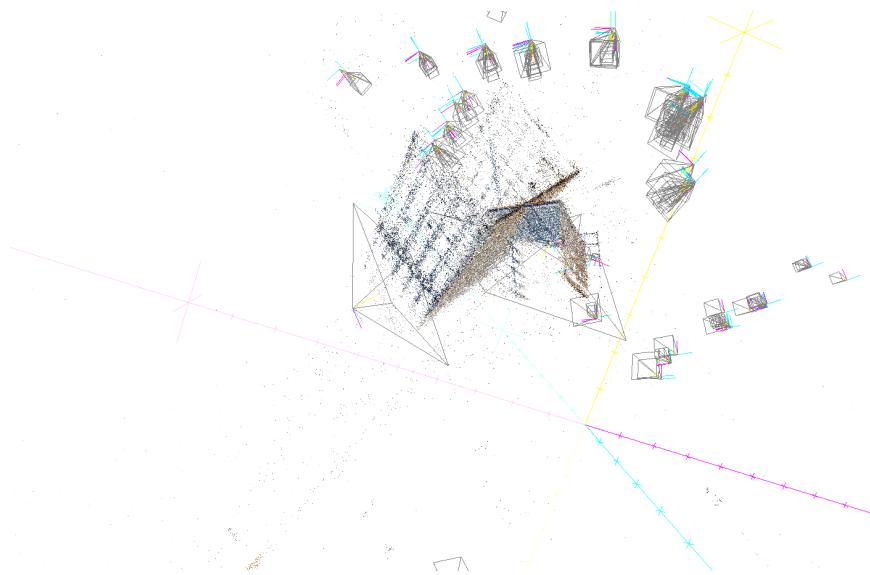
Rekonstruktionsmethoden werden als bildgebende Verfahren bezeichnet, deren Ziel eine dreidimensionale Ansicht des zu untersuchenden Objektes ist. Damit dies fehlerfrei geschieht, ist sowohl ein ausreichender Datensatz, als auch eine erfolgreiche vorangegangene Bildregistrierung notwendig. Das Matching ist Teil von SfM der MVE Pipeline und umfasst die Merkmalserfassung (engl.: Feature detection) innerhalb der Eingabedaten und die, auf Affinitäten beruhende Paarfindung (engl.: Feature matching). Dabei wird für jedes Bild eine Menge an Features erfasst (engl.: Featureset), die mit anderen verglichen werden. Während jeweils immer ein Bilderpaar ausgewertet wird, werden mittels geeigneter Metrik die Merkmale des ersten auf die bestmöglich passenden des zweiten Bildes abgebildet und analog in die Rückrichtung. Das Ergebnis ist eine Menge an korrespondierenden Bildpunkten. Wenn zwei Features, die den gleichen Kontext beschreiben, aufeinander abgebildet werden, ist dies ein gefundener Match und kann dazu verwendet werden, die Parameter der einzelnen Kamerapositionen zu bestimmen. Liegen jene extrinsischen (i.d.R. Lage und Orientierung) und intrinsischen Kameraparameter (Parameter in Bezug auf die Kamera - radiale Verzerrung und Brennweite) vor, können die beiden anderen Abschnitte der Pipeline folgen um Tiefenwerte und Texturierung zu bestimmen.

---

#### 3.2 Einschränkungen und Problematik

---

Wie bereits angesprochen zeigt die MVE Anwendung Defizite bei der Rekonstruktion von Modellen mit sich wiederholenden Texturen oder Oberflächenstrukturen. Es lässt sich aktuell beobachten, dass für ein Featureset mit einer großen Anzahl an Elementen, die einen sehr ähnlichen Bildkontext beschreiben, oftmals Matches aufgenommen werden, die eigentlich nicht korrespondieren. In Bezug auf die Behandlung des AfE-Turms bedeutet das, es werden Bereiche der einen Fassade auf Bereiche der anderen projiziert. Die geometrische Relation der einzelnen Gebäudeseiten ist nicht mehr gegeben und das Ergebnis ist eine sowohl verschobene als auch verzerrte Nachbildung des Turms.



**Abbildung 3.1:** Fehlerhafte Rekonstruktion des AfE-Turms

Diese mangelhafte Rekonstruktion ist also auf eine fehlerhafte Paarbildung im Matchingverfahren zurückzuführen, was gleichzeitig die Prämisse des Lösungsansatzes ist.

### 3.3 Lösungsansatz und geplantes Vorgehen

Da das Matchingverfahren im Moment für den Datensatz des AfE-Turms fehlschlägt, muss dieser Abschnitt der Software angepasst werden. Der hier vorgestellte Ansatz umfasst folglich die schon zuvor erwähnten Anpassungen.

Durch die zusätzlichen Informationen die jedem Feature angehören, wird bei der Projektion eines Featuresets auf ein anderes die Definitionsmenge eingeschränkt. Zu jedem Feature lässt sich überprüfen, welcher Region es angehört. Wohingegen zuvor nur eine Metrik als Ähnlichkeitsmaß verwendet wurde, wird nun zuvor überprüft, ob ein korrespondierendes Feature-Paar auch den gleichen Regionen angehört, d.h. so können keine fehlerhaften Feature-Paare mehr entstehen, dessen Elemente unterschiedlichen Regionen zugewiesen sind. Zwar nimmt mittels manueller Aufteilung der Fotografien das Verfahren vorab eine gewisse Zeit in Anspruch, die sich jedoch später durch die gefilterte und somit reduzierte Feature-Menge in einem schnelleren und vor allem qualitativ besseren Rekonstruktionsablauf äußern sollte.

#### 3.3.1 Bedeutung der Regionsabgrenzung

Die MVE Pipeline besteht wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben aus drei einzelnen Schritten, nämlich SfM, MVS und der Texturierung. Da sich SfM mit der Kalkulation der extrinsischen und intrinsischen Kameraparameter befasst und dazu die Regionierungsparameter bereits vorliegen müssen, ist das Verfahren eindeutig davor einzurordnen.

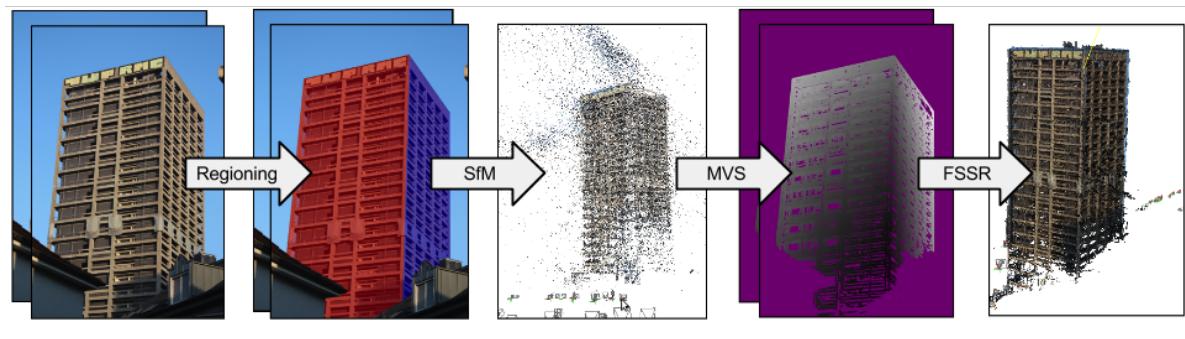


Abbildung 3.2: MVE Pipeline

---

## 4 Regionenbasiertes Matching

---

Die vorab beschriebenen Parameter der Bildaufteilung fließen nun in den Matchingprozess mit ein und sollen dazu verwendet werden, fehlerhafte Matches zu filtern.

---

### 4.1 Regionierung des Datensatzes

---

Ein Begriff der die Isolation eines Bereiches innerhalb eines Bildes beschreibt und eng mit der Bedeutung der Segmentierung und Klassifikation zusammenhängt. Dabei werden hier, anhand von Vorwissen, Bildregionen mit zusätzlichen Informationen bezüglich ihrer geometrischen Lage versehen. Das Unterteilen eines Bildes in verschiedene Bereiche impliziert zunächst die Funktionalität eine Region zu definieren, die eine Teilmenge aller Bildpunkte enthält. Über diese Masken lässt sich im Folgenden leicht bestimmen, ob sich ein Bildpunkt innerhalb oder außerhalb dieser befindet. Die Form einer Region wird dabei über die manuell gesetzten Eckpunkte und der dadurch eingeschlossenen Fläche festgelegt.

Als angepasster Ansatz wurde sich für eine polygone Regionsabgrenzung der unterschiedlichen Fassaden entschieden, wobei theoretisch Vierecke genügen würden. Jedoch lassen sich durch eine polygone Fläche mühelos Verdeckungen, wie andere Bauwerke oder Vegetation, innerhalb der Fotos umgehen, die jene Außenseiten des AfE-Turms bedecken.



**Abbildung 4.1:** Fünf regionierte Bilder des AfE-Turms

Wichtig ist zu erwähnen, dass nicht nur vorab festgelegte Regionen eines Bildes vom angepassten Matchingverfahren berücksichtigt werden, sondern auch noch immer Features aus nicht markierten Bereichen betrachtet werden. So hat jeder unterteilte Bereich eine eindeutige Identifikation, ebenso wie nicht markierte. Alle außerhalb der Regionen liegende Bildpunkte werden zu einer „Unknown“ Region (Regions-ID: -1) zusammengefasst. Dieser Bereich wird also wie eine Region behandelt und dessen Features werden nur mit anderen Features gematcht, die auch in dieser „Unknown“ Region liegen. Dieser Ansatz soll fehlerhafte Matches entfernen, jedoch zutreffende unberührt lassen.

---

#### 4.1.1 Schnitttest einer Region

---

Um zu überprüfen, ob bestimmte Bildpunkte einer gewissen Region angehören, ist es für das spätere Matchingverfahren nötig, dass vor dem Matching überprüft werden kann, ob ein vermeintbares Feature-Paar auch zulässig ist. Hierzu wird mittels Strahl-Methode des Punkt-in-Polygon-Tests nach Jordan[3][1] überprüft, ob sich ein Bildpunkt innerhalb einer der Regionen befindet. Ein Polygon lässt sich auch als eine Menge gerichteter Liniensegmente betrachten. Bei der Strahl-Methode wird, vereinfacht gesagt, vom zu testenden Punkt aus ein Strahl in eine beliebige Richtung gesendet und die Anzahl der Schnittpunkte mit den Liniensegmenten gezählt. Bei ungerader Zahl befindet sich der Punkt innerhalb des Polygons und andersherum bei gerader Anzahl außerhalb. Ein großer Vorteil dieser Methode ist, dass sowohl konvexe als auch konkave Polygone gleichermaßen behandelt werden können.

---

### 4.2 Das RGN-Dateiformat

---

Zusätzlich zu den einzelnen Views, deren zugehörige Parameter in einer MVE-Datei abgelegt sind, müssen somit auch Informationen zu Form und Position der zugehörigen Regionen aufgenommen werden.

Im Sinne der Wiederverwendbarkeit, wird hierfür ein eigenes Dateiformat definiert anstatt die Regionsparameter in bereits existierende Software eigene Dateitypen zu schreiben. Somit lässt sich auf jene Parameter zugreifen, auch ohne einen kompletten View zu laden.

Regionen werden pro View in eine RGN-Datei geschrieben. Das hier verwendete Format enthält sowohl relative Positionen der Eckpunkte aller Polygone als auch deren Identifizierung und setzt sich wie folgt zusammen:

Region 1-ID
x-Koordinate Punkt 1
y-Koordinate Punkt 1
...
x-Koordinate Punkt n
y-Koordinate Punkt n
Region 2-ID
x-Koordinate Punkt 1
y-Koordinate Punkt 1
...
x-Koordinate Punkt n
y-Koordinate Punkt n
...
Region n-ID
x-Koordinate Punkt 1
y-Koordinate Punkt 1
...
x-Koordinate Punkt n
y-Koordinate Punkt n

**Tabelle 4.1:** Aufbau des RGN-Dateiformats

Falls für einen Datensatz an Fotografien für jedes Bild eine Regionierung vorgenommen wurde, existieren folglich ebenso viele RGN-Dateien wie MVE-Dateien.

### 4.3 Matchingansatz

Rekonstruktionen mittels Bilddaten, die ein sehr homogenes und gleichmäßig texturiertes Modell zeigen, können oftmals fehlschlagen, da bei der Merkmalsextraktion Korrespondenzen in Bildern erfasst werden, die tatsächlich nicht zugehörig sind.

Durch die Regionierung liegen nun zusätzliche Informationen vor mit denen überprüft wird, ob zwei zu testende Feature-Punkte zulässig sind. Genauer bedeutet das, es wird mit der zuvor beschriebenen Strahl-Methode für jedes Feature überprüft, ob und welcher der Regionen es zugehörig ist. Somit können vorm eigentlichen Matchingansatz schon unzutreffende Korrespondenzen ausgeschlossen werden, indem nur Elemente aus Regionen mit selber ID verglichen werden. Damit kein möglicher Match ausgeschlossen wird, werden auch die nicht markierten Bildbereiche berücksichtigt und untereinander gematcht.

---

## 5 Evaluation

---

Um die Rekonstruktionsqualität der Ergebnisse auswerten zu können folgt der Vergleich einer normalen MVE Rekonstruktion zu jener verbesserten Variante des Frankfurter AfE-Turms. Zur Evaluation der Resultate dieser Arbeit werden zwei unterschiedliche Datensätze verwendet um die Robustheit der algorithmischen Optimierungen zu zeigen, wobei eines den genannten Turm und das andere den Triumphbogen (Arc de Triomphe) in Paris zeigt. Dazu wird zuerst

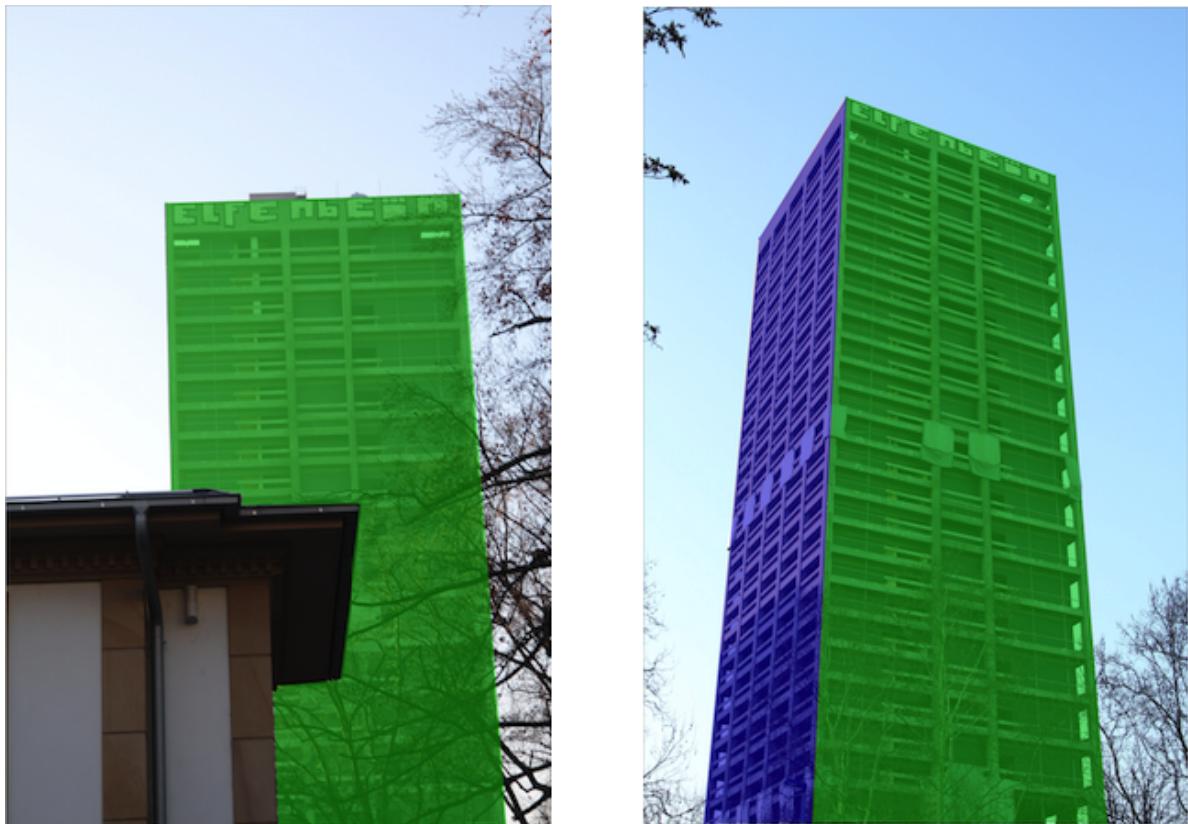
Die Umsetzung des Lösungsansatzes wurde mittels C++ gelöst und aufbauend auf dem MVE Framework und der Qt Bibliothek wurden diese implementiert.

---

### 5.1 Genauigkeit der Regionsabgrenzung

---

Damit auf die Zugehörigkeit der einzelnen Bildpunkte zu ihren jeweiligen Gebäudefassaden geschlossen werden kann, müssen sich diese innerhalb einer der festgelegten Bereiche befinden. Dabei ist ein Simplex die kleinstmögliche Form einer Region, d.h. ein n-dimensionales Polytop<sup>1</sup> mit  $n+1$  Eckpunkten. In dem Fall müssen mindestens drei Eckpunkte pro Region gegeben sein um in der zweidimensionalen Ebene eine Fläche zu definieren. Dahingegen ist die Anzahl der Eckpunkte nach oben hin unbeschränkt. Das Regionierungsverfahren ist in der Lage sowohl konvexe als auch konkave Polygone zu behandeln. Sind Regionen an ihren Kanten zu umgebenden Bildbereichen visuell unterscheidbar und dessen Bildelemente zugehörig identifizierbar, genügt zur Umrandung einer Region auch lediglich eine konvexe Hülle aller relevanten Bildpunkte. Die detailgenaue Segmentierung konkaver Polygone ist meist nur innerhalb homogener Bildbereiche nötig.



**Abbildung 5.1:** Links: Konkave Regionierung Rechts: Konvexe Regionierung

---

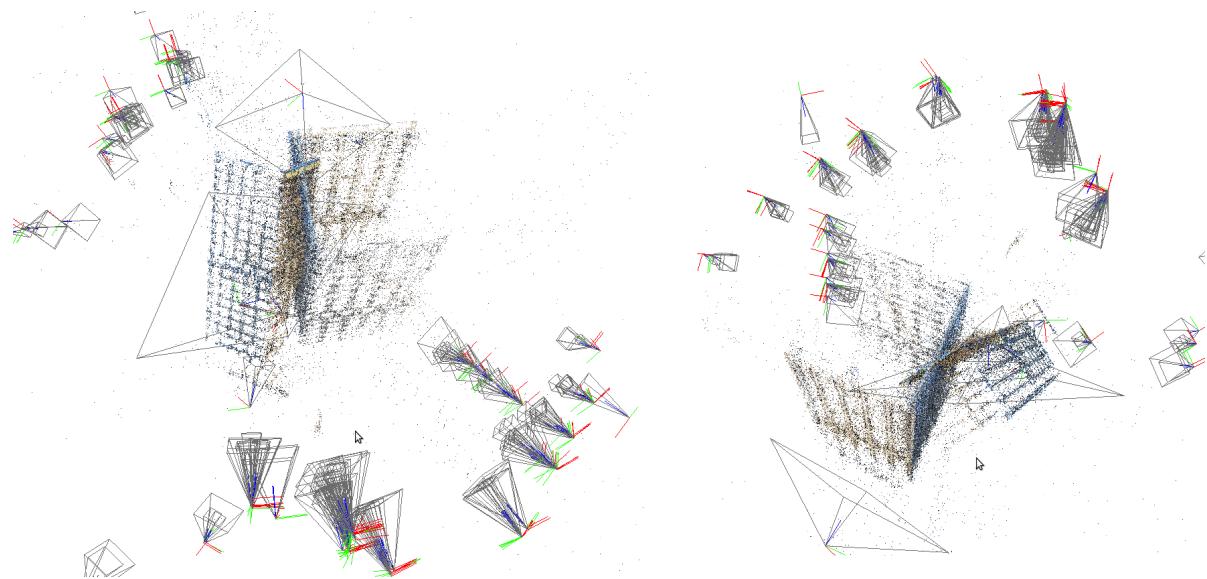
<sup>1</sup> Polytop beschreibt ein Polygon beliebiger Dimension

## 5.2 Auswertung regionierter Rekonstruktionen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse und Einflüsse der Regionierung auf eine Rekonstruktion zweier Datensätze (AfE-Turm in Abschnitt 5.5.1 und der Triumphbogen, Paris in Abschnitt 5.5.2) vorgestellt und mit den Ergebnissen ohne eine vorherige Regionierung verglichen.

### 5.2.1 AfE-Turm

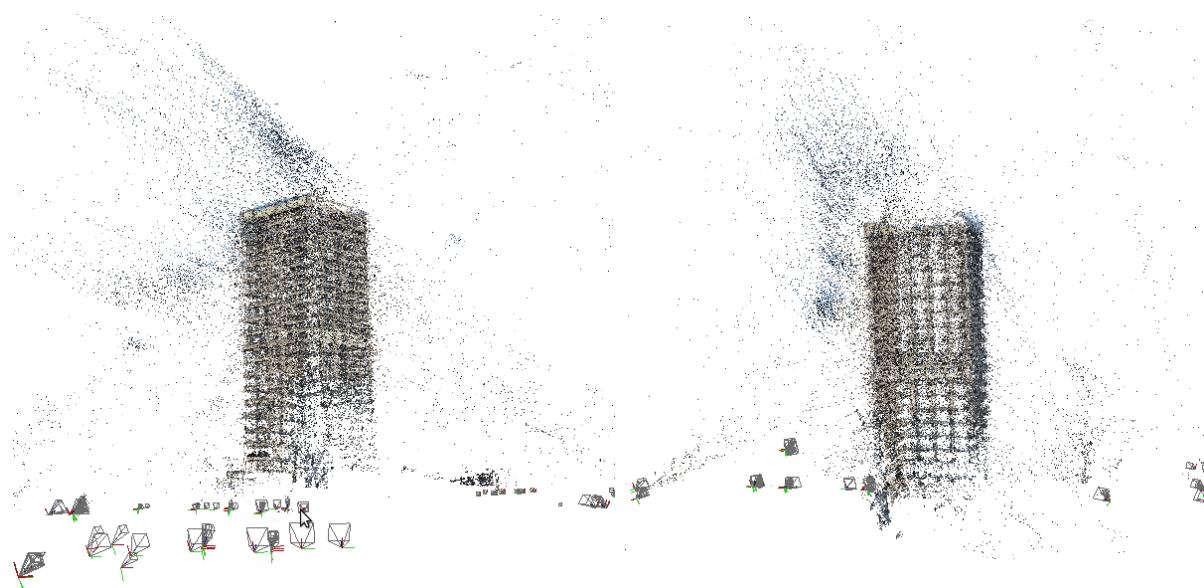
Zu Beginn dieses Projektes existierte eine fehlerhafte Rekonstruktion, mit unzureichender Bildqualität. Die Darstellung der unzureichenden Rekonstruktion, die Ausgangspunkt dieses Projektes war, wurde bereits in den vorherigen Kapiteln gezeigt, jedoch in texturerter Form.



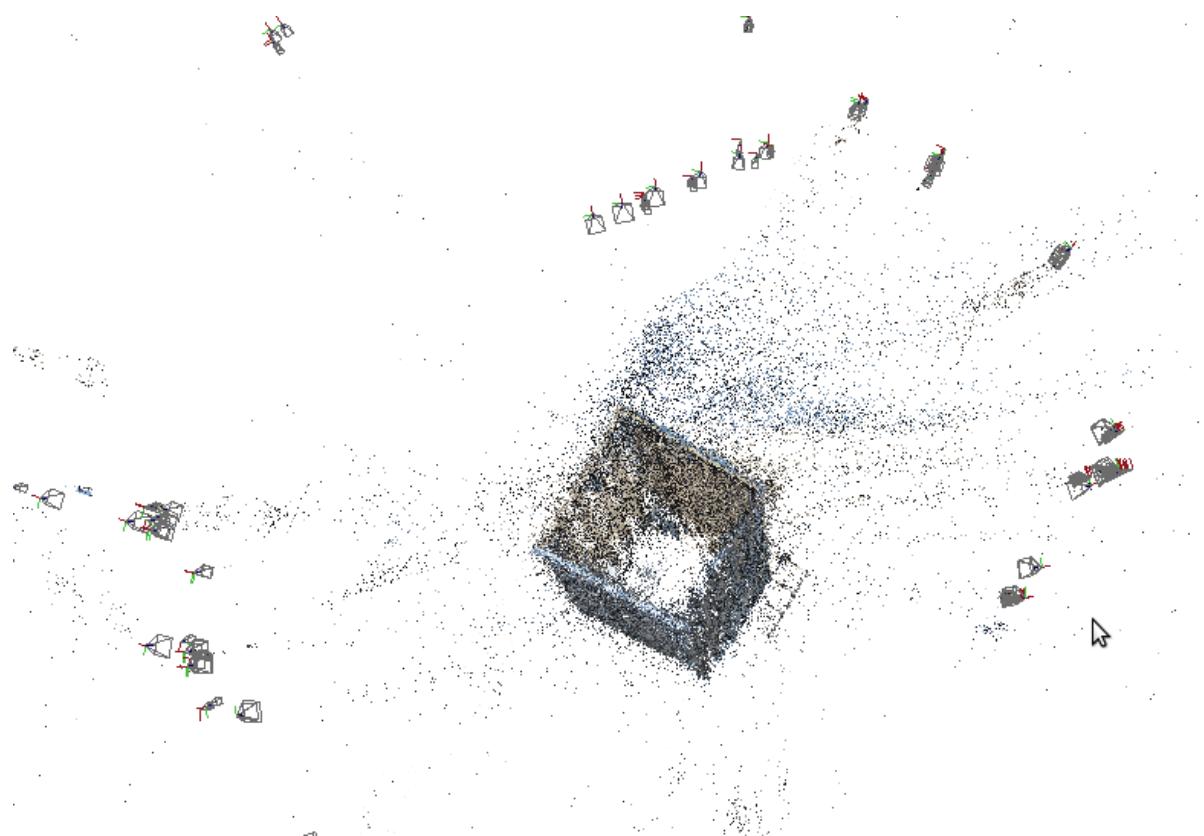
**Abbildung 5.2:** Punktwolken Drauf- und Seitenansicht der mangelhaften Rekonstruktion

Der anfängliche Matchingansatz wurde erweitert, sodass dieser weitere Parameter bezüglich der Regionierung berücksichtigt und das vorher auftretende Artefaktverhalten reduziert. Die Qualität dieses Verfahrens soll hier im Folgenden beurteilt werden. Dazu dienen reale Messdaten des behandelten Frankfurter AfE-Turms, sowie ein Datensatz des Arc de Triomphe in Paris. Als Vergleich der Qualität werden Rekonstruktionen mit und ohne diese erweiterte Methode herangezogen.

Stellt man die Ergebnisse eines unbehandelten mit denen eines regionierten Datensatzes gegenüber, lassen sich deutliche Unterschiede erkennen. Im ersten Ansatz wird die Rekonstruktion auf geometrische Korrektheit der einzelnen Fassaden überprüft, wobei Positionierung und Orientierung der Gebäudeseiten für ein brauchbares Ergebnis stimmen müssen.



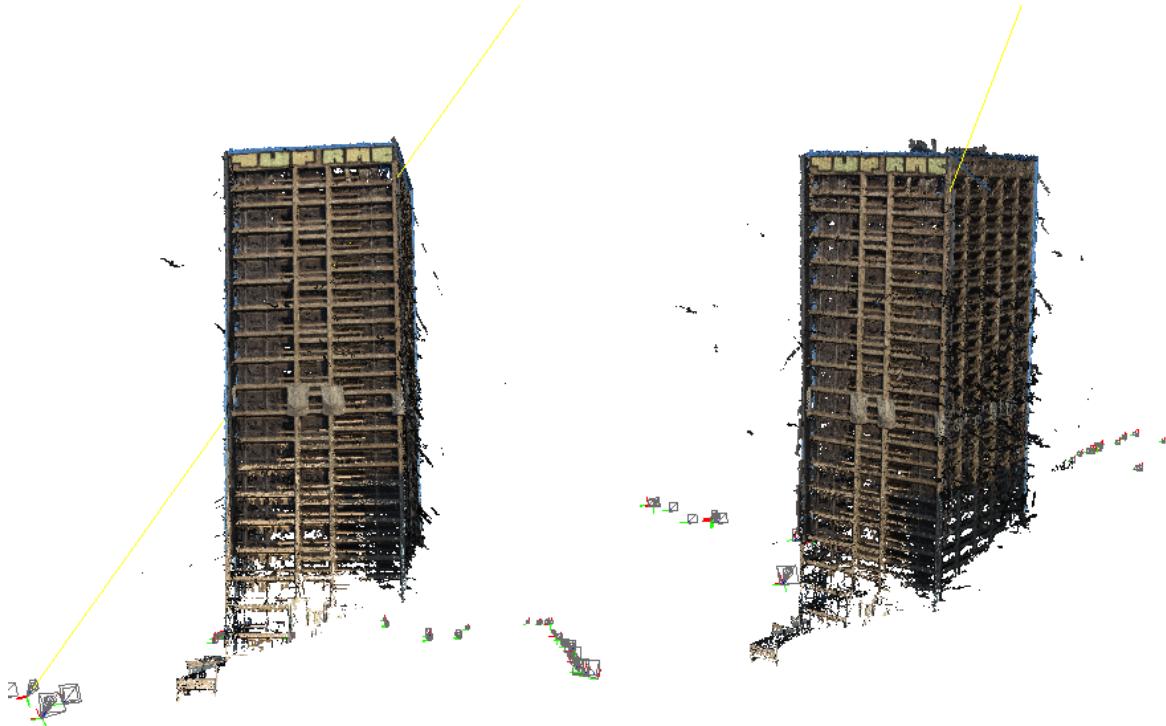
**Abbildung 5.3:** Die Seitenansicht einer Rekonstruktion eines zuvor regionierten Datensatzes



**Abbildung 5.4:** Die Draufsicht einer Rekonstruktion eines zuvor regionierten Datensatzes

Neben der nun geometrisch korrekten Ausrichtung der einzelnen Fassaden, bezeugt auch die Anordnung der einzelnen Kameras ein sinnvolles Resultat. Durch das Regioning-Plugin ist UMVE in der Lage vorher falsche Kameraparameter zu korrigieren und die Szene fehlerfrei darzustellen.

Insgesamt hat das gezeigte Verfahren Rekonstruktionsfehler entfernt und mehr 3D-Punkte an korrekten Stellen produziert. Hinzu kamen lediglich einige Abbildungen des Himmels, die durch Verdeckungen vereinzelter Bäume entstanden.



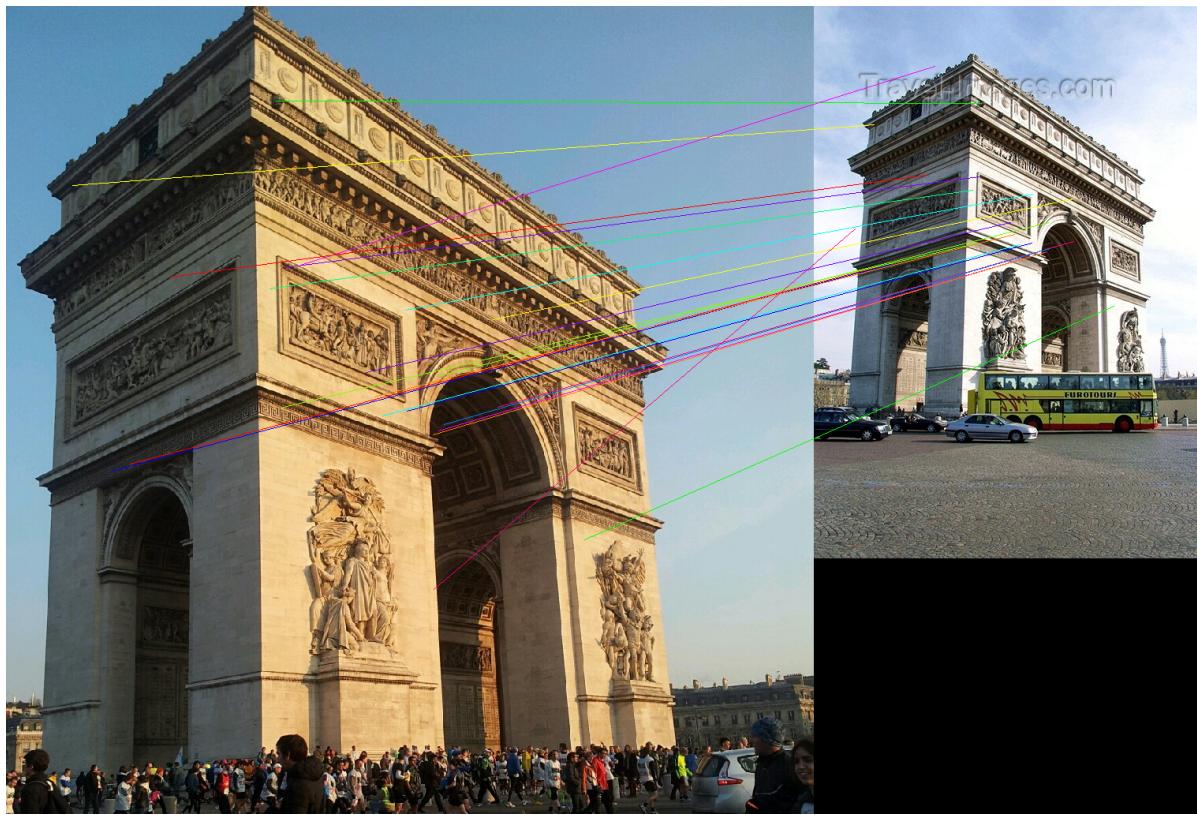
**Abbildung 5.5:** Zwei Seitenansichten einer fehlerfreien Rekonstruktion mit Hilfe des Regioning-Plugins

### 5.2.2 Arc de Triomphe

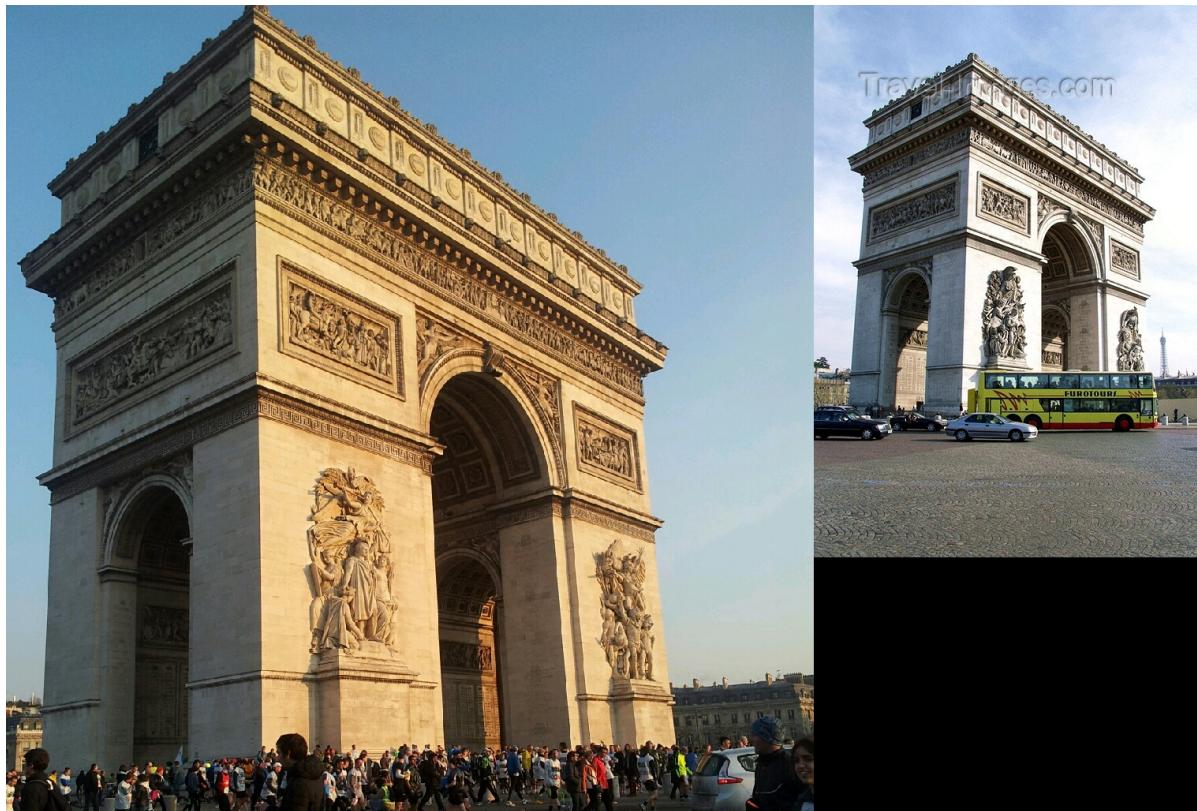
Als zweiter Datensatz wurde der Arc de Triomphe, Paris gewählt. Dessen Vorder- und Rückseite sind schwierig zu unterscheiden, wodurch sich vermuten lässt, dass hier eine Regionierung zu einem besseren Ergebnis führt.

Tatsächlich ist es so, dass der Algorithmus bei einer Rekonstruktion ohne Regionierung die Vorder- und Rückseite des Triumphbogens nicht unterscheiden kann und zwischen diesen Matches findet (siehe Abbildung 5.6).

Durch die Regionierung der Bilddaten und den Ausschluss unzulässiger Korrespondenzen ist folglich die Anzahl der detektierten Matches verhältnismäßig geringer, da fehlerhafte als auch regionübergreifende aussortiert wurden. Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die Auswirkung regionierter Eingabedaten und unbehandelter in Bezug auf die erfassten Matches.



**Abbildung 5.6:** Gefundene Matches zweier unterschiedlicher Seiten ohne Regionierung



**Abbildung 5.7:** Gefundene Matches zweier unterschiedlicher Seiten mit Regionierung

Dadurch ist eine Unterscheidung zwischen Vorder- und Rückseite möglich. Die folgenden Bilder zeigen einen Vergleich zwischen einer Rekonstruktion des Triumphbogens ohne eine Regionierung (Abbildung 5.8) und mit einer Regionierung (Abbildung 5.9).



**Abbildung 5.8:** Rekonstruktion des Triumphbogens ohne Regionierung



**Abbildung 5.9:** Rekonstruktion des Triumphbogens mit Regionierung

### 5.3 Performanz

Ohne eine Unterteilung der Eingabebilder in Regionen vergleicht UMVE jedes Feature des ersten Views mit jedem Feature des zweiten Views, was einer quadratischen Laufzeit entspricht. Wurden die Eingabebilder in Regionen unterteilt, werden Features, die in Regionen unterschiedlicher IDs liegen, vom Matchingalgorithmus ausgeschlossen. Da der Matchingalgorithmus bei entsprechend vielen Features ei-

---

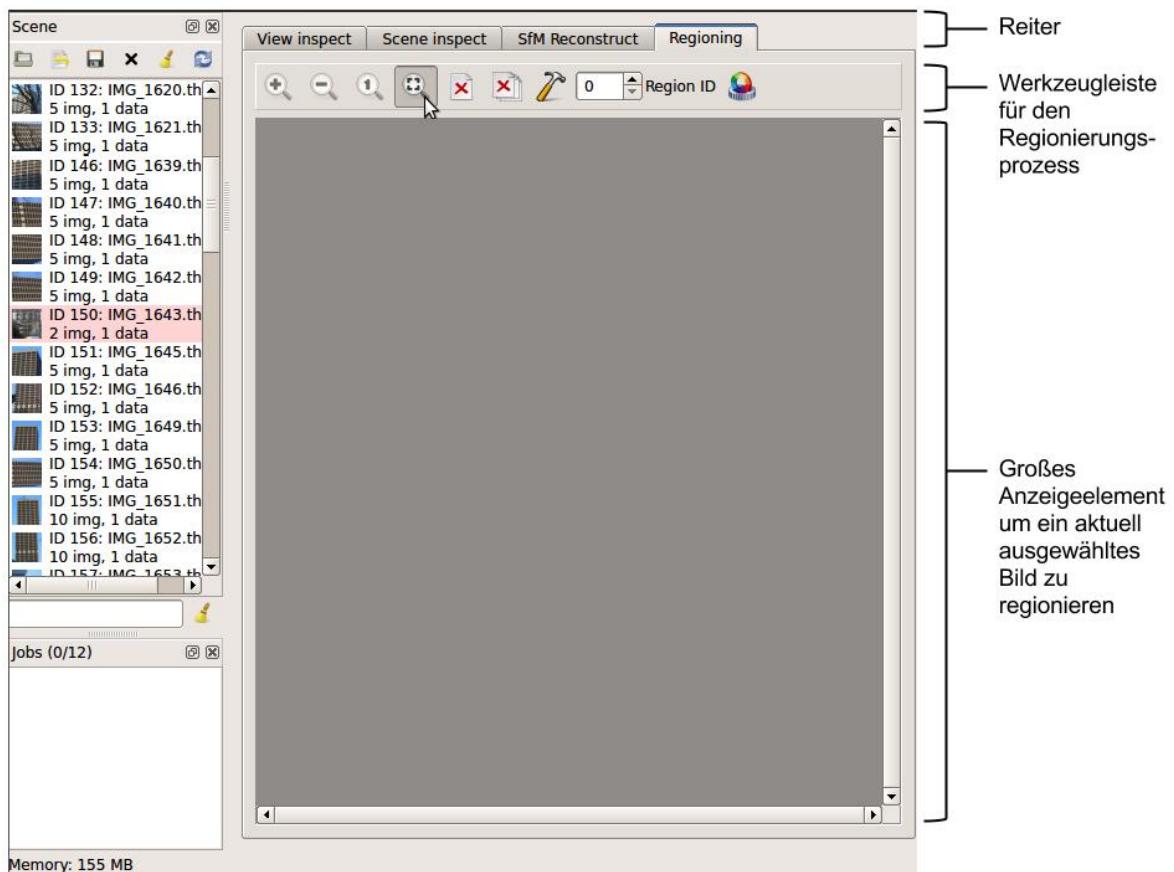
ne zeitkritische Komponente der Laufzeit ist, kann so eine Performanzsteigerung durch die Regionierung der Daten resultieren.

Die im Folgenden beschriebene Durchführung bezieht sich auf den Datensatz des AfE-Turms dessen Eingabebilder jeweils in der Breite und Höhe halbiert wurden. Der für die Ausführung verwendete Computer (Intel® Xeon® Processor E3-1231 v3 (8M Cache, 3.40 GHz)) erzielte für eine normale Rekonstruktion mit unbehandeltem Datensatz eine Laufzeit von 50 Minuten. Wohingegen die Durchführung mit regionalisierten Bilddaten eine Dauer von 12 Minuten ergab. Das zeigt eine Verbesserung der Performanz ungefähr um den Faktor 4. Für den Datensatz mit Bildern (verschiedene Auflösungen) des Triumphbogens ergeben sich Laufzeiten von 23 Minuten ohne und 5 Minuten mit Regionierung, was einer Verbesserung der Performanz um den Faktor ca. 4,5 entspricht.

## 6 Benutzerhandbuch

Dieses Handbuch bezieht sich auf das UMVE Regioning-Plugin Version 1.0. Es enthält detaillierte Anleitungen zum Ausführen bestimmter Funktionen mit diesem Plugin.

### 6.1 Übersicht



**Abbildung 6.1:** Übersicht über das UI des Plugins

Das Plugin erscheint als zusätzlicher Reiter neben den bereits bestehenden (View inspect, Scene inspect, SfM Reconstruct) am oberen Rand des UMVE Fensters. Die Darstellung teilt sich hierbei einerseits in die Leiste mit den unterschiedlichen Werkzeugen und andererseits in die Anzeige der Bilddaten.

### 6.2 Die Bildanzeige

Das Plugin lässt sich über die gewohnte Datenauswahl in der Scene am linken Rand steuern, sodass ein Klick auf das gewünschte Thumbnail genügt und das ausgewählte Bild erscheint in dem Anzeigeelement. Die Bildanzeige wird jeweils im Bearbeitungsmodus als auch im Regionierungsmodus verwendet und auch wie die Darstellung des aktuellen Bildes lässt sich dies über die darüber liegende Werkzeuleiste steuern (Hierzu mehr im folgenden Kapitel).

### 6.3 Werkzeuge und Arbeitsschritte



**Abbildung 6.2:** Werkzeugleiste des Plugins

Um die verschiedenen Werkzeuge zu verwenden, muss vorerst ein beliebiger Bilddatensatz geöffnet werden. Dabei werden unterschiedliche Möglichkeiten der Bilddarstellung und der Bearbeitung gezeigt. Folgende Funktionalitäten stehen nun zur Verfügung:

- Vergrößerungs- und Verkleinerungsfunktionen



**Abbildung 6.3:** Zoom-Funktionen des Plugins

Mittels dieser Funktionen lässt sich, für eine genauere Regionsabgrenzung die Größenansicht des Bildes regulieren. So sind die ersten beiden Symbole zur inkrementellen Vergrößerung (einzoomen) als auch zur Verkleinerung (auszoomen). Eine verkleinerte Darstellung des Bildes ist nützlich um einen Überblick der bisherigen Regionierung zu sehen. Das dritte Lupensymbol, durch die „1“ gekennzeichnet, setzt den vorherigen Zoomfaktor wieder zurück und zeigt das Bild in Originalgröße. Im Gegensatz dazu passt das vierte Symbol die Darstellung auf die Bildschirm- bzw. Fenstergröße an.

- Regionen entfernen



**Abbildung 6.4:** Löschen-Funktionen des Plugins

Um bereits gezeichnete oder bearbeitete Regionen wieder zu löschen gibt es diese beiden Funktionen. Über die Region-ID Auswahl lässt sich eine zu löschen ID auswählen und durch das erste Symbol diese dann entfernen. Das zweite Symbol hingegen löscht alle bestehenden Regionen aus dem aktuell ausgewählten Bild.

- Regionierungs- und Bearbeitungsmodus

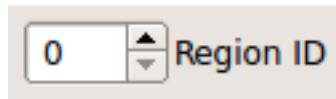


**Abbildung 6.5:** Symbol zum Ändern des Modus

Das Symbol ist zu Beginn nicht ausgewählt, was bedeutet, dass sich das Plugin im Regionierungsmodus befindet. Über die linke Maustaste lassen sich nun beliebig viele Punkte setzen um eine Region abzugrenzen und mit der rechten Maustaste lässt sich schließlich das Polygon schließen. Voraussetzung für diese Aktion ist, dass mindestens drei Punkte gesetzt wurden, die dann eine Fläche aufspannen. Dazu wird der zuletzt gezeichnete Punkt mit dem ersten verbunden. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Polygone konkav oder konvex gezeichnet sind. Wird eine zweite Region mit bereits existierender ID neu gezeichnet, so wird die erste entfernt und ersetzt.

Ist dieses Hammersymbol ausgewählt befindet sich das Plugin im Bearbeitungsmodus. Über die Region-ID lässt sich hierfür die zu bearbeitende Region auswählen. Um die Form eines Polygons zu verändern wird mit der linken Maustaste an die Stelle im Bild geklickt, zu der sich die bestehende Region ausdehnen bzw. verringern soll. Da kein expliziter Eckpunkt bestimmt wird, der seine Position verändern soll, wird der Punkt gewählt, der der neu bestimmten Position am nächsten ist.

- Regions-ID Auswahl



**Abbildung 6.6:** Regions-ID Auswahlfeld des Plugins

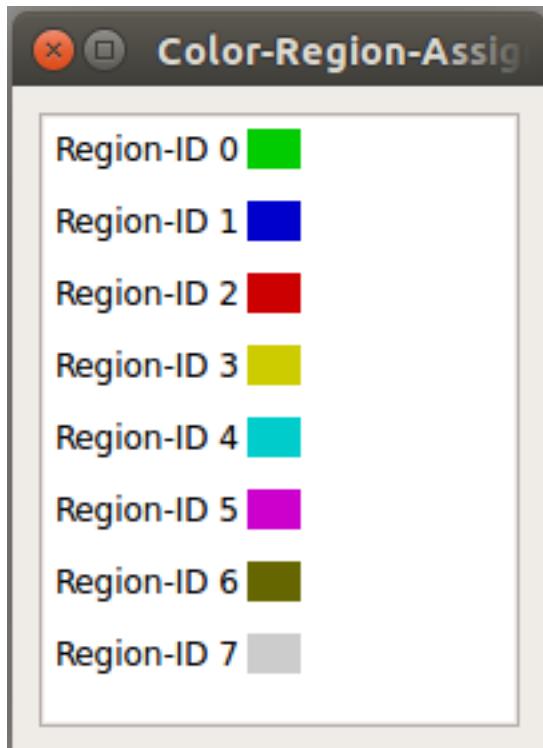
Diese Funktion wird nicht nur beim Zeichnen verwendet um der momentanen Region eine ID zuzuweisen, sondern auch bei den vorher beschriebenen Optionen. So muss die gewünschte ID gewählt werden, wenn eine bestimmte Region gelöscht oder bearbeitet werden soll. Wichtig ist, dass es maximal 8 verschiedene Regionen geben kann, wobei jede einzelne eine feste Farbzueweisung hat.

- Farbzueweisung der Regions-IDs



**Abbildung 6.7:** Farbzueweisungssymbol des Plugins

Diese Funktion dient eigentlich nicht der Regionierung selbst, sondern öffnet ein separates Fenster. Dieses zeigt eine Zuweisung der verwendeten Farben zu den zugehörigen IDs. Die Farbvergabe ist vorgegeben und beschränkt die Anzahl verschiedener Regionen auf acht.



**Abbildung 6.8:** Regions-ID-Farbzuweisung des Plugins

#### 6.4 Automatische Speicherfunktion

Für das anschließende Matchingverfahren müssen die Regionierungsparameter verfügbar gemacht werden. Dazu müssen gezeichnete Regionen in das vorgesehene Dateiformat geschrieben werden. Um Situationen zu vermeiden, in denen gezeichnete Regionen oder Veränderungen vergessen werden zu speichern oder bei einem Bildwechsel verloren gehen, existiert eine automatische Speicherfunktion. Das automatische Speichern betrifft hierbei folgende Aktionen:

- Das Einzeichnen und Abschließen einzelner Regionen
- Das Bearbeiten einzelner Regionen
- Das Löschen einzelner oder aller Regionen

Jede einzelne Modifikation der Regionierungsparameter wird festgehalten, sodass eine manuelle Speicherung entfällt und man bedenkenlos nach Fertigstellung der Regionierung das nächste Bild öffnen kann.

---

## **Abbildungsverzeichnis**

---

1.1	AfE-Turm . . . . .	2
3.1	Fehlerhafte Rekonstruktion des AfE-Turms . . . . .	6
3.2	MVE Pipeline . . . . .	7
4.1	Fünf regionierte Bilder des AfE-Turms . . . . .	8
5.1	Links: Konkave Regionierung Rechts: Konvexe Regionierung . . . . .	10
5.2	Punktwolken Drauf- und Seitenansicht der mangelhaften Rekonstruktion . . . . .	11
5.3	Die Seitenansicht einer Rekonstruktion eines zuvor regionierten Datensatzes . . . . .	12
5.4	Die Draufsicht einer Rekonstruktion eines zuvor regionierten Datensatzes . . . . .	12
5.5	Zwei Seitenansichten einer fehlerfreien Rekonstruktion mit Hilfe des Regioning-Plugins . .	13
5.6	Gefundene Matches zweier unterschiedlicher Seiten ohne Regionierung . . . . .	14
5.7	Gefundene Matches zweier unterschiedlicher Seiten mit Regionierung . . . . .	14
5.8	Rekonstruktion des Triumphbogens ohne Regionierung . . . . .	15
5.9	Rekonstruktion des Triumphbogens mit Regionierung . . . . .	15
6.1	Übersicht über das UI des Plugins . . . . .	17
6.2	Werkzeugleiste des Plugins . . . . .	18
6.3	Zoom-Funktionen des Plugins . . . . .	18
6.4	Löschen-Funktionen des Plugins . . . . .	18
6.5	Symbol zum Ändern des Modus . . . . .	19
6.6	Regions-ID Auswahlfeld des Plugins . . . . .	19
6.7	Farbzweisungssymbol des Plugins . . . . .	19
6.8	Regions-ID-Farbzuweisung des Plugins . . . . .	20

---

## **Tabellenverzeichnis**

---

4.1 Aufbau des RGN-Dateiformats . . . . .	9
---	---

---

## Literaturverzeichnis

---

- [1] Norbert Bartelme. *Geoinformatik Modelle Strukturen Funktionen 4. Auflage*. Springer, 1995.
- [2] Simon Fuhrmann, Fabian Langguth, and Michael Goesele. Mve-a multi-view reconstruction environment. In *Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage*, pages 11–18. The Eurographics Association, 2014.
- [3] Günter Hake, Dietmar Grünreich, and Liqiu Meng. *Kartographie: Visualisierung raum-zeitlicher Informationen*. Walter de Gruyter, 1994.